



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE
FURG**



**INSTITUTO DE OCEANOGRAFIA
PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA
FÍSICA, QUÍMICA E GEOLÓGICA**



**GEODIVERSIDADE E UNIDADES DE PAISAGEM MARINHA COMO
SUBSÍDIOS À UTILIZAÇÃO DOS ESPAÇOS E RECURSOS MARINHOS E
COSTEIROS DA PLATAFORMA CONTINENTAL DO RIO GRANDE DO SUL**

Paulo Henrique Mattos

**Tese apresentada como requisito
parcial para obtenção do título de
Doutor em Oceanografia Física,
Química e Geológica.**

Orientador: Prof. Dr. Lauro Júlio Calliari

Co-orientador: Prof. Dr. João Luiz Nicolodi

Rio Grande, Junho de 2018

À Dona Dayse, mãe querida, exemplo de pessoa e de vida. Serei eternamente grato por todo amor, carinho e dedicação. Se cheguei até aqui foi graças à você!

*“A lei da mente é implacável.
O que você pensa, você cria;
O que você sente, você atrai;
O que você acredita
Torna-se realidade”*
Budha

AGRADECIMENTOS

Aos meus orientadores, Lauro Calliari e João Nicolodi, pelas inúmeras conversas e discussões ao longo do período da tese, sempre contribuindo para o aprimoramento do trabalho e principalmente por terem aceito o desafio e aberto as portas da Geologia Marinha para um Biólogo.

À equipe de pesquisadores do Ceco/Ufrgs que me receberam de braços abertos no início do trabalho e gentilmente cederam boa parte dos dados brutos de sedimentologia utilizados nessa tese, em especial aos Professores Iran Corrêa, Nelson Gruber e Elírio Toldo Jr.

Aos Laboratórios de Hidroacústica Aplicada e Ecologia de Invertebrados Bentônicos da Furg, por terem gentilmente cedido os dados de batimetria e fauna bentônica, respectivamente, em especial ao Prof. Lauro Madureira, Dr. Marcelo Pinho e Dr. Raphael Pinotti.

Aos Professores Gilberto Griep e Maria Isabel Machado, responsáveis pelo Programa de Recursos Humanos (PRH-27), que financiou parte desse trabalho.

Aos Professores e colegas do Laboratório de Gerenciamento Costeiro - LabGerco, pelas inúmeras contribuições dadas ao longo do desenvolvimento da tese e por cederem seu espaço para que o trabalho pudesse ser finalizado.

Ao Prof. Carlos Tagliani por ter me introduzido no universo do Geoprocessamento, ter me passado boa parte do conhecimento que disponho sobre essa ferramenta de análise e pela parceria produtiva no primeiro artigo dessa tese.

Aos amigos Kahuam Gianuca, Tiago Gandra, Valério Machado (Lelo) e Jean Espinoza por todo o apoio técnico necessário na realização das análises e produção dos mapas.

Aos amigos e companheiros de trabalho da Coordenação de Gestão Ambiental – CGA e Pró Reitoria de Infraestrutura, Cátia, Daniel, Angélica, Filipe, Carol, Júnior, Luciana, Carine e Thayse, por todo apoio e incentivo ao longo dos últimos anos, além de um agradecimento especial ao Pró Reitor Marcos Amarante por ter me proporcionado todas as condições necessárias para que eu concluísse mais uma etapa importante na minha vida acadêmica, sem esse apoio dificilmente esse trabalho seria finalizado dentro do prazo.

À Profa e amiga Lúcia Anello, por todo conhecimento repassado ao longo dos anos, sendo minha principal referência acadêmica e profissional, além de todas as críticas e sugestões, sempre muito construtivas.

Aos Profs. Paulo Tagliani e Miltom Asmus por terem aberto as portas do LabGerco possibilitando, dessa forma, que eu desse meus primeiros passos na área da Gestão Costeira Integrada, sempre interessados em contribuir de alguma forma para o desenvolvimento desse trabalho.

Ao Programa de Pós Graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica por todo o aprendizado e respaldo do projeto de pesquisa que originou essa tese.

Aos Professores Dr. Nelson S. Gruber, Dra. Paula Dias e Dr. Jorge Arigony que se disponibilizaram à participar da banca de avaliação deste trabalho.

À todos que, direta ou indiretamente, colaboraram com o desenvolvimento deste trabalho.

À minha família, por todo o apoio incondicional que têm me dado desde que decidi partir de SP em busca de um sonho e de novos desafios, em especial meus irmãos Júnior e Antônio Carlos e ao meu pai Sidney e minha irmã Maria do Carmo (*in memorian*), que sempre torceram e acreditaram que eu alcançaria meus objetivos, esse trabalho é por vocês.

À minha mãe Maria Dayse, grande responsável por ter me tornado a pessoa que sou, sem teus esforços, carinho e amor eu nunca teria chegado até aqui, por isso dedico todo esse trabalho à você.

E por fim, mas obviamente não menos importante, à Vanessa Calvo, minha namorada, amiga, companheira, parceira que sempre esteve ao meu lado, principalmente nos momentos mais tensos de final de tese, me dando toda a tranquilidade e amor necessários para que eu superasse esses momentos difíceis.

Índice

Resumo	13
Abstract	14
1. Introdução Geral	15
1.1 Geodiversidade	19
1.2 Unidades de Paisagem Marinha	22
1.3 Planejamento Espacial Marinho	26
2. Hipótese	31
3. Objetivo Geral	31
3.1 Objetivos específicos	31
4. Área de Estudo	32
4.1 Plataforma Continental Brasileira	32
4.2 Plataforma Continental do Rio Grande do Sul	33
4.3 Hidrografia	34
4.4 Sedimentologia	35
4.5 Recursos Minerais	40
5. Material e Métodos	43
5.1 Coleta dos dados	43
5.2 Análise dos dados	46
5.2.1 Padronização	46
5.2.2 Rasterização	47
5.2.3 Análise Multicritério	48
Capítulo 1	52
Geodiversity and biodiversity: an integrated analysis as a basis for the sustainable exploitation of the mineral resources of the Albardão Continental Shelf, Pelotas Sedimentary Basin, RS, Brazil.	52
Abstract	53
Introduction	54
Study area	57
Methodology	59
Results and Discussion	61
Conclusion	69
References	71

Capítulo 2	81
Ecosystem-based marine spatial planning: an approach to marine and coastal areas of southernmost Brazil.	82
Abstract	82
Introduction.....	83
Study Area	85
Methodology	88
Results and Discussion	90
Conclusion	96
References	98
Considerações Finais	107
Referências Bibliográficas.....	109

Lista de Figuras

Figura 1. Principais aplicações da Geodiversidade, em destaque as do presente trabalho. Adaptado de Silva <i>et al</i> (2008).	20
Figura 2. Geodiversidade do leito marinho no Reino Unido elaborado por Connor <i>et al</i> (2006).	21
Figura 3. Geodiversidade do leito marinho escocês analisada por Brooks <i>et al</i> (2011), através da combinação de dados batimétricos e amostras sedimentológicas.....	22
Figura 4. Unidades de paisagem marinha elaboradas por Connor <i>et al</i> (2006) para o mar do Reino Unido.	24
Figura 5. Unidades de paisagem marinha elaboradas por Henriquez <i>et al</i> (2015) através da chave de classificação do EUNIS.....	25
Figura 6. Implementação da Área Marinha Protegida da Grande Barreira de Corais na Austrália. Fonte: GBRMPA (2003).	28
Figura 7. Planejamento Espacial Marinho realizado no mar territorial da Bélgica através da incorporação de múltiplas atividades. Fonte: Dove <i>et al</i> (2007). .	29
Figura 8. Exemplo de aplicação do PEM em Massachussets (EUA) com a finalidade de reduzir as colisões entre embarcações e baleias. Fonte: Hatch <i>et al</i> (2008).	30
Figura 9. Localização das áreas de estudos, onde: A – Região do Albardão analisada no capítulo 1 e B – Região adjacente à desembocadura da Lagoa dos Patos analisada no capítulo 2. Fonte: do autor.	34
Figura 10. Mapa faciológico da porção sul da BSMP proposto por Martins <i>et al</i> (1972).....	36
Figura 11. Mapa faciológico para a Plataforma Continental e Talude Superior do Rio Grande do Sul produzido por Corrêa <i>et al</i> (1987).....	37
Figura 12. Sedimentos relíquias da plataforma continental e talude do Rio Grande do Sul. Fonte: Corrêa (1996).....	38
Figura 13. Mapa sedimentológico produzido por Figueiredo & Tessler (2004) a partir do tamanho médio do grão.	39
Figura 14. Mapa faciológico produzido por Paixão (2012) para a plataforma continental e talude da BSMP.	40

Figura 15. Mapa de localização dos dados sedimentológicos utilizados neste trabalho.	44
Figura 16. Mapa de recursos minerais da Bacia Sedimentar Marítima de Pelotas, utilizados neste trabalho. Fonte: CPRM.	45
Figura 17. Mapa de localização dos pontos amostrais da fauna bentônica utilizados neste trabalho. Fonte: Capítoli (2002).	45
Figura 18. Mapa faciológico elaborado no presente trabalho a partir dos dados do tamanho médio do grão (<i>Phi</i>). Cascalho, AMG (Areia muito grossa), AG (Areia Grossa), AM (Areia média), AF (Areia fina), AMF (Areia muito fina), SG (Silte grosso), SM (Silte médio), SF (Silte fino), Argila.	48
Figura 19. Fluxograma indicando o passo-a-passo metodológico, desde a obtenção dos dados até a produção dos mapas finais	50

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS

%	Porcentagem
°C	Graus Celsius
3D	Tridimensional
Ø	Phi

A

AC	Água Costeira
ACAS	Água Central do Atlântico Sul
AHP	Analytic Hierarchy Process
AIA	Água Intermediária Antártica
ASA	Água Sub-Antártica
ASAP	Água Sub-Antártica de Plataforma
ASTP	Água Sub-Tropical de Plataforma
AT	Água Tropical

B

BA	Bahia
BSMP	Bacia Sedimentar Marítima de Pelotas

C

CECO	Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica
CERC	Coastal Engineering Research Center
CIRM	Comissão Interministerial para os Recursos do Mar
CNUDM	Convenção das Nações Unidas para o Direito do Mar
COI	Comissão Oceanográfica International
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

