



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE**  
**Instituto de Oceanografia**  
**Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Física,**  
**Química e Geológica**



*Priscila Emerich Souza*

**METODOLOGIA DE DEFINIÇÃO DE GEOINDICADORES PARA A AVALIAÇÃO  
DE VULNERABILIDADE DA ORLA COSTEIRA DO RIO GRANDE DO SUL,  
BRASIL**

**Rio Grande**

**2014**

**Priscila Emerich Souza**

**METODOLOGIA DE DEFINIÇÃO DE GEOINDICADORES PARA A AVALIAÇÃO  
DE VULNERABILIDADE DA ORLA COSTEIRA DO RIO GRANDE DO SUL,  
BRASIL**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica do Instituto de Oceanografia da Universidade Federal do Rio Grande.

Orientador: Prof. Dr. João Luiz Nicolodi

**Rio Grande**

**2014**

**Priscila Emerich Souza**

**METODOLOGIA DE DEFINIÇÃO DE GEOINDICADORES PARA A AVALIAÇÃO  
DE VULNERABILIDADE DA ORLA COSTEIRA DO RIO GRANDE DO SUL,  
BRASIL**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica do Instituto de Oceanografia da Universidade Federal do Rio Grande.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. João Luiz Nicolodi (orientador)

Prof. Dr. Carlos Roney Armanini Tagliani

Prof. Dr. Jorge Arigony Neto

Prof. Dr. Nelson Luiz Sambaqui Gruber

**Rio Grande**

**2014**

## **Agradecimentos**

Minha gratidão ao meu Deus que me deu condições de entrar, permanecer e finalizar esse trabalho; sua graça e misericórdia superabundaram em minha vida nesses últimos anos. Sou grata pela força, ânimo e alegria concedidos.

Sou grata ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica do Instituto de Oceanografia da FURG e também à Capes pelo suporte acadêmico e financeiro.

Muito obrigada ao professor Nicolodi que me acolheu no projetou e se dispôs a me orientar nesse período. O conhecimento compartilhado e as oportunidades de aperfeiçoamento oferecidas (estágio de docência) foram essenciais à mais essa etapa de formação.

Minha gratidão ao colega Deivid que, mesmo sem me conhecer, atendeu ao meu pedido de ajuda para a elaboração cartográfica deste trabalho. Sua ajuda agregou valor e beleza ao meu trabalho. Muito obrigada!

Agradeço aos colegas de curso, especialmente àqueles com que convivi boa parte desses últimos anos nessa terra tão, tão longe da minha. Foi muito bom compartilhar o tempo, trabalhos, muitos mates e boas conversas. Obrigada em especial aos amigos Milton e Jeane que super me socorreram na etapa de entrega da dissertação.

Sou grata àqueles que me acompanharam mais de perto até aqui e tornaram meus dias e dilemas mais agradáveis: minha irmã Jacqueline, minhas queridas amigas Bruna, Camila, Keith, Marília, Paulinha e Rafa; minha família “de contrato”, em especial Veroní e vó Olinda; aos amigos de fé, em especial Rejane, Jamile e Xanda. Obrigada pelos conselhos dados, pelos ouvidos emprestados e pelas orações.

Também sou grata àqueles que desde sempre apoiaram e viabilizaram minha formação pessoal e profissional: meus amados pais Fábio e Eliane. Obrigada pela confiança; obrigada por terem me deixado “voar” para tão longe de casa ainda tão nova. Sem seu incentivo (amor, orações e mesada!), seria difícil chegar até aqui.

Por fim, mas não por menos, muito obrigada à minha família (ainda) de dois: meu esposo Bruno. Obrigada pelo suporte emocional (e mental!); obrigada pelo encorajamento tanto em palavras, em silêncio como também em ações. Obrigada pelo carinho e paciência dedicados. Obrigada pelo seu amor, meu amor.

## Resumo

SOUZA, Priscila Emerich. **Metodologia de Definição de Geoindicadores para a Avaliação de Vulnerabilidade da Orla Costeira do Rio Grande do Sul, Brasil.** 2014. 99p. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2014.

Indicadores constituem uma importante ferramenta nas avaliações ambientais, pois sistematizam, quantificam e simplificam a informação, sem, contudo, comprometer a veracidade da análise. Dentre os indicadores ambientais, os geoindicadores são aqueles que objetivam mensurar os processos e fenômenos geológicos na superfície terrestre, ou próxima a esta, que variam significativamente em um período inferior a 100 anos. O tema ainda é recente no Brasil, por isso, este trabalho visou contribuir à difusão desta ferramenta, apresentando a metodologia de definição a partir de parâmetros e aspectos já comumente estudados ou monitorados no ambiente costeiro. A proposição dos geoindicadores foi pensada com vistas à avaliação de vulnerabilidade física das praias da costa do Rio Grande do Sul. Foram definidos e aplicados ao longo da costa quatro geoindicadores e um indicador socioambiental: Altura e Estado Morfoecológico de dunas frontais, Posição da Linha de Costa, Concentração de Sangradouros, e Qualidade Sanitária. A compilação de todos estes gerou um Índice de Vulnerabilidade Física representada para sete pontos do litoral gaúcho. Como produto final, as aplicações dos indicadores e também do Índice foram sintetizadas em um mapa cartográfico em linguagem compreensível para a população e tomadores de decisão.

Palavras-chave: indicadores ambientais; vulnerabilidade física; avaliação ambiental.

## Abstract

SOUZA, Priscila Emerich. **Method Definition of Geoindicators to the Coastal Vulnerability Assessment in Rio Grande do Sul, Brazil**. 2014. 99p. Master thesis – Post-Graduate Program in Physical, Chemical and Geological Oceanography, Federal University of Rio Grande, Rio Grande, 2014.

Indicators are an important tool in environmental assessments because systematize, quantify and simplify the information, but without compromising the accuracy of the analysis. Among environmental indicators, geoindicators are those which aim measuring geological processes and phenomena that occur at or near Earth's surface and vary significantly over periods of 100 years or less. This subject-matter is still recent in Brazil, so this study intended to contribute to its diffusion, presenting a methodology of definition from parameters and aspects already commonly studied or monitored in the coastal environment. The geoindicators proposition was designed for evaluation of physical vulnerability of the Rio Grande do Sul coastal beaches; four geoindicators and one socio-environmental indicator were defined and tested along the coast: Height and Morpho-Ecological State of foredunes, Shoreline Position, Washouts Concentration, and Sanitary Quality. The compilation of all these generated a Physical Vulnerability Index represented to seven localities of Gaucho littoral. As a final product, the application of the indicators and also of the Index was synthesized in a cartographic map in understandable language to the public and decision makers.

Keywords: environmental indicators; physical vulnerability; environmental assessment.

## Lista de Figuras

Figura 1 - Quadro resumo da estratégia pra a elaboração da proposta de Resolução RQA-ZC.....	4
Figura 2 - Mapa de Vulnerabilidade à elevação do NNM.....	13
Figura 3 - Setorização do Litoral do RS.....	16
Figura 4 - Localização e mapa geológico simplificado da PCRS.....	18
Figura 5 - Pirâmide de processamento da informação.....	25
Figura 6 - Escala de Vulnerabilidade Física.....	26
Figura 7 - Sub-indicadores do "Plano de Manejo de Dunas".....	29
Figura 8 - "Seção A" da Planilha utilizada para análises de <i>checklist</i> .....	30
Figura 9 - Foto do avanço de areia sobre as propriedades de São José do Norte, RS.....	33
Figura 10 - Dunas frontais no litoral Norte: (A) bem estabelecidas, Tramandaí; (B) erosivas, Cidreira.....	39
Figura 11 – Classificação temporal dos geoindicadores Altura e Estado Morfoecológico das Dunas Frontais no litoral Norte, RS.....	39
Figura 12 - Dunas frontais no litoral Médio: (A) bem estabelecida, Farol de Berta; (B) menor cobertura vegetal, Farol de Mostardas.....	40
Figura 13 - Classificação temporal dos geoindicadores Altura e Estado Morfoecológico das Dunas Frontais no litoral Médio, RS.....	41
Figura 14 - Geoindicadores utilizados para caracterização do processo erosivo.....	44
Figura 15 - Caracterização do Método do Polígono.....	48
Figura 16 - Classificação temporal do geoindicador Posição da Linha de Costa no Balneário do Hermenegildo, litoral sul, RS.....	49
Figura 17 - Classificação temporal do geoindicador Concentração de Sangradouros no litoral do RS.....	60
Figura 18 - QS Bal 01 (Torres):.....	67
Figura 19 - QS Bal 63 (Cassino):.....	68
Figura 20 - QS Bal 70 (Santa Vitória do Palmar):.....	68
Figura 21 - Classificação temporal da Qualidade Sanitária no litoral Norte, RS.....	69
Figura 22 - Classificação temporal da Qualidade Sanitária no litoral Médio, RS.....	69
Figura 23 - Classificação temporal da QS para Litoral o Sul.....	70
Figura 24 - Nível de conhecimento dos inquiridos na consulta.....	71
Figura 25 - Grau de relevância atribuída a cada geoindicador.....	72
Figura 26 - Escalonamento da Vulnerabilidade Física para alguns trechos do litoral do RS.....	79
Figura 27- Cartograma da Vulnerabilidade Física da costa do RS.....	81

## Lista de Tabelas

Tabela 1 - Geoindicadores e respectivas mudanças ambientais. Traduzido de Berger (1998). .....	8
Tabela 2 - Síntese das três principais linhas de entendimento sobre vulnerabilidade. ....	11
Tabela 3 - Critérios e respectivas características gerais desejáveis para um bom indicador. ....	21
Tabela 4 - Tabela síntese de definição de geoindicadores.....	22
Tabela 5 - Estrutura conceitual para o computo do Índice de Vulnerabilidade Física. ....	26
Tabela 6 - Geoindicador: altura e estado morfoecológico das dunas frontais. ....	33
Tabela 7 – Classificação da Altura e do Estado Morfoecológico das praias dos litorais Norte e Médio.....	37
Tabela 8 - Geoindicador: Posição da Linha de Costa. ....	44
Tabela 9 - Classificação temporal da PLC da praia do Hermenegildo.....	48
Tabela 10 - Geoindicador: Ocorrência de Sangradouros .....	54
Tabela 11 - Trechos selecionados para testar o geoindicador Ocorrência de Sangradouros .....	57
Tabela 12 - Classificação temporal segundo a Concentração de Sangradouros para os trechos selecionados. ....	57
Tabela 13 - Concentrações de Col. Termotolerantes obtidas no monitoramento de Balneabilidade antes e após o Reveillon de 2013 em Torres-RS. ....	61
Tabela 14 – Indicador: Qualidade Sanitária .....	63
Tabela 15 – Identificação dos pontos selecionados para aplicar o indicador “Qualidade Sanitária”. ....	65
Tabela 16 - Classificação temporal da Qualidade Sanitária para 17 pontos do litoral do RS. ....	66
Tabela 17- Geoindicadores e respectivos pesos. ....	73
Tabela 18- Computo do Índice de Vulnerabilidade Física de Tramandaí, RS.....	74
Tabela 19 - Computo do Índice de Vulnerabilidade Física de Cidreira, RS.....	75
Tabela 20 - Computo do Índice de Vulnerabilidade Física de Mostardas, RS. ....	76
Tabela 21 - Computo do Índice de Vulnerabilidade Física do Mar Grosso, RS.....	76
Tabela 22 - Computo do Índice de Vulnerabilidade Física do Cassino, RS.....	77
Tabela 23 - Computo do Índice de Vulnerabilidade Física do Hermenegildo, RS. ....	78
Tabela 24 - Computo do Índice de Vulnerabilidade Física do Chuí, RS.....	78

## Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1. INDICADORES AMBIENTAIS.....	6
1.1.1. <i>Geoindicadores</i> .....	7
1.2. VULNERABILIDADE.....	11
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>15</b>
2.1. GERAL .....	15
2.2. ESPECÍFICOS.....	15
<b>3. ZONA COSTEIRA DO RIO GRANDE DO SUL.....</b>	<b>16</b>
<b>4. METODOLOGIA.....</b>	<b>20</b>
4.1. O PROCESSO DE SELEÇÃO DE INDICADORES .....	20
4.2. DEFININDO GEOINDICADORES .....	21
4.3. CONSULTA TÉCNICA DE OPINIÃO .....	23
4.4. ÍNDICE DE VULNERABILIDADE FÍSICA.....	25
4.5. DADOS E CENÁRIOS PARA APLICAÇÃO DOS INDICADORES .....	26
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>28</b>
5.1. DEFINIÇÃO DOS GEOINDICADORES .....	28
5.1.1. <i>Altura e Estado Morfoecológico das dunas frontais</i> .....	28
5.1.2. <i>Posição da Linha de Costa</i> .....	41
5.1.3. <i>Mobilidade Praial</i> .....	50
5.1.4. <i>Sangradouros</i> .....	51
5.1.5. <i>Qualidade Sanitária</i> .....	61
5.2. ÍNDICE DE VULNERABILIDADE.....	70
5.2.1. <i>Consulta de Opinião Técnica</i> .....	70
5.2.2. <i>Aplicação do Índice de Vulnerabilidade</i> .....	73
<b>6. CONCLUSÕES.....</b>	<b>82</b>
<b>7. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>85</b>

## INTRODUÇÃO

O homem desde sempre teve sua fonte de recursos para subsistência e desenvolvimento na natureza. O advento industrial, que teve seu início já no século XVIII no Reino Unido e que se expandiu para o mundo no século seguinte, garantiu uma nova e maior escala de produção, que, por sua vez, aumentou a pressão sobre os estoques naturais.

Embora outros fatores também fossem determinantes ao crescimento econômico, como a própria inovação tecnológica, a problemática ambiental, isto é, a dependência do capital natural e a limitada capacidade de absorção e suporte do meio ambiente, desde cedo foi percebida, a princípio não pelo mérito e entendimento da necessidade de um uso racional dos recursos naturais, mas sim porque o “fator ambiental” poderia ser um fator limitante ao crescimento econômico.

A respeito disso, em 1972 foi escrito o livro *The Limits to Growth*<sup>1</sup> (Os Limites para o Crescimento), que simulou as consequências da interação entre os sistemas do planeta Terra com os sistemas humanos. Dois possíveis cenários de crescimento então foram apontados: um otimista e outro pessimista. O primeiro acredita no progresso tecnológico para canalizar novas fontes de energia, superar qualquer limitação dos recursos e controlar os problemas de poluição. Já o segundo, apontando para um resultado mais desastroso, alerta que o crescimento rápido associado aos problemas ambientais expõe a humanidade ao iminente perigo de exceder a capacidade da terra em suportar a atividade econômica.

Desde então, a despeito da motivação equivocada, a degradação do meio ambiente por meio da depleção de recursos vivos e não vivos, do uso exacerbado, desorientado e conflitante da terra, e, sobretudo o receio de esgotar as fontes naturais, tem incitado a comunidade internacional a uma abordagem integrada para a gestão ambiental. De acordo com Lins-de-Barros (2005), há ainda de se destacar os prejuízos financeiros decorrentes da perda de infraestrutura urbana por impactos naturais (frequentemente potencializados pela própria ação antrópica) que também fomentam a necessidade por um planejamento urbano integrado à noção atual de gerenciamento ambiental.

Segundo Sorensen (*apud* IOC Manual and Guides and ICAM Dossier, 2006), estima-se que aproximadamente 700 iniciativas de Gerenciamento Integrado da Zona Costeira e

---

<sup>1</sup> Os autores utilizaram um sistema computacional (World3) para a simulação de um modelo que examinou cinco variáveis, assumindo-se que o crescimento exponencial descreve acuradamente seus padrões de crescimento: população mundial, industrialização, poluição, produção de alimentos e esgotamento de recursos. *The Limits to Growth* foi comissionado pelo Clube de Roma e escrito por Donella H. Meadows, Dennis L. Meadows, Jørgen Randers, e William W. Behrens III.

Oceânica foram iniciadas em mais de 140 países desde meados dos anos 60, contudo, é provável que apenas metade destes esforços tenham alcançado êxito.

No Brasil, o marco inicial de uma nova abordagem quanto às formas e meios de gerenciar o meio ambiente se deu com a promulgação da Lei n.º. 6.938 de 31 de agosto de 1981, que instituiu a Política Nacional de Meio Ambiente tendo por objetivo “[...] a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no país, condições de desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana [...]” (Art. 2º, Lei n.º 6.938/1981).

Quanto aos meios, destaca-se o Art. 9º que estabelece instrumentos de gestão como: o estabelecimento de padrões de qualidade ambiental (inciso I), o sistema nacional de informações sobre o meio ambiente (inciso VII), e o relatório de qualidade do meio ambiente – RQMA (inciso X). Estes três instrumentos se complementam e, somados aos demais também estabelecidos na lei, fecham um ciclo de manejo ambiental, visto que para a elaboração de relatórios de qualidade ambiental é preciso que dados, ou parâmetros, ambientais sejam coletados, disponibilizados e comparados àqueles desejados, isto é, àqueles normatizados, atendidas as peculiaridades de cada meio.

Segundo Oliveira e Souza (2007), a prática de monitoramento tem a finalidade expressa de detectar alterações no ambiente, identificando áreas vulneráveis que possam ser atribuídas a fontes degradantes, e dar o sinal de alerta em caso de impacto. Isto porque o acompanhamento regular e a tomada de dados a longo prazo (a elaboração de séries temporais) permitem conhecer as características intrínsecas e também as flutuações naturais do meio, ao ponto de distingui-las das perturbações causadas por agentes antrópicos e/ou agentes naturais extraordinários.

Desde sua concepção como instrumento de gestão em 1981, a elaboração de RQMA só fora realizada uma única vez, em 1984 pela Secretaria Especial do Meio Ambiente (SEMA), e não alcançou grande êxito, pois naquele momento já se sentiu a dificuldade na obtenção de informações qualificadas em séries temporais representativas e com distribuição geográfica satisfatória.

Em 1988 a Lei n.º. 7.661 instituiu o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro, o PNGC I, regulamentado primeiramente pela Resolução n.º. 001 da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (CIRM) de 21 de dezembro de 1990, e, posteriormente, pela Resolução n.º 005 em 03 de dezembro de 1997 quando na revisão do PNGC I e elaboração do

PNGC II. Dentre outros, esta lei também previu o monitoramento ambiental e a elaboração de relatórios de qualidade ambiental da zona costeira como instrumentos de gestão:

O Sistema de Monitoramento Ambiental da Zona Costeira – SMA-ZC se constitui na estrutura operacional de coleta de dados e informações, de forma contínua, de modo a acompanhar os indicadores de qualidade socioambiental da Zona Costeira e propiciar o suporte permanente dos Planos de Gestão.

O Relatório de Qualidade Ambiental da Zona Costeira – RQA-ZC consiste no procedimento de consolidação periódica dos resultados produzidos pelo monitoramento ambiental e, sobretudo, de avaliação da eficiência e eficácia das medidas e ações da gestão desenvolvidas. Esse Relatório será elaborado, periodicamente, pela Coordenação Nacional do Gerenciamento Costeiro, a partir dos Relatórios desenvolvidos pelas Coordenações Estaduais. (Capítulo 4, Resolução nº 005, de 03 de dezembro de 1997).

Em 2005, a fim de atender Art. 38º do Decreto nº. 5.300 de 2004, que regulamenta o PNGC, em outubro de 2005 foi instituído um grupo de trabalho com representantes do Ministério do Meio Ambiente – MMA e IBAMA, denominado GT/RQA-ZC, responsável pela elaboração de uma proposta de Resolução ao CONAMA definindo a metodologia e a padronização de procedimentos de monitoramento, análise e sistematização de dados para a elaboração do Relatório de Qualidade Ambiental para a Zona Costeira – RQA-ZC.

Ao final do ano de 2005, o GT/RQA-ZC apresentou à Câmara Técnica de Gestão Territorial e Biomas (CTGTB) sua estratégia de elaboração da proposta. A estratégia se dividia em duas fases: focava, inicialmente, em uma definição conceitual do instrumento e nas recomendações da Comissão Oceanográfica Intergovernamental (COI) e da Comissão Econômica para a América Latina (CEPAL), quanto à definição de **indicadores** de desenvolvimento sustentável para as zonas costeira e marinha; e, por fim, uma segunda fase que focava a elaboração do RQA-ZC.

A seguir, a Figura 1 resume a estratégia adotada inicialmente pelo GT/RQA-ZC.

<b>Tarefa</b>	<b>Objetivo</b>
1. Instalação de grupo de trabalho no âmbito do MMA e IBAMA.	- Definir estratégia de ação.
2. Preparação de termo de referencia para contratação de consultoria para elaboração de documento conceitual sobre Relatório de Qualidade Ambiental e de metodologia para sua implementação.	- Definir conceitos básicos para o RQA. - Definir metodologia para a elaboração de indicadores.
3. Levantamento das ações de monitoramento realizadas por instituições nos Estados.	- Diagnosticar as ações e programas de monitoramento nos Estados, quanto a parâmetros, séries de dados e periodicidade.
4. Realização de seminário envolvendo as coordenações estaduais de gerenciamento costeiro.	- Avaliar o estado da arte das ações de monitoramento ambiental. - Discutir as bases para o RQA – ZC.
5. Criação de grupo multi-institucional para ampliação da base gerada na discussão junto aos estados, com incorporação, por exemplo, do IBGE, Marinha do Brasil, INPE, Universidades, OEMAS e demais instituições com atuação na zona costeira.	- Envolver as instituições que efetivamente atuam na ZC na elaboração dos indicadores. - Identificar os potenciais produtores, processadores, compiladores e usuários dos indicadores.
6. Realização de reuniões temáticas do grupo multi-institucional.	- Sistematizar as informações disponíveis sobre a ZC, destacando a abrangência temporal e espacial das mesmas. - Análise do conjunto de informações, selecionando as relevantes, secundárias e descartáveis e análise dos indicadores para a Zona Costeira já existentes no âmbito do IBGE e demais instrumentos.
7. Realização de workshops regionais com os atores envolvidos.	- Detalhar e validar os indicadores, e os mecanismos de geração dos RQA estaduais.
8. Elaboração de RQA base	- Sistematizar os resultados apontados pelos indicadores.
9. Elaboração de proposta de resolução a ser encaminhada ao CONAMA.	- Atender ao artigo 38 do Decreto 5.300/2004. - Padronizar as ações referentes ao RQA/ZC a partir da elaboração da primeira versão.

Figura 1 - Quadro resumo da estratégia pra a elaboração da proposta de Resolução RQA-ZC.  
Fonte: site do MMA

Quando na execução da Tarefa 4, as discussões mostraram ser necessário um refinamento e reavaliação da ideia inicial:

“Entendeu-se que era importante não apenas realizar um Relatório de Qualidade Ambiental da Zona Costeira apresentando dados esparsos, uma vez que isso acarretaria em uma descontinuidade do processo. Era necessário partir para a definição de um Programa de Monitoramento de Qualidade Ambiental da ZC que fosse factível, tanto quanto aos aspectos logísticos quanto conceituais.”  
(GERCOM/PGT/SQA/MMA, 2006, p. 02)

Assim, atendendo ao objetivo de se estabelecer um procedimento contínuo de sistematização e análise de resultados oriundos do monitoramento da zona costeira, novas etapas foram incorporadas, dentre as quais se destacam: o levantamento do estado da arte da qualidade ambiental da costa do Brasil, que resultou no documento “Sistematização das

informações referentes ao Monitoramento Ambiental nos Estados”, e a definição de uma metodologia para elaboração dos RQA seguintes **a partir de indicadores** e índices com enfoque em parâmetros e temáticas já destacados no Macrodiagnóstico da Zona Costeira.

Mudanças estruturais transferiram a responsabilidade dos trabalhos, antes da Secretaria de Mudanças Climática e Qualidade Ambientas, para a Secretaria de Extrativismo e Desenvolvimento Rural Sustentável (SEDR), cabendo, portanto, ao novo grupo a readequação das metas e estratégias para a elaboração e execução de um Programa Nacional de Monitoramento e seus relativos Relatórios de Qualidade Ambiental da Zona Costeira - RQA-ZC. Segundo informações (atas e resultados de reuniões, notas técnicas, etc.) disponíveis no site do MMA, na página<sup>2</sup> que discorre sobre os processos do CONAMA, este processo ainda se arrastou, ou vem se arrastando, por anos. Em 2009, em resposta à solicitação de apoio que o CTGTB fez ao presidente do CONAMA, uma representante da SEDR explicou que o tema RQA-ZC “[...] consta das prioridades 2010 e a estratégia é retomar os avanços já feitos e, em articulação com o Ibama e em sintonia com o esforço atual do MMA para definição de Indicadores ambientais, apresentar ao CONAMA proposta de Resolução, de que trata o art.38 do Decreto nº 5.300/2004.”

Até o momento, segundo informou um representante do Ibama, na 3ª reunião da Câmara Técnica de Gestão Territorial, Unidades de Conservação e demais Áreas Protegidas no dia 03 de abril de 2013:

“[...] em 2011, foram intensificados os trabalhos de elaboração do Relatório de Qualidade do Meio Ambiente (RQMA), cuja estrutura previa um capítulo sobre o Ambiente Costeiro e Marinho. Mediante entendimentos entre a equipe de coordenação do RQMA (Ibama) e o MMA, por intermédio da Gerência do Gerenciamento Costeiro (GERCO/SEDR), foi acordado que o RQA-ZC seria um espelho do Capítulo do RQMA, de modo a otimizar os esforços de elaboração de ambos documentos / instrumentos. [...] o Relatório de Qualidade do Meio Ambiente (RQMA), que inclui o Capítulo sobre Ambiente Costeiro e Marinho, foi concluído e encontra-se na direção do MMA para validação e posterior publicação.”<sup>3</sup>

Ou seja, o que se tem é um capítulo sobre a zona costeira, e não um RQA-ZC, agregado a outros sete capítulos que integram a proposta técnica o RQMA. Segundo o representante, a decisão se será apresentada ou não um capítulo, um relatório específico da

---

<sup>2</sup> Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/processo.cfm?processo=02000.001267/2005-62>  
– Acessado em 08/06/2013

<sup>3</sup> Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/reuniao/dir1611/Resultado1.pdf> – Acessado em 09/06/2013

Zona Costeira, isso não está posto ainda porque se aguarda ainda uma decisão final do Ministério sobre a aprovação e a publicação do RQMA<sup>4</sup>.

### 1.1 Indicadores ambientais

No âmbito de gerenciamento ambiental em que os processos de avaliação e monitoramento são indispensáveis ao projeto, planejamento e gerenciamento de programas, os indicadores mostram-se ferramentas valiosas para reportar seu resultado e progresso.

De acordo com Magalhães Júnior (2011) os indicadores possuem certas qualidades que potencializam a utilidade e a capacidade de transmissão de conhecimento. Eles podem modelar a realidade, implicando necessariamente em simplificação e sintetização de dados e informações, facilitando a compreensão, a interpretação e a análise crítica de diferentes processos pelos atores locais.

Por definição, um indicador é algo que indica, ou que se dá a conhecer. Sob a ótica ambiental, o Ministério do Meio Ambiente<sup>5</sup> do Brasil entende por Indicadores “informações quantificadas, de cunho científico e de fácil compreensão usadas nos processos de decisão em todos os níveis da sociedade, úteis como ferramentas de avaliação de determinados fenômenos, apresentando suas tendências e progressos que se alteram ao longo do tempo”.

A Comissão Oceanográfica Intergovernamental (COI - UNESCO) destaca que “(...) indicadores fornecem uma ferramenta útil para identificar, priorizar e quantificar objetivos, monitorar suas realizações, avaliar o programa e por fim ajustá-lo” (tradução livre, p. 12, IOC Manual and Guides and ICAM Dossier, 2006).

No início da década de 90, a *Organization for Economic Co-operation and Development* (OECD), motivada pelo consenso de muitos países e setores econômicos sobre a necessidade de se buscar um “desenvolvimento sustentável”, publicou um relatório síntese divulgando seu conjunto central de indicadores ambientais apoiados nas relações de Pressão-Estado-Resposta (PSR). O marco conceitual PSR tem por premissa a casualidade: atividades humanas exercem **pressões** sobre o meio ambiente e sobre a qualidade e quantidade dos recursos naturais (**estado** do meio); a sociedade **responde** às estas mudanças através de políticas ambientais, sociais e econômicas para prevenir, reduzir ou mitigar as pressões ambientais. Assim, cada passo da abordagem PSR forma parte de um ciclo (político)

---

<sup>4</sup>Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/reuniao/dir1611/Transcricao.pdf> – Acessado em 09/06/2013

<sup>5</sup>Disponível em <http://www.mma.gov.br/governanca-ambiental/informacao-ambiental/sistema-nacional-de-informacao-sobre-meio-ambiente-sinima/indicadores> – Acessado em 02/05/2013.

ambiental que contempla a percepção do problema, a formulação de políticas, monitoramento e avaliação de políticas (OECD, 1993).

Segundo Rufino (2002), visto sua simplicidade e generalidade, o marco conceitual PSR é o mais utilizado na atualidade para o desenvolvimento de indicadores ambientais. Quanto à simplicidade, porém, o modelo tende a tornar lineares as relações de estado e pressão, embora as interações com o meio sejam mais complexas (não são exclusivamente de origem antrópica).

A COI classifica indicadores para o processo de Gerenciamento Costeiro Integrado (GCI) sob três dimensões: governança, socioeconômica e ecológica. O primeiro tipo se caracteriza por avaliar o desempenho dos componentes dos programas, e o progresso e a qualidade das intervenções do GCI em si. Os indicadores socioeconômicos refletem o estado da influência do homem e suas atividades (pressão sobre a natureza), bem como o desempenho dos planos de GCI sobre as comunidades antrópicas. Já os indicadores ecológicos refletem as tendências e o estado do meio ambiente em relação a um aspecto em particular ou a uma condição ambiental almejada.

Indicadores de aspecto socioeconômico já vêm sendo amplamente utilizados no Brasil, como, por exemplo, aqueles adotados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Dentre os indicadores analisados pelo IBGE, destacam-se os indicadores de População: educação e trabalho, saneamento, básico, assistência médica-sanitária, etc..

Quanto aos indicadores ecológicos, desde os anos 70 o Brasil já vem adotando de forma consolidada o modelo americano de gestão de águas a partir do Índice de Qualidade da Água (IQA) da National Sanitation Foundation de 1970. No entanto, o uso de demais indicadores ainda é bastante incipiente no país, sobretudo ao que diz respeito a indicadores geológicos, ou geoindicadores.

### **1.1.1. Geoindicadores**

Os geoindicadores são ferramentas usadas nas Geociências desde a década de 70, quando, inicialmente, visavam principalmente à avaliação de recursos minerais. A partir da década de 90, no entanto, sua abordagem tem se voltado à avaliação de impactos e riscos geológicos (Fabbri e Patrono *apud* Rudorff, 2005). Isto, segundo Tavares, Cruz & Lollo (2007), devido à carência de informações ambientais de caráter físico e com validade técnica-científica que pudessem agregar à Avaliação de Desempenho Ambiental e à implantação de políticas ambientais voltadas ao Desenvolvimento Sustentável.

Avaliar a saúde e condição dos ecossistemas e o meio ambiente, em geral, requer uma capacidade de monitorar mudanças importantes que ocorrem em décadas ou períodos mais curtos. Portanto, reconhecer a importância de mudanças geológicas de curto prazo pode ajudar a compreender e lidar com a mudança ambiental, seja ela local ou global (Berger, 2002).

Oportunamente, a Comissão de Ciências Geológicas para o Planejamento Ambiental (COGEOENVIRONMENT) da *International Union of Geological Sciences* (IUGS) estabeleceu em 1992 um grupo de trabalho para desenvolver e sistematizar indicadores de cunho geológico. Dentre os produtos do trabalho do grupo, destaca-se a publicação, em 1996, do livro *Geoindicators: Assessing Rapid Environmental Changes in Earth Systems*, editado por Antony R. Berger e William J. Iams. O livro introduziu o conceito de Geoindicadores e resultou na compilação de uma lista de checagem (*checklist*) de 27 geoindicadores<sup>6</sup> com conceitos e procedimentos padrões aplicáveis em diferentes ambientes: fluvial, costeiro, desértico, montanhoso, de geleira, e outras áreas (Tavares, et al., 2007). Eles medem os eventos catastróficos e os mais graduais, mas evidentes no intervalo de uma vida humana. Sua aplicação pode ser complexa e de custo elevado, mas a maioria é relativamente simples e de baixo custo. A seguir, a Tabela 1 lista os 27 geoindicadores propostos pelo grupo de trabalho e respectivas mudanças ambientais refletidas.

