



Revista de Gestão Costeira Integrada -  
Journal of Integrated Coastal Zone  
Management

E-ISSN: 1646-8872

[rgci.editor@gmail.com](mailto:rgci.editor@gmail.com)

Associação Portuguesa dos Recursos  
Hídricos

Portz, Luana; Camboim Rockett, Gabriela; Lengler Franchini, Ricardo Augusto;  
Portantiolo Manzolli, Rogério; Sambaqui Gruber, Nelson Luiz  
Gestão de dunas costeiras: o uso de sistema de informações geográficas (SIG) na  
implantação de planos de gestão no litoral do Rio Grande do Sul, Brasil  
Revista de Gestão Costeira Integrada - Journal of Integrated Coastal Zone Management,  
vol. 14, núm. 3, 2014, pp. 517-534  
Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos  
Lisboa, Portugal

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=388340108013>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal

Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

# Gestão de dunas costeiras: o uso de sistema de informações geográficas (SIG) na implantação de planos de gestão no litoral do Rio Grande do Sul, Brasil \*

## *Coastal dune management: the use of geographic information system (GIS) in the development of management plans in the coast of Rio Grande do Sul, Brazil*

Luana Portz @<sup>1</sup>; Gabriela Camboim Rockett<sup>2</sup>; Ricardo Augusto Lengler Franchini<sup>2</sup>; Rogério Portantiolo Manzolli<sup>2</sup>; Nelson Luiz Sambaqui Gruber<sup>1</sup>

### RESUMO

Constituídas por grandes acumulações de areia, as dunas frontais são feições naturais da maioria das praias arenosas. As áreas de dunas são consideradas Áreas de Proteção Permanente (APPs) no Brasil, e, para a conservação desses ambientes, faz-se necessário o estabelecimento de planos, programas e medidas governamentais orientados a disciplinar os seus usos e/ou manejos. O desenvolvimento de projetos para a gestão do sistema de dunas deve incluir um diagnóstico do ambiente (características naturais e o grau de intervenção humana), a tendência das mudanças e as ações para manutenção ou recuperação do sistema. O objetivo deste trabalho é demonstrar a potencialidade do uso de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) para o diagnóstico ambiental de dunas, bem como salientar a importância da integração de dados regionais em ambiente SIG, a fim de se obter melhores resultados para subsidiar a tomada de decisão na elaboração de planos de gestão para o Gerenciamento Costeiro Integrado, por meio de estudos de caso de duas cidades no litoral do estado do Rio Grande do Sul, sul do Brasil (municípios de Capão da Canoa e Arroio do Sal). O uso de um SIG permite atualizações em várias escalas de tempo e também a análise conjunta de múltiplos dados de diferentes fontes. Essas características auxiliam os trabalhos na região costeira, ambiente com uma grande dinâmica de formas e processos. Para a caracterização, o diagnóstico e o planejamento das áreas de estudo, dados primários e secundários das duas áreas foram coletados e integrados em ambiente SIG, e, assim, pôde-se dividir os ambientes em diferentes setores, possibilitando o planejamento das intervenções necessárias em cada um deles. A espacialização das intervenções sugeridas permitiu sua visualização em mapas, sendo esta informação inserida como um novo plano de informação no projeto em SIG. Algumas das intervenções sugeridas em alguns locais visando à manutenção/recuperação do sistema de dunas incluem: passagem de tubulações abaixo da crista da duna (para a passagem condicionada de cursos d'água), construção de passarelas onde a passagem de pedestres é intensa (para ordenar o acesso à praia), remoção de vegetação exótica etc. Os resultados obtidos demonstram a possibilidade do uso de um SIG nos estudos de gestão costeira, gerando bons resultados no diagnóstico e planejamento das duas áreas de estudo. Como produto final dos planos de manejo desenvolvidos, todos os dados coletados e gerados são disponibilizados em arquivos no formato SIG, bem como em formato de planilha, junto com o relatório descritivo. No âmbito municipal, as vantagens encontram-se na facilidade de armazenamento e disponibilização dos dados, além de proporcionar a fácil modificação destes e também o acompanhamento da evolução dos projetos. A utilização de SIG também pode promover e facilitar a troca de informações entre as instituições e, a longo prazo, pode permitir a integração de todas as informações em um único banco de dados, podendo auxiliar na tomada de decisão dos órgãos municipais, estadual e federal.

**Palavras-chave:** gerenciamento costeiro, geotecnologias, banco de dados, modelagem costeira.

@ corresponding author: [luana.portz@ufrgs.br](mailto:luana.portz@ufrgs.br)

<sup>1</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica, Laboratório de Gerenciamento Costeiro, Av. Bento Gonçalves, 9500. CEP: 91509-900, Porto Alegre, RS, Brasil.

<sup>2</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Laboratório de Gerenciamento Costeiro, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Av. Bento Gonçalves, 9500. CEP: 91509-900, Porto Alegre, RS, Brasil

\* Submission: 10 OCT 2013; Peer review: 8 NOV 2013; Revised: 3 FEB 2014; Accepted: 7 MAR 2014; Available on-line: 8 APR 2014

**ABSTRACT**

Foredunes are geomorphological features present in most of the sand beaches around the world. Under the Brazilian law, dunes are considered Permanent Protection Areas and, for conservation of these environments, it is necessary the establishment of plans, programs and measures by the government to discipline their use and management requirements. The development of projects for dune system management should include an environmental diagnosis (natural characteristics and human intervention degree), the trend of changes and the actions for maintenance or recovery of the system. The aim of this work is to evidence the potential of using a Geographic Information System (GIS) for the environmental diagnosis of dunes, as well as stress the importance of regional data integration within a GIS, for the purpose of obtaining better results to support decision making in the development of management plans for integrated coastal zone management. Study cases of two coastal cities in the State of Rio Grande do Sul, southern Brazil (Capão da Canoa and Arroio do Sal cities), are shown. The use of GIS allows updates at several time scales and also the joint analysis of multiple data from different sources. These characteristics assist work in coastal zones, an environment with highly dynamic forms and processes. For the characterization, diagnosis and planning of the two study areas, primary and secondary data were collected. Secondary data consists of bibliographic and cartographic search, and remote sensing data. Primary data consists of field observations, control points collected with GPS, photographic records (beach access, watercourses, irregular occupation, beach uses, dune uses, etc.), topographic data and vegetation identification. After collection, data were inserted in data layers and integrated in the GIS project. Using geoprocessing tools it was possible to calculate areas, measure foredune width and delimit the boundaries of Permanent Protection areas (using distance criteria), leading to further information to be obtained/added in the GIS. Distance criteria for delimitation of Permanent Protection areas were based in the law of the state environmental agency (FEPAM). For the city of Capão da Canoa, increases in sea level caused by storm surge were modelled in the GIS, in order to identify foredune areas susceptible to degradation. Results showed that water courses that cross the dune system are the preferential erosion zones in storm surge events. An evaluation based in the mapped elements and field observations, allowed the assignment of a coastal vulnerability index to each 500 meters beach segment. The higher the vulnerability index, the greater the fragility of the dune system. The areas with the highest index are the ones in which greater efforts are required (interventions/management). In the studied areas, these indexes allowed the planning of interventions required for each beach sector. Both cities have an extensive shoreline and dune areas affected by erosion (caused by storm surge effects, displacement of watercourses, planting of exotic vegetation and lack of planning for the shoreline – with disordered use of this natural system). A well developed urban area is present in Capão da Canoa city, where a discontinuous and highly segmented dune area exists. Preserved sections occur mostly in the non-urban areas. In Arroio do Sal city, there is an extensive and well preserved shoreline and dune system. The major problems affecting dune system in this city are erosion by storm surge and planting of exotic vegetation. With the environmental diagnosis and the vulnerability index for each beach sector, management proposals in different sectors of the shoreline were performed, and spatialization of the suggested actions/interventions was implemented in the GIS. This spatialization allowed visualization of all the beach sectors in maps, and this information was also added to the GIS project as new data layers. For dune system integrity maintenance/recovery in some sectors, some of the suggested interventions include pipe passing under the frontal dune crest (for controlled passage of watercourses), construction of walkways where the crosswalk is very intense (ordering the access to the beach), removal of exotic vegetation, etc. The results demonstrate the possibility of using GIS in coastal management studies, showing good results in the diagnosis and planning of the two study areas. As a final product of the management plans developed, all the collected and generated data are provided in GIS file format and in spreadsheets in a PDF report. At the municipal level, the advantages are ease of storage and availability of data, facilitating data modification in case of scenario alteration for the shoreline. The use of a GIS can also promote and facilitate the exchange of information between institutions and, in the long term, can allow the integration of all information into a single database to assist in decision making at the municipal, state and federal agencies.

**Keywords:** coastal management, geospatial technology, database, coastal modelling.

## 1. Introdução

A orla marítima pode ser definida como uma unidade geográfica incluída na zona costeira (ZC), delimitada pela faixa de interface entre a terra firme e o mar (Freire, 2006). Esse ambiente se caracteriza pelo equilíbrio morfodinâmico, no qual interagem fenômenos terrestres e marinhos (Wright & Short, 1977). Inseridas nesse ambiente, as dunas frontais são feições naturais da maioria das praias arenosas, desde condições climáticas tropicais até árticas. São constituídas por grandes volumes de sedimento, com forma, tamanho e orientação particulares para cada local, em função do perfil de praia, da orientação da costa, da direção e velocidade dos ventos dominantes,

do tamanho médio dos grãos e do tipo de vegetação presente (Hesp, 2002).

Conforme a Resolução do CONAMA 303/2002, estas são consideradas Áreas de Preservação Permanente (APPs) e consistem em espaços territoriais legalmente protegidos, ambientalmente frágeis e vulneráveis. Considerando o nível de preservação deste ambiente disposto nas leis brasileiras e as pressões exercidas através do uso e da ocupação estabelecidos atualmente, é necessário o estabelecimento de planos, programas e medidas governamentais orientados a disciplinar os usos dos recursos costeiros e/ou sua conservação. Esses planos têm como princípio fundamental promover a atenuação dos conflitos envolvendo os diversos atores

que participam da produção do espaço na zona costeira (Franchini, 2010).

O desenvolvimento de planos de gestão específicos para o ambiente de dunas frontais torna-se um importante instrumento para a conservação desses ambientes, já que, nesse tipo de planejamento, se prevêem os possíveis usos do ambiente nas diferentes esferas, em um longo período de tempo. Na prática, a gestão de dunas baseia-se nas seguintes estratégias (*Soil Conservation Service*, 1986): conservação do sistema de dunas existentes, concedendo uma zona tampão entre as propriedades privadas e as áreas ativas de praia; recuperação das dunas com distúrbios e controle das atividades recreativas. Por meio do diagnóstico ambiental desenvolvido para a elaboração dos planos de gestão, é possível estabelecer as formas de utilização e apropriação do espaço do sistema de dunas, colaborando para o controle da degradação da vegetação nativa, o que vem a contribuir para atender às implicações estabelecidas no Artigo 3º do Código Florestal Brasileiro, que considera este ambiente como Área de Preservação Permanente (Portz *et al.*, 2011).

No Rio Grande do Sul, os planos de gestão devem seguir as orientações estabelecidas no Ofício Circular FEPAM/PRES/12-04 da Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler (FEPAM), sendo alvo de licenciamento ambiental. Esse é um procedimento administrativo realizado pelo órgão ambiental competente, neste caso, estadual, para licenciar a instalação, ampliação, modificação e operação de atividades e empreendimentos que utilizam recursos naturais, ou que sejam potencialmente poluidores ou possam causar degradação ambiental. Dessa maneira, considera-se a necessidade de regularizar os usos e as ocupações existentes nessas áreas com a possibilidade de conciliar e garantir a continuidade das atividades, sendo considerado, para tanto, a relevância social e turística desses ambientes.