CROSSTAB Cross Tabulation

CSAA Continental Shelf Adjacent to the Albardão Lighthouse

D

DNPM Departamento Nacional de Pesquisas Minerais

E

EUNIS European Nature Information System

F

FURG Universidade Federal do Rio Grande

G

GBRMPA Great Barrier Marine Park Autorith

GIS Geographic Information System

I

IOPTF Interagency Ocean Policy Task Force

K

km² Quilômetros quadrados

L

LEPLAC Levantamento da Plataforma Continental

LOG Laboratório de Oceanografia Geológica

M

mm Milímetros

MPAs	Marine Protect Areas
MSP	Marine Spatial Planning

N

NE	Nordeste
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration

P

PCB	Plataforma Continental Brasileira
PCI	Plataforma Continental Interna
PCRS	Planície Costeira do Rio Grande do Sul
PCSB	Plataforma Continental Sul-Brasileira
PEM	Planejamento Espacial Marinho
PGGM	Programa de Geologia e Geofísica Marinha
PNCMar	Política Nacional para a Conservação e o Uso Sustentável do Bioma Marinho Brasileiro
PR	Paraná

R

REMAC	Reconhecimento Global da Margem Continental Brasileira
REMLAC	Programa de Avaliação da Potencialidade Mineral da. Plataforma Continental Jurídica Brasileira
REVIZEE	Programa de Avaliação do Potencial Sustentável de Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva
RJ	Rio de Janeiro
RS	Rio Grande do Sul

S

SC	Santa Catarina
----	----------------

SECIRM	Secretaria da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
SW	Sudoeste

U

UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
USGS	United States Geological Survey

W

WebSig	Sistema de Informação Geográfica Disponibilizado na Internet
WLC	Weighted Linear Combination
WSSD	World Summit on Sustainable Development

Z

ZEE	Zona Econômica Exclusiva
-----	--------------------------

Resumo

A compartimentação do leito marinho para fins de classificação pode ser feita de diferentes maneiras e em escalas variadas, dependendo do objetivo, métodos empregados e disponibilidade de dados. O objetivo deste trabalho foi delinear as Unidades de Paisagem Marinha para a Plataforma Continental do Rio Grande do Sul, nas regiões do Albardão e adjacências da Desembocadura da Lagoa dos Patos, a partir do estudo da geodiversidade e da análise integrada dos demais componentes ambientais e socioeconômicos, visando a geração de subsídios à definição de áreas de usos e conservação. Apesar do alto potencial de exploração mineral, a região do Albardão apresenta certa fragilidade ambiental, devido à presença de fauna bentônica endêmica e ameaçada de extinção, bem como à presença de feições submersas, como parcéis e bancos arenosos lineares, com alto potencial ecossistêmico, os quais fornecem abrigo, alimento e favorecem as agregações reprodutivas para peixes ósseos e elasmobrânquios. Os mapas de conflito produzidos no presente trabalho são uma boa referência para dar o apoio inicial necessário aos tomadores de decisão. Já em relação à região da Desembocadura da Lagoa dos Patos, além das características ambientais similares ao Albardão, destacam-se as diferentes atividades econômicas existentes na área, como o alto tráfego de embarcações que chegam ao Porto do Rio Grande, os locais de ancoragem, uma área para descarte de material dragado, além da existência de uma área de proteção para os botos e um refúgio da vida silvestre. Com base nessas análises foi gerada a primeira proposta de planejamento espacial marinho, com a identificação das principais atividades socioeconômicas nessa região bem como as áreas com potencial para conservação e mineração marinha. O resultado deste trabalho é um avanço no início de um processo de gestão marinha, que deve ser continuamente atualizado, revisado e melhorado.

Palavras-chave: Gestão com base ecossistêmica; Planejamento Espacial Marinho; Sistemas de Informação Geográfica; Plataforma Continental.

Abstract

Seabed compartmentalization for classification purposes can be done in different ways and at varied scales, depending on the purpose, methods employed and data availability. The aim of this work was to delineate Seascape Units for the Continental Shelf of the Rio Grande do Sul state, in the adjacent areas of Albardão and Lagoa dos Patos estuary, from the geodiversity and the integrated analysis of environmental and socioeconomic components, subsidizing the definition of use and conservation areas. Despite the high potential for mineral exploration, the Albardão region presents a certain environmental fragility, due to the presence of endemic and endangered benthic fauna, as well as to the presence of submerged features, such as beach rock outcrops and linear sandy ridges, with high ecosystem potential, providing shelter and food and favor reproductive aggregations of osteolytic and elasmobranch fish. The conflict maps produced in the present work are a good reference to give the initial support necessary to decision makers. Regarding to marine adjacent area of the Lagoa dos Patos, besides the similar environmental characteristics found at Albardão Region, the different economic activities in the area stand out, such as high traffic of merchant ships, the anchorage sites, a dredging disposal area and two protected areas both to dolphins and seals. The coexistence of different activities requires an efficient management, mainly to maintenance of the main ecosystem services. Based on these analyzes the first proposal of marine spatial planning was generated, with the identification of the main socioeconomic activities in this region as well as the areas with potential for conservation and marine mining. In this sense, the result of this work is already an advance to start a Marine Spatial Planning that must be continually updated, revised and improved.

Keywords: Ecosystem-based management; Marine Spatial Planning; Geographic Information System; Continental Shelf.

1. Introdução Geral

O crescente interesse dos países no ambiente oceânico e na zona costeira têm gerado um aumento expressivo dos usos, muitos deles concorrentes, tais como atividades comerciais, recreativas, geração de energia, conservacionistas e de segurança nacional. Essas atividades beneficiam a economia dessas regiões, porém certos usos se expandem em um ritmo preocupante, os quais demandam um rápido planejamento através de uma abordagem mais integrada (IOPTF, 2009).

A necessidade de explorar o leito marinho em busca dos recursos marinhos tem impulsionado o avanço da pesquisa e o incremento das tecnologias existentes, proporcionando uma visão cada vez mais abrangente das aplicações dos recursos costeiros e marinhos (Casimiro, 2015).

As primeiras iniciativas na proteção dos espaços naturais ocorreram há mais de um século e tinham como objetivo a necessidade de se conservar espaços notáveis e preservá-los das ações humanas. Embora ao longo do tempo elas tenham variado em suas concepções e abordagens, a gestão dos espaços naturais continua sendo uma atividade para fins de conservação das paisagens, habitats e recursos naturais.

A falta de uma regulação aplicável aos fundos marinhos provocou diversas discussões nos foros internacionais. O principal arcabouço político e jurídico para regulamentar o uso desses espaços surgiu na Convenção das Nações Unidas para o Direito do Mar (CNUDM), ocorrida na Jamaica em 1982, a partir da necessidade de uma regulamentação que contemplasse o uso dos oceanos.

Dentre os principais pontos desta convenção destaca-se um quadro detalhado da regulamentação dos espaços oceânicos, dos limites da jurisdição nacional, da proteção e preservação do ambiente marinho, da exploração dos recursos vivos e não vivos, bem como os direitos e deveres, além de promover o estabelecimento do conceito de linhas de base, de onde passam a ser contados: o Mar Territorial (até 12 milhas), Zona Contígua (até 24 milhas) e Zona Econômica Exclusiva - ZEE (até 200 milhas). Através desta ZEE asseguram-se direitos soberanos aos países costeiros, com o propósito de exploração, conservação e gestão dos recursos marinhos. Além disso a

referida convenção contemplo o uso do fundo marinho, estabelecendo as bases legais para exploração dos recursos minerais presentes neste ambiente (CNUDM, 1982).

Cabe destacar os esforços do governo brasileiro na requisição de novas áreas para mineração oceânica situadas além do limite exterior da plataforma continental brasileira, dando prioridade às áreas adjacentes ao Arquipélago de São Pedro e São Paulo e à Ilha da Trindade, para pesquisa de sulfetos e nódulos polimetálicos, respectivamente, além da Elevação do Rio Grande, para pesquisa de crostas cobaltíferas (Souza, 2000).

Na década seguinte foi realizada a Convenção das Nações Unidas sobre Ambiente e Desenvolvimento (Rio-92) cujo principal documento, denominado de Agenda 21, apresenta em seu capítulo 17 uma parte exclusivamente dedicada à proteção dos oceanos e zonas costeiras, bem como o uso racional dos recursos marinhos, apontando um programa de ação para alcançar a proteção e o desenvolvimento sustentável (Douvere & Ehler, 2009). As áreas desse programa incluem:

- A Gestão integrada e o desenvolvimento sustentável das zonas costeiras, incluindo zonas econômicas exclusivas;
- Proteção ambiental das áreas marinhas;
- Uso sustentável e conservação de recursos vivos marinhos de alto mar;
- Uso sustentável e conservação de recursos vivos marinhos sob jurisdição nacional;
- Redução das incertezas para o gerenciamento do ambiente marinho e alterações climáticas;
- Reforço da cooperação internacional e regional.

Além disso, a Agenda 21 incentiva a preparação e implementação de políticas e mecanismos de uso da terra e da água que permitam a identificação de áreas críticas, incluindo conflitos entre usos e desenvolvimento de padrões ou estabelecimento de áreas com prioridades de manejo específicas (Agenda 21, 1992).

Mais recentemente os compromissos assumidos em 2002 na Conferência Mundial sobre o Desenvolvimento Sustentável (WSSD), ocorrida em Joanesburgo, com o objetivo principal de rever as metas propostas pela

Agenda 21 e direcionar as realizações às áreas que requerem um esforço adicional para sua implementação, assim como refletir sobre outros acordos e tratados da Rio-92, contribuiu para o desenvolvimento do ordenamento do espaço marítimo. Em particular, o Plano de Implementação da WSSD exigiu o desenvolvimento de ferramentas de planejamento do uso da terra para o planejamento costeiro e de bacias hidrográficas como um meio de promover a conservação e o manejo das áreas oceânicas, além de conciliar as necessidades legítimas de desenvolvimento econômico e social da humanidade, com a obrigação de manter o planeta habitável para as gerações futuras, através da preservação ou restauração dos ecossistemas e o estabelecimento de redes de áreas marinhas protegidas até 2012.