Tabela 1 - Geoindicadores e respectivas mudanças ambientais. Traduzido de Berger (1998).

<b>Geoindicadores</b>	<b>Mudanças ambientais</b>
Química do coral e padrão do crescimento	Temperatura da água de superfície e salinidade
Crostras e fissuras em superfície desértica	Aridez
Formação e reativação de dunas	Velocidade e direção dos ventos, umidade, aridez e disponibilidade de sedimentos
Magnitude, duração e frequência de tempestade de areia	Transporte de areia, aridez e uso do solo
Atividade de solo congelado	Clima, hidrologia e movimentação de taludes
Flutuações de geleiras	Precipitação, insolação e fluxo de derretimento
Qualidade da água subterrânea	Uso do solo, contaminação, alteração de rocha e solo, radioatividade e precipitação de ácidos
Química da água subterrânea na zona não saturada	Alteração de solos e rochas, clima e uso do solo
Nível da água subterrânea	Clima, impermeabilização e recarga
Atividade cárstica	Química e fluxo da água subterrânea, clima,

<sup>6</sup> A lista de checagem, as informações respectivas a cada um dos 27 geoindicadores propostos, bem como demais esforços do grupo de trabalho, encontram-se disponíveis no site <http://www.igt.lt/geoind/>

	cobertura vegetal e processos fluviais
Níveis e salinidades de lagos	Clima, uso do solo, vazão e circulação da água subterrânea
Nível relativo do mar	Oscilações na linha de costa, clima, extração de fluidos, sedimentação e compactação
Sequência e composição de sedimentos	Clima, uso do solo, erosão e deposição
Sismicidade	Tensões naturais ou induzidas
Linha da costa	Erosão costeira, transporte e deposição de sedimentos, uso do solo, nível do mar e clima
Deslizamento de encostas	Estabilidade de taludes, movimentos de massa e uso do solo
Erosão de solos e sedimentos	Clima, tempestade de água, vento e uso do solo
Qualidade do solo	Processos químicos, biológicos e físicos no solo e uso do solo
Fluxo de corrente	Clima, precipitação, bacia de drenagem e uso do solo
Morfologia de canal	Carga de sedimento, velocidade de fluxo, clima, uso do solo e subsidência
Armazenamento e carga de fluxo de sedimento	Transporte de sedimento, taxa de fluxo, bacia de drenagem e uso do solo
Regime de temperatura de subsuperfície	Clima, fluxo de calor, uso do solo e cobertura vegetal
Deslocamentos crustais	Soerguimento e subsidência, falhamentos e extração de fluidos
Qualidade de água de superfície	Clima, uso do solo, interações água-solo-rocha e velocidade de fluxo
Atividade vulcânica	Movimento de magma próximo à superfície, liberação de gases magmáticos e fluxos de calor
Extensão, estrutura e hidrologia de terras úmidas	Uso do solo, clima, produtividade biológica e vazão de fluxo
Erosão eólica	Clima, uso do solo e cobertura vegetal

A respeito do conceito, o grupo de trabalho chegou ao consenso de que **“geoindicadores são medidas de processos geológicos e fenômenos na superfície terrestre ou próxima a esta que variam significativamente num período inferior a 100 anos e que fornecem informações relevantes para avaliações ambientais”** (Berger & Iams, 1996).

Berger (2002) acrescenta que “os geoindicadores ajudam a orientar e lembrar àqueles responsáveis por monitorar a paisagem e as condições de saúde do ecossistema e meio ambiente sobre a importância de mudanças geológicas rápidas”. Seu uso é recomendado, uma vez que os mesmos identificam um conjunto mínimo de parâmetros que descrevem a dinâmica ambiental de curto prazo e representam todos os parâmetros dos quais os processos dependem (Berger, 1997).

No Brasil, ratificando a afirmação de Coltrinari e McCall (1995) de que “os indicadores geológicos têm sido preteridos como indicadores de mudanças globais a favor de

fatores biológicos, ecológicos e socioeconômicos”, o tema ainda é recente. Embora alguns autores não tenham se valido do termo “Geoindicador” em seus trabalhos, é este o conceito que vem sendo aplicado, pois os geoindicadores caracteristicamente visam avaliar a influência dos processos geológicos sobre o homem e vice-versa nos mais diversos ambientes. A maioria dos trabalhos surgiu após os anos 2000 e são estes alguns exemplos de estudo desenvolvidos no país:

- Coltrinari e McCall (1995) – “Geo-indicadores: Ciências da Terra e Mudanças Ambientais”;
- Coltrinari (2001) – “Mudanças globais e geoindicadores”;
- Rufino (2002) – “Avaliação da qualidade ambiental do município de Tubarão (SC) através do uso de Indicadores Ambientais”;
- Zuquette, Pejon e Collares (2003) – “Land degradation assessment based on environmental geoindicators in the Fortaleza metropolitan region, state of Ceará, Brazil”
- Rechden Filho, R. C. (2005) – “Índice de Qualidade de Praia: o exemplo de Capão da Canoa”;
- Tabajara et al (2005) – “Vulnerabilidade e Classificação das Dunas da Praia de Capão da Canoa, Litoral Norte do Rio Grande do Sul”;
- Lins-de-Barros et al (2005) – “Risco, vulnerabilidade física à erosão costeira e impactos sócio-econômicos na orla urbanizada do município de Maricá, Rio de Janeiro”;
- Lollo e Rhöm (2006) – “Geoindicators for evaluating geological impact on Brazilian urban areas”;
- Canil (2007) – “Indicadores para monitoramento de processos morfodinâmicos: aplicação na bacia do Ribeirão Pirajussara (SP)”;
- Costa et al. (2010) – “Indicadores físico-bióticos de desenvolvimento sustentável do ecoturismo em áreas protegidas brasileiras”
- Sousa, Siegle, e Tessler (2011) – “Environmental and Anthropogenic Indicators for Coastal Risk Assessment at Massaguaçu Beach (SP) Brazil”.
- Muler (2012) – “Avaliação da Vulnerabilidade de praias da ilha de Santa Catarina a perigos costeiros através da aplicação de um Índice Multicritério”;

A título de exemplificação dos trabalhos nacionais, destaca-se o de Oliveira e Souza (2007), que propuseram geoindicadores socioambientais para avaliar os fenômenos biofísicos e os fatores antrópicos contribuintes à vulnerabilidade dos sistemas dunares de Sergipe. A aplicação dos geoindicadores foi realizada sob a forma de listas de controle de campo (*field checklists*) que “[...] consistiram em variáveis que mais contribuem para o risco das dunas e do ordenamento das mesmas conforme os graus distintos de vulnerabilidade pré-estabelecidos”. Como resultado estes autores obtiveram diferentes níveis e natureza de vulnerabilidade para os setores ao norte e ao sul: no primeiro setor o índice de vulnerabilidade foi mais baixo e decorre de elementos da dinâmica costeira; já ao sul, o índice se apresenta mais alto e é característico de pressão antrópica.

## 1.2 Vulnerabilidade

De maneira geral, o termo “vulnerável” é usado para exprimir que algo ou alguém está ou é suscetível de ser ofendido, ferido, tocado. Nas Geociências mais especificamente, ele tem sido bastante usado, sobretudo nos estudos que visam alguma avaliação do estado do meio ambiente, porém comumente vinculado a diferentes significados ou conceitos (Muler, 2012). Isto porque há três linhas principais que norteiam o tema de entendimento acerca do tema, sintetizadas a seguir (Tabela 2) segundo a revisão apresentada por Muler (op. cit):

Tabela 2 - Síntese das três principais linhas de entendimento sobre vulnerabilidade.

“LINHA”	ABORDAGEM
Vulnerabilidade Física	Ligada à suscetibilidade. Importam: as características físicas do meio que aumentam ou diminuem a suscetibilidade ao perigo (Gornitz et al, 1991) <sup>7</sup> ; o grau de exposição e a sensibilidade dos elementos expostos (Cordona, 2003) <sup>7</sup> .
Vulnerabilidade (Resposta) Social	É função da capacidade de lidar ou de se adaptar ao perigo; o estado das comunidades costeiras é que as tornam mais ou menos afetadas por eventos extremos (IOC, 2010) <sup>7</sup> .
Vulnerabilidade Física e Social	Está relacionada à suscetibilidade e à sensibilidade a determinado perigo, mas é também fruto de um contexto social (Cutter, 1996) <sup>7</sup> .

<sup>7</sup> apud Muler (2012).

Para os fins deste trabalho, valer-se-á da abordagem que diz respeito à Vulnerabilidade Física supracitada. Assim, convém aqui retomar o conceito considerando ainda questões como escala e método de análise de vulnerabilidade.

De acordo com Tabajara et al. (2005), a vulnerabilidade costeira representa um **arranjo de atributos** que caracterizam a **fragilidade** de trechos costeiros a desastres e incidência de fenômenos naturais. Visto a generalidade na definição do termo, convém, sempre que possível, caracterizar **quão** frágil (intensidade) e **ao que** (a quais fenômenos/perigos) se é vulnerável. Destaca-se, portanto, a relevância do arranjo de atributos escolhidos, pois, juntos, são estes que sintetizam a vulnerabilidade. Embora possam ser diferentes e representar condições ou parâmetros que, a princípio não se relacionam diretamente, é importante que os atributos sejam escolhidos e analisados sob uma mesma ótica, articulando-se entre si para contribuir para um mesmo fim.

A vulnerabilidade física pode diferir substancialmente quanto à sua natureza, representando diferentes aspectos como: (vulnerabilidade a) erosão, inundações, marés meteorológicas<sup>8</sup>, eventos de ventos extremos, elevação do nível médio do mar, contaminação, derrames de óleo, etc.

Desta forma, a escala espaço-temporal em que os processos são avaliados, é outro fator importante a ser considerado, devendo corresponder ao objetivo da análise. Por exemplo, no caso de uma análise de meso escala, isto é, que envolve a interação de processos de escalas de espaço (nível de ecossistema) e/ou tempo maiores, cita-se Egler (2005) que definiu a vulnerabilidade dos sistemas naturais como “[...] o patamar entre a estabilidade dos processos biofísicos e situações instáveis em que existem perdas substantivas de produtividade primária”.

Sob uma perspectiva de mudanças climáticas, o 3º Relatório do Painel Internacional sobre Mudanças Climáticas, o IPCC 2001, define a vulnerabilidade como “[...] uma extensão na qual um sistema natural ou social é suscetível de suportar os efeitos de mudanças climáticas; ela é uma função da sensibilidade (taxa de resposta às mudanças), da capacidade de adaptação (taxa de ajuste ou regulação) e da taxa de exposição do sistema que está enfrentando o risco climático”. Ou seja, como esclarece Laranjeira *apud* Oliveira e Souza

---

<sup>8</sup> O termo “maré meteorológica” (*storm surge*, em inglês) se refere à sobre-elevação do nível do mar resultante de gradientes de pressão atmosféricos, os quais geram fortes ventos que, juntamente com a arrebentação de ondas altas, acabam por empilhar água em direção à costa. Fonte: <http://www.praia.log.furg.br/MareMeteorologica/MareMeteorologica.html>

(2007), a vulnerabilidade biofísica se dá pelo grau de sensibilidade deste meio e de sua capacidade de resiliência.

Nesse sentido, Tagliani et al. (2010) estudaram a vulnerabilidade da Ilha dos Marinheiros – ilha estuarina ao sul do estado do Rio Grande do Sul, Brasil – frente a um cenário de elevação do nível médio do mar. Os autores reconheceram cinco fatores principais de vulnerabilidade, incluindo variáveis dos meios físico, biótico e socioeconômico, analisaram-nos em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas) e geraram um mapa de vulnerabilidade (Figura 2). Outros exemplos no Brasil que podem ser citados são os trabalhos de: Tagliani (2003), Tabajara et al. (2005), Lins-de-Barros (2005), Nicolodi e Petermann (2010), Muehe (2010), Muehe et al. (2010), Costa et al. (2010).

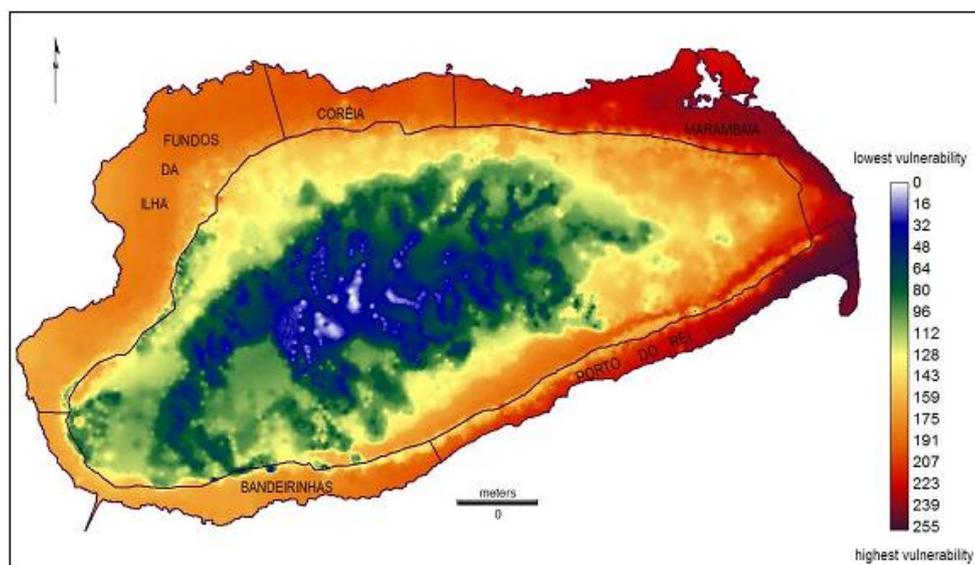


Figura 2 - Mapa de Vulnerabilidade à elevação do NNM.  
Fonte: Tagliani et al. 2010.

Já uma análise de micro escala se justifica pelo entendimento de que o grau de vulnerabilidade é inerente às condições e características locais de um ambiente. Mesmo entre ambientes adjacentes ou próximos não é incomum notar variabilidade morfo e hidrodinâmica. Portanto, a nível micro escalar, os estudos visam à identificação de componentes geológicos, geomorfológicos, morfodinâmicos, climáticos e socioeconômicos locais que possuem relação direta com a vulnerabilidade.

Muler (2012), por exemplo, avaliou a vulnerabilidade a marés de tempestades de três praias da Ilha de Santa Catarina (SC), reunindo em um índice multicritério as seguintes variáveis: o tipo de *backshore* (retropraia), a altitude do *backshore*, a taxa de variação da linha de costa, o grau de exposição às ondas e a população em risco. Como resultados, a autora

encontrou diferentes graus de vulnerabilidade entre as três praias: Praia dos Ingleses com aproximadamente 96% da sua linha de costa associada às classes de vulnerabilidade alta e muito alta; a Praia da Armação teve o setor centro-norte incluído nas classes baixa e muito baixa e o setor centro-sul e o extremo sul apresentaram vulnerabilidades alta e muito alta, totalizando 48% da linha de costa da praia; o arco praiial Barra da Lagoa/Moçambique, devido à presença do Parque Estadual do Rio Vermelho, tem grande parte (73%) da linha de costa e do *backshore* preservados, e apenas 12% da extensão praiial no extremo sul apresentam classes alta e muito alta.

Finalmente, a análise de vulnerabilidade como um índice retoma o conceito de que a “vulnerabilidade representa um arranjo de atributos [...]” (Tabajara, et al., 2005); ou seja, a vulnerabilidade pode ser entendida como um índice formado a partir de **indicadores**, a saber, atributos, fatores, componentes ou parâmetros, que expressem o risco que o meio natural ou social é submetido.

A qualidade dos indicadores e seu o arranjo entre si determinam a validade do Índice, logo, embora os indicadores sejam ferramentas simples, sua definição não o é. Sob este entendimento, delineou-se a proposta deste trabalho, cujos objetivos estão especificados no tópico a seguir.

## **OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Definir metodologia para a definição de geoindicadores de base científica para a avaliação de vulnerabilidade física como suporte à tomada de decisões e planejamento ambiental da costa do Rio Grande do Sul.

### **2.2 Específicos**

- Levantar dados preexistentes referentes às pesquisas de monitoramento ambiental que tenham relação com a vulnerabilidade da costa do Rio Grande do Sul;
- Definir a metodologia de definição de geoindicadores com base nas análises referidas nos tópicos anteriores, e, testá-los;
- Levantar indicadores socioeconômicos preexistentes relevantes ao estudo de vulnerabilidade da costa e agrega-los à análise dos geoindicadores definidos;
- Criar um índice de vulnerabilidade da costa gaúcha contemplando ambos os indicadores apresentados e,
- Representar cartograficamente, em linguagem compreensível ao público comum (cartografia temática), os indicadores testados e o índice de vulnerabilidade da costa do Rio Grande do Sul.

## ZONA COSTEIRA DO RIO GRANDE DO SUL

A zona costeira do estado do RS abrange aproximadamente uma área de 43.000km<sup>2</sup>, na qual estão inseridos 46 municípios<sup>9</sup>. Diferentemente da tendência mundial, os grandes centros urbanos do estado não estão concentrados nesta zona. Nos períodos de veraneio, entretanto, os municípios costeiros sofrem um significativo incremento populacional. Segundo consta no *website*<sup>10</sup> da cidade do Rio Grande, a população residente do Balneário do Cassino é de cerca de 30.000 habitantes, mas a população flutuante ultrapassa 250.000 durante os meses de novembro a março (Gonçalves, et al., 2011).

A linha de costa (LC) do RS se estende a partir da desembocadura do Rio Mampituba até a foz do Arroio Chuí, ao longo de cerca de 620 quilômetros retilíneos com orientação predominantemente no sentido NE-SW: uma das mais extensas e contínuas praias arenosas do mundo (Tomazzelli & Villwock, 1992). A continuidade da costa é interrompida apenas em quatro trechos, a saber: foz do Rio Mampituba, desembocaduras da Lagoa de Tramandaí e do Estuário da Lagoa dos Patos e, a foz do Arroio Chuí. Para fins de Gerenciamento Costeiro (GERCO/RS), a Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler (FEPAM) dividiu o litoral em quatro grandes setores, a saber: Litoral Norte, Litoral Médio Leste e Médio Oeste, Litoral Sul (Figura 3).



Figura 3 - Setorização do Litoral do RS.

Fonte: website da FEPAM.

<sup>9</sup> Segundo a definição dada no Art 3º do Decreto nº 5.300/2004, municípios costeiros são aqueles “[...] que sofrem influência direta dos fenômenos ocorrentes na zona costeira”. Listagem dos municípios costeiros do RS: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geografia/costeira.stm> — Acessado em 10/05/2013).

<sup>10</sup> Disponível em: <http://www.riogrande.rs.gov.br> – Acessado em 10/05/2013

Em termos de Província Geomorfológica, a costa gaúcha é uma Planície Costeira formada por dois sistemas deposicionais principais: (1) um sistema de leques aluviais e (2) outros quatro sistemas transgressivo-regressivos do tipo laguna-barreira justapostos lateralmente (Figura 4). A deposição e o retrabalhamento dos sedimentos sob a forma de barreiras arenosas (Barreiras I, II, III e IV), bem como a preservação destas, ocorreram sob flutuações climáticas e variações do nível médio do mar no Quaternário (Tomazelli, et al., 2007).

O desenvolvimento do sistema deposicional Laguna-Barreira III, associado a um terceiro evento transgressivo-regressivo pleistocênico, foi responsável pela implantação final da Lagoa dos Patos (Tomazelli & Villwock, 2005). Esta laguna se estende ao longo de cerca de 265km na direção NE-SW, sendo delimitada ao norte pelas águas do Rio Guaíba e da Lagoa do Casamento e, ao sul, por um estreito canal que a liga ao Oceano Atlântico. Esta última conexão permite a comunicação de água doce da laguna com aquela salgada do mar, constituindo uma área de estuário, o Estuário da Lagoa dos Patos (ELP), que há séculos é um importante sistema natural para todo o estado em termos ambientais, sociais e econômicos.

A Barreira VI, por sua vez, é a mais recente deste sistema deposicional costeiro e que compreende atualmente a linha de costa, região onde os esforços deste trabalho estão concentrados. Seu desenvolvimento resultou do aumento do nível do mar na última transgressão pós-glacial (transgressão Holocênica, há cerca de 5 ka), e da alta disponibilidade de sedimentos arenosos da plataforma continental interna. De acordo com Tomazelli et al (2007), os sedimentos da Barreira IV são basicamente areias quartzosas, finas a muito finas, e apresentam, em certos locais, elevadas concentrações de minerais pesados.

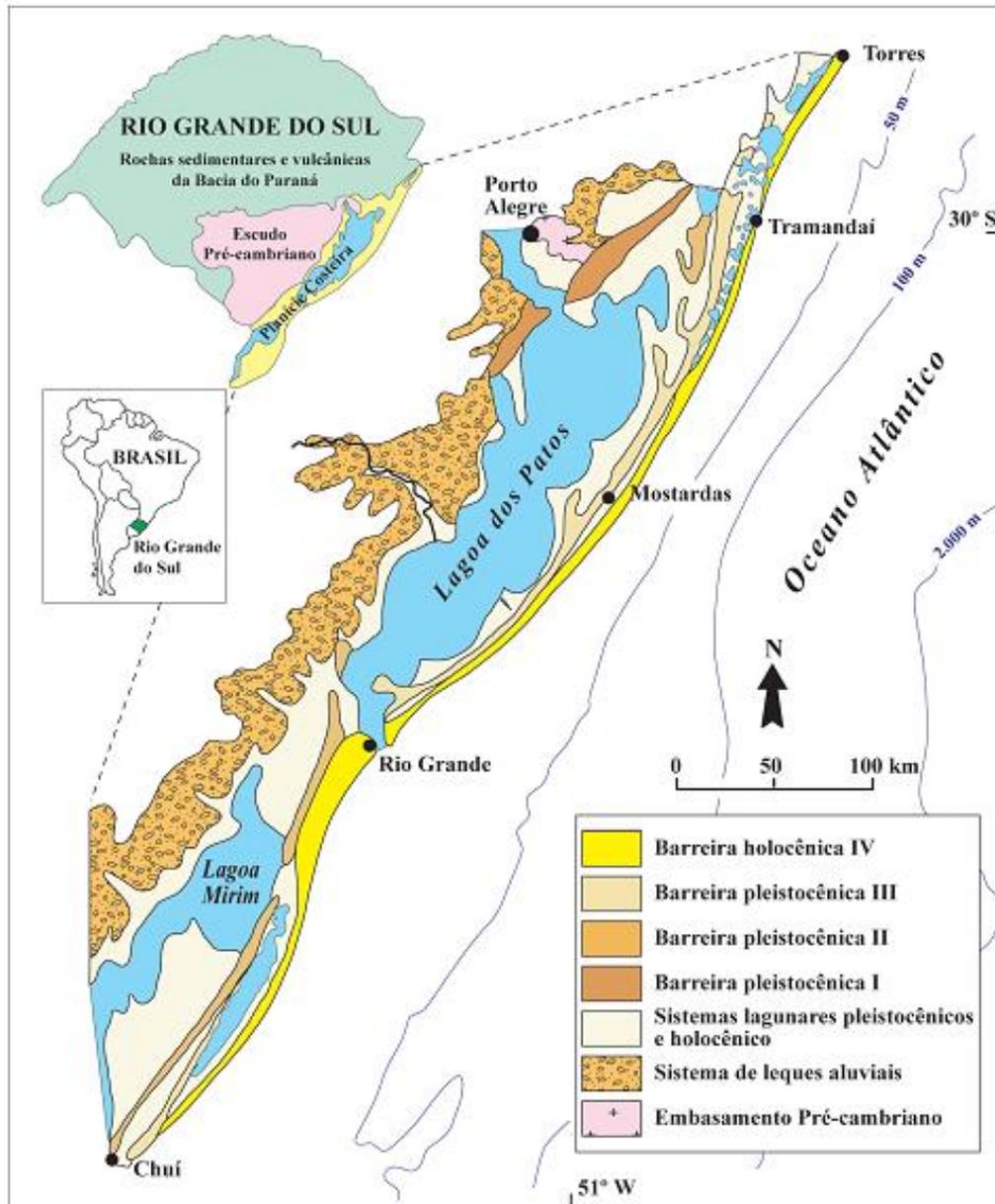


Figura 4 - Localização e mapa geológico simplificado da PCRS.  
Fonte: Tomazelli et al. 2009.

Quanto à sedimentologia e hidrodinâmica da costa sul-riograndense, em uma revisão Toldo Jr. et al (2007) reúnem as principais constatações<sup>11</sup> de pesquisas sobre o litoral gaúcho ao longo de 50 anos:

- A costa consiste em depósitos Quaternários inconsolidados, principalmente de areias finas bem selecionadas, à exceção de um trecho de 60 km do litoral sul que apresenta sedimento bimodal de cascalho biodetrítico;

<sup>11</sup> Os respectivos autores responsáveis pelas constatações listadas com marcadores estão devidamente referenciados no corpo da revisão de Toldo Jr. et al (2007).

- A costa é dominada por ondas do tipo *swell* e vaga (*sea*), estas últimas geradas por ventos locais do quadrante NE. Exceto pela passagem das frentes frias de S e SE, a agitação marítima é caracterizada por ondas de energia moderada a alta com altura significativa de 1,5m e período entre 7 e 9 segundos;
- Regime de micromaré semidiurna com amplitude média de 0,25m. Contudo, tempestades provenientes do quadrante sul induzem “marés meteorológicas” (*storm surges*) que ocasionam sobre-elevação de 1.3 m do mar;
- A corrente de deriva litorânea líquida é em direção ao nordeste, mas há também trechos com componente bidirecional (para SW e NE) governada pela variação dos parâmetros climáticos (sazonalidade);
- Predominam os estágios morfodinâmicos de praia dissipativa e intermediária, mas, a exemplo do trecho do litoral sul que apresenta sedimentos polimodais, há também perfis de praias refletivas;
- 442 km da linha de praia se caracteriza pela retração, 173 km pela progradação e 6 km não apresentam variações significativas.

Finalmente, é nesse contexto de espaço geográfico que o presente trabalho propõe desenvolver um conjunto de geindicadores de vulnerabilidade. Ressalta-se a vantagem que o estado do RS apresenta por já dispor um rol de dados ambientais viabilizados por suas instituições de ensino e órgãos ambientais. Faltando-lhe, apenas, uma abordagem diferente: a tradução destes dados em informações mais acessíveis, compreensíveis e viáveis para utilização na tomada de decisões de programas de gestão costeira, contribuindo, assim, para minimizar o problema da falta de comunicação entre instituições de pesquisa e os órgãos do governo.

## **METODOLOGIA**

Selecionar, sintetizar e integrar variáveis que possam representar de maneira simples, porém eficaz, o estado e as tendências de um determinado meio natural é uma tarefa complexa, sobretudo quanto ao levantamento e análise bibliográficos e à subjetividade que acompanha todo o processo.

Nesta seção serão apresentados os fundamentos teóricos que nortearam o processo de construção, ou de definição metodológica, dos geoindicadores, a saber:

- Considerações gerais e desejáveis quando na seleção de indicadores,
- Diretrizes para a definição de geoindicadores,
- Consulta técnica de opinião com pesquisadores, alunos e usuários da praia para a valoração dos geoindicadores e a elaboração do Índice.
- Por fim, serão apontados os métodos empregados na obtenção e representação dos dados usados na validação dos geoindicadores.

### **4.1 O processo de seleção de indicadores**

Indicadores ambientais representam ou resumem alguns aspectos do estado do meio ambiente, dos recursos naturais e de atividades humanas relacionadas. São medidas de condição, processos, reação ou comportamento que proporcionam informação rápida e confiável de sistemas complexos (Kerr, 1994). O desenvolvimento de um indicador se dá à medida que um parâmetro se enquadra às características esperadas para um bom indicador, deixando o enfoque de ser puramente descritivo para o da avaliação de desempenho ambiental, quantificando o nível de desvio das condições atuais em relação aos padrões legais ou desejáveis (Magalhães Júnior, 2011).

A despeito dos objetivos que determinam a escolha de indicadores, Winograd (1996 apud Rufino 2002) reúne em três grupos básicos critérios de seleção e requerimento para a elaboração de indicadores: confiabilidade dos dados, relação com os problemas e utilidade para o usuário. Sob a mesma ótica, os critérios de elegibilidade definidos pelo GT/RQA-ZC são qualidade e operacionalidade. Na Tabela 3, a seguir, estão relacionadas as características gerais desejáveis que refletem ambos estes critérios.

Tabela 3 - Critérios e respectivas características gerais desejáveis para um bom indicador.

<b>QUALIDADE</b>	<b>Relevância</b>	Relevante às necessidades dos usuários potenciais (gestores, visitantes e comunidade local) e aos <b>objetivos estabelecidos</b> ;
	<b>Representatividade</b>	A informação representando o fenômeno deve ser representativa das condições do todo;
	<b>Sensibilidade</b>	Detectar mudanças nas propriedades monitoradas, informando tendências das propriedades ou impactos;
	<b>Limiares definidos</b>	Valor de referência determinado para que os usuários sejam capazes de avaliar o significado dos valores a eles associados
<b>OPERACIONALIDADE</b>	<b>Disponibilidade de dados</b>	Os dados requeridos devem estar disponíveis ou devem ser facilmente mensuráveis numa escala de tempo compatível para apoiar a gestão, usando instrumentos existentes, programas de monitoramento e ferramentas analíticas disponíveis;
	<b>Credibilidade</b>	Sustentabilidade científica e segurança na informação;
	<b>Compreensível</b>	Refletir propriedades de interesse ao público comum
	<b>Baixo custo</b>	O custo para obtenção de dados, construção e aplicação do indicador deve condizer com os recursos disponíveis, geralmente limitados, para monitoramento ou gestão ambiental.

A respeito dos critérios específicos, que vão de encontro aos objetivos estabelecidos neste trabalho, fica definido que a vulnerabilidade (vulnerabilidade física) ambiental de caráter geológico frente a eventos extremos e com vistas à gestão costeira é o que norteia aqui o desenvolvimento dos indicadores. Por eventos extremos, caso a caso, considera-se:

- Passagem de frentes frias: geram sobre-elevação do nível do mar na costa, potencializando processos erosivos e de inundação;
- Eventos ou períodos de alta pluviosidade: fragmentam e/ou desestabilizam o sistema de dunas costeiras (risco de colapso), ocasionam perda de sedimento e aporte de águas interiores contaminadas para o sistema praial;
- Eventos de ventos extremos: retiram areia do sistema praial em direção ao continente (risco de soterramento de áreas urbanizadas).

#### 4.2 Definindo Geoindicadores

Segundo Berger (1997), os geoindicadores devem contribuir com a resposta de quatro questões básicas:

- O que está acontecendo no ambiente?

- Por que está acontecendo?
- Por que é importante?
- O que se pode fazer acerca disso?

Ou seja, eles descrevem eventos catastróficos ou graduais, colaboram na determinação do que está acontecendo, fornecendo indicativos do que a administração pode fazer para combater estes processos (Berger, op. cit.).

Assim, para além das características gerais esperadas para um bom indicador, o GT-Geoindicadores elencou uma série de características que um geoindicador deve comunicar (Tabela 4). Este modelo de descrição, ou definição, orientou a definição daqueles 27 geoindicadores apresentados pelo grupo em 1995 (Berger & Iams, 1996) e é também a referência do presente trabalho.

Tabela 4 - Tabela síntese de definição de geoindicadores.