Para o desenvolvimento desses planos, é necessário proceder à investigação e planificação de um conjunto de informações sobre o ambiente, as quais devem responder a algumas questões, tais como: quais são as causas da erosão, qual o uso desejado da terra, o suporte financeiro disponível, a disponibilidade de mão de obra e maquinaria necessária para execução dos trabalhos, a manutenção, o nível de consciência e o envolvimento da comunidade. Para tanto, é necessário dispor de informações que proporcionem a resposta para estas perguntas, assim como considerar que essas informações poderão ser modificadas.

No contexto de gerenciamento de informações, o desenvolvimento dos SIGs e das geotecnologias associadas revolucionou a área de análise espacial, sendo estes aplicados em diversas áreas do conhecimento, dentre elas o gerenciamento costeiro. Análises espaciais na zona costeira, baseadas no uso de sistemas

de informações geográficas, sensoriamento remoto e geoprocessamento, possuem uma vasta gama de aplicações, gerando subsídios para ações de gestão e planejamento ambiental e para diagnosticar alterações na paisagem e conflitos de uso do solo. Estudos em zonas costeiras utilizando estas ferramentas têm sido realizados, tanto no âmbito internacional (*e.g.*, Devillers *et al.*, 2013; Rodríguez *et al.*, 2009; Sarda *et al.*, 2005; Kitsiou *et al.*, 2002; Pan, 2001, Phinn *et al.*, 2000) quanto nacional (*e.g.*, Fernandes & Amaral, 2013; Gianuca & Tagliani, 2012; Silva *et al.*, 2012, Silva & Tagliani, 2012).

Um Sistema de Informações Geográficas (SIG) pode ser definido como um caso peculiar de sistema de informação, em que o banco de dados é formado por características, atividades ou eventos distribuídos espacialmente (Dueker, 1979). Câmara (1995) o definiu como um sistema informatizado que permite capturar, modelar, manipular, recuperar, consultar, analisar e apresentar dados geograficamente referenciados. Dessa forma, a localização geográfica é essencial para a entrada de dados em um *software* de SIG. Em um SIG, é possível a inserção de dados espaciais e dados não-espaciais em um único sistema, permitindo a combinação de grande variedade de informações e a integração de dados de diferentes fontes (*ex.*: dados de sensoriamento remoto, dados topográficos, dados de censos, dados de GPS, entre outros).

Especificamente para a integração dos dados em gestão ambiental, os SIGs apresentam, pelo menos, três requisitos essenciais: a eficiência (pela facilidade de acesso e manipulação de grande volume de dados), a integridade (pelo controle de acessos por múltiplos usuários) e a persistência (pela manutenção de dados por longo tempo, independentemente dos aplicativos que acessam os dados e sua possível revisão). (Santos, 2004)

O objetivo deste trabalho é demonstrar a potencialidade do uso de um Sistema de Informações Geográficas para o diagnóstico ambiental de dunas, bem com salientar a importância da integração de dados regionais em ambiente SIG, a fim de obterem-se melhores resultados para subsidiar a tomada de decisão e o Gerenciamento Costeiro Integrado no Rio Grande do Sul.

## 2. Área de estudo

A costa do Rio Grande do Sul (RS), desde Torres, ao norte, até a desembocadura do arroio Chuí, ao sul, é constituída por uma ampla planície costeira com cerca de 618 km de comprimento e até 120 km de largura, onde um sistema de barreiras arenosas aprisiona um grande sistema lagunar (Complexo Lagunar Patos-Mirim), e uma série de outros corpos de água isolados ou interligados com o mar por intermédio de canais estreitos e rasos (Villwock, 1994).

Sua formação, durante o Quaternário, se deu a partir da justaposição lateral de quatro sistemas deposicionais do

tipo laguna-barreira, cuja formação foi controlada pelas flutuações do nível do mar durante o Quaternário (Sistema Barreira- Laguna I, II e III de idade Pleistocênica e sistema IV, que iniciou sua formação há cerca de 7ka AP), constituindo uma sucessão de terraços marinhos e lagunares (Villwock, 1984).

A atual linha de costa da planície costeira do RS apresenta uma orientação geral nordeste - sudoeste, com praias arenosas retilíneas e contínuas, predominantemente dominada por ondas, sendo caracterizado pela ocorrência de uma ondulação de longo período proveniente do SE e por vagas (que resultam da ação de ventos locais) provenientes principalmente do E-NE. A altura média significativa das ondas, medida a uma profundidade de 15-20 m, é de 1,5 m. Especialmente durante os meses de outono e inverno, o regime normal de ondas é episodicamente perturbado pela ocorrência de ondas de tempestade associadas à passagem de frentes frias provenientes do sul (Tomazelli & Villwock, 1992).

A região apresenta um regime de micromaré, de acordo com a classificação de Hayes (1979), controlado por maré astronômica cuja amplitude média situa-se em torno de 0,5 m, sofrendo também influência das marés meteorológicas. Estas podem alcançar de 1,2 m em Tramandaí (Almeida *et al.*, 1999) a 1,6 m em Rio Grande (Parise *et al.*, 2009), sendo responsáveis pela erosão na costa, uma vez que causam a sobre elevação acima do nível de maré astronômica, produzindo variações ainda maiores quando associadas a marés de sizígia.

De acordo com a classificação morfodinâmica de Wright & Short (1984), as praias do litoral norte do RS variam entre intermediárias a dissipativas (Tomazelli & Villwock 1992; Toldo Jr *et al.*, 1993; Weschenfelder, 2002). Associada às subdivisões do ambiente praial, existe uma infinidade de cursos de água denominados de sangradouros. Estes são cursos de água naturais e de pequena escala, que atuam na drenagem de zonas úmidas originadas a partir do acúmulo de água doce de origem pluviométrica em regiões adjacentes à costa, principalmente nas depressões e banhados localizados entre os cordões litorâneos. Sua ocorrência é sazonal, modificando a intensidade de acordo com os índices pluviométricos da região.

Por terem sua importância e seus impactos intimamente ligados às características geomorfológicas da costa (Serpa, 2008), servindo de canal para o escoamento de águas naturais durante períodos de chuvas, são os agentes responsáveis pela remobilização de sedimentos das dunas na região do estirâncio (Calliari *et al.*, 2005), podendo carrear grandes quantidades de sedimentos de volta para o mar, originando a erosão do pós-praia e permitindo uma maior ação das ondas nas áreas

adjacentes. Os sangradouros também são descritos como agente de segmentação das dunas, ocorrendo principalmente em regiões com elevada taxa de urbanização, uma consequência das edificações e da pavimentação das ruas, que reduz, dessa forma, a infiltração da água pluvial, aumentando a vazão e, desse modo, rompendo o sistema de dunas (Portz *et al.*, 2010).

Atualmente, o litoral do Rio Grande do Sul é integrado por 16 municípios, sendo essa região dividida, segundo a FEPAM, em três áreas distintas: litoral sul, médio e norte, nas quais as dunas frontais estão presentes.

Para a avaliação do uso de SIG na formulação dos planos de gestão de dunas, serão discutidos os resultados obtidos para os municípios de Capão da Canoa e Arroio do Sal, localizados no litoral norte do Rio Grande do Sul (Figura 1). Politicamente, esses municípios limitam-se, ao norte, com o município de Torres, a leste com o oceano Atlântico, ao sul com o município de Xangri-lá e, a oeste, com as margens das Lagoas dos Quadros e Itapeva, na divisa com os municípios de Maquiné e Terra de Areia.

### 3. Materiais e Métodos

Os municípios de Capão da Canoa e Arroio do Sal, na busca de conciliar o desenvolvimento do turismo e do veraneio com a preservação das suas características naturais, melhorias nos serviços (segurança, higiene e alimentação) e facilidades de acesso à praia, firmaram parceria com o Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (CECO/UFRGS, Brasil) para o desenvolvimento de seus planos de gestão de dunas frontais, tendo como método de auxílio o uso do Sistema de Informações Geográficas. Os resultados dessa parceria se encontram em dois documentos técnicos: 1) Diagnóstico para o plano de gestão das dunas frontais e o 2) Plano de gestão das dunas frontais, ambos protocolados na Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler (Gruber, 2010a,b, 2011a,b).

O trabalho compreendeu a caracterização geral do sistema de dunas, por meio do levantamento a partir de fontes de dados primários e secundários. Os dados primários representam aqueles que atendem às necessidades específicas da pesquisa em andamento, como a identificação dos elementos presentes no sistema de dunas. Esse levantamento foi realizado por meio de visitas periódicas às áreas de estudo para sua caracterização, abrangendo observações, georreferenciamento de elementos de interesse, como acessos à praia, sangradouros, edificações, coleta de pontos de controle e registros fotográficos de campo. O levantamento de dados secundários contemplou pesquisa bibliográfica, cartográfica, hemerográfica e por sensoriamento remoto.



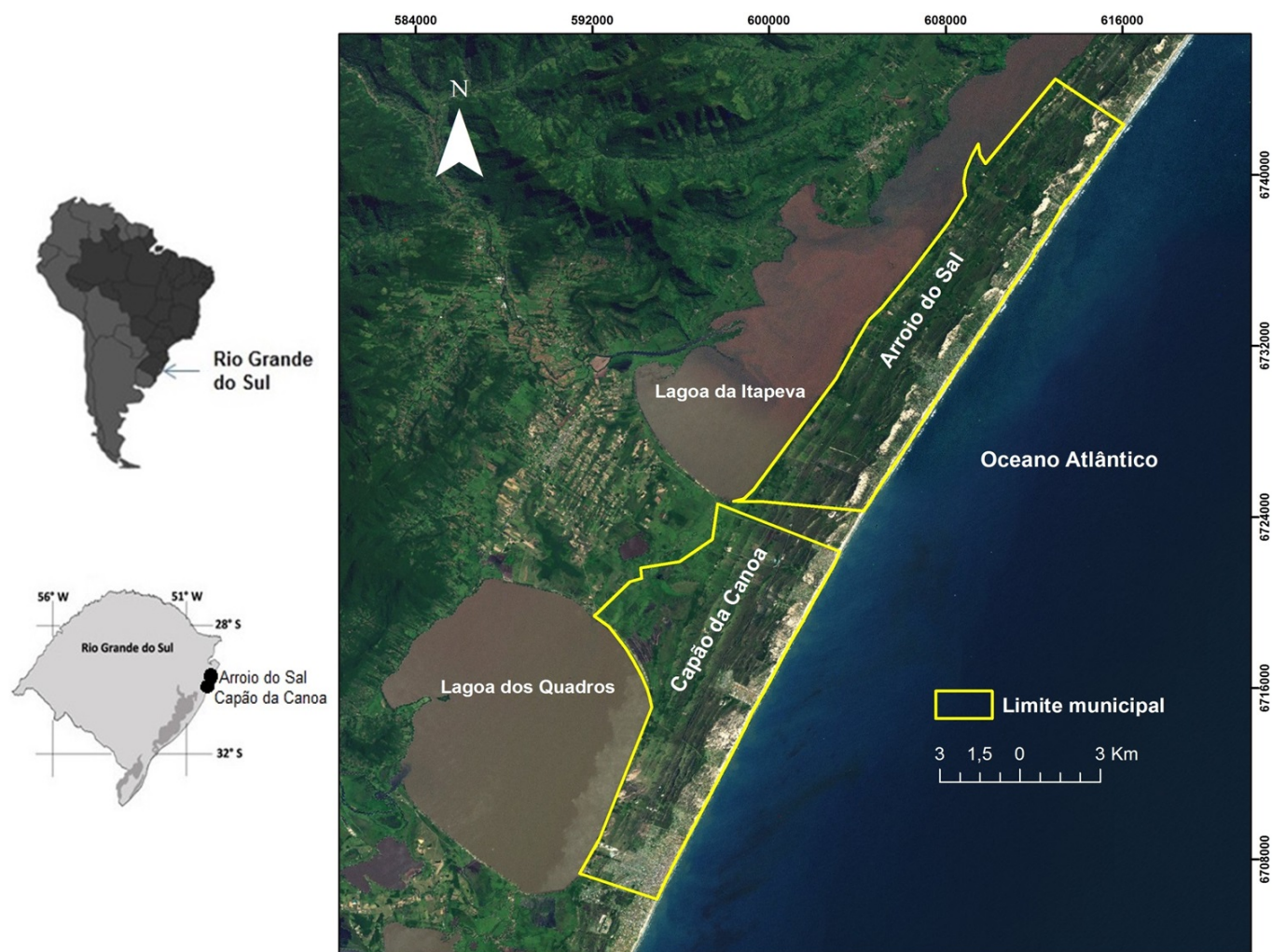


Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo, indicando os municípios de Capão da Canoa e Arroio do Sal, estado do Rio Grande do Sul, Brasil.