A grande maioria dos países têm desenvolvido o zoneamento do espaço marinho para diversas atividades humanas, como a instalação de estruturas para desenvolvimento de energias limpas, o estabelecimento de rotas de navegação, a exploração de óleo e gás, a mineração de areia, cascalho e minerais pesados, entre outras. As primeiras iniciativas de zoneamento do espaço marinho ocorreram na década de 70, com o objetivo de estabelecer as bases para exploração do mar territorial e, principalmente, a criação de Áreas de Proteção Marinha – MPAs (Kelleher & Kenchington, 1992; Klein *et al.*, 2010). No trabalho realizado por Boyes *et al* (2007) os autores propuseram uma abordagem para o zoneamento de usos múltiplos para o mar da Irlanda com base na legislação existente e diferentes níveis de proteção ambiental.

De acordo com Naidoo *et al* (2006) as ações e planos de conservação devem levar em consideração outros tipos de atividades marinhas, a fim de otimizar o tempo e os recursos empregados. A concorrência pelo espaço marinho tem se tornado cada vez mais intensificada à medida que a extração de recursos e o desenvolvimento de outras atividades estão se expandindo em direção à uma futura exploração desse domínio (Norse, 2008).

Atividades offshore como a pesca industrial, aquicultura, mineração de areia, plantas de dessalinização, parques eólicos e usinas de energia proporcionam aos países ganhos econômicos substanciais (Douvere, 2008). Com exceção dos hidrocarbonetos, atualmente o recurso mais importante minerado em mar aberto é composto por agregados (areia e cascalho), principalmente para o uso na indústria da construção civil, bem como na

recuperação de praias erodidas, seguidas pelos prazeres submersos de minerais pesados, pelos carbonatos bioclásticos para uso corretivo do solo e cimento, além das acumulações fosfáticas para uso em fertilizantes (Martins & Souza, 2007). Segundo Polette (1997), existe uma necessidade intrínseca de regulamentar a utilização dos diferentes usos dos recursos marinhos e costeiros, já que as pressões sobre estes setores tendem a aumentar a curto e médio prazo em função do crescimento demográfico mundial.

Apesar do pouco interesse dos países em proteger áreas marinhas consideradas economicamente importantes (Douvere & Ehler, 2009), a exclusão de outras atividades no planejamento das ações de conservação pode significar uma impossibilidade na criação de uma rede de unidades de conservação, que sejam representativas ou economicamente viáveis (Barr & Possingham, 2013).

Outro problema é que a maioria dessas atividades são planejadas de forma isolada e tratadas separadamente, sem que os possíveis efeitos sobre outros usos, bem como os impactos ao ambiente marinho sejam considerados. Além disso, nessas situações de conflitos, os gestores são capazes apenas de proceder de maneira reativa, ao invés de planejar e delinear ações que possam levar a um futuro mais desejável para o meio ambiente (Ehler & Douvere, 2009).

No Brasil, as iniciativas de gestão costeira na porção submersa ainda são escassas, com exceção do Plano Nacional do Gerenciamento Costeiro que tem como objetivo a utilização racional dos recursos naturais da Zona Costeira. Nesse caso é necessária a consideração dos três níveis de governo, além da integração das ações já existentes, com a finalidade de obter um instrumento normativo, que oriente e integre as diversas políticas públicas para proteção, uso e conservação dos oceanos, em sintonia com o desenvolvimento sustentável.

Atualmente o Governo Brasileiro tem demonstrado interesse na expansão do zoneamento territorial existente na região costeira para as áreas marinhas adjacentes, principalmente na porção que compreende a Zona Ecológica Econômica (ZEE), através da proposta de um novo instrumento de política pública, a Lei do Mar. Desse trabalho, resultou o Projeto de Lei nº 6.969,

que institui a Política Nacional para a Conservação e o Uso Sustentável do Bioma Marinho Brasileiro (PNCMar), o qual ainda tramita no congresso.

1.1 Geodiversidade

A fim de propor soluções para os atuais e futuros conflitos e criar estratégias apropriadas de gestão como forma de manutenção das principais funções ecossistêmicas do ambiente marinho e costeiro utilizou-se uma metodologia adotada em diversos países, a geodiversidade.

O conceito de geodiversidade surgiu no final dos anos 90, como instrumento aplicado à gestão de áreas protegidas e como equivalente à biodiversidade, termo este que ganhou destaque através da Rio 92 ao reconhecer que os recursos biológicos do planeta são vitais para o desenvolvimento econômico e social da humanidade. Embora o uso do termo geodiversidade tenha ganhado espaço na literatura, foi apenas na última década que tem se destacado, principalmente em países da Europa (Serrano & Ruiz Flaño, 2007).

O termo geodiversidade possui diversas definições na literatura, porém as mais utilizadas são as de Stanley (2000): "A geodiversidade é a variedade de ambientes geológicos, fenômenos e processos ativos que criam as paisagens, rochas, minerais, fósseis, solos e outros depósitos superficiais, os quais fornecem a estrutura para a vida na Terra" e Gray (2004), o qual apresentou uma definição mais integrada: "a variedade natural das características geológicas (rochas, minerais, fósseis), geomorfológicas (formas de relevo, processos) e dos solos, incluindo suas associações, relações, propriedades, interpretações e sistemas.

A partir do seu surgimento outras definições foram sendo criadas, desde as mais restritivas até as mais integradas (Brilha, 2002; Gray, 2008; Rovere, 2011; Brooks *et al.*, 2011), porém as iniciativas em se desenvolver diferentes procedimentos metodológicos ainda são consideradas escassas, sendo que alguns estudos avaliam os valores científicos ou turísticos da geodiversidade, bem como suas ameaças e possíveis estratégias de conservação (Ruban, 2010).

Com o surgimento desse novo conceito, a área de geociências desenvolveu um novo e eficaz instrumento de análise da paisagem, com a utilização do conhecimento do meio físico a serviço da conservação do meio ambiente, bem como para subsidiar o planejamento territorial através de bases sustentáveis permitindo, dessa forma, a avaliação dos impactos decorrentes da implantação das distintas atividades econômicas sobre o espaço geográfico (Fig.1). Entretanto, cabe destacar que ao se considerar apenas o ambiente marinho, esse conceito ainda é pouco utilizado (Nunes *et al.*, 2007; Brooks *et al.*, 2011; Felton, 2010; Gordon & Barron, 2011; Kaskela *et al.*, 2012; Rovere *et al.*, 2011).

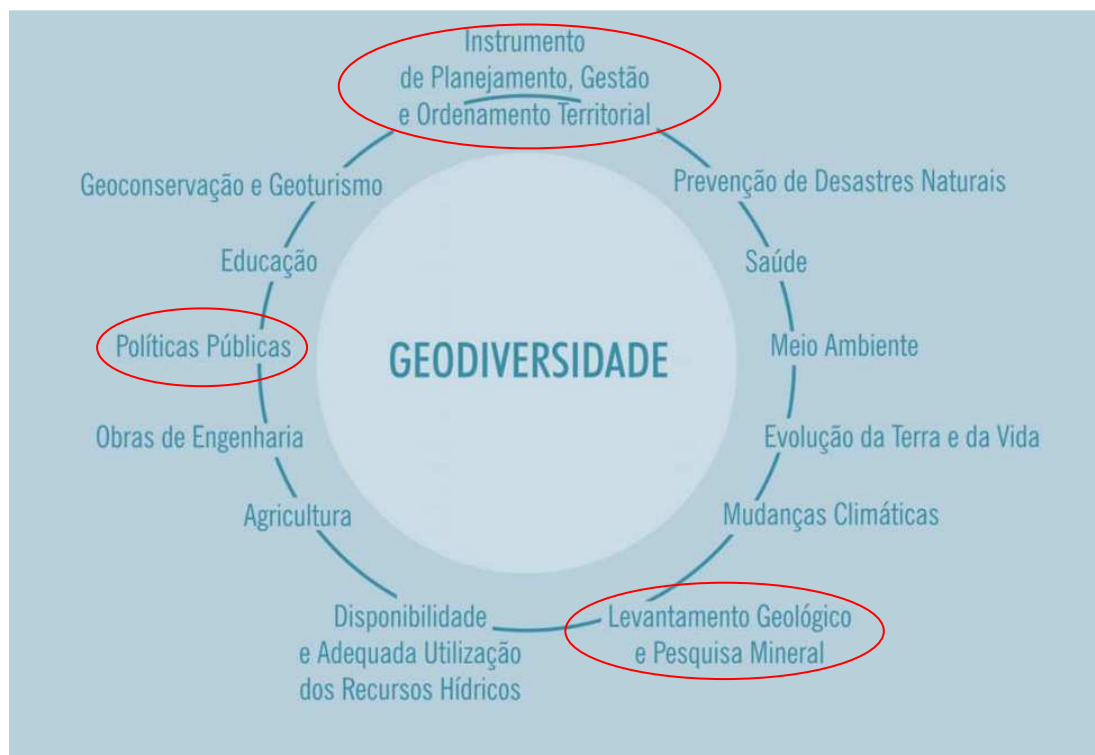


Figura 1. Principais aplicações da Geodiversidade, em destaque as do presente trabalho. Adaptado de Silva *et al* (2008).

Em áreas estritamente marinhas destacam-se os trabalhos de Connor *et al.* (2006) que integraram dados geológicos, físicos e hidrográficos disponíveis, combinados com informações ecológicas, para produzir um mapa das características dominantes da costa e do leito marinho do Reino Unido (Fig. 2); o trabalho de Brooks *et al.* (2011), com o levantamento da geodiversidade marinha escocesa (Fig. 3); o trabalho de Rovere *et al.* (2011) com a elaboração

de métodos e critérios para a avaliação do patrimônio abiótico submarino no Mediterrâneo e por fim o trabalho de Freitas *et al.* (2011), que combinaram dados acústicos, sedimentares e biológicos na identificação de habitats bentônicos na região costeira de Portugal.