<b>Nome</b>	Geoindicador
<b>Descrição breve</b>	Como está relacionado com processos ambientais
<b>Importância</b>	Por que deve ser monitorado?
<b>Natureza da causa</b>	Natural ou antrópica? Se possível, como as causas humanas podem ser diferenciadas das naturais?
<b>Ambiente onde é aplicável</b>	Contexto geral da paisagem
<b>Tipos de locais para monitoramento</b>	Áreas específicas para monitoramento
<b>Escala espacial</b>	Em que escala se deve dar o monitoramento?
<b>Método de medição</b>	Técnicas de campo e laboratório
<b>Frequência de medição</b>	Periodicidade do monitoramento
<b>Limitações de monitoramento e dados</b>	Dificuldades em reunir dados e usar os resultados
<b>Aplicações para o passado e futuro</b>	Em estudos de ambientes antigos e análise previsional
<b>Limiares possíveis</b>	Limites que expressam uma condição favorável ou recomendada (peso 1), aceitável (peso 5) e não recomendada (peso 10), isto é, o máximo a partir do qual podem ocorrer mudanças no ambiente, nocivas ao homem.
<b>Referências essenciais</b>	Manuais práticos e publicações fundamentais
<b>Outras fontes de informação</b>	Programas e organizações
<b>Assuntos relacionados</b>	Outros processos ambientais relacionados ao assunto
<b>Avaliação global</b>	Importância para o monitoramento ambiental e a sustentabilidade

Ressalta-se que não é imprescindível o cumprimento de todas as características apontadas na Tabela 4, porém quanto mais bem descrito e detalhado é o indicador, melhores sua compreensão e aceitação.

Assim, observados os critérios supracitados, a identificação dos parâmetros elegíveis como geoindicadores para a avaliação de vulnerabilidade da costa do Rio Grande do Sul foi baseada na revisão bibliográfica de textos técnico-acadêmico-científicos. Além das experiências concernentes a indicadores ambientais de forma geral, o processo também envolveu o levantamento daquilo que já é sabido e/ou monitorado na costa gaúcha, de modo a garantir que a proposta atendesse tanto ao conceito de geoindicador como às particularidades da dinâmica que interferem na vulnerabilidade física local ou regional da costa sul rio-grandense. Embora a escolha dos indicadores tenha sido arbitrária, ela foi apurada por meio de consulta técnica de opinião que será mais bem explicada no item subsequente.

### **4.3 Consulta Técnica de Opinião**

O desenvolvimento de uma Consulta Técnica de Opinião no âmbito deste trabalho objetivou minimizar as limitações de subjetividade impostas pelo entendimento de um único ou pequeno grupo de especialistas acerca de um assunto. Além de garantir maior confiabilidade e aceitabilidade ao processo de investigação sobre os níveis de importância dos indicadores, a consulta, que contou com a participação de especialistas, permitiu uma melhor apuração dos limiares de referência propostos pela autora.

A consulta foi baseada na técnica Delphi, que presume que julgamentos do grupo são mais válidos do que julgamentos individuais. Essa técnica foi desenvolvida no âmbito do Projeto RAND (1950-1960) por Olaf Helmer, Norman Dalkey e Nicholas Rescher para prever o impacto da tecnologia na guerra (Guerra Fria)<sup>12</sup>. Ela tem sido amplamente usada no mundo e é, inclusive, aquela sugerida pelo Ministério do Meio Ambiente para a elaboração de RQA-ZC e Programas de Monitoramento. Os aspectos fundamentais da técnica que preveem multiplicidade de formação acadêmica, atuação e experiência profissional e naturalidade foram observados no processo de seleção dos participantes, contudo o número amostral (*n*) foi arbitrário.

Para os fins desta, a consulta foi realizada por meio da aplicação, pessoal ou virtualmente, de um questionário a vinte e quatro pessoas assim categorizadas: 6 pesquisadores/profissionais da área de Oceanografia Geológica Costeira (OGC), 6

---

<sup>12</sup> Disponível em: [http://en.wikipedia.org/wiki/Delphi\\_method](http://en.wikipedia.org/wiki/Delphi_method) — Acessado em 15/11/2013

pesquisadores e pós-graduandos das Geociências (áreas correlatas), 6 estudantes e já graduados em Oceanografia, e 6 alunos de áreas diversas e usuários comum da praia. A consulta foi individual, de modo a evitar que a opinião do inquirido fosse influenciada por a de outrem.

O questionário aplicado aos vinte e quatro participantes dispôs de uma parte introdutória com instruções, conceitos e descrições necessários ao entendimento da pesquisa e outra onde o inquirido efetivamente pôde opinar indicando:

1. Seu **grau de conhecimento** a respeito de cada Geoindicador: alto, médio, baixo, leigo;
2. Uma **relevância** atribuída ao Geoindicador: alta, média, baixa, irrelevante;
3. Uma **frequência** em que o geoindicador deve ser medido: anualmente, sazonalmente, mensalmente, semanalmente, e/ou após eventos extremos;
4. Uma **hierarquia** dos geoindicadores (de 1 a 6), isto é, o grau de importância de um em relação ao outro, sendo o “1” o menos importante e o “6” o mais importante.

Ambos os itens 2 e 3, relevância e frequência de medição, foram incluídos na pesquisa para apurar a proposta da autora. Já os itens 1 e 4 foram considerados mais objetivamente para a atribuição de pesos aos geoindicadores:

- Cada hierarquia foi ponderada segundo o índice de conhecimento do respectivo inquirido: 1 – alto; 0,75 – médio; 0,5 – baixo; 0,25 – leigo;
- Calculou-se então a média ponderada (MP) das hierarquias dadas para cada geoindicador (Equação 1):

$$MP_g = \frac{\sum_{i=1}^n H_i \cdot C_i}{\sum_{i=1}^n C_i}$$

Onde:

$g$  = geoindicador

$n$  = que é o número de inquiridos ( $n = 24$ )

$H_i$  = grau dado na hierarquia pelo inquirido  $i$

$C_i$  = índice de conhecimento do inquirido  $i$

- Finalmente, o peso final (PF) foi calculado pela normalização da média (Equação 2):

$$PF_g = \frac{MP_g}{\sum_{g=1}^k MP_g}$$

Onde:

$k$  = número de geoindicadores

#### 4.4 Índice de Vulnerabilidade Física

Como parte do processo de simplificação da informação que retém seu significado essencial, deu-se, então, a elaboração de um índice (Figura 5). Por reunir em si mais informação que um único indicador, um índice pode representar mais concreta e objetivamente uma tendência, estado ou condição analisados. Ele também se caracteriza por não ser estático, isto é, pode ser adaptado para diferentes situações ou ambientes onde se considera que os indicadores requerem diferentes pesos, ou, até mesmo, devem ser excluídos ou substituídos.



Figura 5 - Pirâmide de processamento da informação.  
Fonte: Magalhães Jr., 2011.

Mediante o levantamento do estado do ambiente analisado – de ora em diante representado pelo peso respectivo ao limiar de cada geoindicador ( $W_g$ ) – e a atribuição de pesos pelo processo de ponderação especificado, foi possível agregar todos os geoindicadores em um Índice de Vulnerabilidade (Equação 3):

$$Vulnerabilidade = \sum_{g=1}^k PF_g \cdot W_g$$

Onde:

$W_g$  = peso respectivo ao limiar do geoindicador  $g$  no ambiente ( $W_g = 1; 5; 10$ ).

Quanto aos limiares, convém reforçar que estes são determinados no processo de definição dos geoindicadores; eles expressam que limites são aceitáveis ou não para a realidade local do ambiente estudado e, portanto, podem ser adaptados caso a caso.

Para melhor visualizar a contribuição de cada geoindicador no ambiente, o computo da Equação 3 foi estruturado conforme a tabela conceitual a seguir (Tabela 5):

Tabela 5 - Estrutura conceitual para o computo do Índice de Vulnerabilidade Física.

<i>Geoindicador</i>	<i>PF</i>	<i>Atributo</i>	<i>W<sub>g</sub></i>	<i>PF * W<sub>g</sub></i>	<i>Nota</i>
<i>Geoindicador A</i>	<i>x</i>	<i>Não recomendado</i>	<i>10</i>	<i>10x</i>	.....
		<i>Aceitável</i>	<i>5</i>	<i>5x</i>	
		<i>Muito Bom</i>	<i>1</i>	<i>x</i>	
<i>Geoindicador B</i>	<i>y</i>	<i>Não seguro</i>	<i>10</i>	<i>10y</i>	.....
		<i>Atenção</i>	<i>5</i>	<i>5y</i>	
		<i>Seguro</i>	<i>1</i>	<i>y</i>	
	$\sum = 1$			$\sum_{máx} = 10$	$\sum = \dots\dots$

E, por fim, tendo o somatório do desempenho geral dos geoindicadores (célula em amarelo na tabela acima), o ambiente analisado foi classificado em ordem crescente de Vulnerabilidade Física (Figura 6):

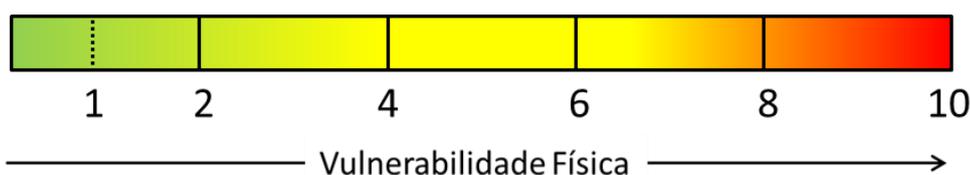


Figura 6 - Escala de Vulnerabilidade Física.

#### 4.5 Dados e cenários para aplicação dos indicadores

A caracterização do estado do ambiente para validação dos indicadores propostos e também do Índice foi baseada nos dados e resultados de trabalhos acadêmico-científicos realizados para o litoral do RS pelas instituições de ensino – com destaque para o Instituto Oceanográfico da Universidade Federal do Rio Grande (IO-FURG) e o Centro de Estudo de Geologia Costeira e Oceânica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (CECO-UFRGS) – e nas informações obtidas junto à Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler (FEPAM), ao Núcleo de Educação e Monitoramento Ambiental (NEMA) e ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

O fato deste trabalho não propor como objetivo em si a obtenção de dados novos, mas de se valer dos muitos já levantados e guardados nos bancos de dados desses centros de estudos, não só viabiliza a proposição de indicadores – que tem por desejáveis características operacionais a disponibilidade de dados críveis e/ou obtíveis a um baixo custo – mas também amplia, ou reinventa o valor de dados “já discutidos”. Sabe-se que a coleta de dados, em campo principalmente, demanda tempo, esforço, equipe e dinheiro, portanto explorar mais

sob novas abordagens o que já se tem valoriza também o trabalho já realizado por pesquisadores e instituições engajados em conhecer melhor o meio ambiente costeiro.

Excepcionalmente, foram adquiridos dados referentes à ocorrência dos sangradouros por levantamento remoto – análise das imagens históricas disponíveis no software Google Earth – e *in situ* – contagem de sangradouros por quilômetro percorrido em uma saída de campo realizada entre os dias 09 e 12 de Abril de 2013 pela equipe do Laboratório de Oceanografia Geológica da FURG (LOG-IO-FURG).

A delimitação dos cenários de estudo foi, primeiramente, restrita àqueles que dispõem de informação (dados de monitoramento) quanto ao indicador definido e também condicionada à relevância da mesma. A identificação dos cenários envolvidos, então, por ser dependente do próprio processo de definição dos indicadores, é especificada junto aos Resultados e Discussão para cada indicador. Porém, sempre que possível, buscou-se que os cenários coincidisse, ora tendo aspecto regional, ora local.

Para a elaboração da cartografia temática dos geoindicadores e índice aplicados foi utilizada a base vetorial da FEPAM<sup>13</sup>, tendo como sistema de referência do projeto o SIRGAS 2000 UTM 22 Sul<sup>14</sup>. Foram construídos *shapefiles* de pontos, onde foram atribuídas as coordenadas de X e Y para representar os locais definidos na aplicação. As representações cartográficas foram elaboradas em ambiente ArcGIS 10 (ESRI).

---

<sup>13</sup> Disponível em [http://www.fepam.rs.gov.br/biblioteca/geo/bases\\_geo.as](http://www.fepam.rs.gov.br/biblioteca/geo/bases_geo.as)

<sup>14</sup> Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/sirgas>

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Definição dos Geoindicadores

Buscando atender aos critérios de qualidade e operacionalidade desejáveis a quaisquer indicadores ambientais e, mais especificamente, aos conceitos de geoindicadores e de vulnerabilidade física, os aspectos e feições escolhidos para serem tomados na forma de geoindicadores neste trabalho foram:

- Sistema de Dunas Frontais;
- Posição da Linha de Costa;
- Mobilidade Praial;
- Sangradouros;
- E, a Qualidade Sanitária do corpo d'água.

Isto porque são, basicamente, as características mais notáveis ou que mais parecem interferir direta e objetivamente na relação do usuário com a praia e também na dinâmica da costa gaúcha.

#### 5.1.1. Altura e Estado Morfoecológico das dunas frontais

As dunas desempenham uma função importante na estabilização da costa ao prover, acumular e receber sedimento transportado pelo vento de praias adjacentes. Seeliger (1992) afirma que as dunas frontais são importantes à proteção costeira e conservação da vida silvestre, e sugere que cada país desenvolva um plano de proteção e uso segundo as características e necessidades locais. No Brasil, a vegetação fixadora das dunas é protegida pelo Código Florestal (Lei nº 4.771/65) e as dunas são áreas de preservação permanente (Resolução Conama 303/02), e devem, portanto, ficar livres de qualquer desenvolvimento e degradação.

Segundo Seeliger (*op. cit*), a costa do Rio Grande do Sul abrange parte de um dos mais longos e contínuos cordões de dunas frontais do mundo: aproximadamente 700km desde o Cabo de Santa Marta (Brasil) até La Coronilla (Uruguai). No estado, o ecossistema dunar é frequentemente objeto de pesquisa e monitoramento, onde também são desenvolvidas atividades de educação ambiental. Destaca-se no estado a iniciativa do Núcleo de Educação e Monitoramento Ambiental (NEMA) que em 1986 desenvolveu um plano piloto para a recuperação de um cordão de dunas frontais em uma área ao sul do Balneário Cassino; o sucesso deste manejo e também a preocupação com a invasão de areia na zona urbana

levaram à criação do Projeto Dunas Costeiras em 1989. O projeto não se restringe apenas ao manejo em si, mas também busca capacitar pessoal, envolver-se na definição de políticas e estratégias de conservação, e envolver, informar e sensibilizar a comunidade, que são agentes fundamentais para a perpetuação da conservação do ambiente.

Na esfera acadêmica, são referência os trabalhos de: Seeliger (1992), Hesp (2002), Tabajara et al. (2004; 2005), Toldo Jr. et al. (2006), Calliari et al. (2005), Tomazelli et al. (2008), Tabajara & Weschenfelder (2011). Uma abordagem mais sistemática de avaliação do ecossistema, semelhante ao conceito dos geoindicadores, foi desenvolvida nos trabalhos de Rechden Filho (2005) que, para compor seu Índice de Qualidade de Praia, incluiu no seu rol o indicador “Plano de Manejo de Dunas”, um indicador do tipo pressão-estado-resposta avaliado qualitativamente (Figura 7); e em outros mais (Tabajara, et al., 2005; Portz, 2008; Franchini, 2010; Tabajara, et al., 2012) adaptados da *Checklist* de Davies et al. (1995) que avalia separadamente os parâmetros de quatro seções do sistema costeiro – Morfologia das Dunas (A), Condição da Praia (B), Características dos 200m adjacentes ao mar (C) e Pressão de Uso (D) – atribuindo valores de 0 a 4, que variam na proporção direta da fragilidade do sistema, caracterizando, assim, sua vulnerabilidade (Figura 8).

<b>Manejo de dunas</b>		<b>Notas</b>		<b>Pesos</b>	<b>Resultados</b>
Responsável técnico		não possui 0	possui 1	0,3	0,3
Tempo de duração		<1 ano 0	>1ano 1	0,15	0
Calçadão	existe	influencia 0	não influencia a morfodinâmica 1	0,2	0
	não existe	-	1		
Mão de obra, quantidade e disponibilidade		não atende 0	atende 1	0,05	0
Envolvimento da população		não existe 0	existe 1	0,1	0
Causas da erosão		Antrópico 0	Natural 1	0,2	0
				$\Sigma=1$	$\Sigma=$
					0,30

Figura 7 - Sub-indicadores do "Plano de Manejo de Dunas".  
Fonte: Rechden Filho (2005).

**Atlântida Sul** \_\_\_\_\_ (norte para o sul). **Data** \_\_\_\_\_

Seção A – Morfologia da duna					
	0	1	2	3	4
1 Área superficial (m <sup>2</sup> )	>10000 []	>7500 []	>5000 []	>2500 []	<2500 []
2 Largura da duna (m)	> 50 []	> 40 []	> 30 []	>20 []	> 10 []
3 Altura máxima da duna (m)	> 5 []	> 4 []	> 3 []	> 2 []	< 1 []
4 Processo de escarpamento	baixo []		moderado []		alto []
5 Estágios Evolutivos (Hesp, 1988)	1 []	2 []	3 []	4 []	5 []
6 Declividade na face frontal marinha	suave []		moderada []		acentuada []
SCORE TOTAL/ Percentagem					

Figura 8 - "Seção A" da Planilha utilizada para análises de *checklist*.

Fonte: Portz (2008)

A avaliação da pressão humana bem como a resposta a esta – as ações política-públicas para preservação, conservação, recuperação e mitigação dos ecossistemas – é bastante relevante, mas considera essencialmente o fator “homem” como cerne do impacto e da solução. Neste sentido, a formulação de geoindicadores que representem o estado do ambiente dunar acaba por considerar o ajuste natural e dinâmico dos processos ambientais.

Essa abordagem não é novidade: Berger inclui no seu rol de 27 geoindicadores um que diz respeito justamente ao sistema dunar, Morfologia e Atividade de Dunas. Assim como ocorre para os demais geoindicadores por ele propostos, sua definição é genérica, incluindo as mais diferentes formações dunares e nos vários ambientes em que ocorrem estes depósitos eólicos. Podendo, ou devendo, portanto, ser adaptada à realidade local e aos objetivos do trabalho, monitoramento, avaliação.

Objetivando, então, a avaliação da vulnerabilidade física do ambiente costeiro, ou seja, as condições que induzem a erosão e a degradação do sistema dunar (Davies, et al., 1995), constituindo um perigo ao qual o ser humano é ou está exposto, a Altura e o Estado Morfoecológico das dunas frontais foram aqui definidos na forma de geoindicador (Tabela 6).

Sobre as dunas frontais, elas são cordões paralelos à linha de costa na parte superior do pós-praia, formados pela deposição eólica de areia sobre a vegetação, ou alguma outra barreira; são feições que podem ocorrer em diferentes ambientes, como praias abertas ou enseadas, lagoas ou estuários, e em quase todos os climas, do tropical ao ártico (Hesp, 2002). Sua ocorrência depende da disponibilidade de sedimento, de processos alogênicos (ventos e ondas) que atuam no transporte do grão, de obstáculos para forçar a deposição da areia transportada e vegetação para apoiar e fixar o crescimento dos montículos de areia.

Elas desempenham funções ambientais importantes: na proteção de áreas adjacentes contra os efeitos de marés altas, ventos, ondas de tempestade e invasão de areia inconsolidada; como depósito de areia para substituir a areia levada por agentes erosivos; para

garantir a estabilidade em longo prazo da frente da praia; exercendo uma barreira de proteção, pela pressão de água doce que armazenam, contra a penetração de água salgada no nível freático (Clark apud Carvalho, Silva e Crivellario 2008).

Seeliger (1992) ressalta que as dunas frontais, como um ecossistema, apresentam bastantes características em comum mesmo em diferentes costas do mundo:

- A granulometria do sedimento é similar, grãos pequenos e bem selecionados, a despeito da sua composição, pois esta depende da mineralogia da rocha fonte.
- A areia que as compõem provém da praia e é enriquecida com nutrientes e matéria orgânica;
- A permeabilidade do substrato permite drenagem e lixiviação, com tendência a formar sistemas áridos;
- A proximidade do mar induz alta umidade do ar, diminuindo extremos climáticos;
- Retrabalhamento uniforme da morfologia devido a variações recentes do nível do mar.

E essas similaridades favorecem a formação de habitats padrão baseados em elementos geomorfológicos, solo e tipos de vegetação praticamente universais. Quanto à morfologia, Hesp (2002) afirma que as dunas frontais variam de terraços planos a cordões convexos, e são geralmente classificadas em dois tipos, dunas incipientes ou estabelecidas, cada qual pode variar bastante ecológica e morfologicamente.

Como o nome indica, as dunas do tipo incipientes são dunas novas de até um metro de elevação e com baixa diversidade de espécies. Elas se formam pela deposição de areia em algum obstáculo, como moitas de vegetação, plantas individuais, tronco, etc., e podem ser efêmeras, pois são facilmente destruídas por eventuais ondas de tempestade, eventos de sobrelevação do nível do mar ou de erosão moderada (Seeliger et al., 2004; Carvalho et al., 2008). Seu desenvolvimento se dá a partir de comunidade de plantas pioneiras, cujo tipo de espécies determina seu desenvolvimento morfológico. Igualmente importantes são a densidade, distribuição, altura e cobertura vegetal, a velocidade do vento e as taxas do transporte sedimentar (Hesp, 2002).

A partir do desenvolvimento das dunas incipientes, então, formam-se as “dunas estabelecidas” que, comumente, distinguem-se das primeiras pelo crescimento de plantas intermediárias, às vezes lenhosas, mas, principalmente, por apresentarem maiores complexidade morfológica, altura, largura, idade e posição geográfica. Para seu desenvolvimento e evolução, somam-se àqueles já citados para as dunas incipientes – vegetação, vento e suprimento sedimentar – outros fatores como: taxa de ocorrência de

inundações, taxas de acresção e erosão, eventos de tempestade, incidência de sobrelavagem (*overwash*), direção do vento, estágio morfodinâmico praiial, variações do nível do mar (ou respectivo corpo d'água associado) e o grau de uso e impacto antrópico. Quanto mais varia cada um destes entre um trecho e outro, maior a variação morfológica do cordão ao longo da costa (*op. cit.*).

Neste sentido, destaca-se o papel da vegetação que sendo essencial tanto no estágio inicial, por favorecer a deposição de areia, como no desenvolvimento subsequente, estabilizando sua superfície, ela ainda apresenta característica variação espacial e sazonal. Por exemplo, Tabajara, Dillenburg e Barboza (2005) relatam a mudança no padrão de cobertura vegetal das dunas próximo a sangradouros em Atlântida Sul, onde a gramínea *Panicum racemosum* é substituída por outras espécies que toleram melhor a umidade como *Spartina ciliata* e *Paspalum vaginatum*. Quanto à sazonalidade, segundo os mesmos, o início da primavera é marcado por alta dispersão de areia, rebaixamento da crista da duna, migração em direção ao continente da face de deslizamento da duna e máxima atividade de rupturas de deflação (*blowouts*); a partir de Novembro, a formação de uma barra arenosa de acresção na antepraia disponibiliza sedimentos e aumenta a taxa de crescimento das dunas frontais.

A cobertura vegetal também conduz o desenvolvimento da forma da duna: à medida que a vegetação cresce a duna ganha altura e volume (Carvalho, et al., 2008). Van Dijk et al (1999) demonstraram que quanto maior a altura da planta, maior a altura e menor a largura da duna frontal. Vegetação e forma, então, implicam uma na outra. É relevante notar isso, pois o equilíbrio deste ecossistema influencia diretamente a dinâmica de outros processos costeiros, coma na acumulação de areia, nas taxas de erosão/acresção e na configuração do perfil litorâneo (Oliveira & Souza, 2007), e também a relação do homem com estes.

As dunas frontais são importante barreira natural de proteção da costa frente ao ataque de ondas (de tempestade) e enchentes marinhas. Neste caso, aquelas bem vegetadas, as quais se presumem serem já estabelecidas e fixas, e as de maior altura hão de conferir maior proteção aos ambientes que ficam atrás destas, continente adentro. Contrariamente, as dunas vegetadas, mas ainda de pequena altura, não são suficientes para conter a invasão da água e evitar episódios de inundação retrobarreira. Já aquelas que são relativamente altas, mas não fixadas pela vegetação, são facilmente escarpadas e desestabilizadas com o risco de desabamento. Outro problema decorrente da presença de dunas não fixadas por vegetação é sua migração para dentro do continente, “invadindo” setores já urbanizados, e ameaçam cobrir ruas, calçadas e casas (Figura 9).



Figura 9 - Foto do avanço de areia sobre as propriedades de São José do Norte, RS.  
Fonte: Calliari et al. (2010).

Para além da relevância já discorrida, a avaliação da altura das dunas frontais e do seu estado morfoecológico, que representa a forma e o grau de cobertura vegetal, na forma de indicadores é cabível também pelas vantagens operacionais. Isto é, são dados fáceis e baratos de serem levantados em campo: para a altura, uma régua topográfica; para o estado morfoecológico, apenas uma descrição, ou classificação, visual guiada pelos estágios evolutivos de Hesp (1988); e, nos dois casos, georreferenciamento do local com auxílio de um GPS.

A seguir, a Tabela 6 que sistematiza então Altura e Estado Morfoecológico como geoindicadores.

Tabela 6 - Geoindicador: altura e estado morfoecológico das dunas frontais.

Nome	Dunas frontais: Altura e Estado Morfoecológico
<b>Descrição breve</b>	<p>Dunas frontais são definidas como cordões paralelos à linha de costa, formados na parte superior do pós-praia por deposição eólica de areia sobre alguma barreira, geralmente representada pela vegetação. Embora haja uma grande variedade de classificações, dois tipos são os principais: dunas incipientes e dunas estabelecidas, podendo ambos esses tipos apresentar variações ecológicas e morfológicas (Hesp, 2002).</p> <p>São feições que ocorrem principalmente em praias dissipativas dominada por ondas (Carter, et al., 1990). Elas podem se formar em qualquer costa desde que o ambiente apresente os fatores favoráveis, e determinantes, para sua formação: competência e intensidade dos ventos, baixa precipitação, suprimento sedimentar, obstáculos (moitas, planta individuais, troncos, destroços, etc) que fixem a sedimentação eólica, e capacidade de estabilização da cobertura vegetal. Nesse sentido, a vegetação exerce um importante papel, pois ela determina o desenvolvimento morfológico da duna: quanto maior a altura da planta, maior a altura da duna e menor seu comprimento (Van Dijk, et al., 1999).</p>
<b>Importância</b>	<p>As dunas são áreas de preservação permanente, segundo institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (Lei 7661 / 16 de maio de 1988) e o Decreto nº 5300 de 2004.</p>

	<p>O equilíbrio do sistema dunar influencia diretamente os processos deposicionais e erosivos da praia, exercendo função protetora da costa frente aos ataques das ondas e enchentes marinhas. O desmonte de dunas, por conta da ocupação desordenada na zona de praia, facilita a invasão das águas do mar, já que, a destruição das feições dunares (barreiras naturais) interfere no processo de acumulação das areias, acarretando efeitos de caráter erosivo que contribuem para alteração no perfil litorâneo (Oliveira &amp; Souza, 2007).</p> <p>Ainda, as dunas funcionam como reguladoras das águas subterrâneas, são habitat para diferentes espécies da fauna e da flora, além de serem elementos formadores de paisagem.</p>
<b>Natureza da causa</b>	Sua ocorrência é normalmente natural, mas pode ser manipulada também pelo homem.
<b>Ambiente onde é aplicável</b>	Qualquer costa que apresente as condições favoráveis para o desenvolvimento de dunas: praias, baías, estuários e lagoas costeiras.
<b>Locais para monitoramento</b>	Logo após o pós-praia
<b>Escala espacial</b>	Local ou regional
<b>Método de medição</b>	<p><b>Quantitativo:</b>  <b>Altura</b> – medição realizada com régua topográfica a partir da base da duna em pontos georreferenciados;</p> <p><b>Qualitativo:</b>  <b>Estado Morfoecológico</b> – classificação visual do estado da duna com base na densidade de cobertura vegetal e estado morfológico (Hesp, 1988).</p>
<b>Frequência de medição</b>	Sazonalmente, devido às variações do regime pluviométrico e dos ventos predominantes (intensidade, frequência e direção), fatores estes que interferem na cobertura vegetal e suprimento sedimentar.
<b>Limitações de monitoramento e dados</b>	Embora não limite o monitoramento, destaca-se o problema da subjetividade quando na avaliação qualitativa do estado morfoecológico das dunas. O ideal é que essa classificação seja realizada sempre por uma mesma pessoa/equipe.
<b>Aplicações para o passado e futuro</b>	<p>A vulnerabilidade das dunas frontais, isto é, o conjunto de condições que induzem a duna à erosão e a degradação do ecossistema (Davies, et al., 1995), pode ser produzida por uma combinação de fatores de diferentes escalas espaço-temporais, por exemplo: subida do nível do mar, aumento da frequência e magnitude das tempestades, balanço negativo de sedimentos e atividades humanas.</p> <p>As práticas de monitoramento e manejo de dunas se mostram mais eficientes do que aquelas estruturais para controlar os problemas de vulnerabilidade. Um ordenamento urbano que observa planos de manejo de dunas só tende a minimizar os conflitos de uso na ocupação do espaço e os riscos naturais inerentes aos ambientes costeiros.</p>
<b>Limiar possível / Atributo do Indicador</b>	<p><b>Altura das dunas frontais (h):</b>  <b>Alta:</b> <math>h \geq 2</math> m  <b>Moderada:</b> <math>1 \geq h &gt; 2</math> m</p>

---

**Baixa (ou duna ausente):** < 1 m

**Estado Morfoecológico\*:**

**Bem estabelecido** – dunas com topografia simples, lateralmente contínuas ou pouco interrompidas, com cobertura vegetal de 75–100%;

**Estável-erosivo** – maior variação lateral de densidade e menor cobertura vegetal (20-75%); topografia caracterizada por uma morfologia mais fragmentada, irregular, assimétrica, do tipo *hummock*, que favorece *blowouts*;

**Erosivo** – grande parte das dunas frontais foi removida por ação dos ventos e/ou ondas, permanecendo montículos remanescentes e segmentos dos cordões;

A fim de contemplar os casos do litoral gaúcho, planícies arenosas são incluídas neste último estágio.

\*Descrição adaptada da classificação de Hesp (1988), e equivale aos estágios 1 e 2, 3 e 4, e 5, respectivamente.

---

Lei 7661 de 16 de maio de 1988;

Decreto nº 5300 de 2004;

Calliari, L. J., P. S. Pereira, A. O. de Oliveira, e S. A. Figueiredo.

“Variabilidade das Dunas Frontais no Litoral Norte e Médio do Rio Grande do Sul, Brasil.” *GRAVEL*, Novembro de 2005: 15-30.

Carter, R. W. G., K. F. Nordstrom, e N. P. Psuty. “The study of coastal dunes.” In: *Coastal dunes - Form and Process*, por K. F. Nordstrom, N. P. Psuty e R. W. G. Carter, 1 - 16. Chichester: J. Wiley, 1990.

Carvalho, R. V., K. G. da Silva, e C. V. L. Crivellario. *Gestão Ambiental das Dunas Costeiras: manejo e conservação*. Rio Grande: NEMA, 2008.

Davies, P., A. T. Williams, e R. H. F. Curr. “Decision making in dune management: theory and practice.” *Journal of Coastal Conservation*, n. 1 (1995): 87-96.

Hesp, P. “Morphology, dynamics and internal stratification of some established foredunes in Southeast Australia.” *Sedimentary Geology*, 1988: 17-41.

Hesp, P. “Foredunes and blowouts: initiation, geomorphology and dynamics.” *Geomorphology*, 2002: 248-265.

Seeliger, U. “Coastal Foredunes of southern Brazil: physiography, habitats, and vegetation.” In: *Coastal plant communities of Latin America*, por U. Seliger, 367-381. New York: Academic Press, 1992.

Tabajara, L. L., N. L. S., Dillenburg, S. R. Gruber, e R. Aquino. “Vulnerabilidade e Classificação das Dunas da Praia de Capão da Canoa, Litoral Norte do Rio Grande do Sul.” *Gravel*, 2005: 71-84.