Figure 1 - Location map of the study area: Capão da Canoa city and Arroio do Sal city, Rio Grande do Sul State, Brazil.

### 3.1. Construção do sistema de Informações Geográficas (SIG)

#### 3.1.1. Elaboração do banco de dados georreferenciados

A elaboração do banco de dados compreendeu a vetorização, em ambiente SIG, dos elementos de interesse existentes na orla do município, com uso de imagens de sensoriamento remoto, bem como a inserção de dados coletados em campo. As imagens utilizadas foram obtidas pela Digitalglobe, extraídas a partir do *software Google Earth*. Imagens deste satélite foram utilizadas por Li *et al.* (2005) para o mapeamento da linha de costa, com ótimos resultados de precisão. As imagens foram georreferenciadas através de pontos de controle coletados em campo. O Projeto em SIG foi elaborado em sistema de coordenadas em Projeção UTM e *Datum* WGS84, Fuso 22S.

Através de sensoriamento remoto, foi realizada a identificação e o mapeamento dos sistemas de drenagem junto à orla, dos sistemas de dunas frontais, das feições transversais às dunas frontais e à cobertura

vegetal presente nas áreas de estudo. Além disso, foram mapeados elementos correspondentes ao uso da praia, como: acessos à praia, tanto de pedestres como de veículos, quiosques, ocupações irregulares, acessos funcionais e as áreas de escape de areia do sistema de dunas para a pavimentação presente na porção posterior do sistema. Posteriormente, em levantamento de campo, os elementos mapeados foram verificados/ confirmados, através de medições manuais e com auxílio de GPS, e foram inseridos no banco de dados do SIG, sendo estes estruturados no *software* ArcGIS 9.3.

#### 3.1.2. Índices de vulnerabilidade costeira

Os índices de vulnerabilidade foram desenvolvidos utilizando-se uma lista de controle de vulnerabilidade (Tabajara *et al.*, 2012), no sentido de identificar os principais setores degradados do sistema de dunas frontais dos municípios de Arroio do Sal e Capão da Canoa. Esse método é utilizado para traçar o “delineamento do problema”, no qual as principais características são listadas e avaliadas dentro de parâ-

metros do sistema costeiro: A - Morfologia das dunas; B - Condições da praia; C - Característica dos 200 m adjacentes ao mar e D - Pressão de uso (Tabela 1). Os índices de vulnerabilidade são estabelecidos em intervalos de 250 m de linha de costa, sendo que variam na proporção direta da fragilidade do sistema e indicam as áreas nas quais devem ser despendidos os maiores esforços de intervenção.

### 3.1.3. Análises em SIG

Com o banco de dados estruturado, além da espacialização e elaboração de mapas da situação atual da orla dos municípios, foi possível a realização de diversas análises para fins de diagnóstico e planejamento da gestão das áreas mais vulneráveis das dunas. Uma das análises possíveis foi a detecção das áreas mais suscetíveis aos impactos da sobre elevação do nível do mar por eventos de tempestade. Esta análise foi realizada por meio da modelagem de sobre elevação do nível do mar com base no resultado do levantamento topográfico, com a visualização de cenários de elevação do nível marinho.

O levantamento topográfico apresentado neste trabalho e utilizado para a modelagem foi realizado no município de Capão da Canoa, em um setor de 1800 m

de comprimento. O levantamento foi realizado utilizando GPS de precisão em modo cinemático com correção em tempo real (RTK). A coleta de dados foi realizada no método *stop-and-go*, sendo a precisão métrica planar e altimétrica menor que 1 cm em todos os pontos coletados. Nesse caso, foram modelados episódios de sobre elevação do nível do mar considerando eventos de maré meteorológica ou por passagem de ciclones próximos à costa, para a definição dos ambientes mais suscetíveis a inundação. Os dados referentes a marés meteorológicas que ocorrem na costa do Rio Grande do Sul pela passagem de frentes frias vindas de sul e sudoeste são referentes aos trabalhos de Almeida *et al.* (1999) e Parise *et al.* (2009). Segundo os autores citados, as marés meteorológicas podem alcançar valores de sobre elevação do nível do mar entre 1,2m e 1,6m.

Através das ferramentas de geoprocessamento, foi possível realizar o cálculo das áreas e a medida da largura das dunas frontais e delimitar as Áreas de Proteção Permanente (APPs). A delimitação de APPs por meio da ferramenta específica de geoprocessamento que define uma região em torno de entidades geométricas (pontos, linhas ou polígonos), com base em critérios de distância, seguiu a legislação do órgão ambiental estadual - Documento Normativo para a

Tabela 1 - Parâmetros utilizados para a determinação do Índice de vulnerabilidade costeira para os municípios de Capão da Canoa e Arroio do Sal.

Table 1 - Parameters used for the determination of the coastal vulnerability index for the cities of Capão da Canoa and Arroio do Sal.

A – Morfologia da duna	B – condições da praia	C – características dos 200m adjacentes ao mar	D – Pressão de uso
Área superficial (m <sup>2</sup> )	Largura do pós praia (m)	% de área de blowouts dentro do sistema	Nº de acessos de veículos
Largura da duna (m)	Suprimento de areia	Fuga de areia do sistema para o continente	Densidade de caminhos de pedestre
Altura máxima da duna (m)	Brechas na face de praia	% de brechas no sistema de dunas	Estágio de urbanização
Processo de escarpamento	Largura das brechas na face de praia	% do lado marinho da duna vegetada	Nível de urbanização (%)
Estágios Evolutivos (Hesp, 1988*)	Dunas embrionárias	Se as recentes areias depositadas foram colonizadas por <i>Blutaparon</i>	Posição da urbanização
Declividade na face frontal marinha	Pista oblíqua	% de cobertura impenetrável	No de quiosque na praia
	Orientação da linha de costa/deriva	Existência de vegetação exótica	Nº de proprietários
	Índice de concavidade (%)	Oscilações da linha de costa desde 1976	
		Sangradouros	

2004): campos de dunas frontais - 60 m para as áreas urbanizadas e 300 m para as áreas ainda não urbanizadas. Dessa forma, a partir dos dados referentes ao traçado do primeiro cordão de dunas coletado em campo, o limite da APP foi definido, transformando esse limite imediato (dado) em informação.

Além das APPs de dunas, outros limites de APP's foram delimitados, conforme o Art.3º da Resolução nº. 303 do CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente de 20/03/2002 (CONAMA, 2002): 30 metros para sangradouros e corpos d'água (Inciso I, "a"); vegetação de restinga (Inciso IX); e campos de dunas transgressivos (Inciso XI).

#### 4. Resultados e discussão

A identificação e o mapeamento das informações referentes ao estado e à conservação do sistema de dunas nos municípios estudados, assim como dos elementos referentes ao uso da praia, caracterizaram o sistema de dunas como formado por cordões de dunas descontínuos, de topografia irregular e muito segmentada pela ação antrópica e pela presença de cursos de água intermitentes (sangradouros), além de uma forte pressão da urbanização sobre a Área de Proteção Permanente. Um exemplo da espacialização dos dados nos Planos de Manejo de Dunas dos municípios de Capão da Canoa e Arroio do Sal pode ser observado nas Figuras 2 e 3.

O município de Capão da Canoa se caracteriza por uma matriz urbana, abrigando atividades sociais e produtivas, apresentando características de balneário para fins turísticos e de veraneio de segunda residência, e de moradia fixa, esta última em fase de expansão. Os vazios urbanos apresentam dunas frontais e campo de dunas vegetadas bem preservadas, que representam um ambiente de interesse especial devido à presença de banhados e campos de dunas significativos. Por não apresentar urbanização consolidada e possuir grandes sangradouros associados, esta área permite um local de pouso e alimentação notável para a avifauna costeira. As classes utilizadas no mapeamento da orla de Capão da Canoa partiram da observação de campo e das demandas apresentadas pela prefeitura municipal. Essas informações subsidiaram a definição das áreas mais degradadas e que necessitavam de intervenção imediata da prefeitura, a fim de preservar o campo de dunas frontais.

Nos balneários ao Norte deste município, os principais conflitos foram relacionados a ocorrências de falta de acesso à praia, manutenção da drenagem de canais pluviais, geralmente associada à existência de vias públicas sobre o sistema de dunas e utilizadas como acesso de veículos. Ao sul do município, os problemas relatados são relacionados com a demanda urbanística e de lazer da orla, sendo necessária a melhoria das

condições do "calçadão" presente neste setor, com a recuperação do sistema de dunas frontal que o acompanha longitudinalmente, além da melhoria dos acessos à praia e manutenção da drenagem pluvial.

Contrariamente, o município de Arroio do Sal apresenta uma orla extensa e bem preservada, com áreas de dunas frontais ainda pouco comprometidas, quando comparada com a orla de Capão da Canoa. Ficou constatado que, em Arroio do Sal, os maiores problemas de erosão das dunas são causados por efeitos físicos naturais, como pelas marés meteorológicas, pelo deslocamento de sangradouro, que causam erosão no sistema de dunas adjacentes, e pela expansão da vegetação exótica. Essas informações constatadas subsidiaram a valoração e a qualificação das praias consideradas estratégicas por motivos ambientais ou turísticos, para identificar os melhores caminhos para o desenvolvimento das atividades específicas da orla costeira e para a defesa e conservação desse ambiente. Os principais conflitos foram relacionados à falta de manutenção da drenagem local. As áreas já urbanizadas entram em conflito com canais pluviais já existentes, devido à ocupação sobre as áreas de preservação permanente (30 metros das margens desses corpos d'água). Devido ao número de sangradouros existentes e de diferentes aportes, foi sugerido o uso restrito de máquinas para a abertura de canais apenas na zona de pós-praia, com a finalidade de preservar o sistema de dunas frontais da erosão provocada pela migração da desembocadura dos sangradouros na praia.