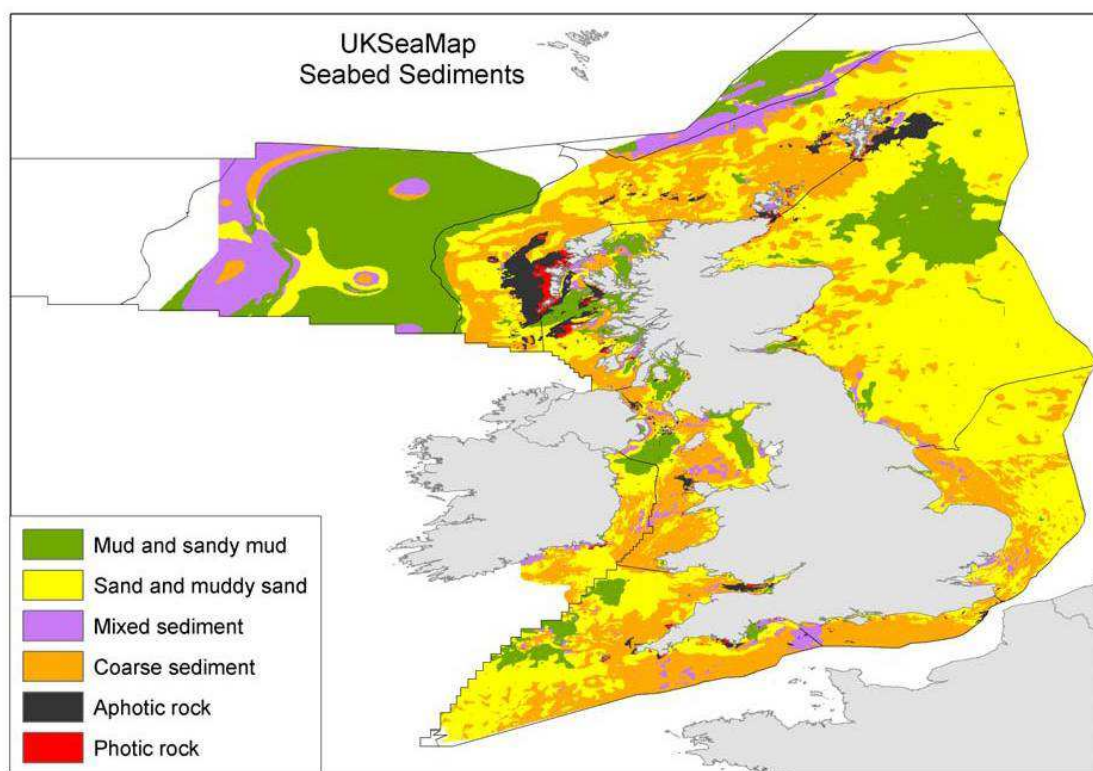


Figura 2. Geodiversidade do leito marinho no Reino Unido elaborado por Connor *et al* (2006).

No Brasil, a maior parte dos trabalhos tem sido executados na porção terrestre, principalmente em programas de levantamento e divulgação do patrimônio geológico. No ambiente marinho destaca-se o trabalho de Maia & Castro (2015), que caracterizaram a geodiversidade marinha da Cadeia Vitória-Trindade e áreas adjacentes a fim de abordar restrições ao uso relacionados ao risco geológico, ações antrópicas, aspectos legais, tecnológicos e financeiros, decorrentes da ocupação desses espaços.

De acordo com Souza *et al.* (2009), a criação de áreas protegidas sem que haja um conhecimento geológico adequado da área submersa pode se tornar um obstáculo ao desenvolvimento sustentável dos recursos marinhos, sejam eles minerais ou energéticos, pois tais recursos podem incentivar o desenvolvimento nas regiões costeiras que até então são desprovidas de

qualquer atividade econômica. Logo, o levantamento do fundo marinho a partir do conceito de geodiversidade, pode evitar possíveis erros no dimensionamento dessas áreas, além de poder subsidiar a criação de áreas de proteção eficazes e, ao mesmo tempo, permitir a exploração sustentável dos recursos marinhos e costeiros.

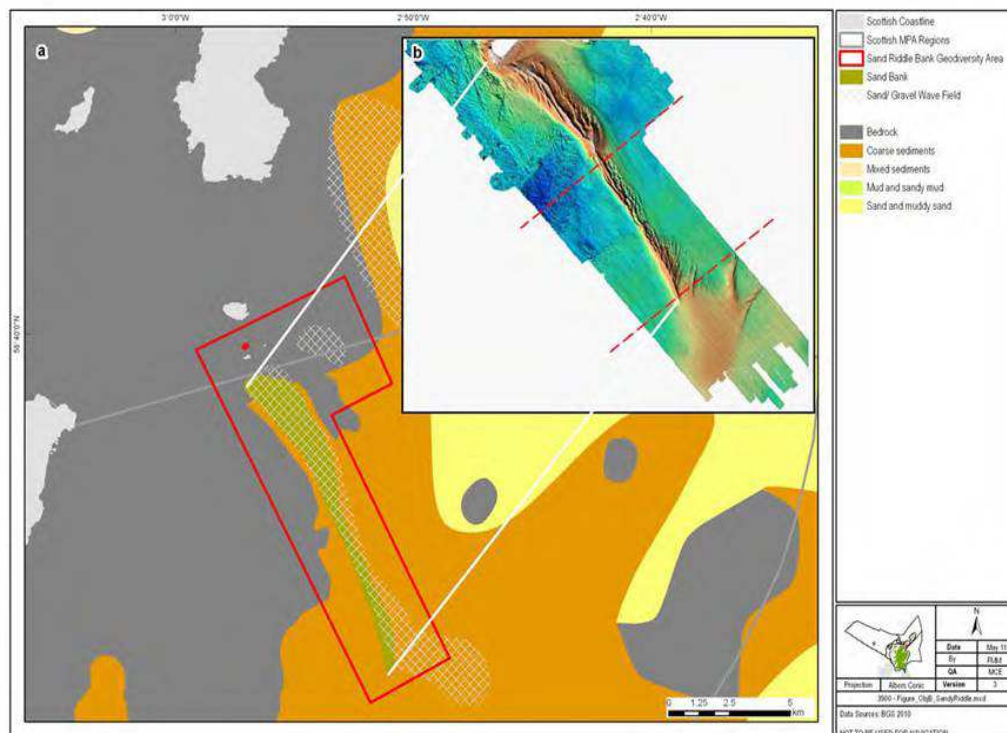


Figura 3. Geodiversidade do leito marinho escocês analisada por Brooks *et al* (2011), através da combinação de dados batimétricos e amostras sedimentológicas.

1.2 Unidades de Paisagem Marinha

Para o uso mais racional dos recursos naturais presentes nas regiões costeiras e marinhas e também para conduzir uma política eficaz de utilização desses recursos, é necessária não apenas a regulamentação mas também a definição da extensão desta para fins de gerenciamento costeiro e marinho integrado, já que as demandas sobre estes setores tendem a aumentar nos próximos anos em consequência do próprio crescimento demográfico mundial (Polette, 1997). Dentro deste contexto, são necessários diferentes tipos de dados como forma de organizar a gestão desses espaços, tais como dados oceanográficos, biogeográficos, biodiversidade e o estabelecimento de

unidades ambientais. A abordagem utilizada em alguns países precursores nesta questão, como Austrália, Canadá e Bélgica é a utilização desses dados para determinação de unidades de paisagem marinha para fins de gestão costeira e entendimento dos sistemas marinhos.

De acordo com Bertrand (1972), a paisagem é o resultado da combinação dinâmica em uma porção do espaço, portanto instável, de elementos físicos, bióticos e socioeconômicos, inter-relacionados dialeticamente entre si, desse modo, fazendo da paisagem um conjunto único e indissociável em perpétua evolução. A compreensão da paisagem implica no conhecimento de alguns fatores, tais como a litologia, o relevo, a hidrografia, a biota, a estrutura ecológica e outras expressões da atividade humana ao longo do tempo, bem como a análise de sua inter-relação (Pinto-Correa *et al.*, 2001).

Os primeiros trabalhos relacionados ao tema tiveram seu início de forma semelhante ao conceito de geodiversidade, ou seja, com aplicações restritas à porção continental (Brady *et al.*, 1979; Farina, 1997; Lausch & Herzog, 2002; Sayer *et al.*, 2013). O conceito de "paisagem marinha" adotado no presente trabalho é semelhante ao de habitat marinho, ou seja, um ambiente particular que pode ser distinguido por suas características abióticas e assembleias biológicas associadas, operando numa escala particular porém espacial e temporalmente dinâmica, em uma área geograficamente reconhecível, já que tanto espécies quanto comunidades são relacionadas com o tipo de substrato, posição topográfica e regime de energia (Kostylev *et al.*, 2001; EUNIS, 2002; Valentine *et al.*, 2005; Van Lancker & Foster-Smith, 2007).

A maioria dos trabalhos com enfoque nas unidades de paisagem marinha têm utilizado a classificação dos habitats bentônicos, como forma de subsidiar políticas marítimas integradas, seja para o ordenamento dos espaços e uso dos recursos naturais, ou para servir como ferramenta de análise para criação de áreas marinhas protegidas (MPAs). Connor *et al.* (2006) utilizaram dados geológicos, físicos, hidrográficos e ecológicos disponíveis para produzir importantes mapas sobre o tipos de paisagem marinha do Reino Unido, incluindo sua distribuição e extensão, como forma de dar suporte ao planejamento e gerenciamento de determinados tipos de usos do espaço e recurso marinho, tais como proteção do ambiente marinho, planejamento

estratégico como apoio à indústria, planejamento espacial marinho e programas de monitoramento ambiental (Fig. 4).

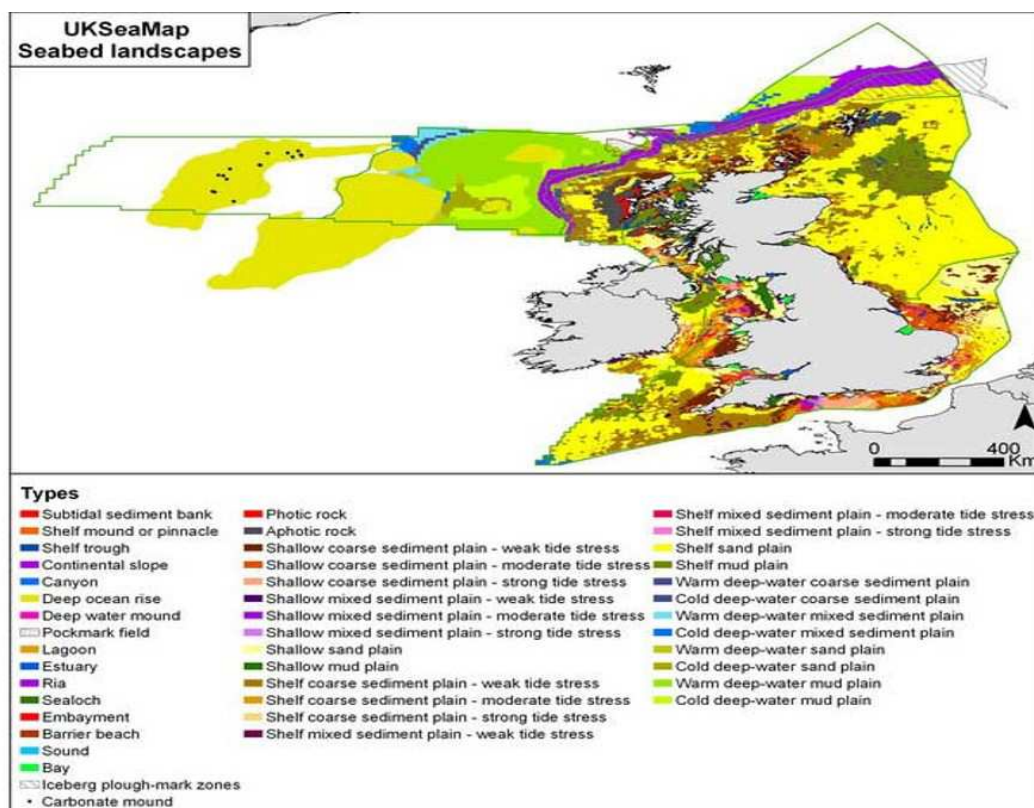


Figura 4. Unidades de paisagem marinha elaboradas por Connor *et al* (2006) para o mar do Reino Unido.