Van Dijk, P.M., Arens, S.M., Van Boxel, J.H. “Aeolian processes across transverse dunes II: Modelling the sediment transport and profile development.” *Earth Surface Processes*

---

**Referências  
essenciais**

	and Landforms, 1999: 319-333.
<b>Assuntos relacionados</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Suprimento sedimentar, natureza e granulometria do sedimento, largura da plataforma, estágio praial, energia das ondas, fluxo de energia na zona de surf, transporte longitudinal;</li> <li>• Erosão/acresção; escarpamento da duna frontal;</li> <li>• Orientação da costa em relação ao vento predominante; direção, intensidade e frequência do vento predominante, efetividade do transporte eólico;</li> <li>• Pressão antrópica: especulação imobiliária, abertura de caminhos (pisoteamento de vegetação), exploração mineral, estruturas de engenharia, etc.;</li> <li>• Áreas de Preservação Permanente, Unidades de Conservação, Programas de Monitoramento de Dunas: Gerenciamento Costeiro.</li> </ul>
<b>Avaliação global</b>	Estudar e monitorar os parâmetros “Altura” e “Estado Morfoecológico” das dunas frontais sob a lógica de Geoindicadores agrega informações relevantes e acessíveis (facilmente mensuradas e baratas) tanto aos gestores de áreas que já contam com algum tipo de Programa de Monitoramento de Dunas quanto àqueles que desconhecem o grau de vulnerabilidade e importância dessas feições costeiras.

A aplicação e a validação dos geoindicadores dependem da disponibilidade de dados certos e consistentes e, preferencialmente, da disponibilidade de mais de um dado, isto é, de diferentes levantamentos em um mesmo local. Como foi citado ao longo do texto, há sim trabalhos direcionados ao estudo do ecossistema de dunas frontais no estado – trabalhos de manejo e recuperação, inclusive – porém dados de altura e do estado morfoecológico nem sempre estão patentes no documento publicado; lacuna esta compreensível, pois dados assim frequentemente são usados para compor a análise e não precisam necessária e individualmente vir expostos. Outra dificuldade está no fato de que são poucos os dados que coincidem para um mesmo local, prejudicando qualquer tentativa de se representar uma tendência do ambiente ao longo do tempo.

Tendo em vista que a ideia inicial era de se valer de dados disponíveis na bibliografia, o teste dos geoindicadores de dunas frontais, portanto, limitou-se a uma análise mais superficial com a intenção de, ao menos, mostrar um cenário de parte do Litoral Norte e Médio (Tabela 7).

Tabela 7 – Classificação da Altura e do Estado Morfoecológico das praias dos litorais Norte e Médio.

	Descrição do Local	Altura (m)	Peso de h	Estado Morfoecológico	Peso E.M.	Fonte
Litoral Norte	Praia de Curumim (Capão da Canoa)	3,1	1	Bem estabelecido	1	▲
		2,4	1	Bem estabelecido	1	△
	Capão da Canoa	1,4	5	Bem estabelecido	1	▲
		2,9	1	Bem estabelecido	1	△
	Atlântida Sul	2,7	1	Bem estabelecido	1	▲
		3,5	1	Bem estabelecido	1	△
	Imbé	5,3	1	Bem estabelecido	1	△
	Tramandaí	4,1	1	Bem estabelecido	1	△
Cidreira	> 3	1	Estável-erosivo	5	△	
Litoral Médio	Dunas Altas	7,6	1	Bem estabelecido	1	▲
		> 6	1	Bem estabelecido	1	△
	2km a SW do Farol da Solidão	1	5	-	-	△
	Proximidades de São Simão	3,4	1	Bem estabelecido	1	△
	Balneário de Mostardas	1,9	5	Bem estabelecido	1	△
	3km a NE do F. de Mostardas	2,1	1	Bem estabelecido	1	△
	7km a SW do F. de Mostardas	Ausente	10	Planície Arenosa	10	△
	Ao sul de Lagamarzinho	Ausente	10	Planície Arenosa	10	△
	Farol da Conceição	1,55	5	Estável-erosivo	5	△
	Farol do Estreito	1	5	Estável-erosivo	5	△
	Praia do Mar Grosso (SJN)	2,3	1	Bem estabelecido	1	△

Fontes: ▲ Tabajara et al. (2005); △ Calliari et al. (2005)

A variabilidade dos aspectos das dunas frontais evidencia que, embora a costa do Rio Grande Sul apresente uma “orientação geral nordeste-sudoeste com praias arenosas retilíneas e contínuas predominantemente dominadas por ondas” (Calliari, et al. 2005), a costa não é de toda homogênea. Inflexões na orientação da linha de costa mudam substancialmente a forma como os processos costeiros acontecem e interagem entre si; ademais, sempre há feições e fatores locais naturais e sociais que também afetam diretamente a dinâmica costeira local.

De acordo com Calliari et al. (op. cit), as variações na altura das dunas frontais ao longo dos litorais norte e médio resultam, principalmente, da orientação da linha de costa em relação ao vento predominante, no caso, o vento do quadrante nordeste. De modo que o potencial de formação de dunas frontais é maior quando o transporte do vento tem direção oblíqua à costa (oblíqua positivamente) e menor quando o transporte é paralelo ou oblíquo ao oceano (oblíquo negativamente). Sendo assim, tem-se de forma geral que:

- A orientação positivamente oblíqua ao vento nordeste ocorre desde Torres e aumenta em direção ao sul, até Palmares do Sul, onde atinge seu máximo de inflexão positiva; essa orientação favorável somada à maior frequência e potencial

de transporte do vento predominante propicia a formação de dunas de 6 a 8 metros de altura na região de Dunas Altas e Farol de Berta; Sob o ponto de vista de controle morfodinâmico, Tabajara et al. (2005) acrescentam que esse ganho de altura das dunas de norte para o sul acompanha o padrão de aumento da energia de onda e diminuição da granulometria do sedimento.

- Mais adiante a orientação da costa muda, passa a ser paralela ao vento NE, e a altura das dunas diminui até atingir 1 metro; logo após a região do Farol de Mostardas, onde a orientação da costa é paralela a negativamente oblíqua, inexistem formações de dunas frontais e o que se observa são planícies arenosas;
- Na região do Estreito adiante se tem algumas formações de menos de 0,5 metros, mas à medida que segue ao sul, a orientação da costa volta a ser positivamente oblíqua e se tem novamente dunas frontais de 2 a 2,5 metros em São José do Norte.

Sendo assim, tem-se para o litoral Norte um cenário geral em que as dunas têm altura satisfatória, ou suficiente, para proteger a costa e a comunidade atrás desta em eventos de inundação marinha e embates de ondas de tempestade. Os dados recorrentes para as praias do Capão da Canoa e de Atlântida Sul corroboram esse cenário e indicam ser característica a ocorrência de dunas frontais altas nesta porção da costa gaúcha. É interessante e positivo concluir isto a respeito das dunas no setor onde se concentra a maior parte da população costeira do estado, pois quanto maior o número de pessoas expostas, mais sentidos são os impactos dos agentes naturais.

Em relação à cobertura vegetal e forma das dunas, conforme relataram Calliari et al. (2005) e foi mostrado na tabela de classificação anterior, predominam dunas frontais bem estabelecidas (Figura 10A) e, no mais, ocorrem feições estáveis, isto é, dunas ainda com cobertura vegetal, embora com menor densidade, e maior variação lateral do cordões, podendo ocorrer a formação de corredores de deflação (*blowouts*). A exemplo disto se destaca o caso da praia de Cidreira (Figura 10B) que, embora apresente dunas frontais com mais de 3m de altura, sua forma é mais erosiva, do tipo *hummock*, e ocorrem *blowouts*, que, de acordo com Tomazelli et al. (2008), ali são determinantes para a manutenção dos campos de dunas transgressivos de Cidreira, pois funcionam como “corredores de alimentação” permitindo que areia da praia (fonte) chegue até os campos de dunas livres mais interiores.

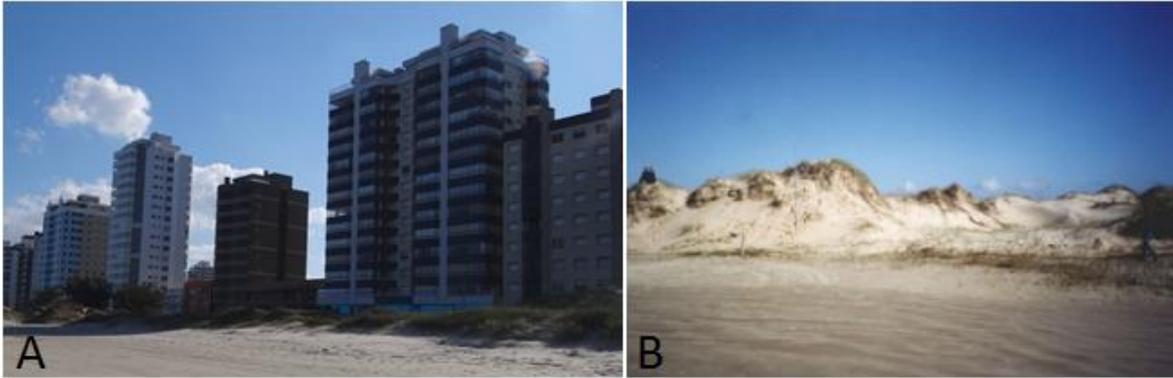


Figura 10 - Dunas frontais no litoral Norte: (A) bem estabelecidas, Tramandaí; (B) erosivas, Cidreira.  
Fonte: cortesia de Marília Wally e extraído de Tabajara et al. (2005), respectivamente.

A Figura 11, a seguir, é a representação espacial da classificação dos geoindicadores referentes ao sistema de dunas frontais do Litoral Norte. Lembra-se que a representação de mais de um dado para as praias de Curumim, Capão da Canoa e Atlântica se deu pela disponibilidade de dados coincidentes, isto é, levantados no mesmo local, mas levantados em momentos e trabalhos diferentes, conforme explicitado na Tabela 7.

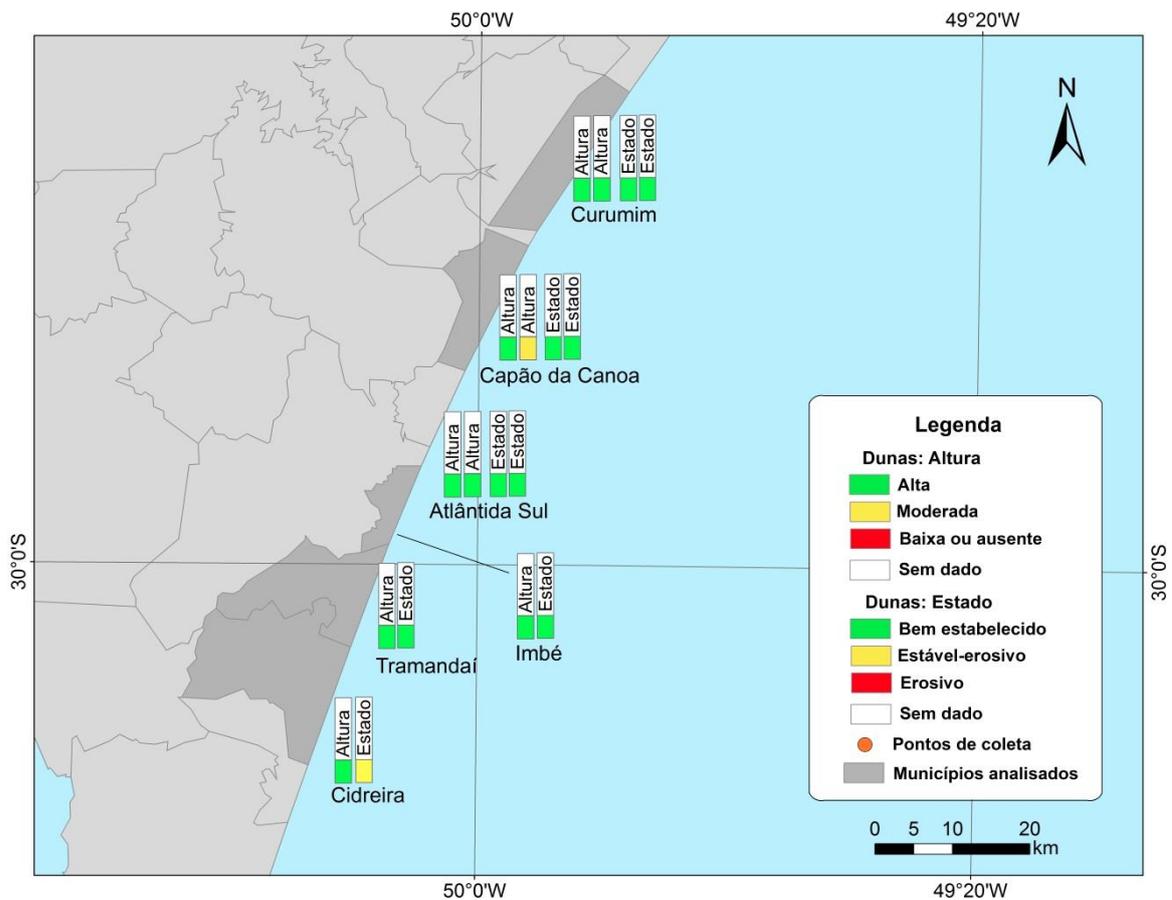


Figura 11 – Classificação temporal dos geoindicadores Altura e Estado Morfoecológico das Dunas Frontais no litoral Norte, RS.

O cenário menos homogêneo do litoral Médio é marcado por dunas de morfologia mais erosiva (70%) e se destacam dois extremos: a região de Dunas Altas e a região ao sul do Farol de Mostardas. As dunas frontais expressivas de Dunas Altas e do Farol de Berta (Figura 12A) são favorecidas pela variação da orientação da linha de costa, que promove o “engarrafamento” da deriva litorânea (Toldo Jr., et al., 2006), pela morfologia intermediária de mais alta energia e pela cobertura vegetal monoespecífica de *Panicum racemosum*. Esta gramínea perene se desenvolve melhor em períodos de ventos NE mais intensos, pois maior é o aporte de nutrientes, e, resumidamente, ela: elimina a concorrência de outras espécies, aumenta a deposição de sedimento, e favorece, portanto, o aumento horizontal e vertical da duna (Calliari, et al., 2005).

Ao sul do Farol de Mostardas (Figura 12B), contudo, a orientação da linha de costa desfavorece o transporte eólico para a formação de dunas, de modo que, sem que haja qualquer interferência antrópica ativa e negativa, a região é caracteristicamente uma planície arenosa e, portanto, mais exposta aos agentes erosivos naturais. Aspecto favorável, ou que “minimiza” possíveis impactos, é que o grau de urbanização da região ainda é baixo: média de 6 a 8 habitantes por quilômetro quadrado (IBGE, Censo 2010). Mudanças futuras com eventual incremento populacional, ou mesmo com o crescimento da atividade turística já característica da região, e conseqüente aumento da infraestrutura urbana têm de ser devidamente planejadas considerando os aspectos naturais da região para evitar danos à comunidade e desequilíbrio natural.

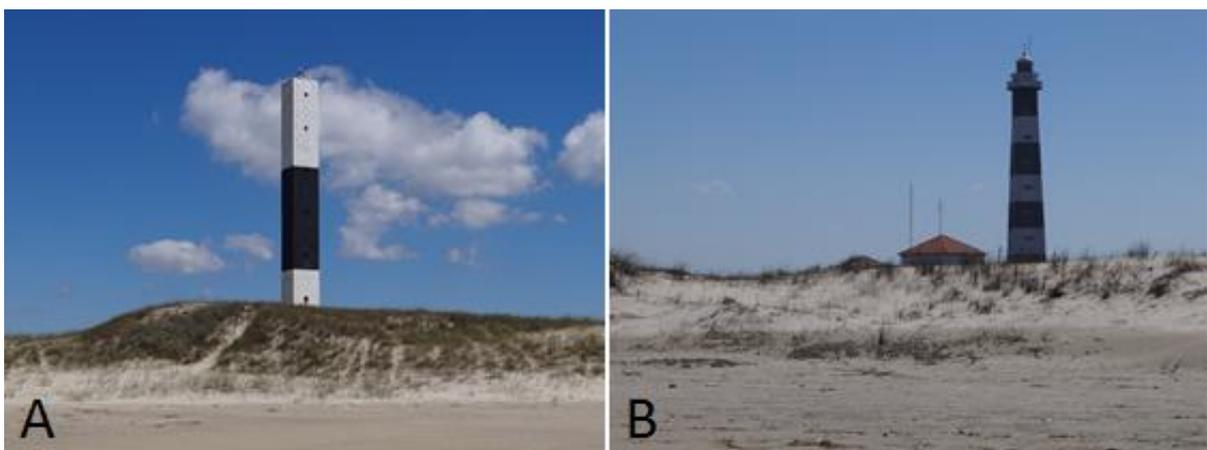


Figura 12 - Dunas frontais no litoral Médio: (A) bem estabelecida, Farol de Berta; (B) menor cobertura vegetal, Farol de Mostardas.

Fonte: cortesia de Marília Wally.

Assim como para o litoral Norte, as classificações dos geoindicadores Altura e Estado Morfoecológico das dunas frontais foram representadas espacial e cartograficamente para os

trechos do Litoral Médio, conforme ilustra a Figura 13. Aqui, contudo, apenas o ponto de Dunas Altas contou com mais de um dado.

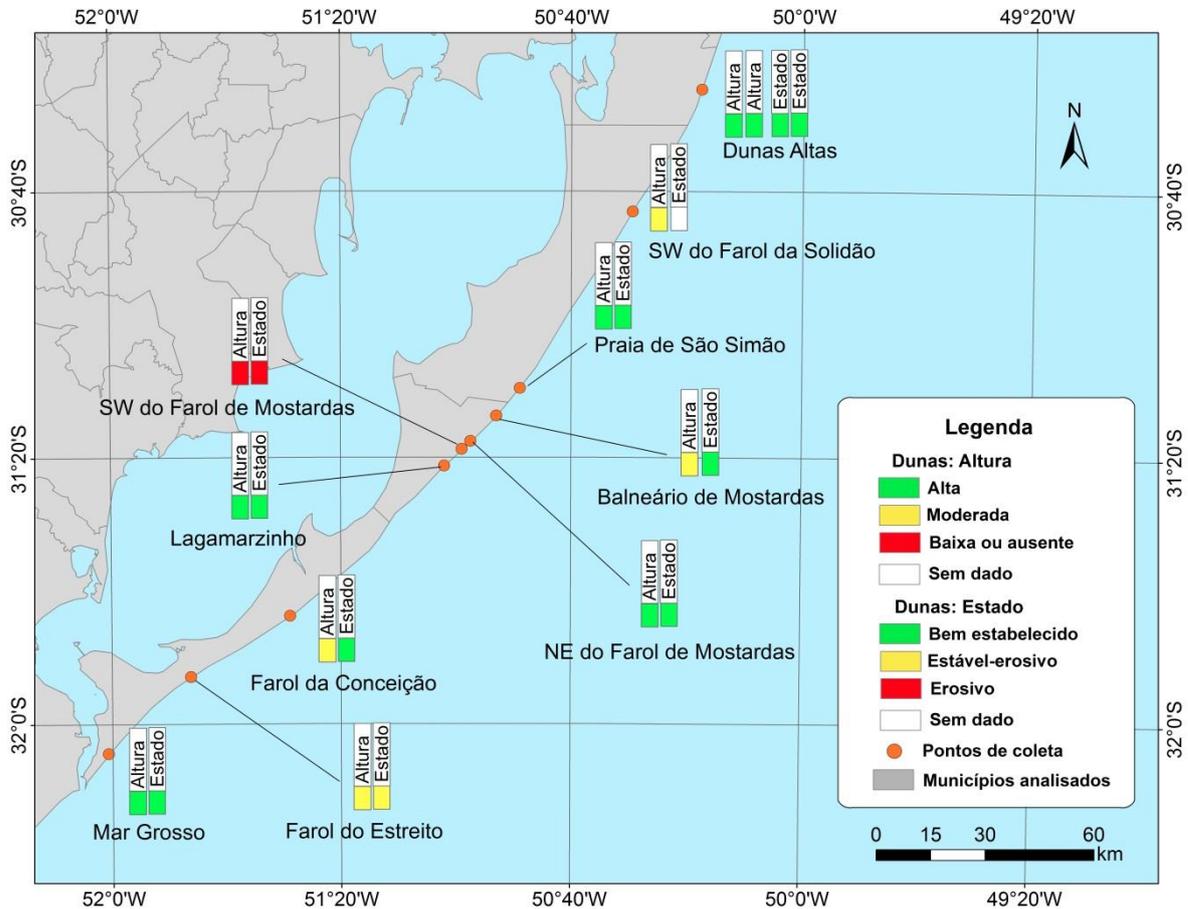


Figura 13 - Classificação temporal dos geoindicadores Altura e Estado Morfoecológico das Dunas Frontais no litoral Médio, RS.

### 5.1.2. Posição da Linha de Costa

“Posição da Linha de Costa” é o único geoindicador aqui apresentado que compõe o rol dos 27 geoindicadores propostos na iniciativa GEOIN de 1996. Embora já esteja definida em termos de geoindicador, sua escolha, pertinência e também adaptação aos objetivos do trabalho e às características da costa estudada serão igualmente percorridas aqui tal qual para os demais indicadores.

A identificação da posição da linha de praia e de seu movimento ao longo do tempo possibilita uma análise da extensão dos impactos naturais sobre os ambientes e comunidades costeiras, porém é difícil de estabelecer um limite físico que a caracterize (Toldo Jr. & Almeida, 2003). Sua posição claramente não é estática e reflete o balanço de sedimentos na costa, variando em diferentes escalas temporais em resposta a processos naturais — erosão e acreção, variações do nível do mar, rebaixamento do terreno praiial — ou induzidos pelo

homem (Berger & Iams, 1996). Assim, a exemplo de outros trabalhos já realizados no estado (Toldo Jr, et al., 1999; Esteves, et al., 2002; Toldo Jr. & Almeida, 2003; Toldo Jr., et al., 2005; Albuquerque, et al., 2013), a feição indicadora da posição da linha de praia aqui é o limite usual do alcance do mar sobre a praia, a linha d'água.

Em 2007 o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) reportou um prognóstico de elevação da temperatura global, não de forma homogênea, mas que, resumidamente, culminaria no derretimento das geleiras glaciais, elevando o nível médio do mar (NMM) pelo *input* de água doce destas. Segundo Muehe (2010), uma transgressão marinha de larga escala não pode ser acompanhada por um balanço sedimentar positivo: o resultado mais direto desta elevação nos processos geomorfológicos costeiros será o reajuste da linha de costa, possivelmente por erosão, e o aumento da vulnerabilidade a inundações de áreas baixas. Esse reajuste, contudo, depende das características do local considerado e, portanto, o grau de vulnerabilidade de cada compartimento costeiro pode variar no tempo e no espaço.

As variações da posição da linha de costa afetam ecossistemas, comunidades e infraestruturas costeiras, sobretudo em locais de baixa declividade. Por exemplo, os resultados obtidos para a região metropolitana de Recife por Costa et al. (2010), apontam que para a elevação de 0,5m e de 1m do NMM, respectivamente, 39,32km<sup>2</sup> e 53,69km<sup>2</sup> da área estudada constituíram zonas potencialmente inundadas. A perda inerente pode, no mínimo, custar caro: Lins-de- Barros et al. (2005), avaliaram estes prejuízos para 14 quilômetros de orla na região da Barra de Maricá (RJ), e obtiveram o valor referente a perda total de casas de R\$ 1.560.000,00; já com a recuperação de infraestrutura o valor foi de R\$ 534.000,00 e com a desvalorização dos imóveis R\$ 1.200.000,00, acarretando um valor total de R\$ 3.300.000,00, ou seja, R\$ 250.000,00 por quilômetro quadrado.

O estado do Rio Grande do Sul (RS) é o único estado brasileiro em que os municípios costeiros têm densidade demográfica menor do que os do interior, tendo apenas 24% de sua linha de costa urbanizada (Esteves, et al., 2003). Comparado ao cenário nacional e internacional, portanto, em termos de pessoas e infraestrutura expostas a uma possível transgressão do mar, menor é seu grau de vulnerabilidade costeira. Característica agravante, contudo, é a morfologia de toda a costa gaúcha, que é composta, basicamente, por praias planas e, na sua maioria, em retração (Esteves, et al., 2002; Toldo Jr., et al., 2006).

A erosão costeira é um dos principais mecanismos de ajuste da linha de costa; por definição, é um processo natural e ocorre sempre que o mar avança sobre terra, como resultado da ação do vento, que transfere sedimentos para campos de dunas, e da agitação de

ondas e das marés em condições de fraca disponibilidade de sedimentos (MMA, 2008). Embora natural, a interferência antrópica também contribui para um balanço sedimentar negativo que pode culminar em erosão – por exemplo, estruturas de engenharia nas bacias hidrográficas e ao longo da costa podem reter o transporte e o suprimento sedimentar do litoral.

Altas taxas de retrogradação têm sido reportadas em todo o mundo, inclusive no litoral brasileiro. No sul do Rio Grande do Sul, no balneário do Hermenegildo, são observadas taxas de erosão constante suficientes para alcançar as residências da orla e causar perdas, danos e altos custos paliativos aos moradores e administradores públicos. De acordo com o estimado por Esteves et al. (2008), somando-se o custo médio de construção de estruturas de proteção por casa, a desvalorização imobiliária e eventual reparação de danos causados em eventos de tempestades, os prejuízos econômicos decorrentes dos impactos da erosão nas casas da orla deste balneário, na época, ultrapassavam os 3 milhões de dólares.

A retração costeira não resulta apenas de um fenômeno ou característica local, mas vários aspectos, no tempo e no espaço, podem contribuir para este cenário: elevação do nível do mar, concentração da energia de ondas pela topografia costeira, déficit de areia, eventos de tempestade, transporte litorâneo, urbanização. A respeito disto, Esteves et al. (2002) realizaram uma revisão mostrando os diferentes resultados obtidos em trabalhos que se valeram de diferentes metodologias e escala de análise temporal para a costa do RS: os cenários variaram de um extremo ao outro, ora apontando a predominância de erosão (Esteves et al., 2001), ora apontando a predominância de estabilidade costeira (Calliari et al., 2000). Essa discrepância é compreensível justamente porque as análises apontaram a tendência mais significativa para o período considerado, isto é, curto e longo prazo, respectivamente.

O emprego de diferentes métodos é interessante porque mostra quão variáveis, sinérgicos ou não, podem ser as causas dos processos naturais; entretanto, a nível de geoindicador, segundo a definição e os objetivos do mesmo, há de se priorizar métodos de análise de curto prazo, que evidenciem mudanças ou tendências em um período inferior a 100 anos.

Como para os demais indicadores, é importante que a análise seja o menos subjetiva possível, o que favorece a escolha de métodos quantitativos. Todavia, há de se ressaltar que a análise qualitativa – descrição da morfologia e das feições aparentes na costa – pode não só agregar detalhes à avaliação quantitativa, mas pode também ser aplicada unicamente. No Brasil, são exemplos disto os trabalhos de Lins-de-Barros (2005) e de Rudorff e Bonetti (2010) que caracterizaram o grau de erosão de ambientes costeiros do Rio de Janeiro e da Ilha

de Santa Catarina, respectivamente, com base nos atributos qualitativos da metodologia proposta por Bush et al. (1999) (Figura 14).

<b>Geoindicador</b>	<b>Atributos utilizados</b>
Erosão Severa	Dunas ausentes com leques de sobrelavagem frequentes; Escarpamento ativo de falésias ou remanescentes de dunas por ondas; Canais de marés expostos na zona de surfe; Vegetação ausente; Estruturas construídas pelo homem na orla e que agora estão no pós-praia, na face praial, praia média ou antepraia; Escarpamento da praia evidente;
Erosão	Dunas escarpadas ou fragmentadas; Turfa, lama ou pedaços de árvore expostos na praia; Praia estreita ou ausência de praia seca; Vegetação efêmera ou derrubada ao longo da linha da escarpa;
Acresção ou estabilidade de longo termo	Dunas e cristas praias robustas, sem rupturas, vegetadas; Praia larga com berma desenvolvida; Leques de sobrelavagem ausentes; Vegetação bem desenvolvida de restinga no interior, arbustos de duna e gramínea pioneira.

Figura 14 - Geoindicadores utilizados para caracterização do processo erosivo.

Fonte: Adaptado de Bush et al. (1999).

No Rio Grande do Sul, nenhum dos trabalhos sobre a variabilidade da linha de costa se apropriou do conceito de geoindicador, mas os dados obtidos, como os dos levantamentos de toda a linha de costa do RS com auxílio de DGPS iniciados por Toldo Jr. et al (1999) e como as taxas de retração do Hermenegildo calculadas pelo Método do Polígono de Mudança (Smith & Cromley, 2012) por Albuquerque (2013), correspondem justamente ao tipo de informação, ou medida, necessária à avaliação sob a ótica de geoindicadores (Tabela 8).

Tabela 8 - Geoindicador: Posição da Linha de Costa.

<b>Nome</b>	<b>Posição da Linha de Costa (PLC)</b>
<b>Descrição breve</b>	A posição da linha de costa (PLC) ao longo das costas do oceano e em torno de águas interiores varia ao longo de um amplo espectro de escalas de tempo em resposta à erosão (reco) ou acréscimo (progradação) da costa, mudanças no nível da água, e soerguimento ou subsidência da terra. Tendências de longo prazo da posição da linha de costa podem ser mascaradas por variações de curto prazo ao longo de períodos de 0.1 – 10 anos ou mais, relacionadas, por exemplo, a tempestades locais. A PLC reflete o balanço sedimentar costeiro, e mudanças podem indicar efeitos naturais ou induzidos pelo homem ao longo da costa ou em bacias hidrográficas vizinhas. A forma e as

		<p>características sedimentares da praia (declividade praial, dimensão de cúspides, posição e morfologia de barras arenosas, elevação da berma, forma e tamanho do sedimento) são altamente sensíveis às forçantes oceanográficas, como energia de onda de água profunda, refração de ondas, marés, <i>storm surges</i>, circulação costeira, e, portanto, ajuste e respostas morfodinâmicas são comuns. Avaliações qualitativas da morfologia da linha de costa podem ser usadas como uma representação dos processos costeiros quando medidas quantitativas das mudanças da linha de costa não estiverem disponíveis.</p>
<b>Importância</b>		<p>Mudanças sutis na dinâmica costeira podem alterar o equilíbrio entre a estabilidade de costa ou de acreção e erosão da costa, com implicações significativas e custosas para os ecossistemas e população costeiros: afetam rotas de transporte, instalações costeiras, comunidades e ecossistemas. É fundamental às populações costeiras conhecer as condições e tendências da linha de costa local. São estas algumas das aplicações práticas que requerem o conhecimento, e, portanto, o estudo das variações da linha de costa: identificação de áreas de risco, a quantificação de perda de terreno, a determinação de linhas de recuo para construções costeiras e delimitação de zonas susceptíveis à inundação (NRC <i>apud</i> Esteves 2006).</p>
<b>Natureza da causa</b>		<p>Erosão e progradação são processos naturais ao longo de todas as costas. Atividades humanas (dragagem, barragens, espigões, molhes, mineração, remoção de vegetação e dunas costeiras, edificação em áreas inapropriadas, etc.), contudo, podem alterar significativamente os processos costeiros e, conseqüentemente, a posição e a morfologia da linha de costa, como resposta, sobretudo, às interferências no balanço sedimentar natural.</p>
<b>Ambiente onde é aplicável</b>		Costas oceânicas, de lagos e de estuários.
<b>Locais para monitoramento</b>		Falésias, praias, dunas costeiras, zonas úmidas, etc.
<b>Escala espacial</b>		Local e regional
<b>Método de medição</b>		<p><b>Quantitativo</b>          Perfis de praia ao longo de transectos sequenciais perpendiculares à costa;          Levantamento da posição da linha de costa utilizando o método de DGPS cinemático (Toldo Jr, et al., 1999; Esteves, et al., 2001).          Método do Polígono de Mudança (Smith &amp; Cromley (2012) <i>apud</i> Albuquerque, 2013)</p> <p><b>Qualitativo</b>          Avaliações visuais simples e imediatas da morfologia da costa.</p>
<b>Frequência medição</b>	<b>de</b>	Pode ser realizada sazonalmente, antes e depois de eventos de tempestade, ou anualmente, uma vez que a variabilidade sazonal é estabelecida.
<b>Limitações monitoramento dados</b>	<b>de e</b>	Os registros históricos são curtos, descontínuos espaço-temporalmente, de qualidade e metodologia variáveis e limitadas.