Os resultados do índice de vulnerabilidade, representado nas figuras 2 e 3, integram o banco de dados, servindo de base para as avaliações técnicas dos diferentes setores dos municípios de Capão da Canoa e Arroio do Sal. Quanto maior o índice de vulnerabilidade, maior é a fragilidade do sistema, sendo as áreas com altos índices as que necessitam de maiores esforços de intervenções / gestão. Um exemplo dessa integração de dados são o tipo de morfologia da duna frontal e sua cobertura vegetal associada. Portanto, quando se conjugam morfologias erosivas e baixa cobertura vegetal à forte pressão de uso, indicam-se estas áreas com maior suscetibilidade à degradação e, portanto, prioritárias a intervenções para a recuperação do ambiente.

Em ambos os municípios, os segmentos que apresentaram maior índice de vulnerabilidade estão associados à maior pressão de uso antrópico, como as áreas com implantação de calçadão, concentração elevada de quiosques de venda de bebidas e alimentos e áreas de lazer (ex: quadras de esporte) próximas às dunas ou sobre estas. Nessas áreas, com o aumento da oferta de serviços associados ao setor do turismo sazonal, aumenta o fluxo de pedestres e de veículos motorizados e, conseqüentemente, o número de caminhos abertos sobre o sistema de dunas. Esses caminhos ampliam a



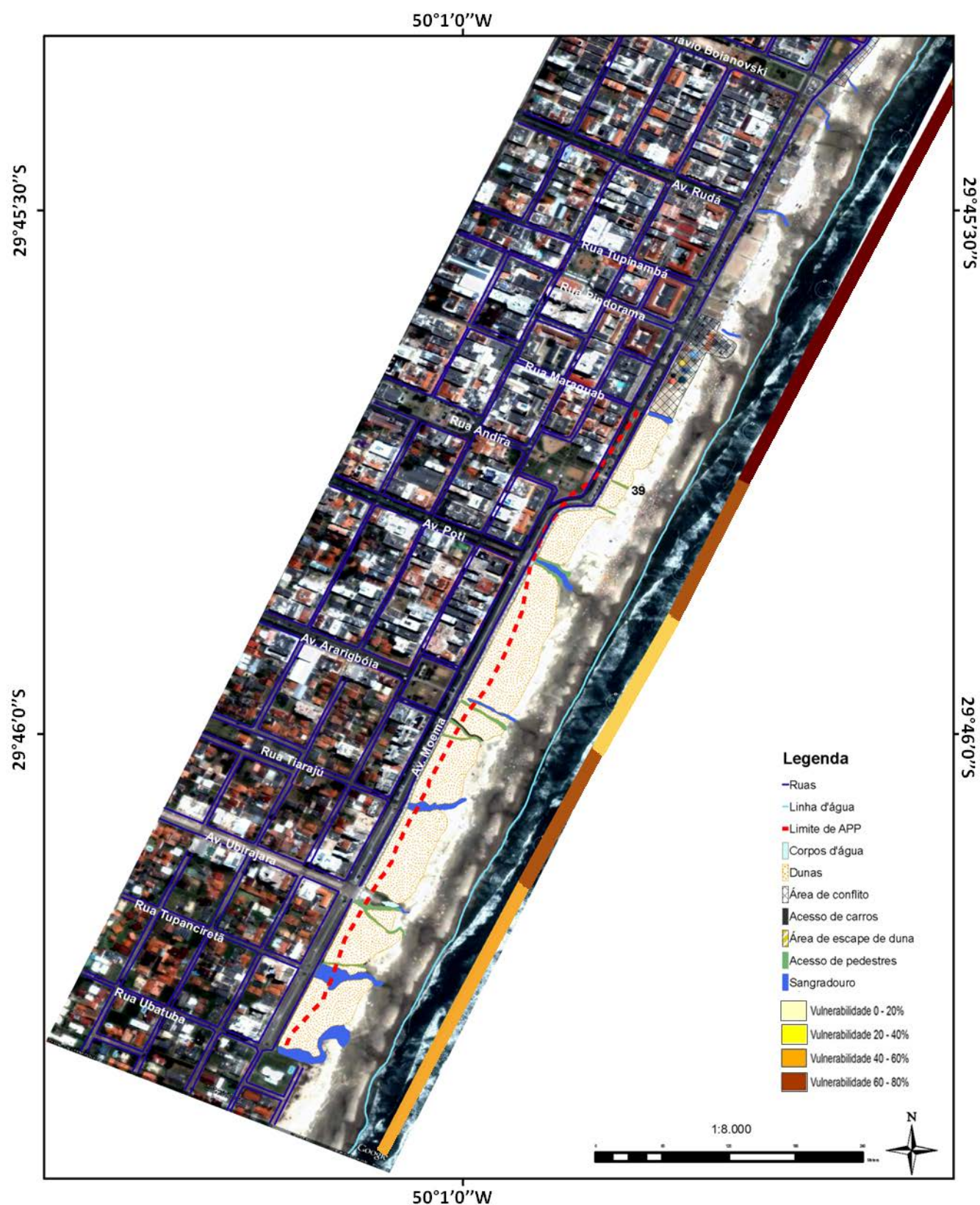


Figura 2 - Exemplificação da utilização da ferramenta SIG na análise dos dados espaciais no município de Capão da Canoa, Rio Grande do Sul, Brasil. Imagens do satélite, obtidas no Google Earth.

Figure 2 - Example of the use of a GIS for spatial data analysis in Capão da Canoa city, Rio Grande do Sul, Brazil

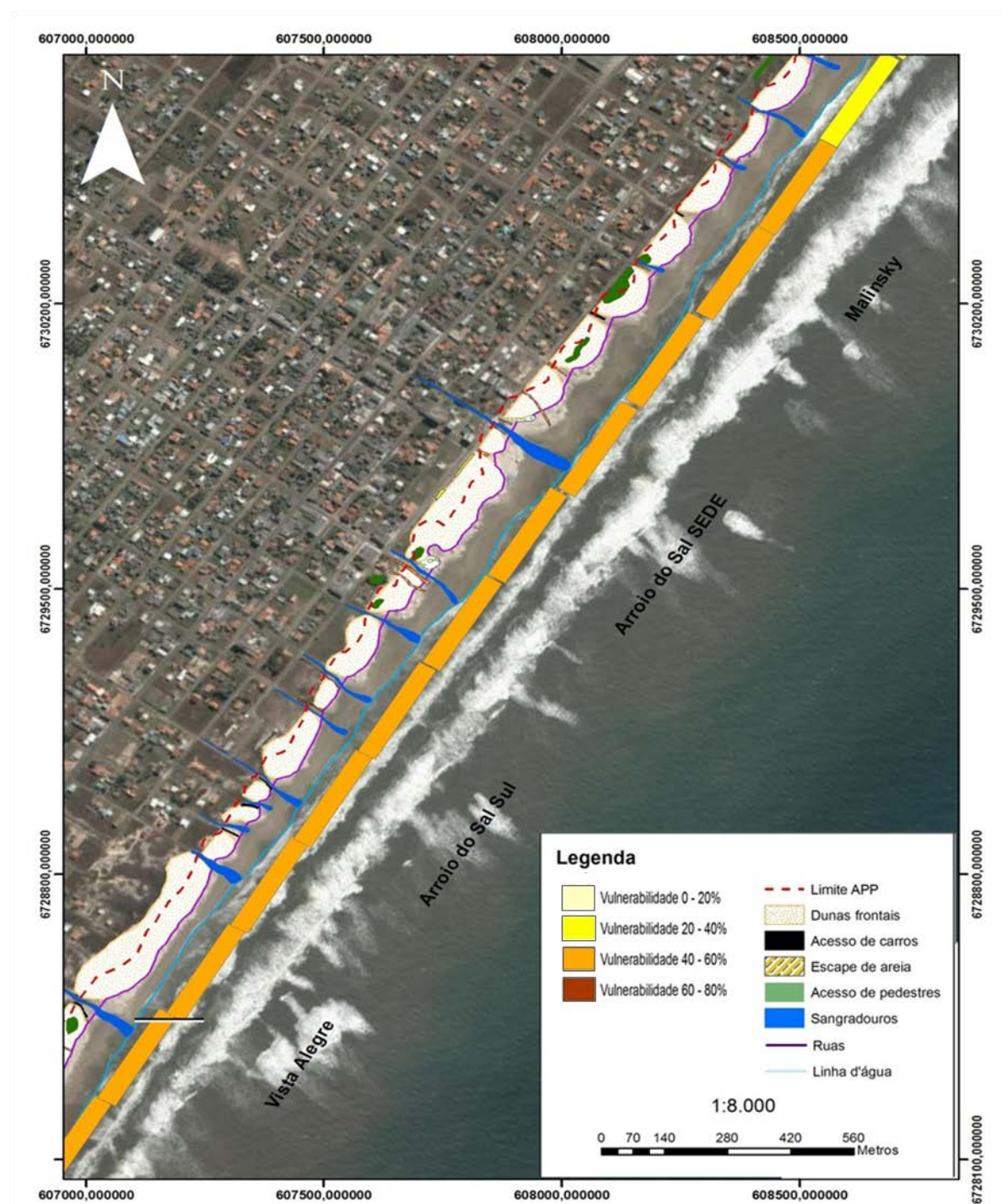


Figura 3 - Exemplificação da utilização da ferramenta SIG na análise dos dados espaciais no município de Arroio do Sal, Rio Grande do Sul, Brasil. Os algarismos presentes na imagem correspondem à setorização do município para a aplicação da vulnerabilidade.

*Figure 3 - Example of use of a GIS for spatial data analysis in Arroio do Sal city, Rio Grande do Sul, Brazil.*

degradação da vegetação existente e, posteriormente, contribuem para a formação de brechas no sistema de dunas.

Com uma grande quantidade de dados coletados, o uso do SIG possibilitou o gerenciamento dos recursos costeiros e a obtenção de dados múltiplos em grandes áreas e permitiu atualizações de forma rápida. Esse processo também dá suporte às atividades de campo, através da espacialização das unidades mapeadas, além

da possibilidade de consulta ao banco de dados contendo informações referentes a cada entidade espacial de interesse.

O estabelecimento de limites imediatos pode ser útil para a determinação de áreas de exclusão para o uso e a ocupação, como, por exemplo, as áreas próximas dos sangradouros, áreas de proteção permanente ou áreas de risco de soterramento pela migração de dunas móveis. Assim, propostas de gestão nos diferentes setores da



orla podem ser realizadas, e a espacialização das intervenções/ ações sugeridas pode ser disposta espacialmente por meio do SIG e visualizadas na forma de mapas, sendo esta mais uma informação que compõe o banco de dados final do projeto/ estudo. O exemplo dessa espacialização pode ser visualizado na figura 4.

A intervenção apresentada nesse setor (figura 4) representa a situação de um importante sangradouro na divisa do balneário Praia do Barco e do Jardim Beira-Mar produzindo erosão e recuo do sistema de dunas frontais. O diagnóstico identificou o sangradouro pluvial urbano interceptado pelas areias transportadas pelo vento nordeste, acarretando a deriva do fluxo da água para o sul e erosão dos terrenos e ruas adjacentes. As ações e estratégias de manejo apresentadas foram: a preservação de 30 m de cada margem do sangradouro, atendendo à legislação (Código Florestal, Lei nº. 4.771/65, art. 2º), e a construção de um anteparo para direcionar o fluxo da corrente na margem sul da sua desembocadura; reconstrução da área degradada por ação do curso do sangradouro e estabilização das dunas frontais a barlavento do sangradouro através de espalhamento de cobertura morta e alinhamento de esteiras de contenção de areia transversais ao vento NE; replantio de mudas de espécies nativas (capim de praia – *Panicum racemosum*) na pós-praia, protegido por esteiras de contenção, instaladas a 6 metros da base do sistema de dunas remanescente, adjacentes ao sangradouro.