Já Henriques *et al* (2015) apresentaram os resultados da aplicação do Sistema Europeu Hierárquico de Informação da Natureza (EUNIS) na classificação e mapeamento dos habitats bentônicos de uma MPA na Península Ibérica, através da utilização de diferentes tipos de dados (Fig. 5). Conhecer e entender a distribuição espacial dos habitats é fundamental para reduzir as pressões antrópicas sobre o ambiente marinho, dessa forma o seu mapeamento é cada vez mais considerado como um meio eficaz para sintetizar de forma abrangente sua distribuição, seu estado e fornecer informações importantes às aplicações de manejo ambiental (Cogan *et al.*, 2009; Ehler & Douvère, 2009).

No âmbito da proteção marinha e do gerenciamento marinho e costeiro, os dados biológicos disponíveis, no caso do presente trabalho a ausência/presença de organismos bentônicos, são frequentemente irregulares

e de natureza altamente variável, principalmente nas regiões mais profundas, muitas delas desprovidas de amostras. Na busca por solucionar este vazio amostral, o levantamento das unidades de paisagens marinhas foi desenvolvido como ferramenta de validação para as variáveis abióticas classificadas (Roff & Taylor, 2000; Roff *et al.*, 2003).

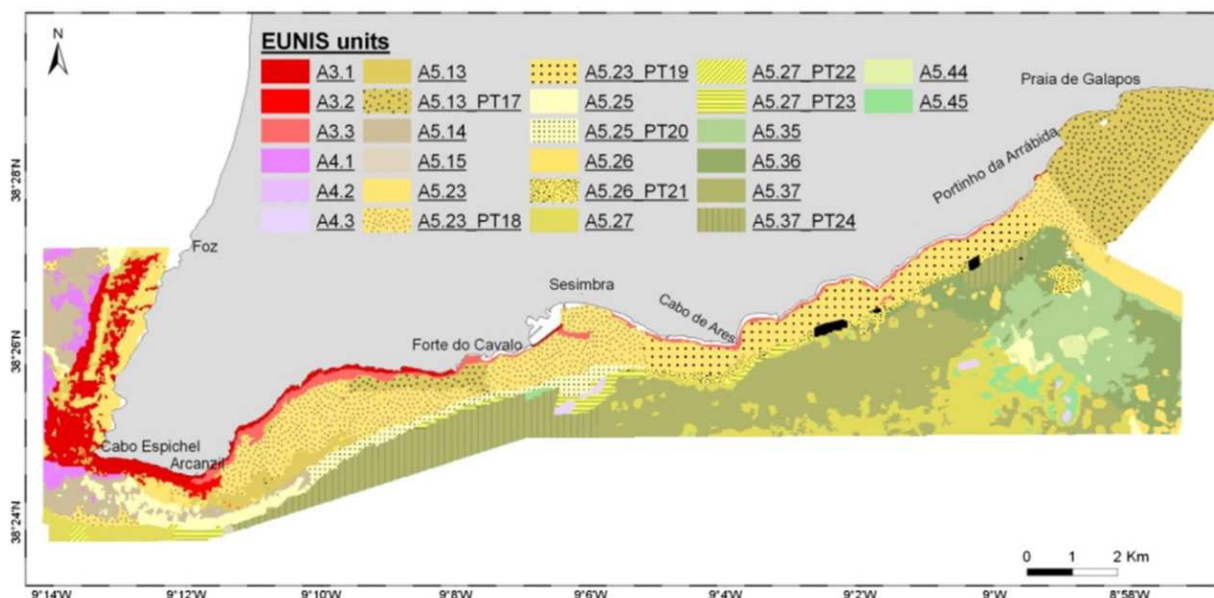


Figura 5. Unidades de paisagem marinha elaboradas por Henriquez *et al* (2015) através da chave de classificação do EUNIS.

Atualmente, o planejamento espacial que será abordado com mais detalhes ao longo deste trabalho, é considerado uma das ferramentas mais úteis para o gerenciamento do uso dos recursos nos ecossistemas marinhos. Essa abordagem integra os diferentes recursos que apresentem uma “propriedade em comum”, com vistas à conservação, pesca, produção de energia e outros usos, como forma de equilibrar as compensações entre os objetivos ecológicos, sociais e econômicos (Crowder *et al.*, 2006; Norse, 2010).

Ao enfatizar a divisão no espaço, o planejamento espacial depende inicialmente da classificação do habitat que divide as paisagens marinhas com base na semelhança entre elas (Manderson, 2016). No caso do presente trabalho a definição de Unidades de Paisagem Marinha utilizada levou em consideração a integração entre variáveis abióticas (tipos de fundo e altos topográficos), bióticas (fauna bentônica) e de uso (mineração, navegação, descarte de material dragado e áreas de proteção).

1.3 Planejamento Espacial Marinho

Os ecossistemas marinhos e costeiros fornecem inúmeros benefícios ecológicos, econômicos, culturais e estéticos, sendo considerados complexos habitats que interagem entre si (Yang, 2008). Apesar disso, o crescente aumento da população nas zonas costeiras, em conjunto com um desenvolvimento sem o menor planejamento, acaba resultando numa ameaça à preservação desses importantes ecossistemas (Gibbs & Cochran 2009). A gravidade desses impactos pode ser vista de várias maneiras, entre elas a perda de habitats, diminuição dos estoques pesqueiros, poluição e erosão costeira.

De forma geral, os ecossistemas são afetados pelas atividades humanas, seja através da demanda pelos recursos naturais da área, seja pelas próprias funções ecológicas como proteção costeira contra tempestades, controles erosivos, regulação climática e atmosférica e ciclagem de nutrientes (Lafolley *et al.*, 2004). Isso ocorre pois determinadas áreas marinhas acabam sendo mais importantes do que outras, uma vez que os recursos estão distribuídos em diferentes lugares e escalas de tempo.

Determinados instrumentos devem ser utilizados nos levantamentos dos bens e serviços produzidos pelos ecossistemas sendo que, dentre estes, está o Planejamento Espacial Marinho (PEM). O PEM é uma forma prática de criar e estabelecer uma organização mais racional da utilização do espaço marinho e das interações entre seus usos, bem como na análise e alocação da distribuição espacial e temporal das atividades humanas, a fim de equilibrar as demandas de desenvolvimento com a necessidade de proteger os ecossistemas marinhos, além de alcançar objetivos ecológicos, sociais e econômicos de forma transparente e planejada, por meio de processo político (Unece, 2008).

O PEM não gera um plano fechado, pois trata-se de um processo contínuo e interativo no qual se aprende e se conduz adaptações ao longo do tempo. O desenvolvimento e a implementação do PEM envolvem os seguintes passos: 1. Identificar os fins e estabelecer as autoridades responsáveis; 2. Obter suporte financeiro; 3. Organizar o processo por meio de pré-planejamento; 4. Proporcionar a participação das partes interessadas; 5. Definir

e analisar as condições existentes; 6. Definir e analisar as condições futuras; 7. Preparar e aprovar o plano de gestão espacial; 8. Implementar e fazer cumprir o plano de gestão espacial; 9. Monitorar e avaliar desempenho e 10. Adaptar o processo de gestão espacial marinha (Ehler & Dove, 2009).

Esses dez passos não são simplesmente um processo linear e sequencial, já que devem surgir elementos que retroalimentem esse processo, como alteração nos objetivos em função da identificação de novos custos e benefícios ou novas informações que devam ser incorporadas ao processo. Além disso, o PEM pode prover informações importantes para a gestão das áreas marinhas, a identificação e a redução de conflitos entre os usos, além da redução ou mitigação dos impactos das atividades humanas sobre os ecossistemas marinhos (Ehler & Dove, *op cit*).

A Austrália foi um dos países precursores na implementação do PEM, através do estabelecimento da área marinha protegida da Grande Barreira de Corais (Fig. 6). Tal área foi criada na década de 70, porém seu zoneamento ocorreu apenas na década de 90 e sua consolidação em 2004, mostrando que o PEM é um processo demorado que requer constantes revisões e a participação de todos os envolvidos.

Atualmente, a implementação de planos de conservação marinha é um grande desafio. Os planos que determinam as áreas prioritárias para a conservação são, muitas vezes, baseados exclusivamente em informações biológicas e ecológicas (Knight & Cowling, 2007). Um dos principais fatores que impedem a aceitação destes planos é a consideração inadequada do contexto social e econômico mais amplo dentro do qual a conservação opera (Knight & Cowling, 2006; Weeks *et al.*, 2010; Biggs *et al.*, 2011).

Outro fator agravante é que a concorrência pelo espaço oceânico está se tornando cada vez mais intensificada à medida que a extração de recursos se expande para o ambiente marinho (Crowder & Norse, 2008), por isso é fundamental que determinadas atividades como, por exemplo, pesca industrial, mineração e produção de energia limpa integrem os planos de conservação a fim de se alcançar objetivos mais realistas e viáveis (Dove, 2008).