<p><b>Aplicações para o passado e futuro</b></p>	<p>Em geral, os fenômenos costeiros podem ser confiavelmente previsto apenas quando a investigação extensa e os dados de monitoramento existem. A falta de mudança hoje não é garantia de estabilidade continuada no futuro, mas informações sobre as alterações na PLC, especialmente em longo prazo, podem ser úteis para previsões empíricas de curto prazo. O monitoramento da posição da linha de costa e da dinâmica sedimentar costeira pode fornecer uma melhor compreensão das respostas da linha de costa às modificações humanas e mudanças do nível do mar.</p>
<p><b>Limiar possível</b></p>	<p>No caso do RS, estabelecem-se estes limites:  Quantitativo  <b>Erosão severa:</b> <math>\geq 2</math> m/ano  <b>Erosão:</b> 0,5 a 2 m/ano  <b>Acresção ou estabilidade:</b> <math>\leq 0,5</math>m/ano.</p> <p>Qualitativo  <b>Erosão severa:</b> vegetação ausente, escarpamento de praia evidente, canais de maré expostos na zona de surf, etc.;  <b>Erosão:</b> dunas escarpadas ou fragmentadas, praia estreita, turfa, lama ou pedaços de árvores expostos na praia;  <b>Acresção ou estabilidade:</b> dunas e cristas praias robustas, sem rupturas, e vegetadas, praia larga e vegetação bem desenvolvida no interior.</p>
<p><b>Referências essenciais</b></p>	<p>Albuquerque, M. et al., 2013. Erosion or coastal variability: an evaluation of the DSAS and the Change Polygon method for the determination of erosive processes on sandy beaches. <i>Journal of Coastal Research</i>, Volume 65, pp. 1710-1714.</p> <p>Esteves, L., Toldo Jr., E., Almeida, L. &amp; Nicolodi, J., 2001. <i>Erosão na costa do Rio Grande do Sul entre 1975-2000</i>. Imbé-RS, s.n., pp. 511-513.</p> <p>Koener, K. F., 2012. <i>Alternativas de manejo para o problema da erosão costeira no Balneário do Hermenegildo, Rio Grande do Sul.</i>, Rio Grande: s.n.</p> <p>Muehe, D., 2010. Brazilian coastal vulnerability to climate change. <i>Pan-American Journal of Aquatic Science</i>, October, 5(2), pp. 173-183.</p> <p>Pereira, P., 2005. <i>Variabilidade da Orla Oceânica do Rio Grande do Sul e Suas Implicações na Elaboração de Planos de Contingência: Aspectos Morfodinâmicos, Sedimentológicos e Geomorfológicos</i>. s.l.:FURG.</p> <p>Toldo Jr., E. &amp; Almeida, L., 2003. <i>A Linha de Água como Indicadora da Posição da Linha de Praia.</i> Recife, s.n., p. 3.</p> <p>Toldo Jr., E. E., Almeida, L. E. S. B., Nicolodi, J. L. &amp; Martins, L. R., 2006. Rio Grande do Sul. In: <i>Erosão e progradação do litoral brasileiro</i>. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, pp. 468-475.</p> <p>Tomazelli, L. J. et al., 2007. Sistemas Depositionais e Evolução Geológica da Planície Costeira do Rio Grande do Sul: uma síntese. In: <i>50 anos de Geologia. Instituto de Geociências. Contribuições...</i> Porto Alegre: Editora Comunicação e</p>

Identidade, pp. 327-339.	
<b>Assuntos relacionados</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impactos de estruturas de engenharia costeiras;</li> <li>• Aporte ou déficit sedimentar;</li> <li>• Orientação da costa em relação ao vento predominante;</li> <li>• Deriva litorânea: processo de “engarrafamento”</li> <li>• Extração mineral e “engordamento” de praias;</li> <li>• Gerenciamento Costeiro, etc.</li> </ul>
<b>Avaliação global</b>	A posição da linha de costa é, talvez, o geoindicador mais importante para comunidades costeiras de áreas mais baixas. Os métodos quantitativos são os melhores para prever futuras mudanças do litoral e os qualitativos são guias práticos, baratos e rápidos para a erosão costeira.

Sobre essa tabela que define o Geoindicador PLC para o caso da costa do RS, convém enfatizar que os limiares apresentados foram atribuídos arbitrariamente, sem base estatística ou outra metodologia mais complexa de apuração, porém, eles não são aleatórios. Chegou-se a esses limiares pela investigação e comparação dos resultados, discussões e conclusões dos trabalhos correntes da academia local e regional. Ademais, no processo de Consulta Técnica de Opinião, abordado no capítulo seguinte, houve espaço para que os participantes opinassem sobre a validade e veracidade dos limiares sugeridos pela a autora.

Para a aplicação do geoindicador PLC, optou-se por um teste de escala local e o local escolhido foi a praia do Hermenegildo, 15 km distante de Santa Vitória do Palmar, extremo sul do litoral Sul do RS. Isto por duas razões basicamente: a disponibilidade de dados ao longo dos anos e por ser, juntamente com a localidade do Farol da Conceição (litoral Médio), um trecho que os pesquisadores, munidos de diferentes metodologias e escalas espaço-temporal de análise, concordam estar em processo de retração.

Os dados selecionados foram retirados da tese de doutorado de Albuquerque (2013), que caracterizou o comportamento da linha de costa da praia do Hermenegildo em micro e mesoescala a partir de dados de linha de costa (de 1947 a 2012) obtidos através de imagens de satélite, fotografias aéreas, de diferentes épocas, e dados de GPS RTK coletados *in situ*. Mais especificamente, os dados aqui utilizados (Tabela 9) correspondem à sua análise de mesoescala realizada segundo o método do Polígono de Mudança proposto por Smith e Cromley (2012 *apud op. cit.*).

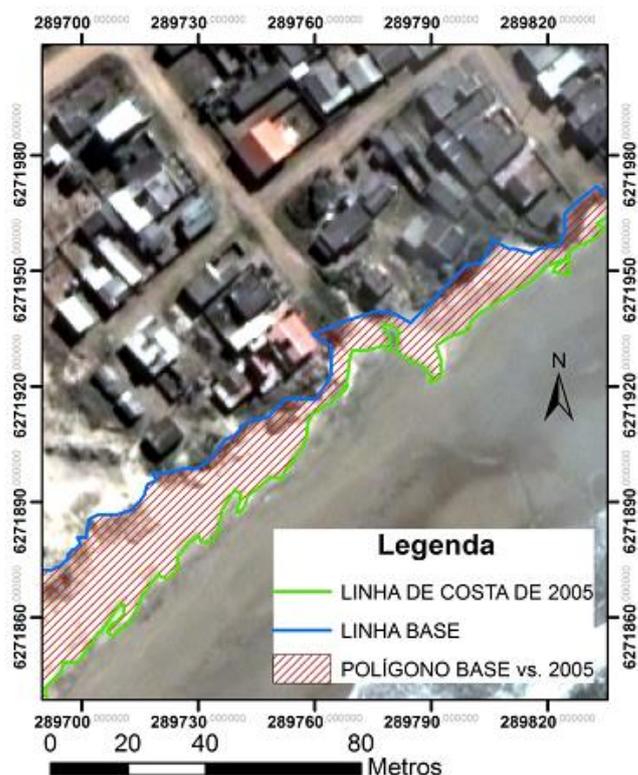


Figura 15 - Caracterização do Método do Polígono.

A partir de duas linhas de costa distintas previamente vetorizadas, é possível extrair as áreas erodidas e/ou acrescidas, através da geração e subtração de polígonos; do cruzamento de duas linhas de costa, uma série de polígonos é criada de forma que estes representem as regiões que estão sofrendo processo de acreção e/ou erosão. Extraído de: Albuquerque (2013), “Análise espaço-temporal das causas da variabilidade da linha de costa e erosão na praia do Hermenegildo, RS. 2013”.

Segundo os limiares definidos na Tabela 8 para as praias arenosas da costa do RS, têm-se a seguinte classificação para o geoindicador Posição da Linha de Costa da praia do Hermenegildo.

Tabela 9 - Classificação temporal da PLC da praia do Hermenegildo.

Período	1947 -1964	1964 -1975	1975 -1996	1996 -2000	2000 -2005	2005 -2006	2006 -2007	2007 -2009	2009 -2010	2010 -2011	2011 -2012
Taxa de Recuo (m/ano)	0,2	0,61	0,41	6,29	2,37	5,25	0,11	0,49	0,93	1,41	0,45
Classificação	1	5	1	10	10	10	1	1	5	5	1

Os valores indicados pelas cores verde, amarelo e vermelho representam, respectivamente, processos de acreção ou estabilidade, erosão e erosão severa. Observam-se dois picos nos períodos de 1996-2000 (6,29m/ano) e 2005-2006 (5,25m/ano), e dos onze intervalos analisados, cinco apresentaram taxas de retração inferiores a 0,5m/ano, o que, para os limiares aqui considerados, caracterizam condições de estabilidade. O computo da média para os 65 anos aponta um taxa de retração de 1,68m/ano, que se enquadra na classificação “amarela”, isto é, de erosão.

Ainda, dos geoindicadores qualitativos característicos de erosão propostos por Bush *et al.* (1999) estes são comumente observados na morfologia local: afloramento de turfa,

urbanização sobre as dunas frontais, dunas escarpadas, praia estreita, presença de estruturas de proteção.

Koerner (2012) reuniu os resultados obtidos por vários autores e, a despeito da metodologia empregada, as mensurações das taxas de retração no Hermenegildo foi menor ou igual a 0,5m/ano em apenas um dos seis trabalhos citados, o que corrobora a classificação geral de “erosão” aqui apresentada na tabela anterior (Tabela 9) e representada espacial e cartograficamente na Figura 16.

Sobre as possíveis causas dos processos erosivos nesta praia gaúcha, Lima (2008) observou a partir de análises estratigráficas que todo o sistema costeiro laguna-barreira do local está em fase de transgressão há aproximadamente 6800 anos. Mas aspectos locais e fenômenos de curto prazo naturais ou antrópicos – como eventos de alta energia, marés meteorológicas, refração de ondas, urbanização desordenada e a própria instalação de estruturas de proteção sem estudo prévio (Koerner *op. cit*) – também tem acarretado este processo erosivo, que, segundo apontam as projeções de Figueiredo (2011) e de Albuquerque (2013), tende continuar e levar a linha de costa centenas de metros continente adentro.

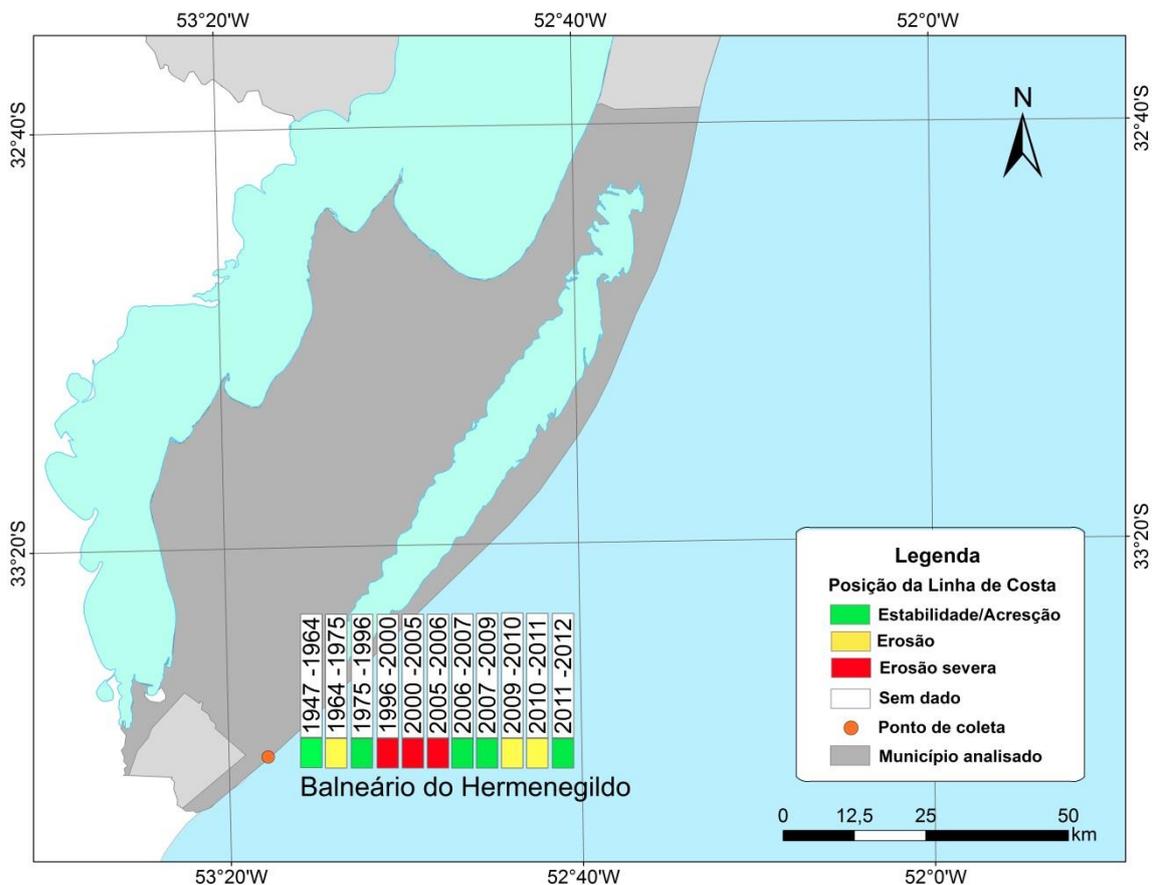


Figura 16 - Classificação temporal do geoindicador Posição da Linha de Costa no Balneário do Hermenegildo, litoral sul, RS.

O Balneário do Hermenegildo é um balneário pequeno, com pouco mais de 2 km de orla urbanizada, cerca de 2000 residências, e apenas 500 moradores “anuais” (IBGE 2010), isto é, pessoas que moram ali não só no verão, mas também no inverno, que é quando os processos erosivos são mais intensos e frequentes. Portanto, em termos de pessoas expostas aos impactos do recuo da posição da linha de costa, até então, o grau de vulnerabilidade é um pouco menor. Mas se confirmadas as projeções supracitadas e somando-se a elas a possibilidade de um incremento populacional, o grau de vulnerabilidade do balneário será significativamente maior.

Urge, portanto, manejar o quanto antes o problema da erosão. Sabendo desta necessidade, Koerner (2012) discutiu alternativas para lidar com problema da erosão no local considerando ações de interferência no processo natural, de interferência no “humano” e de não interferência. O autor concluiu que a opção “não fazer nada” não é a melhor, pois a própria comunidade demonstrou querer que algo seja feito; mas sobre as demais opções, ele afirma que para o plano de manejo de erosão a alternativa ideal depende do objetivo, isto é, do interesse maior da comunidade usuária.

### **5.1.3. Mobilidade Praial**

Quando no levantamento dos trabalhos geológico-costeiros desenvolvidos no RS para selecionar os parâmetros, aspectos ou feições pertinentes à formulação de indicadores foi elaborado uma lista preliminar com os aqueles que, a princípio, pareceram atender à proposta. Essa lista, contudo, teve de ser repensada e refinada várias vezes ao longo do trabalho e mesmo nas fases mais avançadas do trabalho. Exemplo disto é o conceito de Mobilidade Praial que chegou a ser proposto como geoindicador na Consulta Técnica de Opinião como geoindicador, mas que não se sustentou.

A mobilidade de uma praia, isto é, seu deslocamento perpendicular à linha de costa, representa a troca de sedimentos entre a zona de surfe e a praia. De acordo com Short e Hesp (1982), ela pode ser mensurada em termos de mobilidade da praia, que é definida pelo desvio padrão da posição média da linha de praia ( $\sigma_{Yb}$ : metros), e de mobilidade do pós-praia, que é dada pelo coeficiente de variação da posição média da linha de praia (CV: porcentagem). Valores baixos e altos indicam, respectivamente, baixa e alta mobilidade, e menor e maior susceptibilidade a eventos de acreção-erosão.

Na costa do Rio Grande do Sul a mobilidade está bastante associada com a granulometria do sedimento que compõe as praias, uma vez que aquelas com maiores

porcentagens de areia média apresentam alta mobilidade, enquanto as praias com baixas porcentagens de areia média se caracterizam por uma mobilidade mais baixa, como é o caso do Cassino e do Chuí (Calliari & Klein, 1993; Figueiredo & Calliari, 2006; Calliari, et al., 2010).

Caracterizar o quanto uma praia varia em torno do seu estado recorrente mais frequente auxilia na compreensão do comportamento praias sob diferentes condições hidrodinâmicas, o que, por sua vez, importa à investigação da evolução praias, previsão e especulação de cenários futuros.

Em termos de geoindicador, contudo, a mobilidade praias não pareceu apropriada por dois motivos maiores: informação insuficiente e operacionalidade. Diz-se que a informação é insuficiente porque um indicador precisa informar mais do que se conseguiu entender e reunir sobre a mobilidade ao longo desse trabalho. E, sobre a operacionalidade, embora não tenha sido considerada explicitamente “desnecessária”, apenas os inquiridos do grupo dos “especialistas” demonstraram entender o que é mobilidade praias, e desses, um ou outro atribuíram alto grau de importância. Para os demais participantes da Consulta Técnica de Opinião, mesmo os alunos e profissionais de áreas correlatas, o conceito aparentou ser nebuloso, pouco compreensível e pouco prático.

Sendo assim, optou-se por não dar continuidade na definição da mobilidade praias nos moldes de geoindicador neste trabalho; mas o desenvolvimento de um geoindicador para esse tópico é um trabalho futuro.

#### **5.1.4. Sangradouros**

Os sangradouros são cursos d'água costeiros de pequeno porte que participam da drenagem da planície costeira (Pereira da Silva, 1998). São feições bastante comuns nos sistemas praias do Rio Grande do Sul e se destacam justamente por configurarem um meio para a drenagem em uma costa onde são poucas as contribuições de influxo de água doce. A respeito disso, Tomazzelli e Villwock (1992) afirmam que são apenas quatro os locais de escoamento fluvial que efetivamente interferem na dinâmica costeira do estado: o Arroio Chuí, o Canal do Rio Grande, o canal da Lagoa de Tramandaí e a foz do Rio Mampituba.

Os trabalhos sobre sangradouros na costa gaúcha datam a partir de meados da década de 90: Pereira da Silva (1995; 1998; 2002), Figueiredo (2002), Figueiredo e Calliari (2005; 2006), Figueiredo, Cowell e Short (2007), Serpa et al. (2011). Embora crescentes os esforços para melhor compreender sua dinâmica, comportamento e importância, esta proposição de

análise sob a ótica de geoindicadores é inédita; e as características que convieram com esta abordagem são tanto aquelas de cunho qualitativo como operacional.

Os sangradouros se destacam quanto à sua relevância neste estudo, pois são visíveis no ambiente praial e ao mesmo tempo em que interferem na dinâmica do sistema praial – relevância científica e para gestão – afetam e são afetados pelo homem – relevância social e também para a gestão.

São cursos d'água naturais persistentes ou não, isto é, alguns ocorrem efêmera ou intermitentemente e outros, ainda, são permanentes em quaisquer períodos do ano. Como feição natural do sistema atuam para o escoamento de águas pluviais que ficam retidas no pós-barreira do sistema dunar, promovendo também o aporte e o espriamento de sedimentos no ambiente praial. Mudanças e tendências no comportamento dos sangradouros normalmente ocorrem em resposta às condições naturais do meio – características geológicas locais, taxas de precipitação e evaporação, marés meteorológicas – mas alterações devido à pressão antrópica também ocorrem frequentemente, sobretudo em praias urbanizadas (Pereira da Silva, 1998).

A ocorrência dos sangradouros está bastante condicionada às taxas de evaporação e pluviosidade da região. Neste sentido, a evaporação é o fator mais determinante à sazonalidade dos sangradouros; isto porque não há um padrão pluviométrico exclusivo para uma estação do ano, mas ocorrem períodos de chuvas, intensos ou não, distribuídos ao longo de todo o ano. Contrariamente, no verão as taxas de evaporação são sempre altas e preponderam às de pluviosidade, caracterizando a estação como aquela em que são menores as concentrações de sangradouros ao longo de todo o litoral. Nas estações que seguem, sobretudo no inverno quando ocorrem as menores taxas de evaporação, o número de sangradouros tende a aumentar (Figueiredo & Calliari, 2006).

Frequentemente o estado sofre com a passagem de frentes frias que ocasionam intensos e longos períodos de chuvas: em poucos dias chega a chover a média esperada para um mês todo. Em episódios assim, aumenta substancialmente o número de sangradouros, que se por um lado evitam alagamentos no continente, por outro fragmentam (erodem e escarpam) os cordões de dunas existentes, causando grande perda de sedimento para a região do estirâncio. Quanto a isso, Pereira da Silva et al. (2003) relatam a formação de escarpas de 3 a 4 metros de altura e também interrupção de um extenso cordão de dunas, entre a praia do Cassino e a Barcaça (30 km, aproximadamente), em vários pequenos trechos após três dias consecutivos de chuva intensa e contínua: 115,5mm em 3 dias (1 a 3 de julho de 1995).

Associado à passagem de frentes frias e seus intensos ventos do quadrante S-SE o litoral comumente sente a sobrelevação do nível do mar além daquela esperada pela maré astronômica. A maré meteorológica (*storm surge*) pode atuar tanto no sentido de aumentar ou abrir novos sangradouros, como também provocar seu fechamento. Em um estudo de alta frequência para determinar o comportamento de um sangradouro intermitente do Balneário da Querência (Praia do Cassino), Serpa et. al (2011) constataram que em um evento de maré meteorológica houve a formação de barras arenosas que represaram o sangradouro.

Os sangradouros são responsáveis pela movimentação de grandes volumes de sedimentos da porção subaérea para a subaquosa. Assim, desempenham importante papel na morfodinâmica e evolução praial entre os estágios acrescionais e erosivos. Perfis realizados nos sangradouros da “Barcaça” e dos “Concheiros” – ambientes dissipativo-intermediário e intermediário-refletivo, respectivamente – mostraram variações na ordem de 800m<sup>3</sup> a 900m<sup>3</sup>, respectivamente, quando comparados os perfis de erosão e de acreção (Pereira da Silva, 1998).

A respeito do potencial de interferência no sistema de dunas frontais, em Xangri-lá, município do litoral Norte, Tabajara e Weschenfelder (2011) afirmam que “o sangradouro segmentava o sistema de dunas tornando-a mais vulnerável às inundações em embates direto das ondas marinhas, além de fechar o suprimento de areia eólica para a construção das dunas frontais a sota-vento”.

As edificações e pavimentação dos centros urbanos à beira-mar impactam direta e negativamente a praia porque impedem a permeabilidade da água das chuvas; conseqüentemente, essa água não infiltra no solo ou corre para dentro dos canais mais baixos próximos já existentes ou tomam seu próprio curso em direção à praia na forma de sangradouros. Na praia, a questão da permeabilidade natural do solo, isto é, aquela que depende da granulometria e herança geológica do solo, determina sua persistência e até seu fluxo. Quanto à qualidade dessas águas que chegam até o ambiente praial, a frequente má ou inexistente rede de saneamento básico, ou até mesmo a falta de zelo da população, faz com que os sangradouros sejam utilizados como canais de despejo de esgoto doméstico.

Ainda em relação à interferência antrópica, em trechos da costa próximos às áreas de plantação de *Pinus sp.* a quantidade de sangradouros intermitentes e efêmeros pode diminuir devido à redução do lençol freático; por outro lado, como é observado próximo a Bujuru, estabelecem-se sangradouros artificiais permanentes pela retificação e aprofundamento dos canais que é feita para favorecer a expansão das áreas de cultivo para locais alagados (Seeliger, 1992). O mesmo autor também ressalta que este processo de “artificialização do

canal” além de induzir rompimento do cordão de dunas frontais, rebaixa o lençol freático, causando a morte da vegetação pioneira das dunas frontais, o que promove sua instabilidade e culmina na sua obliteração.

A seguir, a tabela que sumariza essas características e informações a respeito dos sangradouros, e também acrescenta demais considerações para definição, análise e uso da “Ocorrência de Sangradouros” nos termos de um geoindicador (Tabela 10).

Tabela 10 - Geoindicador: Ocorrência de Sangradouros

Nome	Ocorrência de Sangradouros
<b>Descrição breve</b>	<p>Sangradouros são cursos d’água que fazem parte da drenagem da planície costeira, dando escoamento às águas pluviais coletadas nas depressões e banhados localizados entre os cordões litorâneos, e em locais de relevo inexpressivo atrás das dunas frontais (Pereira da Silva e Calliari, 1997). São feições que ocorrem naturalmente na região costeira, mas que podem ser substancialmente alteradas pelos processos de urbanização: balneários, plantações e criações costeiras alteram a concentração, a ocorrência, a morfologia e a qualidade ambiental dos sangradouros.</p> <p>A configuração e distribuição dos sangradouros diferem bastante mesmo ao longo de uma planície costeira basicamente homogênea como a do Rio Grande do Sul. Os fatores mais preponderantes quanto à sua ocorrência, persistência e morfologia dependem: das taxas de evaporação e pluviosidade (sazonalidade), da herança geológica da Barreira Arenosa, características morfodinâmicas local e eventos de marés meteorológicas (Pereira da Silva, 1998; Figueiredo, 2002; Serpa, et al., 2011)</p>
<b>Importância</b>	<p>Em termos de equilíbrio e funcionamento morfodinâmico das praias, os sangradouros ajudam na evolução costeira: causam o rompimento do cordão de dunas, ou contribuem para a desestabilização do sistema de dunas frontais, e exportam para a zona de surfe e para a deriva litorânea os sedimentos daí provenientes (Pereira da Silva, 1998); interferindo nas variações de volume de sedimento entre o pós-praia e o nível médio do mar em eventos acrescionais/erosionais.</p> <p>Quanto aos riscos associados, primeiramente, seu papel no escoamento das águas pluviais acumuladas na região posterior das dunas evita o alagamento das comunidades costeiras; processo inverso também pode ser observado pela intrusão de água salgada quando na sobrelevação do nível d’água por marés meteorológicas; ainda, os sangradouros interferem diretamente na balneabilidade das praias, uma vez que são usados como canais de despejo de resíduos domésticos em cidades e comunidades costeiras que não dispõem de uma rede de tratamento sanitário adequado; a interrupção (cortes) de dunas frontais altas formam escarpas instáveis com perigo de deslizamento ou colapso; por fim, em praias trafegadas, como as do litoral gaúcho, os sangradouros representam obstáculos perigosos aos motoristas desavisados que trafegam ali, causando acidentes com perdas materiais e físicas (Figueiredo &amp; Calliari, 2005).</p>

<b>Natureza da causa</b>	Geralmente natural, mas também pode ser antrópico.
<b>Ambiente onde é aplicável</b>	Zona costeira
<b>Locais para monitoramento</b>	Face da praia
<b>Escala espacial</b>	Regional
<b>Método de medição</b>	<p><b>Quantitativo:</b> Número de sangradouros por quilômetro; Para análise de variação sazonal: cálculo da média sazonal para trechos de 10km (Figueiredo &amp; Calliari, 2005).</p> <p>A obtenção dos dados pode ser direta, isto é, através de observações em campo georreferenciadas, ou indireta, pela análise de imagens de satélite.</p>
<b>Frequência de medição</b>	Sazonal: períodos de maior e menor pluviosidade. E preferencialmente também após eventos de marés meteorológicas.
<b>Limitações de monitoramento e dados</b>	<p>Efemeridade de vários pequenos sangradouros limita o monitoramento dos mesmos, principalmente nos períodos de altas taxas de evaporação ou em locais de alta permeabilidade.</p> <p>Ainda, se a metodologia adotada for indireta, o monitoramento, bem como a elaboração de uma série temporal, é restrito às imagens disponibilizadas.</p>
<b>Aplicações para o passado e futuro</b>	<p>Como agentes na evolução costeira, os sangradouros são parte importante para o estudo e conhecimento da dinâmica costeira e, portanto, para fins de gerenciamento costeiro imediato e de caráter preventivo – sobretudo à vista das projeções de elevação do nível do mar. Monitorar sua ocorrência auxilia na tentativa de se estabelecer as condições que promovem sua abertura e fechamento, quantificar os fluxos de água, matéria orgânica e sedimentos associados, bem como estabelecer técnicas de manejo que possam ser incorporados a balneários futuros ou já em desenvolvimento (Figueiredo &amp; Calliari, 2005).</p>
<b>Limiar possível / Atributo do Indicador</b>	<p>Consideram-se os valores médios da quantidade de sangradouros (<math>n/km</math>):</p> <p><b>Recortes de trechos costeiros</b>  <b>Alta:</b> &gt; 0,8/km  <b>Moderada:</b> 0,5 a 0,8 por km  <b>Baixa:</b> &lt; 0,5/km</p> <p><b>Análise Sazonal</b>  <b>Alta:</b> &gt; 8/10km  <b>Moderada:</b> 5 a 8 / 10km  <b>Baixa:</b> &lt; 5 / 10km</p> <p><i>*Limites arbitrários baseados nas considerações do trabalho de Pereira da Silva (1998), Figueiredo &amp; Calliari (2005), Calliari et al. (2010)</i></p>
<b>Referências essenciais</b>	Figueiredo, S. A. (2002). Distribuição espaço-temporal dos sangradouros na costa gaúcha no trecho São José do Norte -

---

Farol de Mostardas. Monografia (Graduação). Rio Grande: Universidade Federal do Rio Grande, Oceanografia.

Figueiredo, S. A., & Calliari, L. J. (2005). Sangradouros: Distribuição Espacial, Variação Sazonal, Padrões Morfológicos e Implicações no Gerenciamento Costeiro. GRAVEL, pp. 47-57.

Figueiredo, S. A., Cowell, P., & Short, A. D. (2007). Intermittent backbeach discharge to the surfzone: modes and geomorphological implications. *Journal of Coastal Research*, pp. 610-614.

Figueiredo, S., & Calliari, L. (2006). Washouts in the central and northern littoral of Rio Grande do Sul State, Brazil: distribution and implications. *Journal of Coastal Research*, pp. 366-370.

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 em Geociências, 176p. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Pereira da Silva, R., Calliari, L.J., Tozzi, H.A.M. (2005). The influence of washouts on the erosive susceptibility of the Rio Grande do Sul Coast between Cassino and Chuí beaches, southern Brazil. *Journal of Coastal Research*, pp. 332-338.

Serpa, C. G., Romeu, M. A., Fontoura, J. A., Calliari, L. J., Melo, E., & Albuquerque, M. (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*, II, pp. 2068-2073.

---

**Assuntos relacionados**

- Variabilidade climática: ENSO; taxas de evaporação e precipitação;
  - Permeabilidade do solo: granulometria, morfodinâmica e herança geológica;
  - Erosão cordão de dunas;
  - Orientação do campo de dunas;
  - Posição do lençol freático;
  - Mobilidade praial;
  - Passagem de frentes frias e sobrelevação do mar por marés meteorológicas associadas;
  - Qualidade Sanitária: aporte de água doce, matéria orgânica, nutrientes e resíduos domésticos;
  - Riscos costeiros: alagamentos, perda de propriedade e vida, trafegabilidade.
- 

Para verificar a aplicabilidade de mais este geoindicador as áreas de estudo selecionadas compreendem as praias do trecho Tramandaí-Cidreira e dos Balneários do Mar Grosso (São José do Norte), do Cassino (Rio Grande), do Hermenegildo (Santa Vitória do Palmar) e do Chuí (Tabela 11). O critério desta seleção seguiu a disponibilidade de dados e também a simultaneidade dos locais onde os demais geoindicadores foram testados.

Tabela 11 - Trechos selecionados para testar o geoindicador Ocorrência de Sangradouros

Setor	Trecho Costeiro	Dist. (km)	Início do trecho		Final do trecho	
			Latitude	Longitude	Latitude	Longitude
Litoral Norte	Tramandaí-Cidreira	25,2	30°00'15''S	50°07'53''O	30°13'06''S	50°13'04''O
Litoral Médio	Mar Grosso	5	32°03'27''S	51°59'45''O	32°02'33''S	51°58'52''O
	Cassino	12	32°09'40''S	52°05'53''O	32°13'33''S	52°11'54''O
Litoral Sul	Hermenegildo	2,6	33°40'23''S	53°16'08''O	33°39'30''S	53°15'39''O
	Chuí	2	33°44'36''S	53°22'10''O	33°43'52''S	53°21'14''O

Esses trechos foram avaliados indireta e diretamente a partir, respectivamente, de imagens históricas disponíveis no software de navegação Google Earth e durante um levantamento realizado entre os dias 10 a 13 de Abril de 2013. Segundo os limiares estabelecidos na Tabela 10, que define o geoindicador “Concentração de Sangradouros”, segue a classificação então obtida (Tabela 12).