O levantamento topográfico detalhado de um trecho do sistema de dunas resultou em um modelo digital do terreno que serviu de base para a realização de uma modelagem da sobre elevação do nível do mar causada por forçantes meteorológicas, sendo que os resultados dessa modelagem indicaram que as áreas de sangradouros são as mais suscetíveis aos efeitos da erosão causada pela sobre elevação do nível do mar (Figura 5), sendo, dessa forma, possível propor intervenções para remediar as consequências negativas. Nesse caso, o uso do SIG foi essencial para a criação do modelo, demonstrando visualmente ao gestor como ocorre o avanço do mar sobre as dunas e a sua ligação com o sangradouro – área mais frágil a este fenômeno. A degradação desse ambiente ocorre em situações de erosão na face de praia ou no sistema de dunas ocasionadas pelo aumento de fluxo de escoamento de água em episódios de chuva excessiva e agravadas pela sobre elevação do nível do mar.

Em áreas com alto grau de urbanização, essas intervenções ocorrem, principalmente, no sentido de preservar a integridade do sistema de dunas; para tanto, foram sugeridas ações como a instalação de tubulação para o escoamento pluvial sob a crista da duna frontal,

mantendo a continuidade do sistema. Além disso, o direcionamento da passagem de pedestres através da implantação de estruturas como passarelas também é um tipo de intervenção que visa à manutenção do sistema de dunas, protegendo a orla.

Por meio das técnicas de modelagem em SIG, também foi possível avaliar as diferentes técnicas de manejo a serem empregadas, comparando dois ou mais traçados prováveis, no que se refere a seus efeitos na proteção dos bens e imóveis presentes na porção reversa do cordão de dunas. A avaliação dos possíveis efeitos negativos que determinadas intervenções podem gerar serve para minimizar os prejuízos que essas intervenções poderão causar. Existem várias possibilidades para se avaliar antecipadamente os efeitos das intervenções, para evitar eventuais futuros efeitos negativos (Lang & Blaschke, 2009). Considerando que os sangradouros são as áreas mais vulneráveis à sobre elevação do nível do mar, a caracterização (número, área da bacia de drenagem, área impermeabilizada) dos sangradouros existentes em um setor da costa e a inserção dessas informações no SIG proporciona prever os possíveis efeitos que prováveis intervenções poderão causar, como, por exemplo, a retificação dos canais de escoamento pluvial e direcionamento para uma única saída para o mar, tendo como objetivo diminuir a segmentação do sistema de dunas e, dessa forma, reduzir a vulnerabilidade à inundação da costa.

Como resultado final dos planos de gestão de dunas, são disponibilizadas as técnicas de gestão definidas para cada local em formato de planilha. Com a utilização e disponibilização de todos os dados do projeto em formato SIG, essas informações podem ser acessadas rapidamente, assim como alteradas caso o cenário ambiental seja modificado, ou caso as técnicas utilizadas não tenham atingido o resultado desejado.

A identificação de elementos ou ações que se deseja visualizar torna-se fundamental para os gestores de áreas litorâneas, pelo fato de o ambiente de dunas ser muito dinâmico, as ferramentas que permitam respostas rápidas se tornam extremamente úteis (Figura 6).

Além disso, a complementação do banco de dados georreferenciados pode ser realizada com informações posteriores, referentes à implementação do plano, visando ao gerenciamento das informações relativas às próprias estruturas implantadas efetivamente nos locais sugeridos no plano, como, por exemplo: extensão e largura das passarelas, material das estruturas, data de implantação das estruturas, observações, entre outras. O gerenciamento da zona costeira pode ser mais efetivo quando realizado com base nas informações atualizadas no SIG.

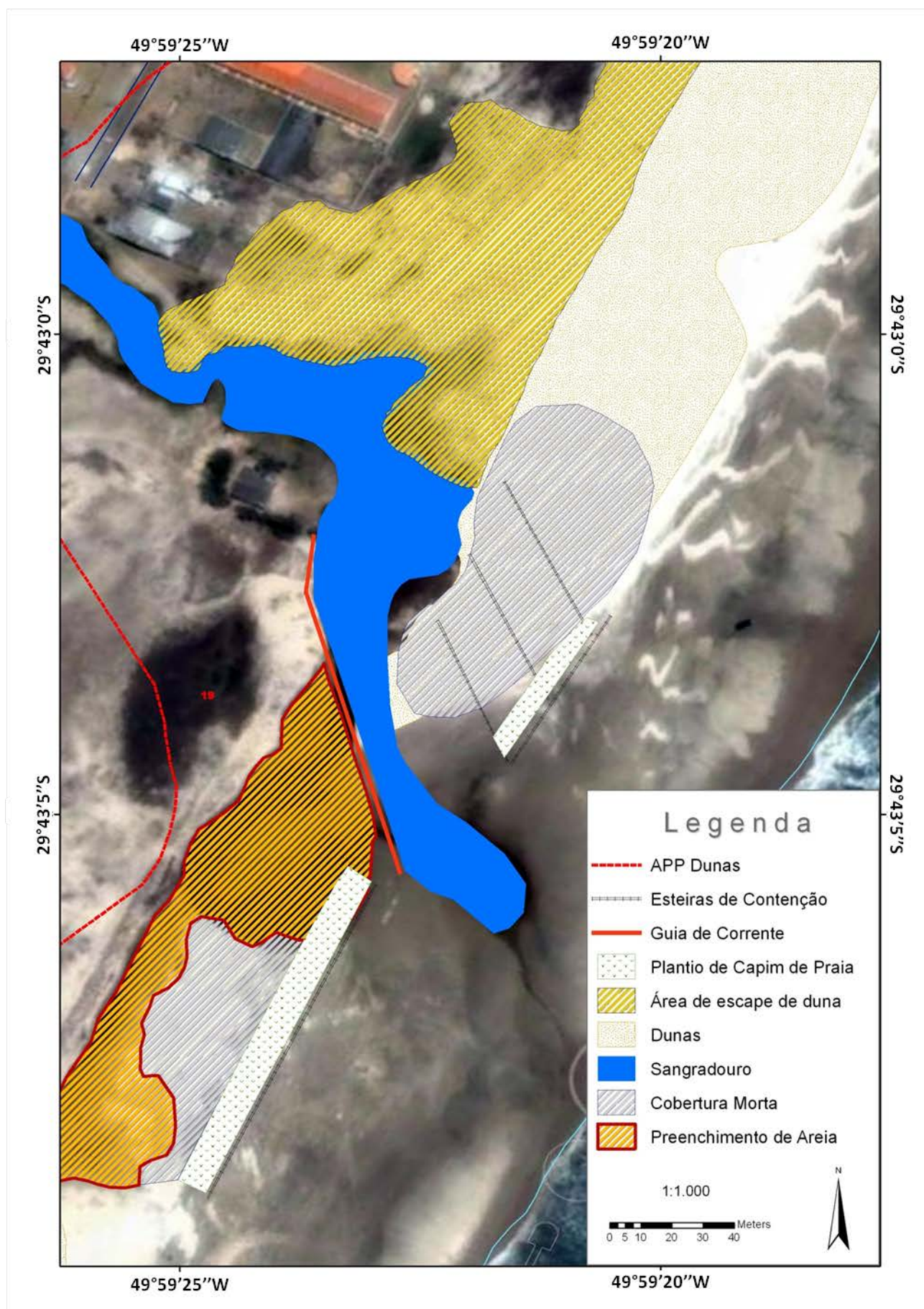


Figura 4 -Ações de gestão propostas para um segmento de *Capão da Canoa*.

*Figure 4 - Suggested management actions for a coastal segment of the city of Capão da Canoa.*

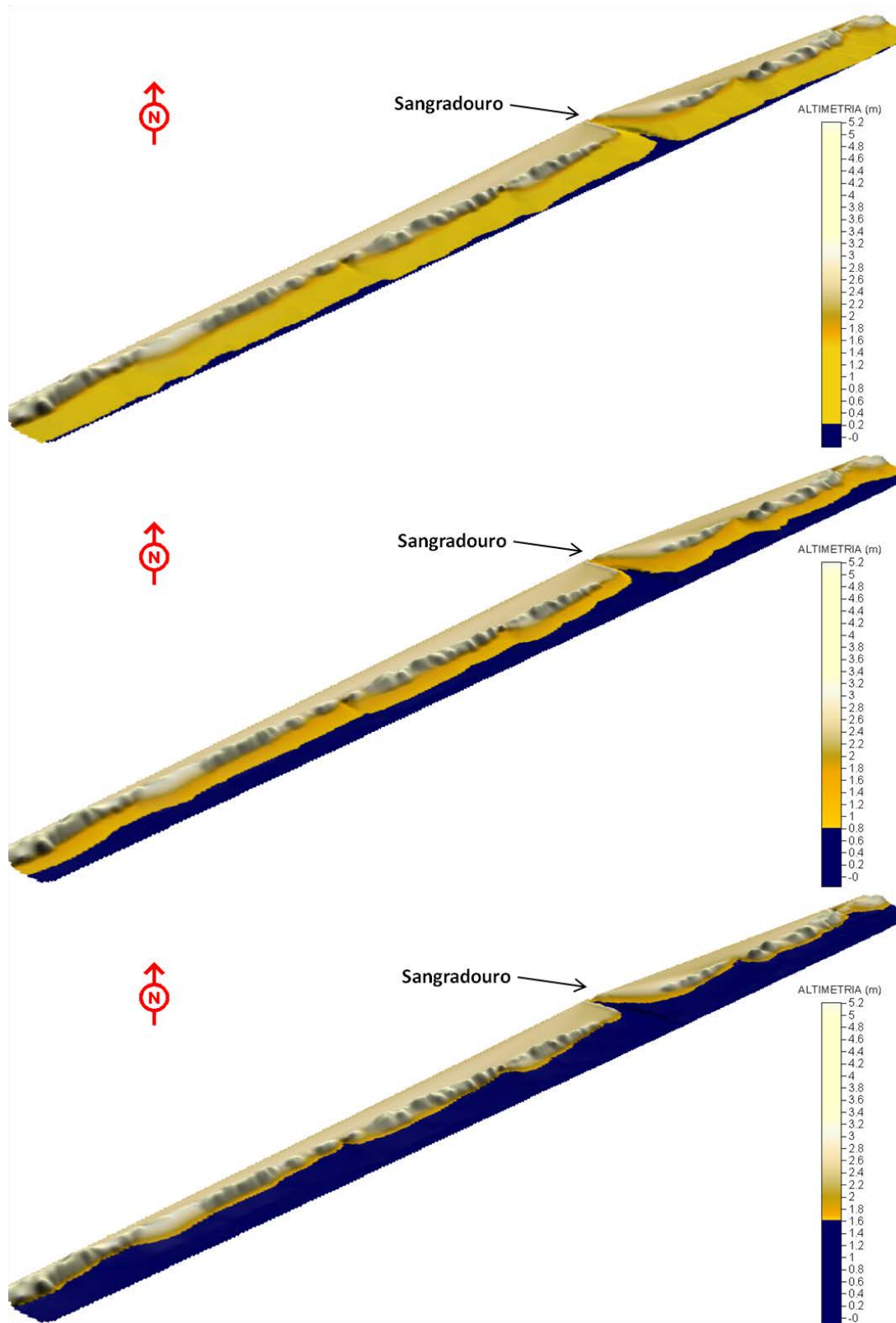


Figura 5 - Modelo tridimensional das dunas frontais de Capão da Canoa, com simulação da sobrelevação do nível do mar.