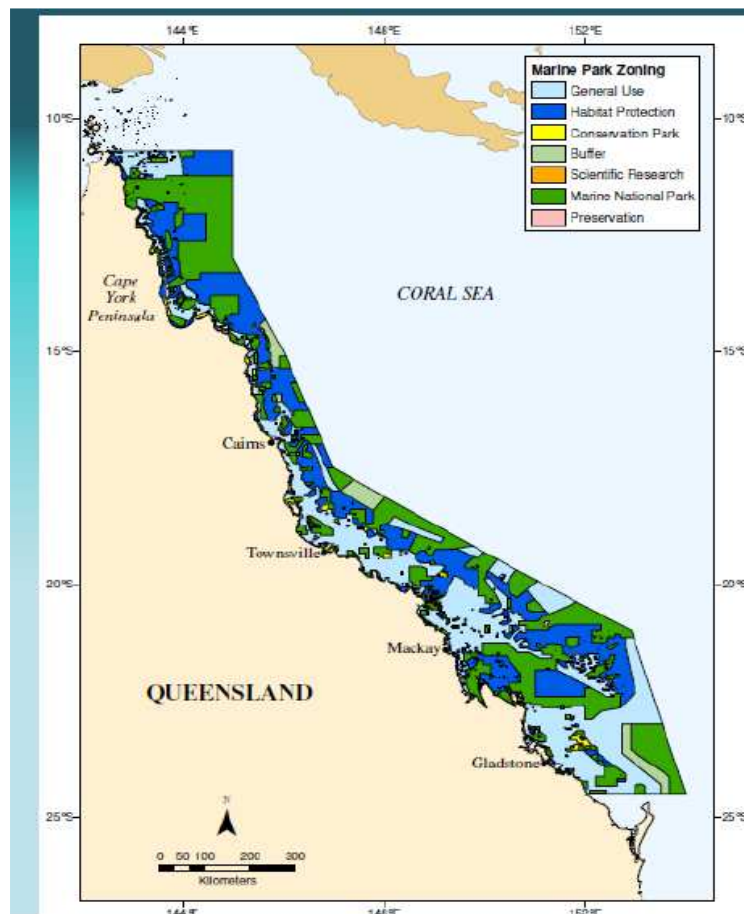


Figura 6. Implementação da Área Marinha Protegida da Grande Barreira de Corais na Austrália. Fonte: GBRMPA (2003).

Neste contexto, destaca-se a iniciativa da Bélgica, um dos primeiros países a integrar diferentes tipos de uso numa mesma região (Fig. 7). Inicialmente, o planejamento espacial foi realizado numa zona de 3600 km² abrangendo o mar territorial e a Zona Econômica Exclusiva através de consultorias *ad hoc*, utilizando-se a Lei do Mar e a própria legislação belga como forçantes legais e as crescentes oportunidades para a exploração dos recursos do ambiente marinho como forçante econômica (Dovere *et al.*, 2007).

Os Estados Unidos também incorporaram o PEM nas ações de zoneamento do espaço marinho. Um dos melhores exemplos foi o aplicado na costa do estado de Massachussets pelo NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*). A partir do estudo realizado por Hatch *et al* (2008) no Santuário Nacional Marinho *Stellwagen*, por onde passa uma importante rota de navegação ao porto de Boston, os autores abordaram os altos índices de colisão entre navios e baleias e propuseram algumas medidas mitigatórias como, por exemplo, um pequeno ajuste na rota de navegação.

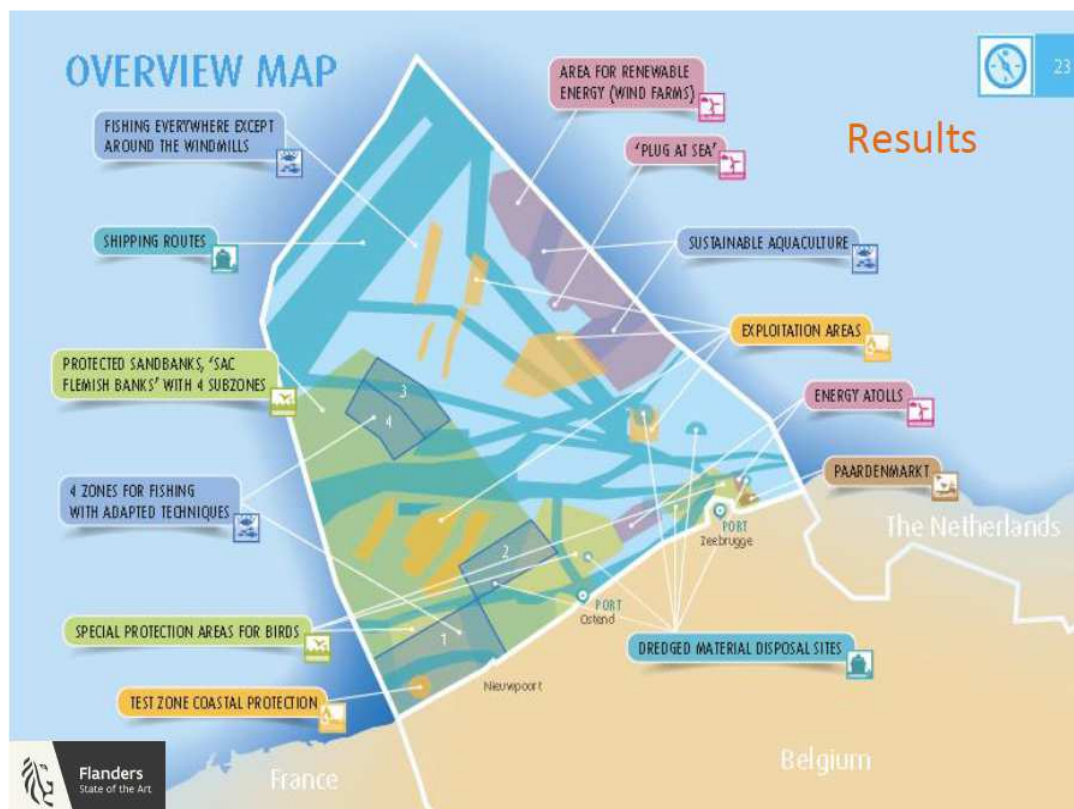


Figura 7. Planejamento Espacial Marinho realizado no mar territorial da Bélgica através da incorporação de múltiplas atividades. Fonte: *Dovere et al (2007)*.

Através deste estudo e de reuniões entre especialistas, órgãos governamentais e indústria da navegação chegou-se a um novo traçado de navegação que, mesmo aumentando o tempo de navegação para os navios, diminuiria significativamente o risco das colisões (Fig. 8).

Já para o Brasil, o uso compartilhado do ambiente marinho de forma planejada e organizada tem sido um desafio, em função das dimensões do território nacional e a necessidade do envolvimento e a participação dos diferentes setores atuantes nas áreas costeiras e marinhas. A discussão sobre este tema tem como marco inicial o Seminário Internacional de Planejamento Integrado do Espaço Marinho, organizado em 2014 pelo Ministério do Meio Ambiente do Brasil com apoio da UNESCO. Atualmente, o processo está em discussão no âmbito da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (CIRM) que, com o apoio de diversas instituições governamentais e da sociedade, está preparando o escopo para o primeiro Planejamento Espacial Marinho (PEM) no país.

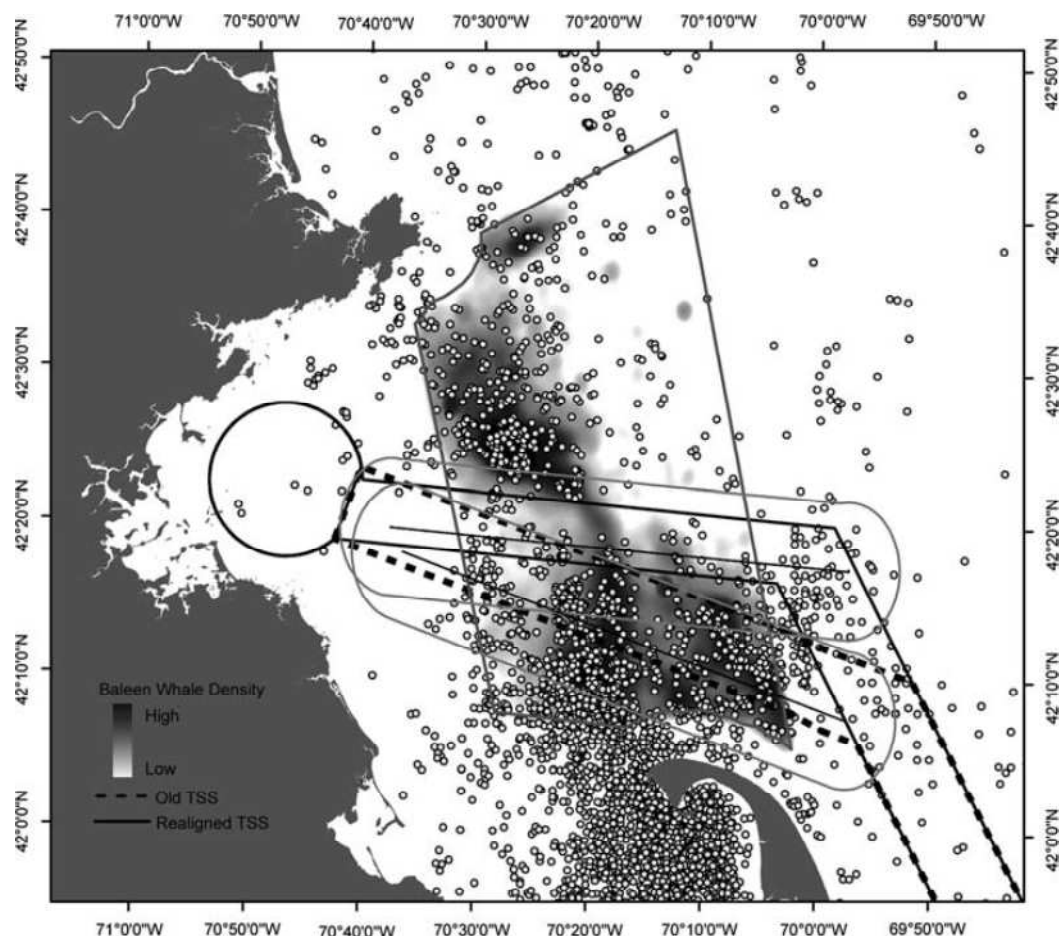


Figura 8. Exemplo de aplicação do PEM em Massachussets (EUA) com a finalidade de reduzir as colisões entre embarcações e baleias. Fonte: Hatch *et al* (2008).