Tabela 12 - Classificação temporal segundo a Concentração de Sangradouros para os trechos selecionados.

Setor	Trecho Costeiro	Data	Nº sang.	[sangradouros]	Nota
Litoral Norte	Tramandaí—Cidreira	12/04/2013	68	2,7	10
Litoral Médio	Mar Grosso	16/08/2006	10	2	10
		30/08/2009	10	2	10
		06/04/2011	10	2	10
		08/04/2012	6	1,2	10
		12/04/2013	0	0	1
		21/06/2013	8	1,6	10
	Cassino	29/10/2002	10	0,83	10
		27/02/2006	8	0,67	5
		30/08/2009	10	0,83	10
		15/10/2011	9	0,75	5
		28/12/2011	6	0,50	5
		08/04/2012	11	0,92	10
		20/09/2012	9	0,75	5
	Litoral Sul	Hermenegildo	12/04/2013	11	0,92
18/07/2005			2	0,78	5
02/02/2010			2	0,78	5
13/04/2013			3	1,18	10
Chuí		25/04/2013	4	1,57	10
		09/04/2003	2	1,00	10
		18/07/2005	5	2,50	10

		07/10/2009	4	2,00	10
		13/04/2013	0	0,00	1
		25/04/2013	2	1,00	10

O resultado amostrado na tabela superior confirma quão frequente é a ocorrência de sangradouros ao longo do litoral gaúcho: a maioria dos locais avaliados mostraram concentrações de sangradouros superiores a 0,8 por quilômetro.

O litoral norte foi representado na análise apenas pelo trecho Tramandaí-Cidreira e ainda contou somente com contagem que foi realizada no levantamento de campo em meados de Abril de 2013. Fator limitante à inclusão de demais praias foi a cobertura de nuvens nas imagens do setor como um todo; outro impedimento, mas especificamente para o trecho selecionado, foi a sobreposição de imagens de diferentes datas que o software utiliza para cobrir a área.

Esta contagem *in situ* apontou a ocorrência de 68 sangradouros ao longo de pouco mais de 23 km percorridos, ou seja, uma alta concentração de sangradouros. Embora não haja demais dados temporais para comparar cenários, Figueiredo e Calliari (2005) já afirmaram sobre essa tendência da região devido à presença de lagoas de bolso próximas à praia que transbordam, sobretudo em períodos de chuva, contribuindo para o aumento do número de sangradouros cujas dimensões podem alcançar centenas de metros de largura. Somado à propensão natural da região, há de se acrescentar que o Litoral Norte abriga quase toda a população costeira do RS e seu processo de urbanização não foi planejado, “permitindo” a ocupação de áreas de risco, alteração e destruição de áreas protegidas por lei (Esteves, et al., 2003).

Representando o Litoral Médio, nas praias do Mar Grosso e Cassino, localizadas, respectivamente, 10 km ao norte e logo ao sul dos molhes da barra do Canal do Estuário da Lagoa dos Patos, as concentrações de sangradouros se mantiveram de moderadas a altas. Segundo Figueiredo e Calliari (2006), características compartilhadas por estes dois ambientes e que favorecem o escoamento superficial na forma de sangradouros estão relacionadas, principalmente, com a capacidade de infiltração de água pluvial no solo: o solo é caracteristicamente menos permeável porque o sedimento é de granulometria fina e muito fina nas adjacências da desembocadura do canal; e, em ambos os balneários, o crescimento urbano acompanhado pelo aumento do número de edificações e pavimentação de ruas afeta direta e negativamente o processo de infiltração natural. Sobre os impactos da urbanização, tem-se ainda a alteração da configuração natural dos sangradouros para adequação à malha de drenagem urbana.

No último setor, embora as praias do Hermenegildo e do Chuí apresentem características mais intermediárias, isto é, com maior porcentagem de areia média e maior mobilidade praias (Calliari & Klein, 1993), nelas também predominam concentrações de sangradouros altas a moderadas segundo os limiares aqui considerados. De acordo com Pereira da Silva et al. (2003) esta alta concentração de sangradouros está relacionada à presença de depósito Holocênico (turfa) coberto por uma fina camada de sedimentos; esse depósito sub-superficial forma uma camada impermeável, o que aumenta o fluxo do sangradouro e causa grande perda de sedimento da porção subaérea para a zona de surfe. Sendo assim, os pontos mais suscetíveis à erosão nesta porção do litoral, dentre outros fatores, estão relacionados a esta alta concentração natural de sangradouros.

Estudando especificamente a questão da erosão do Balneário do Hermenegildo, Koener (2012) ouviu da população local em Audiência Pública que o número de sangradouros já foi bastante superior em relação ao que é hoje: “tinha uns 15”, disseram os moradores. Tomando os mesmos 2,6 km, isto equivaleria a mais de 5 sangradouros por quilômetro. Alguns moradores atribuem à redução do número de sangradouros, dada pelo soterramento dos sangradouros para construção de ruas, a causa da erosão costeira local e acreditam que a reabertura destes minimizaria o problema.

Exemplos contrários à alta concentração de sangradouros observada na maioria das praias do litoral gaúcho são as praias nas regiões do Farol de Estreito e da Lagoa do Peixe. De acordo com Figueiredo e Calliari (2006), isto é devido às características morfodinâmicas intermediárias a refletivas da primeira, que lhe conferem maior permeabilidade e também propiciam a formação de uma berma alta que força o sangradouro a migrar longitudinalmente à costa, e, na segunda, à captação da drenagem pluvial pela própria Lagoa.

A Figura 17, a seguir, é a representação espacial desta classificação obtida para o litoral gaúcho em termos de concentração de sangradouros.

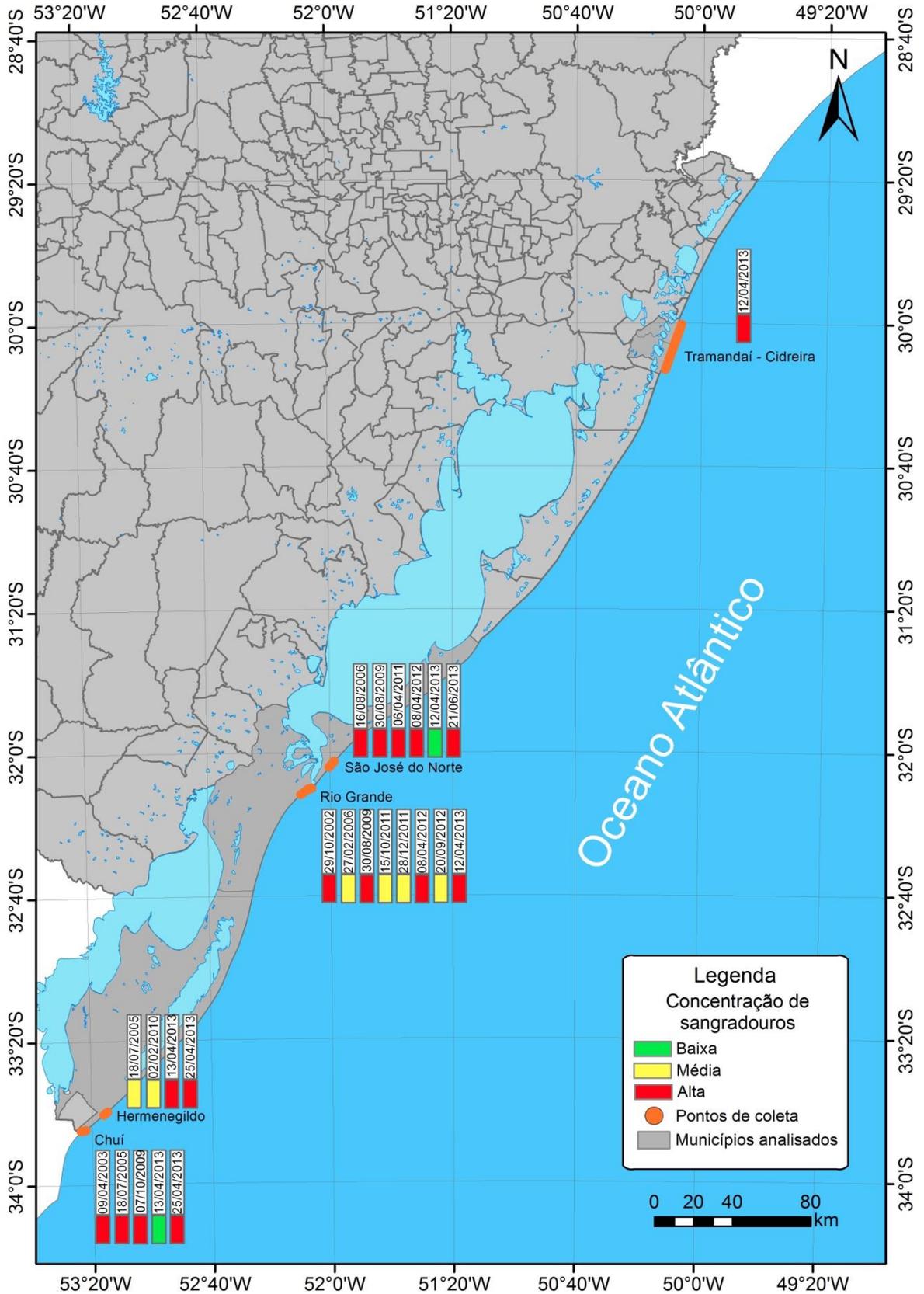


Figura 17 - Classificação temporal do geoindicador Concentração de Sangradores no litoral do RS.

### 5.1.5. Qualidade Sanitária

Embora não satisfaça ao perfil de um Geoindicador em si, achou-se cabível e relevante a proposição do indicador ambiental denominado Qualidade Sanitária (QS) para a avaliação da vulnerabilidade da costeira. Isto porque se desejava incluir na análise algum indicador de cunho socioambiental, ou seja, algum que expressasse a pressão antrópica sobre o meio e que também, de alguma forma, dependesse da dinâmica do meio, afetando diretamente a interação do usuário com a praia.

Dentre os geoindicadores, a QS se relaciona particularmente com a Concentração de Sangradouros, visto que estas feições frequentemente são usadas pelo homem como canal de descarte, de esgoto. Por consequência, os sangradouros, vias naturais de drenagem da retrobarreira, drenam também contaminação ao sistema praial (areia e água). A contaminação da praia certamente não é devida apenas à falta de saneamento básico adequado – que leva aos esgotos clandestinos que chegam à praia; o mau uso por parte dos usuários também é comprometedor: o resultado das coletas de águas realizadas nas campanhas de veraneio no estado, sobretudo aquelas após as festividades de final de ano, mostram valores muito maiores do que aqueles encontrados em qualquer outro período (Tabela 13).

Tabela 13 - Concentrações de Col. Termotolerantes obtidas no monitoramento de Balneabilidade antes e após o Reveillon de 2013 em Torres-RS.

<b>Ponto</b>	<b>Campanha</b>	<b>Data</b>	<b>NMP/100mL</b>
<b>Praia dos Molhes</b>	8	06/01/2013	300
	7	30/12/2012	8
<b>Praia da Guarita</b>	8	06/01/2013	500
	7	30/12/2012	50
<b>Praia da Cal</b>	8	06/01/2013	300
	7	30/12/2012	4
<b>Prainha</b>	8	06/01/2013	240
	7	30/12/2012	17
<b>Praia Grande</b>	8	06/01/2013	240
	7	30/12/2012	8
<b>200m da foz do Rio Mampituba</b>	8	06/01/2013	5000
	7	30/12/2012	1300

Fonte: Fepam.

Estes valores amostrados na tabela anterior constam no banco de dados da Fepam<sup>15</sup>, órgão que realiza campanhas de monitoramento da balneabilidade dos corpos d'água do estado desde 2001 (Projeto Balneabilidade). Esta avaliação das condições e da evolução da balneabilidade, isto é, das águas destinadas à recreação de contato primário cuja possibilidade de ingestão de água é alta, foi regulamentada em Novembro do ano de 2000 pela Resolução Conama 274. A Resolução determina que as águas destinadas à balneabilidade devam ter sua condição avaliada nas categorias própria e imprópria segundo as concentrações, também delimitadas na Resolução, de Coliformes Termotolerantes, *Escherichia coli* e, no caso das águas marinhas, também de enterococos. Ademais, a Resolução ainda estipula outras ocorrências que, se verificadas no trecho avaliado, caracterizam-no como impróprio:

§ 4o As águas serão consideradas impróprias quando no trecho avaliado, for verificada uma das seguintes ocorrências:

- a) não atendimento aos critérios estabelecidos para as águas próprias;
  - b) valor obtido na última amostragem for superior a 2500 coliformes fecais (termotolerantes) ou 2000 *Escherichia coli* ou 400 enterococos por 100 mililitros;
  - c) incidência elevada ou anormal, na Região, de enfermidades transmissíveis por via hídrica, indicada pelas autoridades sanitárias;
  - d) presença de resíduos ou despejos, sólidos ou líquidos, inclusive esgotos sanitários, óleos, graxas e outras substâncias, capazes de oferecer riscos à saúde ou tornar desagradável a recreação;
  - e) pH < 6,0 ou pH > 9,0 (águas doces), à exceção das condições naturais;
  - f) floração de algas ou outros organismos, até que se comprove que não oferecem riscos à saúde humana;
  - g) outros fatores que contraindiquem, temporária ou permanentemente, o exercício da recreação de contato primário.
- (Resolução Conama 274/2000, Art. 2º, § 4º)

No caso do Rio Grande do Sul, os resultados “brutos” informados e livremente acessíveis no *website* do órgão ambiental são geralmente expressos apenas em concentração de Coliformes Termotolerantes, embora a análise dos demais critérios previstos na legislação também seja realizada e os dados fornecidos se solicitados junto à Fepam. Isto talvez porque a concentração de coliformes é a informação mais compreensível pelo público comum – que se interessa mais por saber apenas se o ambiente está propício ou não para o uso – ou porque, de fato, este critério seja o mais preponderante, ou o limitante, na avaliação de balneabilidade. Semelhantemente, este trabalho considera apenas o critério “coliforme”, mas para mensurar o indicador Qualidade Sanitária e não a Balneabilidade, justamente porque esta poderia ser subestimada.

Observando às características desejáveis para um bom indicador, a qualidade sanitária se destaca por sua relevância, sensibilidade e operacionalidade:

---

<sup>15</sup> Fonte: <http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/balneabilidade.asp>

- A qualidade da água também diz respeito às condições sanitárias do seu entorno; evidenciando a pressão antrópica e as ações dos governantes, isto é, a resposta do poder público aos impactos gerados pela pressão ou, o que seria melhor, seus programas de prevenção;
- A determinação da concentração de coliformes termotolerantes (análise biológica laboratorial) é simples, já consolidada e responde em curto prazo (dias) às variações ambientais e às de pressão ou de resposta antrópica;
- Para os principais corpos d'água balneáveis do estado estão disponíveis gratuitamente séries temporais de dados de concentrações de coliformes termotolerantes de mais de uma década.
- Os limiares que definem os níveis de qualidade sanitária podem ser facilmente estabelecidos com base naqueles dispostos na legislação para a balneabilidade;

Em se tratando de uma análise que considera tão somente a mensuração de coliformes termotolerantes, a QS necessariamente remete a um processo de contaminação por fezes de animais de sangue quente, pois são bactérias características do trato intestinal destes. Assim, à exceção de ambientes próximos, por exemplo, a sítios de criação de bovinos em que as excretas destes alcançam o corpo d'água, dificilmente a contaminação não decorre das excretas humanas. Os coliformes em si não são prejudiciais à saúde humana, mas se eles ocorrem no meio há de se inferir que também ocorram demais organismos, inclusive, organismos patogênicos eliminados nas fezes de indivíduos doentes. Estes sim são agentes infecciosos e configuram perigo à saúde humana; nos casos em que um corpo d'água é sistematicamente caracterizado como impróprio, a Resolução Conama 274 recomenda a pesquisa de organismos patogênicos (Art. 2º, § 5º).

Considerando então todo o exposto, e assim como para os demais geoindicadores, o indicador Qualidade Sanitária foi “construído” nos moldes da tabela de informações sistematizadas conforme segue (Tabela 14):

Tabela 14 – Indicador: Qualidade Sanitária

<b>Nome</b>	<b>Qualidade Sanitária</b>
<b>Descrição breve</b>	A avaliação do estado do ambiente aquático é regulamentada pela Resolução CONAMA 274, que diz respeito à balneabilidade dos corpos d'água. A balneabilidade é avaliada segundo critérios de análises microbiológica e também físico-química, mas comumente expressa apenas em termos de concentração de coliformes termotolerantes, organismos característicos do trato intestinal de animais de sangue quente. Simplificando a análise ao critério coliforme, opta-se então pelo

	<p>termo Qualidade Sanitária.</p> <p>A ocorrência de coliformes termotolerantes evidencia as condições sanitárias do ambiente e do seu entorno e permite inferir a possibilidade de ocorrência de outros organismos, inclusive os patogênicos; o que justifica o monitoramento da qualidade das águas, sobretudo daquelas áreas de lazer aquático destinadas ao contato primário, isto é, cuja possibilidade de ingestão da água é alta.</p>
<b>Importância</b>	<p>A Qualidade Sanitária orienta os usuários sobre as condições de recreação, se favoráveis ou não, de um corpo d'água específico; evitando, assim, a exposição dos usuários a águas contaminadas que oferecem risco eminente à saúde. É relevante, ainda, porque pode prejudicar a atividade de sustento extrativista: água contaminada, qualidade do pescado possivelmente comprometida. E, na esfera administrativa, ela diz respeito sobre os cuidados e infraestrutura sanitária dos centros urbanos.</p>
<b>Natureza da causa</b>	<p>Sua causa é principalmente antrópica pelo aporte de esgoto doméstico nas proximidades ou no próprio corpo d'água. A afluência turística em períodos de alta temporada intensifica este aporte, mas eventualmente fatores/condições ambientais podem também vir a favorecer a contaminação, como a lixiviação de solos "contaminados" pelas excretas de mamíferos.</p>
<b>Ambiente onde é aplicável</b>	<p>É aplicável em ambientes aquáticos de interesse público ao desenvolvimento de atividades de contato primário, como praias, arroios, lagoas.</p>
<b>Locais para monitoramento</b>	<p>Pontos próximos a centros urbanos, e de interesse por parte dos usuários, e à jusante e à montante de afluentes.</p>
<b>Escala espacial</b>	<p>Local</p>
<b>Método de medição</b>	<p>A medição segue as diretrizes da amostragem para Balneabilidade, uma vez que o parâmetro utilizado deriva deste.</p> <p>Procedimento: amostragem d'água na isóbata de 1m nos pontos escolhidos e análise laboratorial biológica para a determinação da densidade de coliformes termotolerantes.</p>
<b>Frequência de medição</b>	<p>Recomenda-se maior frequência no período de maior afluência de usuários: semanalmente durante o veraneio. No mais, medições mensais.</p>
<b>Aplicações para o passado e futuro</b>	<p>O monitoramento ao longo do ano e intensificado no verão apresenta à população as condições imediatas de uso do corpo d'água, mas também mostra, visto o monitoramento contínuo no decorrer dos anos, a evolução e a tendência das condições sanitárias dos corpos d'água.</p>
<b>Limiar possível</b>	<p><b>Níveis de Qualidade segundo a densidade de Coliforme Termotolerante</b></p> <p><b>Imprópria:</b> superior a 1000* em mais de 25% do tempo monitorado**, ou superior a 2.500* na última amostragem;</p> <p><b>Satisfatória:</b> valor máximo de 1.000* em, pelo menos, 75% do tempo monitorado**;</p> <p><b>Própria:</b> valor máximo de 250* em, pelo menos, 75% do tempo monitorado**.</p> <p><i>*NMP/100mL de Coliforme Termotolerante.</i></p> <p><i>**isto é, do número de campanhas realizadas: geralmente 15 no verão.</i></p>

<b>Referências essenciais</b>	Resolução CONAMA 274/2000. <a href="http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/balneabilidade.asp">http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/balneabilidade.asp</a> - Acesso em 26/03/12 <a href="http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/Praias/18-balneabilidade">http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/Praias/18-balneabilidade</a> - Acesso em 26/03/12
<b>Assuntos relacionados</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Balneabilidade;</li> <li>• Concentração de sangradouros;</li> <li>• Aumento da densidade populacional sazonal;</li> <li>• Saneamento básico;</li> <li>• Doenças de veiculação hídrica.</li> </ul>
<b>Avaliação global</b>	A Qualidade Sanitária interessa, sobretudo, ao público usuário ou dependente dos ambientes aquáticos. É um indicador facilmente compreendido, relevante e objetivo: sua avaliação e monitoramento indicam as condições imediatas, mas também a tendência natural do ambiente e sua capacidade de suporte às pressões antrópicas.

A aplicação e efetividade deste indicador foram testadas em 17 pontos distribuídos ao longo de todo o litoral do Rio Grande do Sul (Tabela 15). Estes pontos pertencem à malha espacial de monitoramento do Projeto Balneabilidade (Fepam) que conta com mais de 60 pontos de amostragem só na região litorânea.

Tabela 15 – Identificação dos pontos selecionados para aplicar o indicador “Qualidade Sanitária”.

<b>Sector</b>	<b>Código</b>	<b>Estação</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>
<b>Litoral Norte</b>	BAL 01	Torres: 200 m da foz do rio Mampituba	-29,32617	-49,72135
	BAL 10	Capão da Canoa: Baronda	-29,7608030	-50,0120310
	BAL 21	A 100m da foz do Rio Tramandaí	-29,9751560	-50,1198040
	BAL 23	Tramandaí: 100m ao sul da plataforma	-30,0055930	-50,1306340
	BAL 27	Cidreira: em frente ao Ed. Alvorada	-30,1903480	-50,2073030
<b>Litoral Médio</b>	BAL 36	Tapes: Rua Pontal Tapes, 123	-30,6626	-51,38834
	BAL 53	Mar Grosso: em frente à R. Principal	-32,05564	-51,99303
	BAL 56	Prazeres: 200m à direita da R. Principal	-31,7372	-52,2105
	BAL 58	Santo Antônio: em frente à Av. RS	-31,7613	-52,227
	BAL 63	Cassino: em frente à R. Buenos Aires	-32,1865	-52,151958
<b>Litoral Sul</b>	BAL 67	Arroio Bolaxa: nas proximidades da BR.	-32,1597	-52,187898
	BAL 68	Pedro Osório: camping municipal	-	-
	BAL 69	Arroio Grande: Balneário do Pontal	-	-
	BAL 70	Santa Vitória do Palmar: Bal. do Porto	-33,4978	-53,43305
	BAL 71	Hermenegildo: próximo à Iemanjá	-33,6663	-53,25949
	BAL 72	Chuí: R. do reservatório da CORSAN	-33,7383	-53,363859

Segundo os limiares estabelecidos (Tabela 14), a síntese das condições de qualidade sanitária dos trechos selecionados e do período disponível está representada no quadro a seguir (Tabela 16): as células coloridas em vermelho, amarelo e verde destacam, respectivamente, os níveis de QS imprópria, satisfatória e própria; as células em branco ocorrem por não haverem dados para o período.

Tabela 16 - Classificação temporal da Qualidade Sanitária para 17 pontos do litoral do RS.

Setor	Código	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Litoral Norte	Bal 01			10	10	10	10	10	10	10	10	10
	Bal 10			1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Bal 21						1	1	10	10	1	1
	Bal 23			1	1	1	1	1	1	5	1	1
	Bal 27			1	1	10	1	1	10	1	1	1
Litoral Médio	Bal 36							5	10			
	Bal 53	1		1	1	1	1	1	10	1	1	1
	Bal 56	10	5	5	10	10	10	10	10			
	Bal 58	10	10	5	5	10	10	10	10			
	Bal 63	10		1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Bal 67			10	10	1	10	1	1			
Litoral Sul	Bal 68	5	5	1	1	1	5	1	5	1		
	Bal 69	5	5	1	5	1	1	1	1	1		
	Bal 70			5	1	1	5	1	1			
	Bal 71			1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Bal 72			1	1	1	1	1	1	1	1	1

Embora as condições variem de um verão para outro, ainda que para um mesmo ponto, é possível dizer da tendência da maioria dos locais amostrados:

- **Litoral Norte** – à exceção do ponto de Torres (Bal 01) e uma ou outra ocorrência para os pontos de Tramandaí (Bal 21) e Cidreira (Bal 27), predominam condições gerais próprias de QS neste setor;
- **Litoral Médio** – nos pontos dos ambientes praias do Mar Grosso (Bal 53) e do Cassino (Bal 63) predominam condições gerais próprias de QS; contudo, nos pontos de corpos d'água mais interiores, como os balneários do Laranjal (Bal 56 e 58) e do Arroio Bolaxa (Bal 67), os índices de qualidade sanitária são frequentemente ruins;
- **Litoral Sul** – condições próprias e satisfatórias gerais caracterizam este setor em todo o período analisado.

A insistência aqui em ressaltar a generalidade da avaliação – pelo uso repetitivo do termo “condições gerais” – se dá porque essa análise, como foi dito, é uma síntese: ela deriva da somatória do desempenho das amostragens realizadas no período de veraneio. Ou seja, mesmo nos pontos tidos como “próprios”, valores que expressam condições satisfatórias ou até impróprias eventualmente ocorreram em uma ou mais coletas. A respeito disso, seguem gráficos do tipo *boxplot* que melhor exemplifica isso e a tendência para três pontos de cada setor: Bal 01, Bal 63, Bal 70.

Em Torres, o ponto à 200m da foz do Rio Mampituba (Bal 01) se destaca entre os demais por ter mostrado condições de QS impróprias em todo o período monitorado: conforme mostram as linhas de mediana (em vermelho) dos *boxplots* da Figura 18, as concentrações de coliformes termotolerantes foram superiores a 1.000nmp/100mL em, pelo menos 50% das amostragens de todos os verões monitorados. Eventualmente houve concentrações menores que a marca dos 1000, como em 2007 e 2011, mas de fato predominaram valores em torno de 1600nmp/100mL.

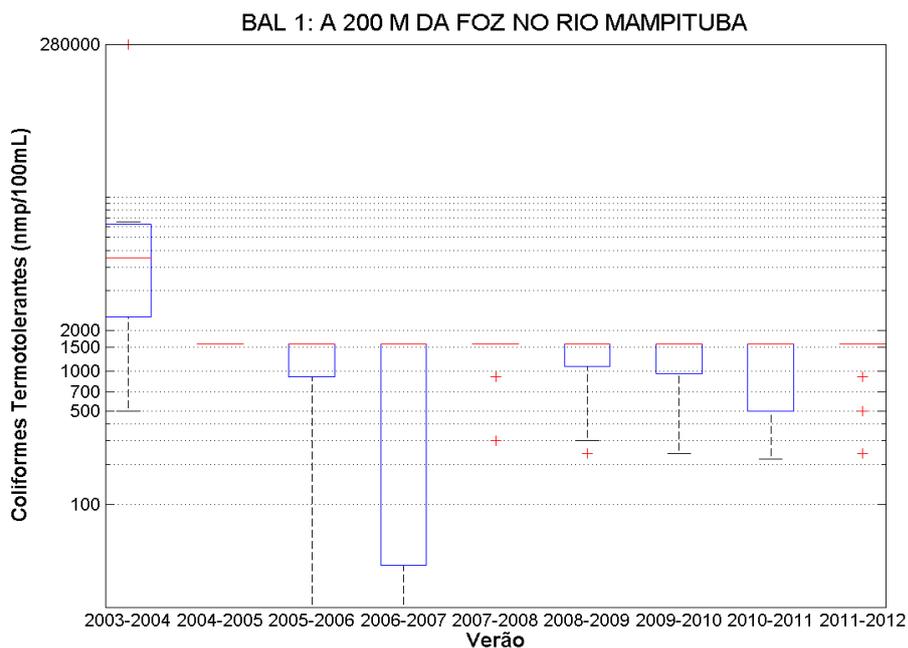


Figura 18 - QS Bal 01 (Torres):

78% dos valores de concentração de col. termotolerantes obtidos em todos os verões amostrados são iguais ou maiores ao limite superior aceitável estabelecido em legislação, que é de 1000nmp por 100mL; sendo que pelo menos 50% destes foi superior à marca dos 1500 NMP/100mL.

O ponto selecionado para representar o setor do Litoral Médio, o Bal 63 da Praia do Cassino, é exemplo de um ambiente de QS caracteristicamente positiva, mas com, poucos e aleatórios, valores discrepantes: 7 das 134 coletas realizadas mostraram valores não aceitáveis para o parâmetro estudado (Figura 19). O enquadramento da QS como “imprópria” no primeiro verão monitorado se deu porque, embora os valores de concentração de coliformes tenham permanecido abaixo de 1000nmp/100mL em mais de 75% das campanhas, na última amostragem realizada (em 26/12/2001) foram contados mais de 2500 coliformes por 100mL de água, o que reforça a ideia de como os a QS é prejudicada após datas festivas.

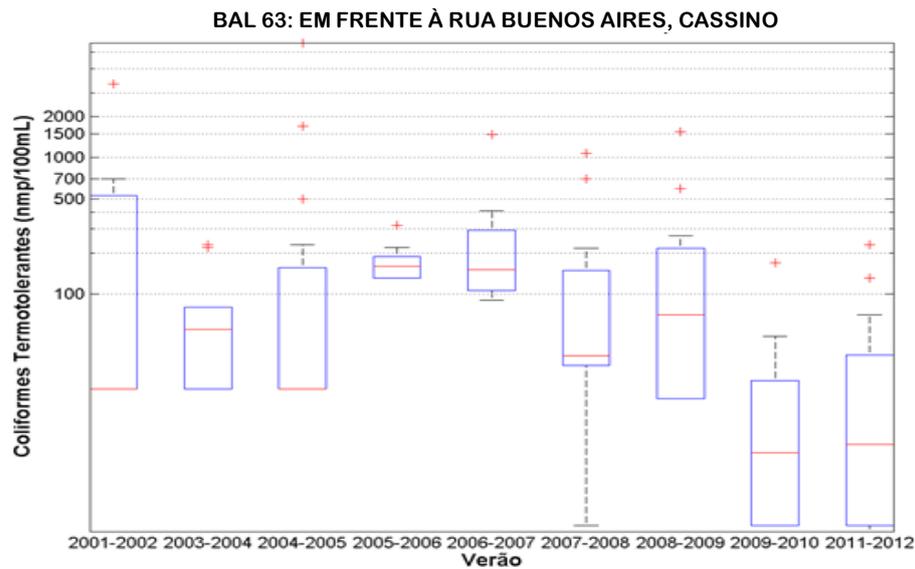


Figura 19 - QS Bal 63 (Cassino): 95% do período os valores máximos não discrepantes do conjunto se mantiveram abaixo dos 1000nmp por 100mL; contudo, valores isolados e superiores à esta marca também ocorreram como em 2002, 2005, 2007, 2008 e 2009.

A QS do Balneário do Porto (Bal 70) de Santa Vitória do Palmar foi classificada como “própria” ou “satisfatória” em todo o período monitorado, embora também percebidos alguns valores altos de coliformes (Figura 20).