Figure 5 - 3D model of the fore dunes in the city of Capão da Canoa, and the simulation of storm surge sea level increase.



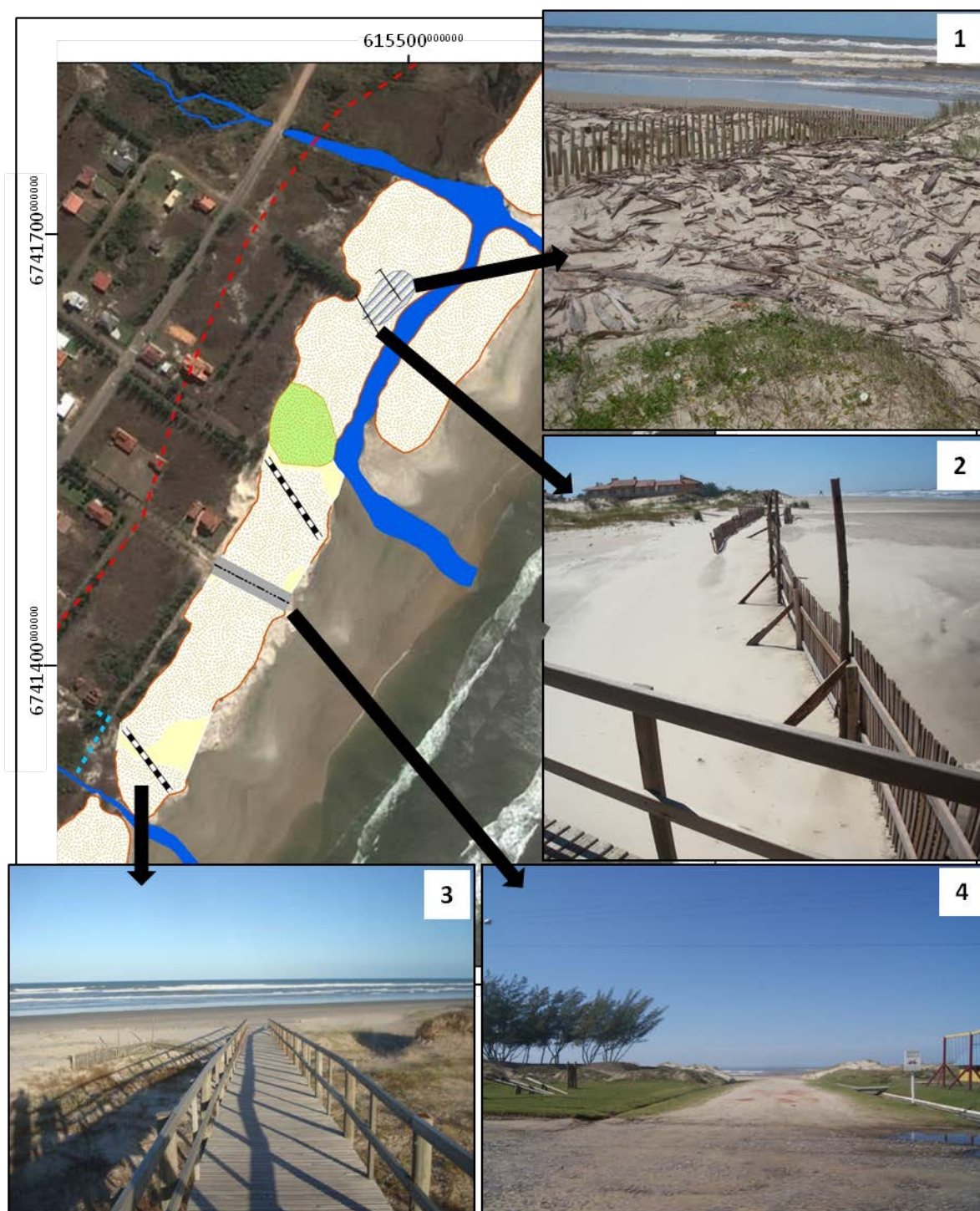


Figura 6 - Ações de gestão a serem empregadas num dos setores da costa dos municípios analisados: 1) colocação de cobertura orgânica (galhos secos ou cascas de árvores) sobre as dunas frontais para redução da ação do vento, 2) colocação de cercados para permitir a acumulação de sedimentos, 3) acessibilidade garantida a partir de estruturas como passarelas, 4) acessos à praia para veículos oficiais em missões de salvamentos e resgates, limpeza de resíduos sólidos ou fiscalização.

*Figure 6 - Management actions to be employed in sectors of the coast in the analyzed cities: 1) placement of organic coverage (dry twigs or tree bark) over the foredunes to reduce wind action, 2) placement of fences to allow sediment accumulation, 3) pedestrian accessibility through structures such as walkways, 4) beach access for official vehicles in rescue, cleaning of solid waste or supervision missions.*



#### 4.1.1. SIG no Gerenciamento Costeiro

As zonas costeiras apresentam um caso especial para a manipulação e gestão de informações geográficas por constituírem a zona de interface entre dois tipos contrastantes de ambientes terrestre e marinho (Tolvanen & Kalliola, 2008). O SIG fornece uma valiosa forma de visualizar as informações e integrá-las em qualquer etapa do projeto, nomeadamente detecção, avaliação, planejamento, análise de uso, modelagem etc. (Figura 7).

Aplicado à gestão de dunas, um SIG é capaz de integrar e consolidar os dados operacionais e históricos, alimentando o processo de tomada de decisões na gestão de dunas, por exemplo, com informações gerenciais e estratégicas. Além disso, o SIG também pode integrar os dados de outros órgãos, tais como os dos demais municípios da região, de universidades e órgãos governamentais. Para os municípios, as vantagens se encontram na facilitação de armazenamento dos dados em um formato físico compacto, podendo ser mantidos e extraídos a um custo menor e com uma maior velocidade; as planilhas e as informações gráficas podem ser integradas e manipuladas simultaneamente; além do acompanhamento da evolução dos projetos de gestão, recuperação ou aceleração de degradações.

O uso do SIG ocupa, hoje, o topo da lista de ferramentas de apoio ao tratamento de informação espacial, existindo, atualmente, no mercado, uma vasta quantidade de *softwares*. As possibilidades de produtos que podem ser gerados em um SIG (mapas, modelos, tabelas, estatísticas, entre outros) podem subsidiar a elaboração de planos de gestão, mas de maneira mais ampla, podem dar subsídios ao gerenciamento costeiro

em geral. Produtos cartográficos de apoio ao trabalho de campo, produtos finais de variação temporal de elementos costeiros (dunas, vegetação, linha de costa, etc.), além da inserção de dados alfanuméricos relacionados às feições mapeadas e possibilidade de atualização rápida da base de dados (entre outros exemplos de aplicações) demonstram o extremo potencial de um SIG aplicado à gestão costeira. Em um SIG, é possível a integração e manipulação rápida e eficaz de dados, de forma que a geração de informação subsidie tanto o diagnóstico quanto o gerenciamento de informações. A possibilidade de fazer atualizações, alterações e reconstruções de cenários de forma a proporcionar uma visão particular do problema discutido e a reavaliação instantânea de qualquer interferência prevista é uma característica relevante do SIG, tornando-o muito vantajoso com relação a outros procedimentos/técnicas utilizados no diagnóstico e na avaliação de ambientes.

Nesse contexto, o ordenamento da orla costeira pode ser facilitado pelo uso do SIG, uma vez que praticamente todas as informações sobre os ambientes costeiros podem ser georreferenciadas, constituindo um recurso fundamental do desenvolvimento sustentável e dando um contexto espacial ao amplo conteúdo de informações ambientais necessárias para o entendimento dessas áreas.

O uso dessa ferramenta tem sido aplicado nos mais diversos trabalhos em gerenciamento costeiro no mundo, em estudos com enfoques distintos. Como exemplos, pode-se citar: o estudo na *Catalunha*, Espanha, para dar suporte a decisões governamentais, em virtude da pressão exercida pela indústria do

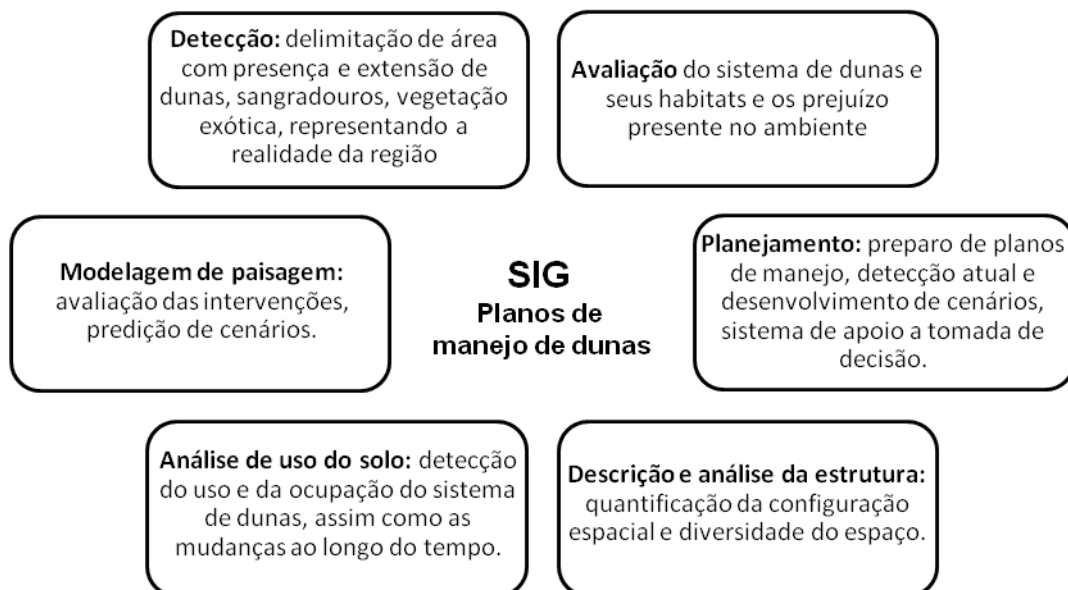


Figura 7 - SIG como ferramenta para a análise e formulação dos planos de gestão de dunas.

Figure 7 - GIS as a tool for the analysis and preparation of dunes' management plans.

turismo (Sarda *et al.*, 2005); na baía de Plenty, Nova Zelândia, para dar suporte ao desenvolvimento sustentável da aquicultura (Longdill *et al.*, 2008); na praia de *Coquina*, Estados Unidos, utilizando SIG para modelar o sistema de dunas em virtude da erosão ocasionada frequentemente pelas tempestades (Andrews *et al.*, 2002); no lago Huron, Canadá, utilizou-se SIG para monitorar a formação e evolução de corredores de deflação no sistema de dunas (Decha *et al.*, 2005); outras aplicações de SIG em estudos de sistemas eólicos também podem ser encontradas em Sánchez *et al.* (2005).

O sensoriamento remoto e SIG são muito utilizados também para monitorar mudanças ambientais e de uso da terra - movimentações da linha de costa, migração de canais de delta, expansão urbana e modificações de uso da terra (Chen *et al.*, 2005; Shalaby & Tateishi, 2007; Rodríguez *et al.*, 2009; Marino & Freire, 2013). Um estudo realizado na Grécia sumariza uma metodologia para fazer uma avaliação multidimensional em zonas costeiras utilizando ferramentas multi-critério em ambiente SIG (Kitsiou *et al.*, 2002). Outra aplicação dos SIG's é na modelagem de dispersão de óleo no oceano proveniente de vazamentos (Li *et al.*, 2001) e a determinação da sensibilidade costeira ao derramamento de óleo (Vafai *et al.*, 2013).