Em nível acadêmico são poucas as iniciativas de pesquisas para definir os elementos necessários para que o PEM alcance seus objetivos. As mesmas são recentes e restritas ao uso e ocupação da zona costeira e ao ordenamento de determinadas atividades, tais como zonas portuárias e estabelecimentos de parques eólicos (Gern, 2017; Weiss *et al.*, 2018). Prestelo & Viana (2016), num estudo realizado na Baía da Guanabara, analisaram as sobreposições entre as áreas atualmente utilizadas para a pesca e as áreas sujeitas a regulamentações que proíbem essa atividade, com o objetivo de identificar outras fontes de conflitos com a pesca, além daquelas decorrentes de restrições ambientais, e também determinar os impactos desses conflitos e sugerir possíveis estratégias para redução dos mesmos.

Com base nas informações supracitadas e na escassez de trabalhos realizados em áreas estritamente marinhas, deseja-se criar uma ferramenta

metodológica que vise prover orientação para os diversos tomadores de decisão envolvidos de forma direta ou indireta com o ambiente marinho, de tal forma que terão os meios necessários para decidir com mais segurança e de forma mais abrangente, integrada e complementar.

2. Hipótese

A compartimentação do leito marinho com base na geodiversidade e sua integração com dados sobre presença de comunidades bentônicas, feições submersas e usos diversos do ambiente marinho (mineração, descarte de material dragado, navegação) poderão estabelecer as Unidades de Paisagem Marinha que irão subsidiar o PEM e contribuir para redução dos conflitos entre os usos na Plataforma Continental do Rio Grande do Sul.

3. Objetivo Geral

Delinear as Unidades de Paisagem Marinha para a Plataforma Continental do Rio Grande do Sul a partir do estudo da geodiversidade e da análise integrada dos demais componentes ambientais e socioeconômicos, visando a geração de subsídios à definição de áreas de usos e conservação.

3.1 *Objetivos específicos*

- Identificar e classificar o fundo marinho da Plataforma Continental do Rio Grande do Sul, com base em dados já existentes, visando o reconhecimento de sua geodiversidade para fins de conservação e exploração;
- Investigar a fragilidade ambiental na região do Albardão através de uma análise integrada entre componentes bióticos e abióticos e projetar possíveis cenários de conflito entre mineração e conservação;
- Implementar a abordagem de manejo com base ecossistêmica para a área marinha adjacente ao Parcel do Carpinteiro, para fins de Planejamento Espacial Marinho;

- Avaliar a importância ecossistêmica das feições submersas presentes na Plataforma Continental do Rio Grande do Sul como áreas de alimentação de vertebrados marinhos, como importantes sítios paleontológicos e identificar potenciais conflitos com as atividades existentes e futuras;
- Propor diretrizes, ferramentas e metodologias de planejamento espacial para o uso compartilhado do ambiente marinho e costeiro.

A estrutura da tese segue a sequência desses objetivos, sendo que o Capítulo 1 aborda a fragilidade ambiental da região do Albardão em função dos diferentes tipos de fundo, a ocorrência de feições submersas importantes para a biota marinha além da presença de espécies bentônicas endêmicas e ameaçadas de extinção, frente aos futuros usos do fundo marinho, enquanto que o Capítulo 2 apresenta uma proposta de aplicação da gestão com base ecossistêmica na região adjacente ao Parcel do Carpinteiro, caracterizando o ambiente biótico, abiótico e socioeconômico e propondo uma metodologia para fins de ordenamento do espaço marinho.

4. Área de Estudo

4.1 Plataforma Continental Brasileira

De acordo com a Comissão Oceanográfica Intergovernamental da Unesco/COI, a Margem Continental estende-se desde os ambientes transicionais como estuários, lagunas, costões e praias arenosas, incluindo a plataforma continental, talude e sopé continental, representando uma complexa porção do meio oceânico, de grande interesse científico e acentuada importância econômica. Os depósitos desta margem são compostos por sedimentos oriundos do continente, os quais se misturam com sedimentos biogênicos formados através de processos nitidamente marinhos (Martins, 2007).

A Plataforma Continental Brasileira (PCB) é do tipo estável, modelada ao longo das flutuações do nível do mar que produziram distintas características topográficas, deposicionais e sedimentares (Corrêa & Villwock, 1996). As

maiores espessuras sedimentares da margem continental são observadas no Cone do Rio Amazonas, no segmento entre as bacias de Espírito Santo a Santos e no Cone do Rio Grande, na Bacia de Pelotas (Mohriak, 2003).

Além disso, em se tratando de sedimentos bioclásticos, a PCB é considerada uma das mais longas e contínuas do mundo, sendo que entre a região nordeste do Brasil e o estado do Espírito Santo, esses sedimentos são constituídos por algas calcárias e de outros fragmentos de organismos e apresentam um alto valor econômico para a indústria (Santana, 1999). Já em relação aos depósitos encontrados em águas rasas da Plataforma Continental do Rio Grande do Sul (PCRS), esse tipo de sedimento tem sua origem a partir da fragmentação de conchas e moluscos litorâneos. Atualmente essa região é considerada como a que apresenta as melhores condições de exploração, devido a localização dos depósitos próximos à costa e pela quantidade de material carbonático existente, tendo como potencial econômico inferido o valor de um bilhão de toneladas numa área de 966 km² (Corrêa, 1983).

Além dos bioclásticos, destacam-se as concentrações de minerais pesados ao longo da costa brasileira, principalmente entre os estados do Pará e Rio Grande do Sul. Amostras coletas pelo Projeto Remac - Reconhecimento global da Margem Continental brasileira - identificaram altas concentrações de desses minérios na Plataforma Continental Interna do RS, principalmente nas proximidades do Farol do Albardão, na forma de Ilmenita e Zircão.

4.2 Plataforma Continental do Rio Grande do Sul

A Plataforma Continental do Rio Grande do Sul está inserida na Bacia Sedimentar Marítima de Pelotas - BSMP (Fig. 9), sendo limitada ao norte com a Bacia de Santos, pelo Alto de Florianópolis (Gamboa & Rabinowitz, 1981) e ao sul com a Bacia de Punta del Este, pelo Alto de Polônio, no Uruguai (Urien & Martins, 1978). Sua origem está relacionada com os movimentos tectônicos que culminaram com a abertura do Oceano Atlântico Sul, possuindo em seu substrato rochas provenientes do Escudo Uruguaio-Sul-Rio-Grandense, do Escudo Catarinense e da Bacia do Paraná (Asmus & Porto, 1972).

A Planície Costeira ao longo da BSMP é descrita por Villwock (1984) como uma feição fisiográfica correspondente à parte emersa da Bacia de Pelotas, sendo representada por cerca de 640 km de costa aberta arenosa, do

tipo barreira-laguna, dominada por ondas, num regime de micro-marés [0,48 cm – (Almeida, 1990)], com sedimentos praias, eólicos e lacustres ocupando a faixa entre Torres e Chuí.

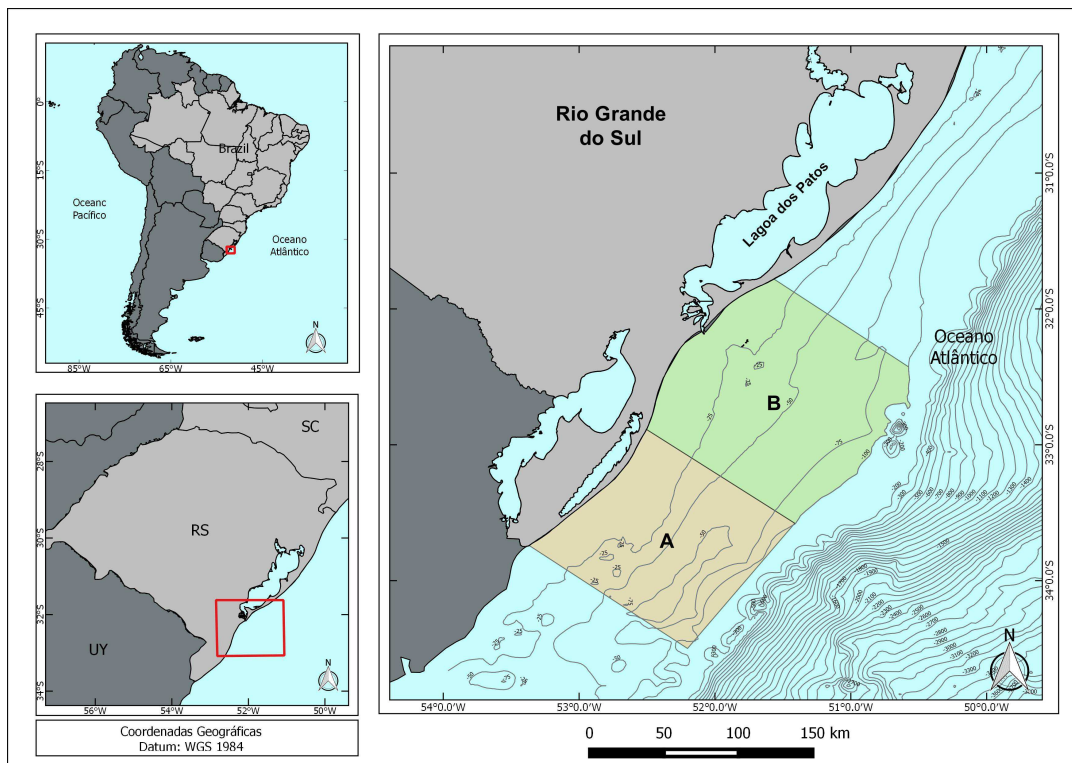


Figura 9. Localização das áreas de estudos, onde: A – Região do Albardão analisada no capítulo 1 e B – Região adjacente à desembocadura da Lagoa dos Patos analisada no capítulo 2. Fonte: do autor.

Esta planície aprisiona um conjunto de lagoas costeiras, definido como Sistema Patos - Mirim, com funções determinantes para todos os aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos nesta região, sendo orientada no sentido NE-SW e caracterizada por depósitos quaternários inconsolidados (Villwock & Tomazelli, 1995).

4.3 Hidrografia

A estrutura das massas d'água no Oceano Atlântico Sul é bastante complexa, principalmente na região onde a Corrente do Brasil encontra a Corrente das Malvinas (Souza & Robinson, 2004). Tal complexidade tem sido demonstrada através de vários estudos desenvolvidos na região, os quais

mostram que nessa área interagem três massas de água características: Água Tropical - AT, Água Subantártica - ASA e Água Central do Atlântico Sul - ACAS (Sverdrup *et al.*, 1942; Emilsson, 1961; Miranda *et al.*, 1973; Castello e Möller Jr., 1977; Cacciari, 1986; Pereira 1989; Castello *et al.*, 1990; Ciotti *et al.*, 1995; Lopes, 2004).