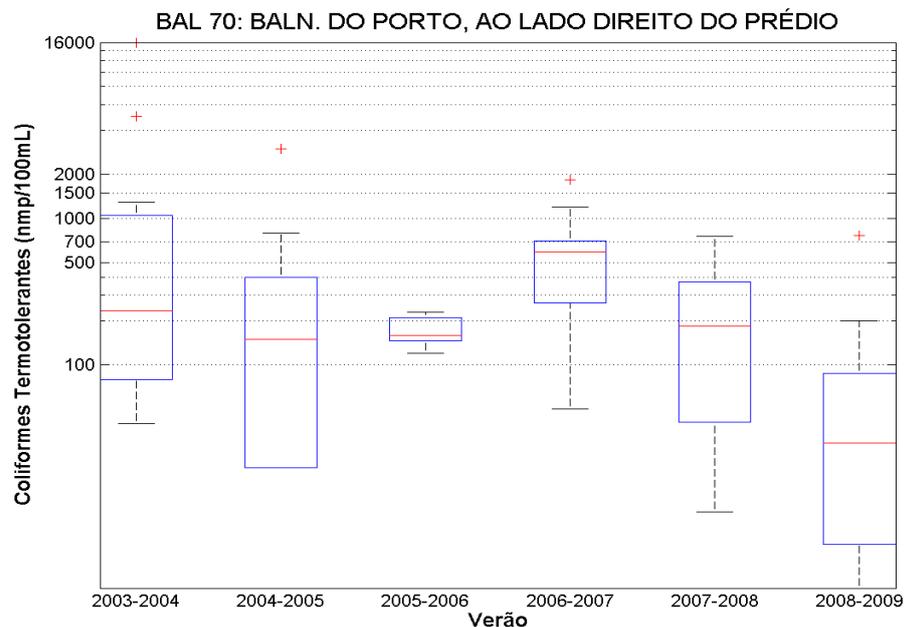


Figura 20 - QS Bal 70 (Santa Vitória do Palmar): à exceção do primeiro verão avaliado, 75% dos valores obtidos nas campanhas dos demais anos permaneceram abaixo dos 1000nmp por 100mL; valores bastante discrepantes do conjunto foram observados em 2004, 2005 e 2007.

A seguir, a representação da classificação temporal para a Qualidade Sanitária dos três setores da costa gaúcha (Figuras 21, 22 e 23).

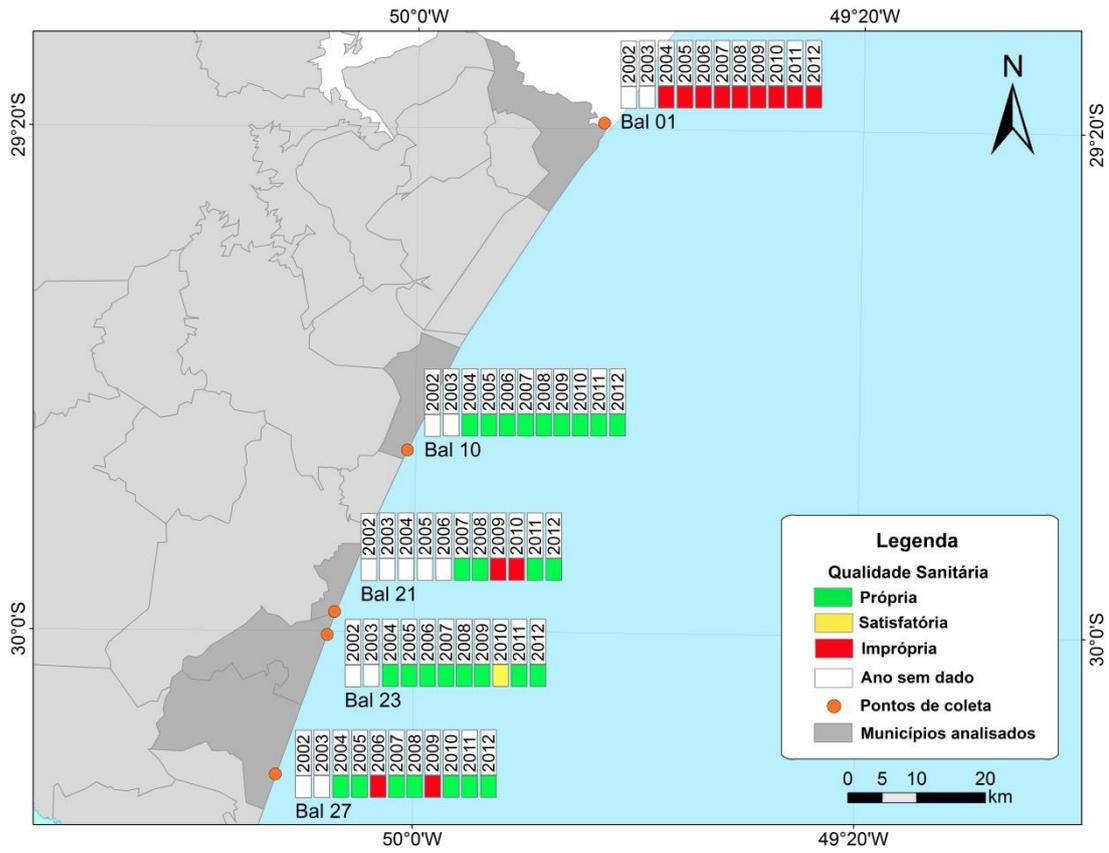


Figura 21 - Classificação temporal da Qualidade Sanitária no litoral Norte, RS.

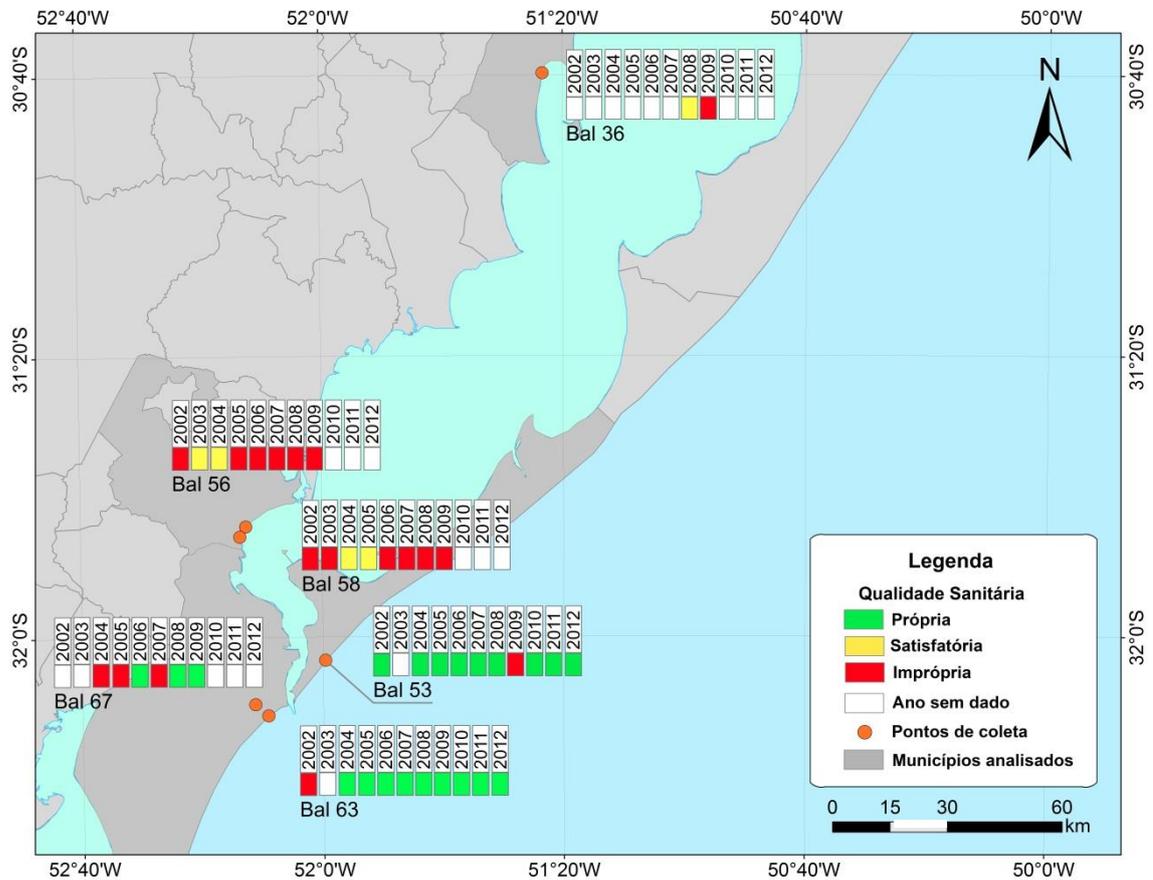


Figura 22 - Classificação temporal da Qualidade Sanitária no litoral Médio, RS.

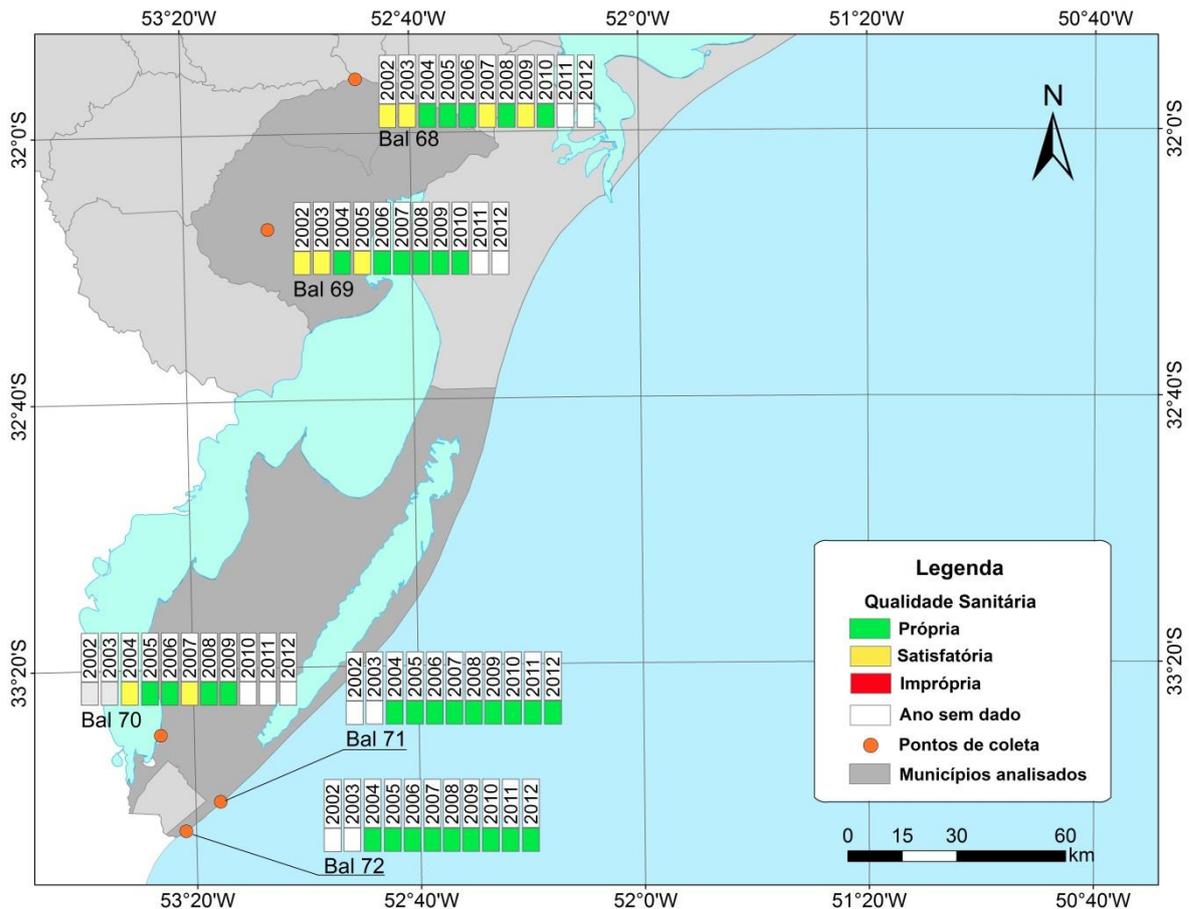


Figura 23 - Classificação temporal da QS para Litoral o Sul.

## 5.2 Índice de Vulnerabilidade

### 5.2.1. Consulta Técnica de Opinião

A Consulta Técnica de Opinião, para além de seu objetivo maior que era o de minimizar a subjetividade na atribuição de pesos para cada geoindicador para elaboração do Índice de Vulnerabilidade, contribuiu na apuração do método, isto é, na determinação dos limiares de referência e das frequências de monitoramento para o caso da costa do Rio Grande do Sul, e também confirmou a relevância dos indicadores propostos.

Os inquiridos foram selecionados de modo a compor quatro categorias distintas de nível de conhecimento no universo das Geociências Costeiras, porém cada participante pôde especificar no questionário seu real nível de conhecimento acerca de cada parâmetro estudado para que, então, suas contribuições fossem devidamente ponderadas.

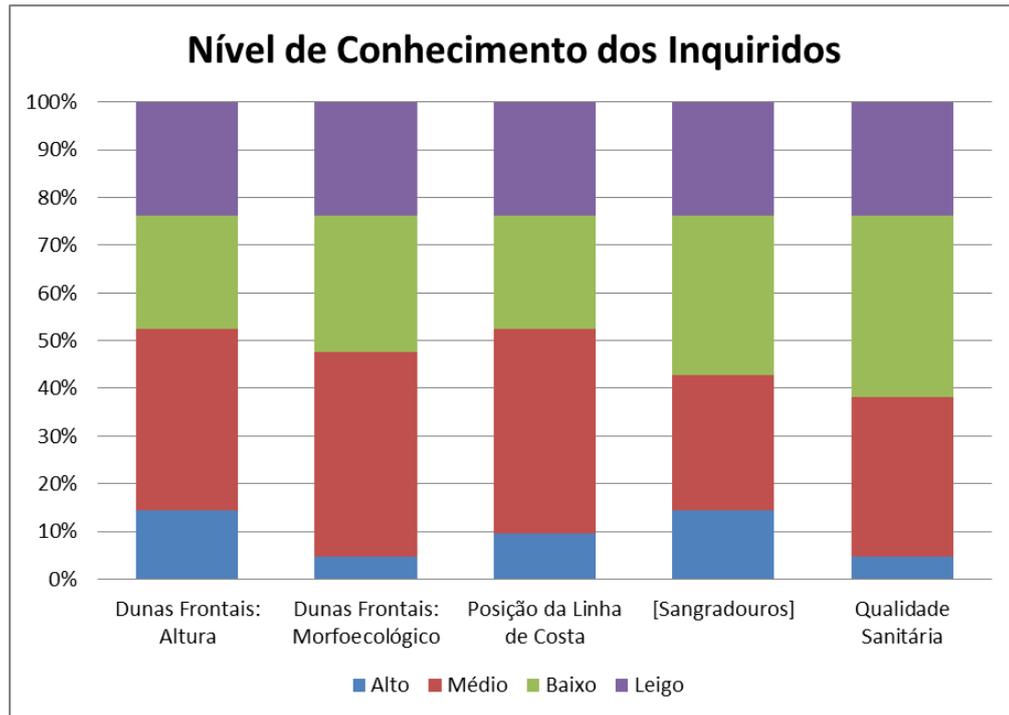


Figura 24 - Nível de conhecimento dos inquiridos na consulta.

A Figura 24 mostra a proporção do nível de conhecimento dos inquiridos por geoindicador e revela uma não homogeneidade no nível de conhecimento dos inquiridos, principalmente no que se refere ao número de representantes de conhecimento alto e médio. Essa desproporcionalidade poderia ser considerada uma limitação à análise de modo a “viciar” o resultado, contudo ela já era esperada, pois advém do caráter multidisciplinar da pesquisa e dos especialistas consultados. Embora um participante especialista integre a categoria de “pesquisadores/profissionais da área de Oceanografia Geológica Costeira (OGC)”, ele dificilmente terá um alto de nível de conhecimento em todos os vieses da pesquisa: ele oscila entre os grupos de conhecimento alto e médio.

Independentemente do nível de conhecimento, todos os participantes da consulta puderam opinar demonstrando quão relevante foi a proposta do trabalho e, mais especificamente, quão relevante é cada geoindicador (Figura 25).

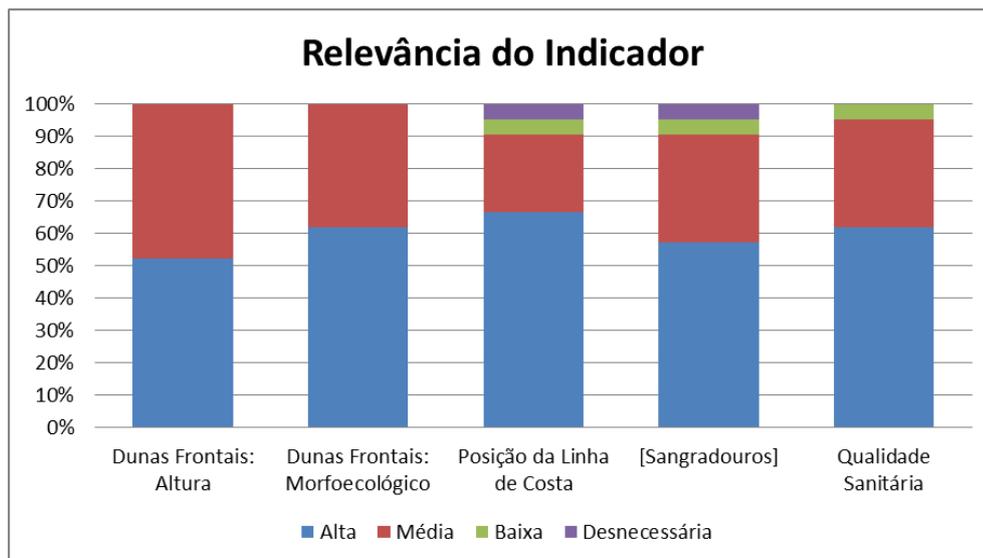


Figura 25 - Grau de relevância atribuída a cada geoindicador.

O gráfico acima evidencia que todos os geoindicadores propostos foram bem aceitos, sendo que, em todos os casos, pelo menos 50% dos inquiridos atribuíram alta relevância ao geoindicador. Destaca-se o grau de relevância, no mínimo, médio atribuído aos geoindicadores concernentes às dunas frontais, pois demonstra que os diferentes públicos consultados, do leigo ao especialista, reconhecem ou valorizam o papel dos sistemas dunares na proteção e manutenção do equilíbrio costeiro.

A ambos os indicadores Posição da Linha de Costa e Qualidade Sanitária foi atribuído alta relevância com maior frequência, visto a preferência dos inquiridos da área de Geociências e dos usuários comuns, respectivamente. Essa tendência já era esperada, sobretudo em relação à Qualidade Sanitária, pois o homem julga a qualidade de vida na medida em que o mundo que o cerca corresponde as suas expectativas e necessidades (Schroevers (1993) *apud* Magalhães Júnior, 2011); e, dentre os geoindicadores propostos, este é aquele que mais se aproxima da realidade do usuário da praia, afetando ou interferindo diretamente seus interesses.

O geoindicador Concentração de Sangradouros teve uma boa aceitação por todos os consultados, mas possivelmente por motivos diferentes. Isto porque, por um lado, assim como a Qualidade Sanitária, os sangradouros interessam o público comum porque também fazem parte do seu universo de conhecimento: eles são visíveis na praia, fazem parte do cotidiano dos usuários da praia afetando explicitamente seu bem estar, seja pelo aporte de contaminação urbana ou por serem obstáculos ao trânsito de veículos, que é comum, por exemplo, nas praias ao sul do estado. Por outro lado, aqueles que estudam a dinâmica costeira o consideram

relevante por saberem do papel dos sangradouros na manutenção dos sistemas dunares, no transporte sedimentar e também no aporte de água continental.

Parte fundamental da consulta foi a etapa de Hierarquização, onde cada inquirido pôde efetivamente atribuir um grau de importância relativa a cada geoindicador. As hierarquias individuais obtidas e ponderadas segundo o grau de conhecimento dos inquiridos foram as mais diversas e sua síntese – somatório normalizado – resultou, finalmente, nos pesos para cada geoindicador (Tabela 17).

Tabela 17- Geoindicadores e respectivos pesos.

Dunas Frontais: Altura	Dunas Frontais: Morfoecológico	Posição da Linha de Costa	[Sangradouros]	Qualidade Sanitária
0,20	0,21	0,22	0,18	0,19

Interessante notar que os pesos obtidos não foram discrepantes entre si, variando de 0,18 a 0,22. Essa homogeneidade retoma àquilo que foi dito acima sobre as várias hierarquias apresentadas pelos consultados, pois todos encontraram dificuldade em avaliar a importância de um geoindicador em detrimento a outro. Ao final, contudo, os pesos corroboraram os graus de relevância apontados já na etapa anterior à hierarquização. O alto valor relativo atribuído à Posição da Linha de Costa reflete, principalmente, a preferência dos especialistas e estudiosos das Geociências, pois, a despeito de quais são as reais causas, o grupo concorda que no caso de variações negativas (retração) os impactos na zona costeira urbanizada seriam bastante negativos e difíceis de conter ou mitigar.

### 5.2.2. Aplicação do Índice de Vulnerabilidade

A definição de geoindicadores não prevê que os mesmos devam ser reunidos em um índice, pois são ferramentas suficientes que podem contribuir, mesmo individualmente, às avaliações das condições ou tendências do ambiente. A opção por um ou mais geoindicadores vai depender dos objetivos do trabalho e daquilo que é relevante no ambiente avaliado. Uma forma, contudo, de aplicar e ver a sinergia dos vários aspectos representados pelos diferentes geoindicadores é agrupando-os em um índice.

Valendo-se, então, dos pesos definidos na Consulta Técnica de Opinião e da identificação do desempenho local de cada geoindicador foi gerado um Índice que representa a Vulnerabilidade Física do ambiente avaliado. Isto porque, embora os geoindicadores tenham sido definidos cada qual em face de uma vulnerabilidade específica, o critério de todos foi o mesmo: remeter às características, ou conjunto de condições do meio, que induzem a suscetibilidade ambiental, que constitui perigo ao ser humano.

Foram sete os locais escolhidos ao longo do litoral gaúcho para aplicar o índice: Tramandaí e Cidreira no litoral Norte, Balneários de Mostardas e do Mar Grosso no litoral Médio, e Balneários do Cassino, do Hermenegildo e a praia do Chuí no litoral Sul. Esses locais foram escolhidos pela disponibilidade de dados e relevância dentro do trecho de cada setor do litoral. Em todos os casos as notas dos geoindicadores foram atribuídas a partir da média dos dados disponíveis para cada um em cada lugar, pois dificilmente os dados obtidos coincidiram para um mesmo lugar e em um mesmo intervalo de tempo.

Os dois trechos escolhidos para representar o litoral Norte, Tramandaí e Cidreira, resultaram em um índice de vulnerabilidade física intermediária: 4,26 e 4,34, respectivamente (Tabelas 18 e 19). Em comum eles apresentam alta concentração de sangradouros (Figueiredo & Calliari, 2004), uma linha de costa erosiva (Esteves, et al., 2001) e dunas frontais com altura igual ou superior a 2 metros (Calliari, et al., 2005). Em termos estado morfoecológico das dunas frontais, contudo, Cidreira “perde” por apresentar dunas com cobertura vegetal mais esparsa, de aspecto mais erosivo. E, para a qualidade sanitária, em Cidreira as condições são em geral próprias e em Tramandaí a média é um pouco mais inferior, mas ainda considerada satisfatória.

Tabela 18- Compuo do Índice de Vulnerabilidade Física de Tramandaí, RS.

<b>TRAMANDAÍ</b>					
<b>Geoindicador</b>	<b>PF</b>	<b>Atributo</b>	<b><math>W_g</math></b>	<b><math>PF * W_g</math></b>	<b>Nota</b>
Dunas Frontais – Altura	0,20	< 1m ou ausente	10	<b>2,0</b>	0,20
		$1 \geq h > 2m$	5	1,0	
		$\geq 2m$	1	0,20	
Dunas Frontais – Estado Morfoecológico	0,21	Ausente	10	<b>2,1</b>	0,21
		Presente	5	1,05	
		Bem estabelecida	1	0,21	
Posição da Linha de Costa	0,22	Erosão Severa	10	<b>2,2</b>	1,1
		Erosão	5	1,1	
		Estável ou Acresção	1	0,22	
[Sangradouros]	0,18	Alta	10	<b>1,8</b>	1,8
		Moderada	5	0,90	
		Baixa	1	0,18	
Qualidade Sanitária	0,19	Própria	10	<b>1,9</b>	0,95
		Satisfatória	5	0,95	
		Imprópria	1	0,19	
$\Sigma = 1$				$\Sigma_{\text{máx}} = 10$	$\Sigma = 4,26$

Tabela 19 - Computo do Índice de Vulnerabilidade Física de Cidreira, RS.

<b>CIDREIRA</b>						
<b>Geoindicador</b>	<b>PF</b>	<b>Atributo</b>	<b><math>W_g</math></b>	<b><math>PF * W_g</math></b>	<b>Nota</b>	
Dunas Frontais – Altura	0,20	< 1m ou ausente	10	<b>2,0</b>	0,20	
		$1 \geq h > 2m$	5	1,0		
		$\geq 2m$	1	0,20		
Dunas Frontais – Estado Morfoecológico	0,21	Ausente	10	<b>2,1</b>	1,05	
		Presente	5	1,05		
		Bem estabelecida	1	0,21		
Posição da Linha de Costa	0,22	Erosão Severa	10	<b>2,2</b>	1,1	
		Erosão	5	1,1		
		Estável ou Acresção	1	0,22		
[Sangradouros]	0,18	Alta	10	<b>1,8</b>	1,8	
		Moderada	5	0,90		
		Baixa	1	0,18		
Qualidade Sanitária	0,19	Própria	10	<b>1,9</b>	0,19	
		Satisfatória	5	0,95		
		Imprópria	1	0,19		
		$\Sigma = 1$			$\Sigma_{\text{máx}} = 10$	$\Sigma = 4,34$

Para representar o setor médio do litoral foram escolhidas as praias dos balneários de Mostardas e do Mar Grosso (São José do Norte), que foram avaliadas com base nos dados publicados por Calliari et al. (2005), Esteves et al. (2001), Figueiredo e Calliari (2005) e FEPAM. Os valores obtidos no computo do índice de cada um foram distintos, tal qual notavelmente naturalmente são distintos os aspectos geomorfológicos e hidrodinâmicos de uma localidade e outra. O grau de vulnerabilidade obtido para Mostardas foi intermediária, 4,18 (Figura 20), visto a contribuição dos atributos de peso 5 ( $W_g$ ) tanto para o geoindicador Estado Morfoecológico como para o indicador Qualidade Sanitária. Sobre este último, o resultado possivelmente foi superestimado e agravado, pois foi baseado nos dados da única campanha de monitoramento para Mostardas constante no banco de dados disponibilizado pela Fepam.

Tabela 20 - Compuo do Índice de Vulnerabilidade Física de Mostardas, RS.

<b>MOSTARDAS</b>					
<b>Geoindicador</b>	<b>PF</b>	<b>Atributo</b>	<b><math>W_g</math></b>	<b><math>PF * W_g</math></b>	<b>Nota</b>
Dunas Frontais – Altura	0,20	< 1m ou ausente	10	<b>2,0</b>	1,0
		$1 \geq h > 2m$	5	1,0	
		$\geq 2m$	1	0,20	
Dunas Frontais – Estado Morfoecológico	0,21	Ausente	10	<b>2,1</b>	0,21
		Presente	5	1,05	
		Bem estabelecida	1	0,21	
Posição da Linha de Costa	0,22	Erosão Severa	10	<b>2,2</b>	0,22
		Erosão	5	1,1	
		Estável ou Acréscão	1	0,22	
[Sangradouros]	0,18	Alta	10	<b>1,8</b>	1,8
		Moderada	5	0,90	
		Baixa	1	0,18	
Qualidade Sanitária	0,19	Própria	10	<b>1,9</b>	0,95
		Satisfatória	5	0,95	
		Imprópria	1	0,19	
$\Sigma = 1$				$\Sigma_{\text{máx}} = 10$	$\Sigma = 4,18$

A praia do Mar Grosso, por sua vez, teve uma classificação geral relativamente baixa, 2,62 (Tabela 21), pois, à exceção da ocorrência de sangradouros que é alta praticamente em todo o estado, a nota atribuída a todos os demais geoindicadores foi a mais baixa possível.

Tabela 21 - Compuo do Índice de Vulnerabilidade Física do Mar Grosso, RS.

<b>BALNEÁRIO DO MAR GROSSO</b>					
<b>Geoindicador</b>	<b>PF</b>	<b>Atributo</b>	<b><math>W_g</math></b>	<b><math>PF * W_g</math></b>	<b>Nota</b>
Dunas Frontais – Altura	0,20	< 1m ou ausente	10	<b>2,0</b>	0,20
		$1 \geq h > 2m$	5	1,0	
		$\geq 2m$	1	0,20	
Dunas Frontais – Estado Morfoecológico	0,21	Ausente	10	<b>2,1</b>	0,21
		Presente	5	1,05	
		Bem estabelecida	1	0,21	
Posição da Linha de Costa	0,22	Erosão Severa	10	<b>2,2</b>	0,22
		Erosão	5	1,1	
		Estável ou Acréscão	1	0,22	
[Sangradouros]	0,18	Alta	10	<b>1,8</b>	1,8
		Moderada	5	0,90	
		Baixa	1	0,18	
Qualidade Sanitária	0,19	Própria	10	<b>1,9</b>	0,19
		Satisfatória	5	0,95	
		Imprópria	1	0,19	
$\Sigma = 1$				$\Sigma_{\text{máx}} = 10$	$\Sigma = 2,62$

Ao longo dos 230 km finais no litoral sul do Brasil, estão inseridas as praias do Cassino, Hermenegildo e Chuí, todas aqui foram representadas pelo Índice de Vulnerabilidade

Física. Diferentemente das praias amostradas nos demais setores do litoral, às quais foi atribuído em geral um grau intermediário de vulnerabilidade, essas três praias do litoral Sul apresentaram classificações distintas e extremas entre si. Dos cinco geoindicadores, apenas a ocorrência de sangradouros apresentou uma mesma condição nos três ambientes: alta concentração.

A nota final atribuída ao Cassino foi a mais baixa, 2,62 (Tabela 22), caracterizando-a como uma praia de baixa vulnerabilidade física, segundo os termos aqui considerados. Isto porque são favoráveis a configuração das dunas frontais, o característico sistema praiial estável-progradante e a alta energia (ondas) e grandeza (extensão e largura) da praia, que favorece a reciclagem, ou diluição, do aporte de água contaminada.

Tabela 22 - Compuo do Índice de Vulnerabilidade Física do Cassino, RS.

<b>BALNEÁRIO DO CASSINO</b>					
<b>Geoindicador</b>	<b>PF</b>	<b>Atributo</b>	<b><math>W_g</math></b>	<b><math>PF * W_g</math></b>	<b>Nota</b>
Dunas Frontais – Altura	0,20	< 1m ou ausente	10	<b>2,0</b>	0,2
		$1 \geq h > 2m$	5	1,0	
		$\geq 2m$	1	0,20	
Dunas Frontais – Estado Morfoecológico	0,21	Ausente	10	<b>2,1</b>	0,21
		Presente	5	1,05	
		Bem estabelecida	1	0,21	
Posição da Linha de Costa	0,22	Erosão Severa	10	<b>2,2</b>	0,22
		Erosão	5	1,1	
		Estável ou Acreção	1	0,22	
[Sangradouros]	0,18	Alta	10	<b>1,8</b>	1,8
		Moderada	5	0,90	
		Baixa	1	0,18	
Qualidade Sanitária	0,19	Própria	10	<b>1,9</b>	0,19
		Satisfatória	5	0,95	
		Imprópria	1	0,19	
		$\Sigma = 1$		$\Sigma_{\text{máx}} = 10$	$\Sigma = 2,62$

No extremo oposto, o Balneário do Hermenegildo apresentou o maior grau de vulnerabilidade: 7,19 (Tabela 23). Esse desempenho já era esperado, pois são conhecidos o problema da erosão e a urbanização sobre as dunas frontais, contudo, uma análise que agregasse a isso as contribuições dos sangradouros e da qualidade das águas não tinha sido ainda realizada. Se por um lado a concentração de sangradouros aumenta o grau de vulnerabilidade, por outro as médias da qualidade sanitária (sempre favoráveis) o minimizam.

Tabela 23 - Computo do Índice de Vulnerabilidade Física do Hermenegildo, RS.