Investigações na zona costeira do Rio Grande do Sul (Brasil), visando dar subsídios ao gerenciamento costeiro com a utilização de SIG, vêm sendo realizadas, enfocando diferentes questões. Farina (2002) realizou uma modelagem para a expansão urbana no município de Rio Grande, litoral sul do Estado; Silva *et al.* (2011) realizaram um mapeamento do uso da terra e seus impactos na vulnerabilidade costeira como subsídio ao gerenciamento de riscos e adaptação costeira; no litoral médio do Estado, Silva & Tagliani (2012) realizaram um estudo para o planejamento ambiental da região; subsídios proporcionados pelo uso de SIG e Sensoriamento Remoto para o planejamento costeiro no litoral do Rio Grande do Sul foram analisados no trabalho de Silva *et al.* (2012). Gianuca & Tagliani (2012) avaliaram alterações da paisagem em áreas adjacentes a regiões com cultivo de *pinus* no litoral médio do Estado.

Para a elaboração de um plano de manejo de dunas, enfoque deste artigo, diversas informações devem ser levantadas, tanto relacionadas à dinâmica costeira quanto à dinâmica urbana/humana da área. Assim, estudos com diversos enfoques realizados na área a ser estudada devem ser levantados e analisados na etapa de diagnóstico, os quais subsidiarão o entendimento da referida área e, posteriormente, o planejamento da mesma (com a elaboração do Plano de Manejo). A facilidade de integração e avaliação de informações em ambiente SIG deve servir como estímulo para que todos os estudos na zona costeira sejam elaborados neste

ambiente, gerando produtos georreferenciados e com banco de dados associado.

Os SIG's podem fornecer valiosas contribuições no apoio às tarefas e aos projetos de planejamento cada vez mais complexos (Lang & Blaschke, 2009). Nesse contexto, a criação de um Sistema Integrador de Informações Geoambientais para o litoral do estado do Rio Grande do Sul, aplicado ao gerenciamento costeiro, traz em seu formato as concepções dos modelos descritos, através da identificação das pressões exercidas sobre o sistema costeiro, das modificações impostas a ele por essas pressões e dos impactos geoambientais decorrentes dessas modificações. Os diagnósticos e prognósticos elaborados constituem a base para as decisões e as ações integradas de políticas públicas (respostas), em níveis estadual, regional e municipal, devendo atender aos diversos instrumentos de planejamento, gerenciamento, fiscalização e controles ambientais existentes na zona costeira (Souza, 2003).

A utilização de um SIG pode promover e facilitar a troca de informações entre as instituições e, em longo prazo, pode permitir a integração de todas as informações em um único banco de dados estadual, auxiliando os órgãos municipais e estaduais nas tomadas de decisões. O elemento essencial em todo esse processo é a perspectiva de ocorrer colaboração mútua e benéfica entre os diferentes parceiros em uma escala temporal longa, além de que todos os conteúdos das informações estejam disponíveis abertamente para a sociedade. Nesse contexto, um "SIG dinâmico" (Gourmelon *et al.*, 2013), elaborado com a colaboração de órgãos/instituições envolvidos e a sociedade local (por meio de entrevistas para delimitação de zonas de usos – zona de atividade de pesca; áreas utilizadas para lazer etc. – e coleta de dados *in loco*), possibilita a integração de todos os dados e informações necessárias para um efetivo gerenciamento costeiro integrado.

## 5. Considerações finais

O desenvolvimento de projetos de gestão no sistema de dunas passa pela integração e análise de grande quantidade de dados, como a caracterização ambiental e de ocupação da orla, visando a sua setorização e a determinação de prioridades às intervenções e às demandas do município. A dinâmica das formas e dos processos atuantes na costa requer atualizações de dados constantes e de baixo custo.

Os dados integrados em ambiente SIG (acessos à praia, cursos de água, ocupações irregulares e loteamentos, usos dos ambientes de praia e dunas, presença de quiosques, setorização de áreas de pesca e de surfe, topografia, presença de vegetação nas dunas, entre outros) serviram como base para a identificação e o ordenamento dos diferentes usos e das atividades desenvolvidas na orla costeira, assim como para a obtenção da classificação das praias de acordo com seus

usos predominantes. Essa classificação possibilitou, em uma etapa posterior de análise e proposição de ações, o direcionamento das intervenções necessárias a serem realizadas na área de estudo.

Os resultados obtidos no estudo de caso exposto nesse artigo demonstram que o SIG é uma tecnologia de apoio fundamental para qualquer estudo que pretenda resolver problemas ambientais relacionados a planos de gestão de dunas.

Nos casos dos municípios de Capão da Canoa e Arroio do Sal, a delimitação dos problemas existentes foi facilmente mapeada, de forma rápida e econômica, possibilitando fácil acesso e interpretação das informações elaboradas, auxiliando os gestores e a comunidade na identificação dos parâmetros que mais alteram o equilíbrio desses sistemas naturais. Os municípios aqui estudados apresentam uma extensa orla com distintos graus de urbanização, com suas áreas naturais de dunas frontais exibindo graves problemas de erosão, causados tanto por efeitos naturais, como os efeitos das ondas de ressacas, quanto por efeitos antrópicos, causados pelo deslocamento dos sangradores e pela supressão da vegetação nativa, além de uma descaracterização do ambiente pelo plantio de vegetação exótica.

Com o intuito de preservar esse ambiente, deve-se realizar o controle das atividades de uso da orla e a recuperação das áreas degradadas com a utilização de estratégias de gestão, tais como: instalação de esteiras de contenção, plantio de vegetação nativa e retirada de vegetação exótica, controle para que não ocorra um avanço da urbanização sobre as áreas das dunas

frontais, instalação de passarelas sobre as dunas e de acessos funcionais para carros oficiais (ex: veículos autorizados, como ambulâncias, fiscalização e policiamento).

No âmbito municipal, as vantagens se encontram na facilitação de armazenamento dos dados em um formato físico compacto, podendo ser mantidos e extraídos a um custo menor e com uma maior velocidade. As planilhas e as informações gráficas podem ser integradas e manipuladas simultaneamente, além do acompanhamento da evolução dos projetos de gestão, recuperação ou aceleração de degradações. Indo ao encontro da concepção de um sistema integrador de informações para a gestão costeira, a utilização de um SIG revela-se como essencial, possibilitando promover e facilitar a troca de informações entre instituições /municípios, e, em longo prazo, pode permitir a integração de todas as informações em um único banco de dados estadual, auxiliando os órgãos municipais, estaduais e até mesmo federais nas avaliações da zona costeira e nas tomadas de decisão.

Assim, a estrutura de projetos em SIG permitirá a atualização rápida dos bancos de dados e dos produtos básicos gerados e, automaticamente, gerará todos os produtos intermediários e finais. Com a identificação das pressões, das modificações ambientais e dos impactos das atividades antrópicas na zona costeira, as respostas e as ações de políticas públicas poderão ser melhor direcionadas rumo à implementação de um gerenciamento integrado da zona costeira mais consistente, que possa conduzir a um desenvolvimento sustentável mais efetivo.

## Referências bibliográficas

- Almeida, L.E.S.B; Rosauro, N.L.; Toldo J.R., E.E.; Gruber, N.S. (1999) -Avaliação da profundidade de fechamento para o litoral Norte do Rio Grande do Sul. *Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Belo Horizonte, MG, Brasil; Publicado em CD-ROM.
- Andrews, B.D.; Gares, P.A.; Colby, J.D. (2002) - Techniques for GIS modeling of coastal dunes. *Geomorphology*, 48(1-3):289-308. DOI: 10.1016/S0169-555X(02)00186-1
- CONAMA (2002) - *Resolução Nº 303, de 20 de março de 2002. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente*. DOU nº 90, de 13 de maio de 2002, Seção 1, página 68. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30302.html>
- Calliari, L.J.; Pereira, P.S.; de Oliveira, A.O.; Figueiredo S.A. (2005) - Variabilidade das dunas frontais no litoral norte e médio do Rio Grande do Sul, Brasil. *Gravel* (ISSN: 1678-5975), 3:15-30, Porto Alegre, RS, Brasil.
- Câmara, G. (1995) - *Modelos, Linguagens e arquiteturas para bancos de dados geográficos*. 264p., Tese de Doutorado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) São José dos Campos, SP, Brasil. Disponível em <http://www.dpi.inpe.br/teses/gilberto/>
- Decha, J.P.; Mauna, M.A.; Pazner, M.I. (2005) - Blowout dynamics on lake Huron sand dunes: analysis of digital multispectral data from color air photos. *Catena*, 60(2):165-180. DOI: 10.1016/j.catena.2004.11.004
- Devillers, R.; Lee, C.; Canessa, R.; Sherin, A. (eds.) (2013) - *CoastGIS Conference 2013: Monitoring and Adapting to Change on the Coast*. 230p., Victoria, British Columbia, Canada. Disponível em <http://coastgis2013/docs/proceedings.pdf>
- Dueker, K.J. (1979) - Land resources information systems: a review of fifteen years' experience. *Geo-Processing* (ISSN 0165-2273), 1(2):105-128, Amsterdam, Netherlands.
- Farina, F.C. (2002) - *Utilização de técnicas de geoprocessamento para seleção de áreas adequadas à expansão urbana: caso do município de Rio Grande - RS*. 124p., Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. *Não publicado*.
- FEPAM (2004) - *Documento Normativo para a elaboração de Planos de Manejo de Dunas*. 2p., Fundação Estadual de Proteção Ambiental do Rio Grande do Sul (FEPAM), Porto Alegre, RS, Brasil. *Não Publicado*.

- Fernandes, L.R.; Amaral R.F. (2013) - Paisagem costeira do litoral oriental do estado do Rio Grande do Norte (Brasil): Evolução temporal e padrões espaciais dos campos de dunas móveis. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, 13(1):45-59. DOI: 10.5894/rgci340.
- Franchini, R.A.L. (2010) - *Diagnóstico de vulnerabilidade das dunas frontais do município de Arroio do Sal: contribuição para o plano de manejo de dunas*. 99p., Trabalho de conclusão de graduação, Curso de Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. Disponível em <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/28452>
- Freire, O.D.S. (coord.) (2006) - *Projeto Orla: Fundamentos para Gestão Integrada*. Ministério do Meio Ambiente - Secretaria de Qualidade Ambiental nos Assentamentos Humanos / Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. 74p., Brasília, DF, Brasil. Disponível em [http://www.planejamento.gov.br/secretarias/upload/Arquivos/spu/publicacao/081021\\_PUB\\_Proj\\_Orla\\_fundamentos.pdf](http://www.planejamento.gov.br/secretarias/upload/Arquivos/spu/publicacao/081021_PUB_Proj_Orla_fundamentos.pdf)
- Gianuca, K.S.; Tagliani, C.R.A. (2012) - Análise em um Sistema de Informação Geográfica (SIG) das alterações na paisagem em ambientes adjacentes a plantios de pinus no Distrito do Estreito, município de São José do Norte, Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 12(1):43-55. DOI: 10.5894/rgci285
- Gourmelon, F.; Le Guyader, D.; Fontenelle, G. (2013) - A dynamic GIS as an efficient tool for ICZM (Bay of Brest, Western France)? *CoastGIS Conference 2013: Monitoring and Adapting to Change on the Coast*, pp.92-95, Victoria, British Columbia, Canada. Available at <http://coinatlantic.ca/coastgis2013/docs/proceedings.pdf>
- Gruber, N.L.S.; Strohaecker, T.M.; Tabajara, L.L.C.A.; Portz, L.; Manzolli, R.P.; Cheiran Pereira, F.C.; Rekowsky, L.; Dadda, M.D.; Chites, R.; Oliveira, R.M.; Franchini, R.A.L. (2010a) - *Diagnóstico para o plano de manejo das dunas frontais do município de Capão da Canoa-RS*. CECO/IG/UFRGS, Prefeitura Municipal de Capão da Canoa, Documento Técnico, 104p., Porto Alegre, RS, Brasil. *Unpublished*.
- Gruber, N.L.S.; Strohaecker, T.M.; Tabajara, L.L.C.A.; Portz, L.; Manzolli, R.P.; Cheiran Pereira, F.C.; Rekowsky, L.; Dadda, M.D.; Chites, R.; Oliveira, R.M.; Franchini, R.A.L. (2010b) - *Plano De Manejo Das Dunas Frontais Do Município De Capão da Canoa-RS*. CECO/IG/UFRGS, Prefeitura Municipal de Capão da Canoa, Documento Técnico, 84p., Porto Alegre, RS, Brasil. *Unpublished*.
- Gruber, N.L.S.; Strohaecker, T.M.; Tabajara, L.L.C.A.; Portz, L.; Manzolli, R.P.; Zasso, L.; Oliveira, J.F.; Oliveira, R.M.; Franchini, R.A.L.; Caetano, F.S.; Pereira, F.C.; Monteiro, L.; Hahn, A.R.; Ferronato, J.P.F. (2011a) - *Diagnóstico para plano de manejo das dunas frontais do município de Arroio do Sal-RS*. CECO/IG/UFRGS, Prefeitura Municipal de Capão da Canoa, Documento Técnico, 164p., Porto Alegre, RS, Brasil. *Unpublished*.
- Gruber, N.L.S.; Strohaecker, T.M.; Tabajara, L.L.C.A.; Portz, L.; Manzolli, R.P.; Zasso, L.; Julio Fernandes de Oliveira, J.F.; Oliveira, R.M.; Franchini, R.A.L.; Caetano, F.S. Pereira, F.C.; Monteiro, L.; Hahn, A.R.; Ferronato, J.P.F. (2011b) - *Plano de Manejo das Dunas Frontais do Município de Arroio do Sal-RS*. CECO/IG/UFRGS, Prefeitura Municipal de Capão da Canoa, Documento Técnico, 124p., Porto Alegre, RS, Brasil. *Unpublished*.
- Hesp, P.A. (2002) - Foredunes and blowouts: initiation, geomorphology and dynamics. *Geomorphology*, 48(1-3):245-268. DOI: 10.1016/S0169-555X(02)00184-8.
- Hesp, P.A. (1988) - Morphology, dynamics and internal stratification of some established foredunes in southeast Australia. *Sedimentary Geology*, 55(1-2):17-41. DOI: 10.1016/0037-0738(88)90088-7
- Kitsiou, D.; Coccossis, H.; Karydis, M. (2002) - Multi-dimensional evaluation and ranking of coastal areas using GIS and multiple criteria choice methods. *The Science of the Total Environment*, 284(1-3):1-17. DOI: 10.1016/S0048-9697(01)00851-8
- Lang, S.; Blaschke, T. (2009) - *Análise da paisagem com SIG*. 424p., Oficina de Textos, São Paulo, SP, Brasil. ISBN: 8586238783.
- Li, R.; Di, K.; Ma, R. (2001) - A Comparative Study of Shoreline Mapping Techniques. In: Darius J. Bartlett; Jennifer L. Smith (org.), *GIS for coastal zone management*, pp.53-60, Chapter 3, CRC Press, New York, USA. ISBN 0-415-31972-2.
- Longdill, P.C.; Healy, T.R.; Black, K.P. (2008) - An integrated GIS approach for sustainable aquaculture management area site selection. *Ocean & Coastal Management*, 51:612-24. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2008.06.010
- Marino, M.T.R.D.; Freire, G.S.S. (2013) - Analysis of the shoreline evolution between the Future and Porto das Dunas Beaches, Fortaleza Metropolitan Region (FMR), Ceará State, Brazil. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 13(1):113-129. DOI: 10.5894/rgci373
- Pan, P.S.Y. (2001) - Monitoring Coastal Environments Using Remote Sensing and GIS. In: Darius J. Bartlett; Jennifer L. Smith (org.), *GIS for coastal zone management*, pp.61-75, Chapter 4, CRC Press, New York, USA. ISBN 0-415-31972-2.
- Parise, C.K.; Calliari, L.J.; Krusche, N. (2009) - Extreme storm surges in the south of Brazil: atmospheric conditions and shore erosion. *Brazilian Journal of Oceanography*, 57(3):75-188. DOI: 10.1590/S1679-87592009000300002.
- Phinn, S.R.; Menges, C.; Hill, G.J.E.; Stanford, M. (2000) - Optimizing remotely sensed solutions for monitoring, modeling, and managing coastal environments. *Remote Sensing Environment*, 73:117-32. DOI: 10.1016/S0034-4257(00)00087-0.
- Portz, L.; Manzolli, R.P.; Gruber, N.L.S.; Correa, I.C.S. (2010) - Tourism and degradation in the coastline of Rio Grande do Sul: conflicts and management. *Desenvolvimento e Meio Ambiente* (ISSN: 1518-952X), 22:153-166, Curitiba, PR, Brasil. Disponível em <http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs-2.2.4/index.php/made/article/view/20351/13512>.
- Portz, L.; Manzolli, R.P.; Corrêa, I.C.S. (2011) - Ferramentas de gestão ambiental aplicadas na zona costeira do Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada* (ISSN: 1646-8872), 11(4):459-470. DOI: 10.5894/rgci278.
- Rodríguez, I.; Montoya, I.; Sánchez, M.J.; Carreño, F. (2009) - Geographic Information Systems applied to Integrated Coastal Zone Management. *Geomorphology*, 107(1-2):100-105. DOI: 10.1016/j.geomorph.2007.05.023
- Sánchez, M.J.; Rodríguez, I.; Montoya, I.; Carreño, F. (2005) - GIS technology to calculate aeolian transport. *International Symposium for GIS and Computer Mapping for Coastal Zone Management*, 7, pp. 291-292, Aberdeen, UK. Publicado em CD-ROM.
- Santos, R.F. (2004) - Planejamento ambiental: teoria e prática. 184p. Oficina de Textos, São Paulo, SP, Brasil. ISBN: 9788586238628.
- Sarda, R.; Avila, C.; Mora, J. (2005) - A methodological approach to be used in integrated coastal zone management processes: the case of the Catalan Coast (Catalonia, Spain). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 62(3):427-439. DOI: 10.1016/j.ecss.2004.09.028.
- Serpa, C.G. (2008) - *Estudo da influência dos fatores climáticos e hidrológicos no ciclo morfodinâmico praias de um sangradouro intermitente, praia do Cassino, Brasil*. 97p. Dissertação de mestrado, Pós-Graduação em Engenharia Oceânica da Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, RS, Brasil. Disponível em: <http://www.engenhariaoceanica.furg.br/arquivos/serpa,c.g.pdf>.

- Shalaby, A.; Tateishi, R. (2007) - Remote sensing and GIS for mapping and monitoring land cover and land-use changes in the Northwestern coastal zone of Egypt. *Applied Geography*, 27(1):28-41. DOI:10.1016/j.apgeog.2006.09.004
- Silva, T.S.; de Freitas, D.; Tagliani, P.R.A.; Farina, F.C.; Ayup-Zouain, R.N. (2011) - Land use change impact on coastal vulnerability: subsidies for risk management and coastal adaptation. *International Symposium for GIS and Computer Mapping for Coastal Zone Management*, pp. 54-59, Oostende, Bélgica. Publicado em CD-ROM.
- Silva, T.S.; Rosa, M.L.; Farina, F. (2012) - GIS applied to integrated coastal zone and ocean management: mapping, change detection and spatial modeling for coastal management in southern Brazil. In: Alam, B.M. (Ed.), *Application of Geographic Information Systems*, pp.219-240, InTech, Rijeka, Croatia. DOI: 10.5772/47840. Available at: <http://www.intechopen.com/books/application-of-geographic-information-systems/gis-applied-to-integrated-coastal-zone-and-ocean-management-mapping-change-detection-and-spatial-mod>.
- Silva, T.S.; Tagliani, P.R.T. (2012) - Environmental planning in the medium littoral of the Rio Grande do Sul coastal plain - Southern Brazil: elements for coastal management. *Ocean & Coastal Management*, 59: 20-30. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2011.12.014.
- Soil Conservation Service (1986) - *Beach Dunes - their use and management*. 32p., Soil Conservation Service of NSW, Sidney, Australia.
- Souza, C.R. de G. (2003) - Um Sistema de Informações Geoambientais para o litoral de São Paulo. *Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário*, Recife, PE, Brasil. Publicado em CD-ROM.
- Tabajara, L.L.; Gruber, N.S.; Portz, L. (2012) - Dunas frontais de Xangri-Lá, litoral Norte do RS: inventário, classificação e escolha de áreas prioritárias ao manejo. *Pesquisas em Geociências* (ISSN 1518-2398), 39(1):35-52, Porto Alegre, RS, Brasil. Available at <http://www.ufrgs.br/igeo/pesquisas/3901/3-3901.pdf>
- Toldo Jr., E.E.; Dillenburg, S.R.; Almeida, L.E.S.B.; Tabajara, L.L.; Martins, R.R.; Cunha, O.B.P. (1993) - Parâmetros morfodinâmicos da praia de Imbé-RS. *Pesquisas em Geociências* (ISSN 1518-2398), 20(1):27-32, Porto Alegre, RS, Brasil.
- Tolvanen, H.; Kalliola, R. (2008) - A structured approach to geographical information in coastal research and management. *Ocean & Coastal Management*, 51(6):485-494. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2008.04.001.
- Tomazelli, L.J.; Villwock, J. A. (1992) - Considerações sobre o ambiente praial e a deriva litorânea ao longo do litoral norte do Rio Grande do Sul. *Pesquisas em Geociências* (ISSN 1518-2398), 19(1):3-12, Porto Alegre, RS, Brasil.
- Vafai, F.; Hadipour, V.; Hadipour, A. (2013) - Determination of shoreline sensitivity to oil spills by use of GIS and fuzzy model. Case study – The coastal areas of Caspian Sea in north of Iran. *Ocean & Coastal Management*, 71:123-130. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2012.05.033
- Villwock, J.A. (1984) - Geology of the coastal province of Rio Grande do Sul. *Pesquisas em Geociências* (ISSN 1518-2398), 16: 5-49, Porto Alegre, RS, Brasil.
- Villwock, J.A. (1994) - A costa brasileira: geologia e evolução. *Notas Técnicas* (ISSN 0104-4303), 7:38-49, CECO/IG/UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil.
- Weschenfelder, J.; Zouain, R.N.A. (2002) - Variabilidade Morfodinâmica das Praias Oceânicas entre Imbé e Arroio do Sal, RS, Brasil. *Pesquisas em Geociências* (ISSN 1518-2398), 29(1): 3-13, Porto Alegre, RS, Brasil.
- Wright, L.D.; Short, A.D. (1984) - Morphodynamic variability of beaches and surfzones: A synthesis. *Marine Geology*, 56(1-4):93-118. DOI: 10.1016/0025-3227(84)90008-2.