<b>BALNEÁRIO DO HERMENEGILDO</b>					
<b>Geindicador</b>	<b>PF</b>	<b>Atributo</b>	<b>W<sub>g</sub></b>	<b>PF * W<sub>g</sub></b>	<b>Nota</b>
Dunas Frontais – Altura	0,20	< 1m ou ausente	10	<b>2,0</b>	2,0
		$1 \geq h > 2m$	5	1,0	
		$\geq 2m$	1	0,20	
Dunas Frontais – Estado Morfoecológico	0,21	Ausente	10	<b>2,1</b>	2,1
		Presente	5	1,05	
		Bem estabelecida	1	0,21	
Posição da Linha de Costa	0,22	Erosão Severa	10	<b>2,2</b>	1,1
		Erosão	5	1,1	
		Estável ou Acreção	1	0,22	
[Sangradouros]	0,18	Alta	10	<b>1,8</b>	1,8
		Moderada	5	0,90	
		Baixa	1	0,18	
Qualidade Sanitária	0,19	Própria	10	<b>1,9</b>	0,19
		Satisfatória	5	0,95	
		Imprópria	1	0,19	
$\Sigma = 1$				$\Sigma_{\text{máx}} = 10$	$\Sigma = 7,19$

Por último, no extremo sul, a praia do Chuí foi classificada como intermediária (Tabela 24): as dunas frontais do trecho não tem altura tão expressiva ( $W_g = 5$ ), mas têm boa cobertura vegetal (Pereira, 2005); a linha de costa é erosiva (Esteves, et al., 2001); a concentração de sangradouros é alta (Pereira, *op. cit*); e, a qualidade sanitária da água é própria (FEPAM).

Tabela 24 - Computo do Índice de Vulnerabilidade Física do Chuí, RS.

<b>PRAIA DO CHUÍ</b>					
<b>Geindicador</b>	<b>PF</b>	<b>Atributo</b>	<b>W<sub>g</sub></b>	<b>PF * W<sub>g</sub></b>	<b>Nota</b>
Dunas Frontais – Altura	0,20	< 1m ou ausente	10	<b>2,0</b>	1,0
		$1 \geq h > 2m$	5	1,0	
		$\geq 2m$	1	0,20	
Dunas Frontais – Estado Morfoecológico	0,21	Ausente	10	<b>2,1</b>	0,21
		Presente	5	1,05	
		Bem estabelecida	1	0,21	
Posição da Linha de Costa	0,22	Erosão Severa	10	<b>2,2</b>	1,1
		Erosão	5	1,1	
		Estável ou Acreção	1	0,22	
[Sangradouros]	0,18	Alta	10	<b>1,8</b>	1,8
		Moderada	5	0,90	
		Baixa	1	0,18	
Qualidade Sanitária	0,19	Própria	10	<b>1,9</b>	0,19
		Satisfatória	5	0,95	
		Imprópria	1	0,19	
$\Sigma = 1$				$\Sigma_{\text{máx}} = 10$	$\Sigma = 4,49$

Alocando todas essas classificações obtidas sobre uma escala em ordem crescente de vulnerabilidade física, têm-se a seguinte sequência: Cassino e Mar Grosso, Mostardas, Tramandaí, Cidreira, Chuí e Hermenegildo (Figura 26).

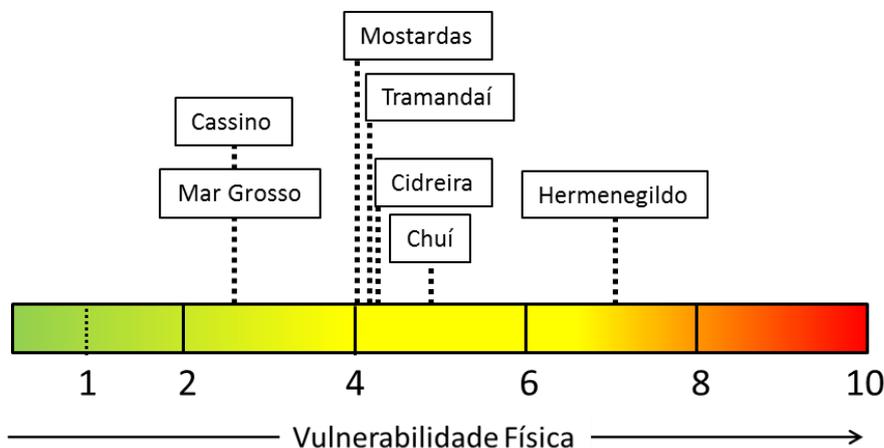


Figura 26 - Escalonamento da Vulnerabilidade Física para alguns trechos do litoral do RS.

É interessante notar que, a exceção do Hermenegildo onde a configuração das dunas frontais urbanizadas agravou o cenário, o grau de vulnerabilidade atribuído a todos os demais ambientes avaliados refletiu principalmente as condições naturais, isto é, não desencadeadas a priori pelo homem.

As boas condições gerais de qualidade sanitária são um aspecto bastante positivo considerando a alta concentração de sangradouros observada em todas as praias, pois caso fossem recorrentes condições impróprias, possivelmente o impacto dessa interação seria agravado.

O quadro intermediário para as praias do litoral Norte não representa em si uma situação alarmante, mas é importante lembrar que é o setor mais urbanizado da costa do RS, e, por isso, o grau de vulnerabilidade frente a eventos ou fenômenos naturais que atingem a costa pode ser acentuado tanto pela interferência de atividades antrópicas não planejadas, ou mal executadas, como pelo maior número de pessoas expostas. O mesmo vale para a região de Mostardas onde, embora ainda apresente um menor grau de urbanização, o acesso melhorado pelo projeto de adequação e restauração do trecho sul da BR 101 e a atividade turística em expansão indicam que o grau de vulnerabilidade física já (e naturalmente) classificado como intermediário pode ser logo intensificado pelas “contribuições” antrópicas.

Pode-se dizer que os balneários do Cassino e do Mar Grosso são privilegiados por condições naturais que lhes conferem baixo grau de vulnerabilidade, porém o Cassino tem experimentado considerável incremento populacional com advento da consolidação do Polo Naval de Rio Grande: estima-se que a população residente passou de 20 mil para 30 mil só

nos últimos cinco anos. É importante que essa taxa de crescimento populacional seja acompanhada por políticas públicas que visem à manutenção das atuais boas condições do meio ambiente costeiro – como pela estruturação de uma rede de saneamento capaz de atender a demanda e pela consolidação de áreas de preservação permanente.

Como produto final, o cartograma a seguir (Figura 27) foi elaborado para sumarizar e representar espacialmente o desempenho médio de cada geoindicador e a síntese desses nos termos do Índice Vulnerabilidade Física.

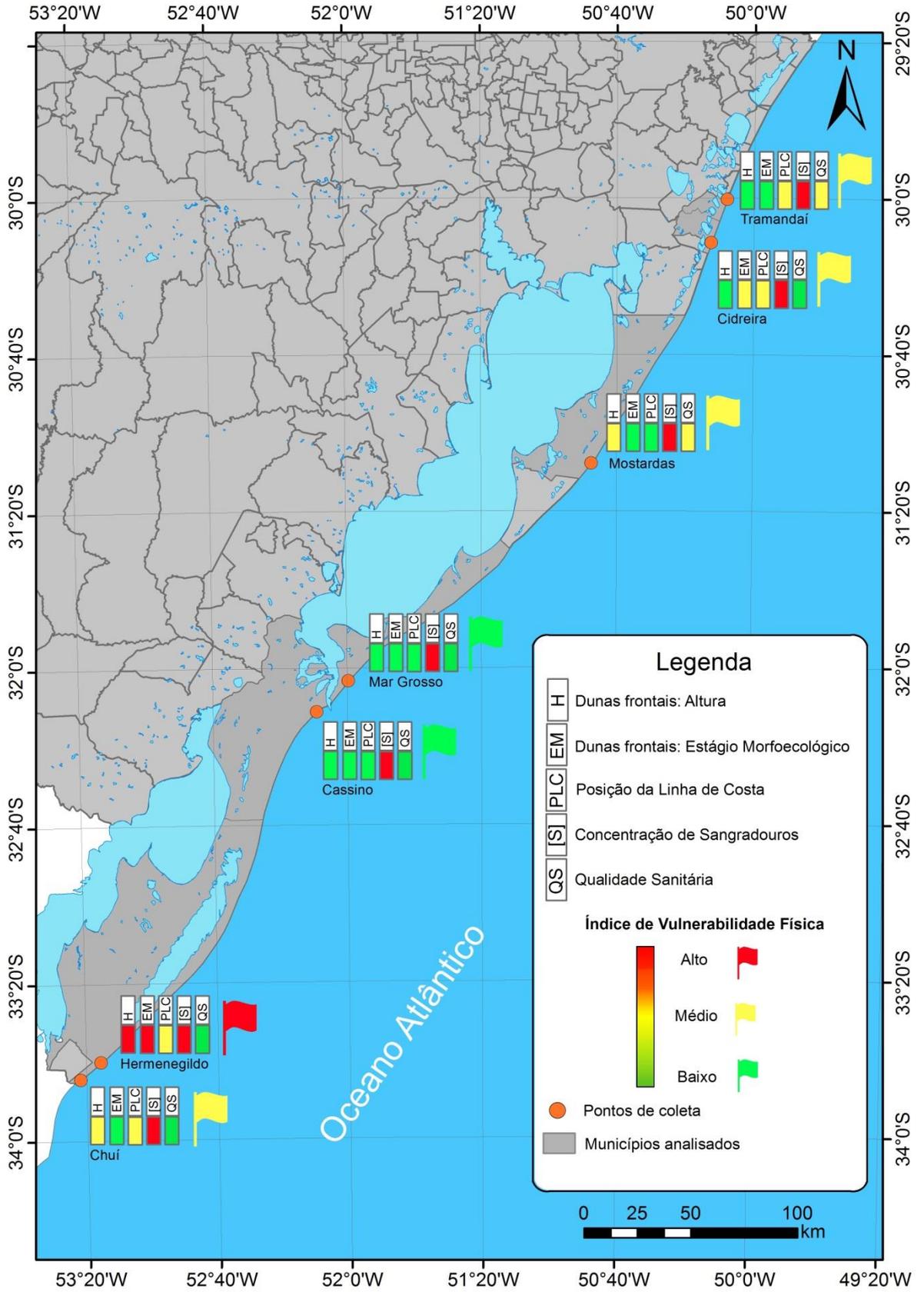


Figura 27- Cartograma da Vulnerabilidade Física da costa do RS.

## CONCLUSÕES

Aspecto satisfatório no desenvolvimento do trabalho foi o emprego de dados já existentes, dados levantados por instituições de ensino e de pesquisa socioeconômico-ambiental. Este “aproveitamento” não só diminui os custos inerentes à coleta de dados – custo financeiro, de tempo e de pessoal – mas, principalmente, reinventou o valor de dados já discutidos.

Os resultados obtidos e discutidos mostraram ser conveniente a abordagem de aspectos e parâmetros geológicos ambientais nos moldes de geoindicadores. A metodologia apresentada (tabela-definição) atendeu às características desejáveis aos indicadores em geral, mostrando-se sistemática, prática, eficiente e não rígida. Sobre isto, destaca-se a vantagem em empregar uma metodologia que pode e deve ser adaptada tanto no que tange aos métodos e frequência de medição e monitoramento utilizados como também aos limiares definidos para a classificação do ambiente; esta “flexibilidade” garante que os aspectos locais – tendências naturais, condições sociais e econômicas, e disponibilidade de recursos humanos e financeiros – não sejam ignorados (super ou subestimados) na análise.

Foram definidos quatro geoindicadores e um indicador ambiental: Altura e Estado Morfoecológico das Dunas Frontais, Posição da Linha de Costa, Concentração de Sangradouros e Qualidade Sanitária. A escolha destes foi em consequência da investigação bibliográfica, que apurou os aspectos relevantes na costa gaúcha e propícios à avaliação ambiental com vistas à caracterização da vulnerabilidade física do ambiente.

Para os geoindicadores referentes à configuração das dunas frontais, não foi possível elaborar um teste que representasse a evolução da condição dos termos ao longo do tempo, porque não foi possível reunir diferentes dados, isto é, de diferentes levantamentos, para as mesmas localidades. A aplicação destes, portanto, restringiu-se a representação de um único cenário para trechos do litoral Norte e do Médio que dispõem de dados na literatura.

Dentre os geoindicadores aqui propostos, a Posição da Linha de Costa é o único que originalmente compõe a lista de Berger & Iams (1996). Contudo, sua definição foi apurada e seus limiares especificados para o caso das praias do RS. O geoindicador PLC foi aplicado à orla do Hermenegildo e o cenário representado corroborou as tendências observadas nos recorrentes estudos com enfoque nos processos costeiros erosivos da região; mas, em vantagem sobre a análise convencional, tem-se que aquela sob a ótica de geoindicadores acerta ao estabelecer limiares e padronizar a análise, pois assegura que a evolução do ambiente seja sempre avaliada em termos iguais ao longo do tempo.

Sobre os sangradouros, sua definição como geoindicador se mostrou conveniente tanto em termos acadêmicos e de pesquisa como pelo interesse da população. Isto porque são feições muito comuns na costa do estado e, embora em muitos casos sejam pequenas e aparentemente inócuas, seu papel tem sido cada vez mais discutido – como nos trabalhos para a elaboração das Cartas de Sensibilidade ao Óleo na Bacia de Pelotas. A validação do geoindicador Concentração de Sangradouros foi possível em escala regional, abrangendo todos os trechos urbanizados dos setores Médio e Sul da costa do RS e um trecho menor (Tramandaí-Cidreira) do setor Norte; os resultados apontaram a predominância de altas concentrações de sangradouros em toda a costa, o que condiz com os resultados discutidos em outros estudos.

Embora não seja um indicador ambiental de cunho geológico, a definição e inclusão do indicador ambiental Qualidade Sanitária no rol desta avaliação foi acertada: agregou à análise um aspecto socioambiental que interessa aos usuários da praia e que pode interferir no desempenho, ou condições, dos geoindicadores abordados. Os três setores da costa foram avaliados e, em geral, foram observadas condições próprias em todo o estado; pontos críticos onde são recorrentes condições impróprias foram os balneários do Laranjal à margem da Lagoa dos Patos e aquele nas proximidades da foz do Rio Mampituba em Torres.

A realização da consulta de opinião foi uma etapa importante no processo de elaboração do índice e alcançou seu objetivo que era o de verificar a relevância da proposta e diminuir a subjetividade na atribuição de pesos para os indicadores. A apuração das hierarquias elencadas pelos consultados resultou nesta ordem (decrecente) de relevância: Posição da Linha de Costa, Estado Morfoecológico e Altura das Dunas Frontais, Qualidade Sanitária e Concentração de Sangradouros.

O Índice de Vulnerabilidade Física gerado foi testado em sete pontos da costa: Tramandaí, Cidreira, Mostardas e Chuí foram classificados como praias de vulnerabilidade intermediária; os balneários do Mar Grosso e do Cassino, baixa vulnerabilidade; e o Balneário do Hermenegildo, alta vulnerabilidade. A compilação dos geoindicadores em um índice não é imprescindível, pois cada qual é uma ferramenta válida e suficiente para subsidiar avaliações técnicas específicas, mas é uma demonstração de como os geoindicadores e indicadores ambientais podem ser empregados em uma análise ambiental sistêmica, e não particular.

Como produto final, para promover a visualização espacial das condições amostradas e tornar a análise mais compreensível, as aplicações de todos os geoindicadores e do Índice de Vulnerabilidade Física da costa gaúcha foram representadas cartograficamente em linguagem acessível ao público comum e aos tomadores de decisão.

Sugere-se que em trabalhos futuros seja desenvolvido um, ou mais, geoindicador que represente a evolução do estágio praial, já que a intenção de fazê-lo pelos índices de mobilidade do pós-praia e da linha de praia não obteve êxito. É desejável também que mais dados sejam reunidos para que a análise melhor reflita a evolução temporal das condições do ambiente.

## Referências

- Albuquerque, M., 2013. *Análise espaço-temporal das causas da variabilidade da linha de costa e erosão na praia do Hermenegildo, RS.*, Porto Alegre: s.n.
- Albuquerque, M. et al., 2013. Erosion or coastal variability: an evaluation of the DSAS and the Change Polygon method for the determination of erosive processes on sandy beaches. *Journal of Coastal Research*, Volume 65, pp. 1710-1714.
- Berger, A. R., 1997. Assessing rapid environmental change using geoindicators. *Environmental Geology*, Volume 321, pp. 36-44.
- Berger, A. R., 2002. Tracking rapid geological change. *Episodes*, Volume 25.
- Berger, A. R. & Iams, W., 1996. *Geoindicators - assessing rapid environmental changes in earth systems*. Rotterdam: A.A. Balkema.
- Bush, D., Neal, W., Young, R. & Pilkey, O., 1999. Utilization of geoindicators for rapid assessment of coastal-hazard risk and mitigation.. *Ocean and Coastal Management*, pp. 647-670.
- Calliari, L. et al., 2010. Perigos e riscos associados a processos costeiros no litoral sul do Brasil (RS): uma síntese.. *Braz. J. Aquat. Sci. Technol.*, pp. 49-61.
- Calliari, L. & Klein, A., 1993. Características morfodinâmicas e sedimentológicas das praias oceânicas entre Rio Grande e Chuí, RS.. *Pesquisas*, pp. 48-56.
- Calliari, L. & Klein, A., 1993. Características morfodinâmicas e sedimentológicas das praias oceânicas entre Rio Grande e Chuí, RS.. *Pesquisas*, pp. 48-56.
- Calliari, L., Pereira, P., De Oliveira, A. & Figueiredo, S., 2005. Variabilidade das Dunas Forntais no Litoral Norte e Médio do Rio Grande do Sul, Brasil. *GRAVEL*, Novembro, pp. 15-30.
- Calliari, L., Pereira, R., De Oliveira, A. & Figueiredo, S., 2005. Variabilidade das Dunas Frontais no Litoral Norte e Médio do Rio Grande do Sul, Brasil. *GRAVEL*, Novembro, pp. 15-30.
- Carter, R. W. G., Nordstrom, K. F. & Psuty, N. P., 1990. The study of coastal dunes. In: *Coastal dunes - Form and Process*. Chinchester: J. Wiley, pp. 1 - 16.
- Carvalho, R. V., Silva, K. G. d. & Crivellario, C. V. L., 2008. *Gestão Ambiental das Dunas Costeiras: manejo e conservação*. Rio Grande: NEMA.
- Coltrinari, L. & McCall, G., 1995. Geo-Indicadores: Ciências da Terra e Mudanças Ambientais. *RDG*, Volume IX, pp. 5-11.
- CONAMA, C. N. d. M. d. A., 2000. *Resolução Conama nº 274*. [Online] Available at: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res00/res27400.html> [Acesso em 23 Agosto 2013].

- Costa, M. B. S. F., Mallmann, D. L. B., Pontes, P. M. & Araujo, M., 2010. Vulnerability and impacts related to the rising sea level in the Metropolitan Center of Recife, Northeast Brazil. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, October, 5(2), pp. 341-349.
- Davies, P., Willians, A. T. & Curr, R. H. F., 1995. Decision making in dune management: theory and practice. *Jornal of Coastal Conservation*, Issue 1, pp. 87-96.
- Egler, C. A. G., 2005. *As cartas de risco ambiental, social e tecnológico do novo Macrodiagnóstico da Zona Costeira*. Itajaí: Ministério do Meio Ambiente.
- Esteves, L. S., 2006. Variabilidade Espaço Temporal. In: *Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro*. Brasília: MMA, pp. 460-467.
- Esteves, L. et al., 2003. Coastal development and human impacts along Rio Grande do Sul beaches, Brazil.. *Journal of Coastal Research*, Volume SI 35, pp. 548-556.
- Esteves, L. S., Toldo Jr., E., Dillenburg, S. R. & Tomazelli, L. J., 2002. Long- and Short-Term Coastal Erosion in Southern Brazil. *Journal of Coastal Research*, pp. 273-282.
- Esteves, L., Teixeira, P. & Williams, J., 2008. Managing coastal erosion: from long-term coastal evolution to seasonal shoreline changes. *IAHS-AISH publication*, pp. 516-523.
- Esteves, L., Toldo Jr., E., Almeida, L. & Nicolodi, J., 2001. *Erosão na costa do Rio Grande do Sul entre 1975-2000*. Imbé-RS, s.n., pp. 511-513.
- Figueiredo, S. A., 2002. *Distribuição espaço-temporal dos sangradouros na costa gaúcha no trecho São José do Norte - Farol de Mostardas.*, Rio Grande: Universidade Federal do Rio Grande, Oceanografia.
- Figueiredo, S. A., 2002. *Distribuição espaço-temporal dos sangradouros na costa gaúcha no trecho São José do Norte - Farol de Mostardas.*, Rio Grande: Universidade Federal do Rio Grande, Oceanografia.
- Figueiredo, S. A. & Calliari, L. J., 2004. *Washouts in the central and northern littoral of Rio Grande do Sul State, Brazil: distribution and implications.*. Itajaí, s.n.
- Figueiredo, S. A., Cowell, P. & Short, A. D., 2007. Intermittent backbeach discharge to the surfzone: modes and geomorpholoycal implications. *Journal of Coastal Research*, pp. 610-614.
- Figueiredo, S. A. d. & Calliari, L. J., 2005. Sangradouros: Distribuição Espacial, Variação Sazonal, Padrões Morfológicos e Implicações no Gerenciamento Costeiro.. *GRAVEL*, Novembro, pp. 47-57.
- Figueiredo, S. A. d. & Calliari, L. J., 2005. Sangradouros: Distribuição Espacial, Variação Sazonal, Padrões Morfológicos e Implicações no Gerenciamento Costeiro.. *GRAVEL*, Novembro, pp. 47-57.
- Figueiredo, S. & Calliari, L., 2006. Washouts in the central and northern littoral of Rio Grande do Sul state, Brazil: distribution and implications.. *Journal of Coastal Research*, pp. 366-370.

- Franchini, R., 2010. *Diagnóstico de Vulnerabilidade das dunas frontais do município de Arroio do Sal — contribuição para o Plano de Manejo de Dunas.*, Porto Alegre: s.n.
- GERCOM/PGT/SQA/MMA, 2006. CONAMA. [Online] Available at: [http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/2C90E64D/ProgNacionalMonitoramento\\_sitNov2006.pdf](http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/2C90E64D/ProgNacionalMonitoramento_sitNov2006.pdf) [Acesso em 08 06 2013].
- Gonçalves, D., Garcia, R. & Oliveira, C., 2011. *Avaliação da Expansão do Balneário Cassino e da Acessibilidade aos Serviços de Saúde, Educação e Segurança.* Curitiba, INPE, pp. 8764-8771.
- Hesp, P., 1988. Morphology, dynamics and internal stratification of some established foredunes in Southeast Australia. *Sedimentary Geology*, pp. 17-41.
- Hesp, P., 2002. Foredunes and blowouts: initiation, geomorphology and dynamics. *Geomorphology*, Volume 48, pp. 248-265.
- Kerr, A., 1994. *Canada's National Environmental Indicators Project.* s.l.:WRI.
- Koener, K. F., 2012. *Alternativas de manejo para o problema da erosão costeira no Balneário do Hermenegildo, Rio Grande do Sul.*, Rio Grande: s.n.
- Koerner, K., 2009. *Variação espaço-temporal em médio e curto termo da orla do balneário Hermenegildo, RS.*, Rio Grande: s.n.
- Lins-de-Barros, F. M., 2005. Risco, vulnerabilidade física à erosão costeira e impactos sócio-econômicos na orla urbanizada do município de Maricá, Rio de Janeiro.. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, Volume 2, pp. 83-90.
- Magalhães Júnior, A. P., 2011. *Indicadores ambientais e recursos hídricos: realidade e perspectivas para o Brasil a partir da experiência francesa.* 3a ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.
- MMA, 2008. *Documento síntese do I Simpósio Nacional sobre Erosão Costeira*, Brasília: s.n.
- Muehe, D., 2010. Brazilian coastal vulnerability to climate change. *Pan-American Journal of Aquatic Science*, October, 5(2), pp. 173-183.
- Muehe, D. et al., 2010. Potential Vulnerability to climate change of the beach-dune system of the Peró coastal plain - Cabo Frio, Rio de Janeiro state, Brazil.. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, October, 5(2), pp. 267-276.
- Muler, M., 2012. *Avaliação da Vulnerabilidade de praias da Ilha de Santa Catarina a perigos costeiros através da aplicação de um Índice Multicritério.*. Florianópolis: UFSC.
- Nicolodi, J. L. & Petermann, R. M., 2010. Mudanças Climáticas e a Vulnerabilidade da Zona Costeira do Brasil: Aspectos ambientais, sociais e tecnológicos. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, Junho 2, pp. 3-29.

- OECD, O. f. E. C.-o. a. D., 1993. *OECD Core Set of Indicators for Environmental Performance Reviews*. Paris: s.n.
- Oliveira, A. C. A. & Souza, R. M., 2007. Geoindicadores socioambientais para monitoramento de dunas costeiras em Sergipe. *RA E GA*, Issue 14, pp. 149-163.
- 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.*, Porto Alegre: s.n.
- 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.* Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Pereira da Silva, R., Calliari, L. & Tozzi, H., 2003. The influence of the washouts on the erosive susceptibility of the Rio Grande do Sul Coast between Cassino and Chuí Beaches, Southern Brazil. *Journal of Coastal Research*, pp. 332-338.
- Pereira, P., 2005. *Variabilidade da orla oceânica do Rio Grande do Sul e suas implicações na elaboração dos Planos de Contingência: aspectos morfodinâmicos, sedimentológicos e geomorfológicos.*, Rio Grande: s.n.
- Portz, L., 2008. *Contribuição para o estudo de manejo de dunas: caso das praias de Osório e Xangril-lá, litoral Norte do Rio Grande do Sul.*, Porto Alegre: s.n.
- Rechden Filho, R., 2005. *Índice de qualidade de praia: o exemplo de Capão da Canoa*, Porto Alegre: s.n.
- Rudorff, F. M. & Bonetti, J., 2010. Avaliação da suscetibilidade à erosão costeira de praias da Ilha de Santa Catarina. *Braz. J. Aquat. Sci. Technol.*, pp. 9-20.
- Rufino, R. C., 2002. *Avaliação da qualidade ambiental do município de Tubarão (SC) através do uso de indicadores ambientais.* Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina.
- Seeliger, U., 1992. Coastal Foredunes of southern Brazil: physiography, habitats, and vegetation.. In: *Coastal plant communities of Latin America*. New York: Academic Press, pp. 367-381.
- Serpa, C. G. et al., 2008. *Resultados preliminares do monitoramento em regime de alta frequência de um sangradouro na Praia do Cassino, Brasil gênese e extinção.* Rio Grande, s.n.
- Serpa, C. G. et al., 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*, Volume II, pp. 2068-2073.
- Serpa, C. et al., 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*, Volume II, pp. 2068-2073.

- Short, A. & Hesp, P., 1982. Wave, beach and dune interactions in Southeastern Australia. *Marine Geology*, pp. 259-284.
- Speranski, N.S. & Calliari, L.J., 2006. Padrões de refração de ondas para a costa do Rio Grande do Sul e sua relação com a erosão costeira. In: *Erosão e progradação do litoral brasileiro*. Brasília: MMA, pp. 446-454.
- Tabajara, L., Dillenburg, S. & Barboza, E., 2005. Morphology, vegetation and sand fence influence on sand mobility of the foredune system of Atlântida Sul beach, Rio Grande do Sul, Brasil. *Journal of Coastal Research*, Volume SI39, pp. 611-615.
- Tabajara, L., Dillenburg, S. R. & Barboza, E., 2005. Morphology, vegetation and sand fence influence on sand mobility of the foredune system of Atlântida Sul beach, Rio Grande do Sul, Brasil. *Journal of Coastal Research*, Volume SI39, pp. 611-615.
- Tabajara, L., Gruber, N. & Martinho, C., 2005. *Controle morfodinâmico na formação das dunas frontais e transgressiva no litoral Norte do Rio Grande do Sul*. Guarapari, s.n.
- Tabajara, L., Gruber, N. & Portz, L., 2012. Dunas frontais de Xangri-Lá, litoral Norte do RS: inventário, classificação e escolha de áreas prioritárias para o manejo. *Pesquisas em Geociências*, Volume 39, pp. 35-52.
- Tabajara, L. L., Gruber, N. L. S., Dillenburg, S. R. & Aquino, R., 2005. Vulnerabilidade e Classificação das Dunas da Praia de Capão da Canoa, Litoral Norte do Rio Grande do Sul. *Gravel*, Novembro, pp. 71-84.
- Tabajara, L. L., Gruber, N. L. S. D. S. R. & Aquino, R., 2005. Vulnerabilidade e Classificação das Dunas da Praia de Capão da Canoa, Litoral Norte do Rio Grande do Sul. pp. 71-84.
- Tabajara, L., Martins, L. & Almeida, L., 2004. Resposta e recomposição das praias após sequência de ciclones extratropicais. *GRAVEL*, Outubro, pp. 104-121.
- Tabajara, L. & Weschenfelder, J., 2011. Recuperação de dunas frontais em área degradada por sangradouro na praia de Xangri-lá/RS. *GRAVEL*, Novembro, Volume 9, pp. 69-85.
- Tagliani, C. R., 2003. *Técnica para avaliação da vulnerabilidade ambiental de ambientes costeiros utilizando um sistema geográfico de informações*. Belo Horizonte: INPE.
- Tagliani, C. R., Calliari, L. J., Tagliani, P. R. & Antiqueira, J. A. d., 2010. Vulnerability to sea level rise of an estuarine island in southern Brazil. *Quaternary and Environmental Geosciences*, 2 Março, pp. 18-24.
- Tavares, A. B., Cruz, S. P. d. & Lollo, J. A. d., 2007. Geoindicadores para a caracterização de estados de diferentes ambientes. *Estudos Geográficos*, pp. 42-57.
- Toldo Jr., E. & Almeida, L., 2003. *A Linha de Água como Indicadora da Posição da Linha de Praia*. Recife, s.n., p. 3.
- Toldo Jr., E., Almeida, L., Nicolodi, J. & Martins, L., 2005. Retração e progradação da zona costeira do estado do Rio Grande do Sul. *GRAVEL*, Novembro, pp. 31-38.

- Toldo Jr., E. E. et al., 2007. Hidrodinâmica e Sedimentologia das Praias Oceânicas do Rio Grande do Sul. In: *50 anos de Geologia. Instituto de Geociências. Contribuições...* Porto Alegre: Editora Comunicação e Identidade, pp. 299-315.
- Toldo Jr., E. E., Almeida, L. E. S. B., Nicolodi, J. L. & Martins, L. R., 2006. Rio Grande do Sul. In: *Erosão e progradação do litoral brasileiro*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, pp. 468-475.
- Toldo Jr., E., Nicolodi, J., Almeida, L. & Correia, I., 2006. Coastal Dunes and Shoreface Width as a Function of Longshore Transport.. *Journal of Coastal Research*, Volume SI39, pp. 390-394.
- Toldo Jr, E. E. et al., 1999. Retreat of the Rio Grande do Sul Coastal Zone, Brazil.. In: *Non Living Resources of the Southern Brazilian Coastal Zone and Continental Margin - IOC/UNESCO*. Porto Alegre: CECO-UFRGS, pp. 62-68.
- Tomazelli, L., Dillenburg, S., Barboza, E. & Rosa, M., 2008. Geomorfologia e Potencial de Preservação dos Campos de Dunas Transgressivos. *Revista Pesquisas em Geociências*, pp. 47-55.
- Tomazelli, L. J. et al., 2007. Sistemas Depositionais e Evolução Geológica da Planície Costeira do Rio Grande do Sul: uma síntese. In: *50 anos de Geologia. Instituto de Geociências. Contribuições...* Porto Alegre: Editora Comunicação e Identidade, pp. 327-339.
- Tomazelli, L. J. & Villwock, J. A., 2005. Mapeamento Geológico de Planícies Costeiras: o exemplo da costa do Rio Grande do Sul. *GRAVEL*, Novembro, pp. 109-115.
- Tomazelli, L. J. & Villwock, J. A., 1992. Considerações sobre o ambiente praias e a devira litorânea de sedimentos ao longo do litoral norte do Rio Grande do Sul, Brasil.. *Pesquisas em Geociências*, 19(1), pp. 3-12.
- Van Dijk, P., Arens, S. & Van Boxel, J., 1999. Aeolian processes across transverse dunes II: Modelling the sediment transport and profile development.. *Earth Surface Processes and Landforms*, Volume 24, pp. 319-333.
- Van Dijk, P. A. S. V. B. J., 1999. Aeolian processes across transverse dunes II: Modelling the sediment transport and profile development.. *Earth Surface Processes and Landforms*, Volume 24, pp. 319-333.