Além dessas, Piola *et al.* (2000) encontraram sobre a Plataforma Continental do Sul do Brasil, a presença de Água Subtropical de Plataforma (ASTP) e Água Subantártica de Plataforma (ASAP) caracterizadas como típicas desta região, além da Água Intermediária Antártica (AIA) e a Água Costeira (AC), as quais também podem ser encontradas em algumas épocas do ano. Alguns autores atribuem este caráter sazonal a mudanças climáticas no regime de vento local e na descarga de água continental, especialmente do Rio do Prata e da Lagoa dos Patos (Castello & Möller Jr., 1978; Garcia, 1997).

Na região de quebra da plataforma e início do talude continental ocorre a presença da Água Central do Atlântico Sul - ACAS (Sverdrup *et al.*, 1942). A presença desse tipo de massa d'água está intimamente ligada ao fenômeno da Convergência Subtropical que pode ocorrer entre as latitudes de 30° e 45° no Atlântico Sudoeste (Godoy, 1982), a qual caracteriza-se pela região de encontro da Água Tropical, (AT), transportada em direção ao sul através da Corrente do Brasil, com a Água Subantártica (ASA) transportada para norte sobre a plataforma continental (Legeckics & Gordon, 1982).

4.4 Sedimentologia

Existe um conhecimento razoável a respeito da distribuição superficial dos sedimentos na plataforma continental do RS. Os primeiros estudos começaram com Zemrusky *et al.* (1967 *apud* Martins *et al.* 1972), onde os autores constataram a presença de uma faciologia predominantemente arenosa até os 60 metros de profundidade e fácies argilo-arenosas e siltico-argilosas até a isóbata de 325 metros. Em seguida, Martins *et al.* (1972), estudando as plataformas sul brasileira e uruguaia, reconheceram seis fácies sedimentares que recobrem a margem continental sul riograndense e as representaram em um dos primeiros mapas faciológicos pra região (Fig. 10).

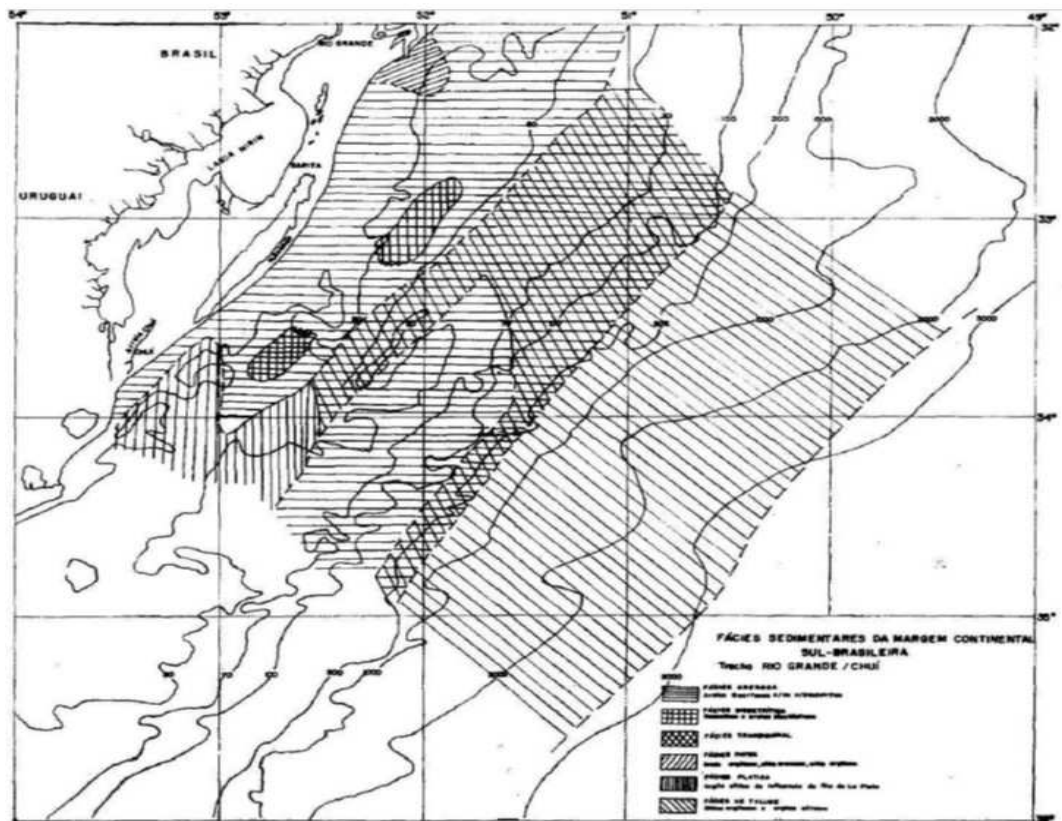


Figura 10. Mapa faciológico da porção sul da BSMP proposto por Martins *et al* (1972).

Mais tarde, num estudo realizado por Corrêa *et al.* (1987) os autores produziram um mapa de distribuição textural a partir de análises granulométricas e considerando a percentagem total de cascalho, areia, silte e argila presentes nas amostras, concluindo que a plataforma continental e talude superior do Rio Grande do Sul encontram-se recobertos por oito zonas texturais distintas (Fig. 11).

A distribuição dos sedimentos na plataforma depende da natureza e da intensidade dos processos físicos ocorrentes nos continentes e dos mecanismos de transporte no ambiente marinho. Tais processos interagem intensamente com o fundo em águas rasas e num menor grau em direção às águas profundas.

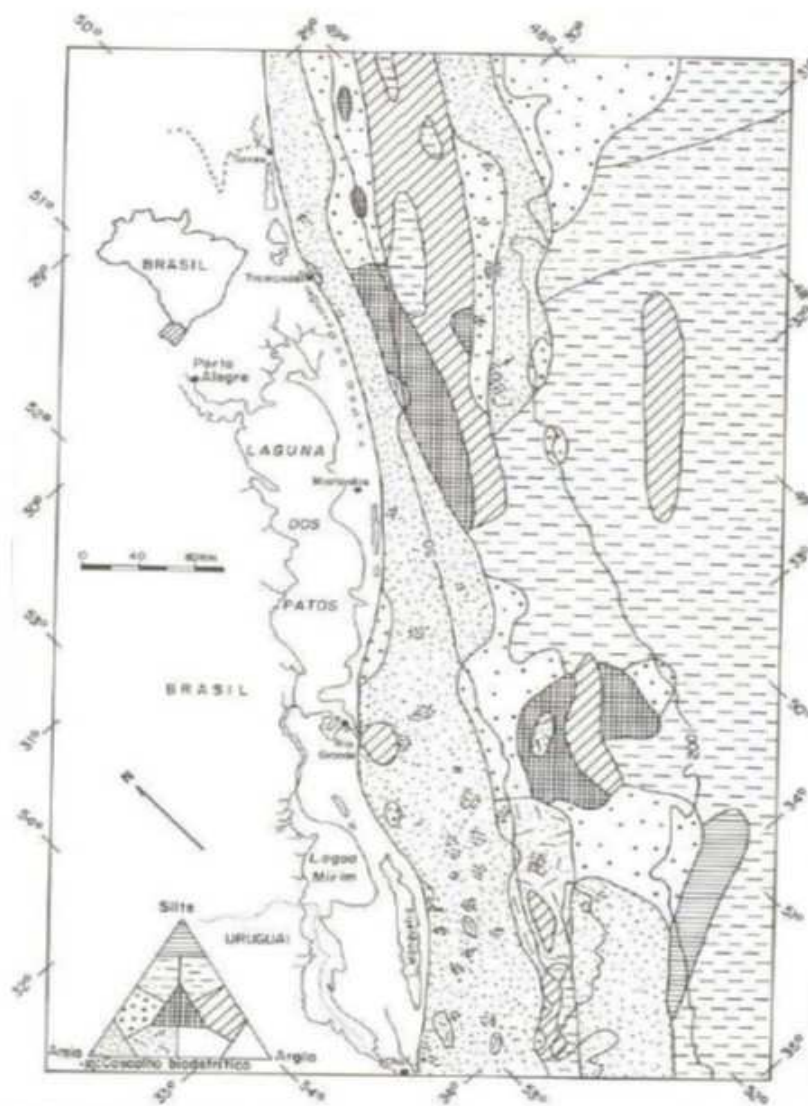


Figura 11. Mapa faciológico para a Plataforma Continental e Talude Superior do Rio Grande do Sul produzido por Corrêa *et al* (1987).

A consequência disso é uma diminuição sistemática na granulometria dos sedimentos, variando de areia grossa a média na praia para areia fina na zona de arrebentação, areia lamosa na antepraia superior e para sedimentos cada vez mais lamosos, formados por lama arenosa e lama na plataforma interna (Calliari, 2015).

Entretanto, as flutuações do nível do mar ao longo do tempo causaram uma descontinuidade nesse processo. A presença de areia média e grossa na porção externa da Plataforma Continental do Rio Grande do Sul pode estar associada a uma rede de drenagem que se desenvolveu durante o último período Glacial, quando o nível do mar se encontrava em águas mais

profundas (Kowsmann *et al.*, 1977; Corrêa, 1994). Esses sedimentos depositados em profundidades elevadas e desvinculados das condições hidrodinâmicas atuais de deposição, receberam a denominação de sedimentos relíquias (Martins *et al.*, 1978).

Além dessas características, cabe destacar também o estudo realizado por Abreu & Calliari (2005) que através de levantamentos acústicos identificaram a presença de paleocanais, os quais se desenvolveram sobre um ambiente de planície costeira, anterior à transgressão ocorrida no final do Pleistoceno e início do Holoceno. Como consequência dessas flutuações do nível do mar, Corrêa (1996) identificou a existência de oito províncias texturais na Plataforma Continental do RS, as quais apresentam diferentes proporções de areia, silte e argila, porém sem uma sequência de gradação bem definida (Fig. 12).

Mais recentemente, o trabalho de Figueiredo & Tessler (2004), os quais descrevem a topografia e a composição do substrato marinho da região Sudeste-Sul do Brasil para efeitos de pesca de fundo, a partir do Programa Revizee Score-Sul.

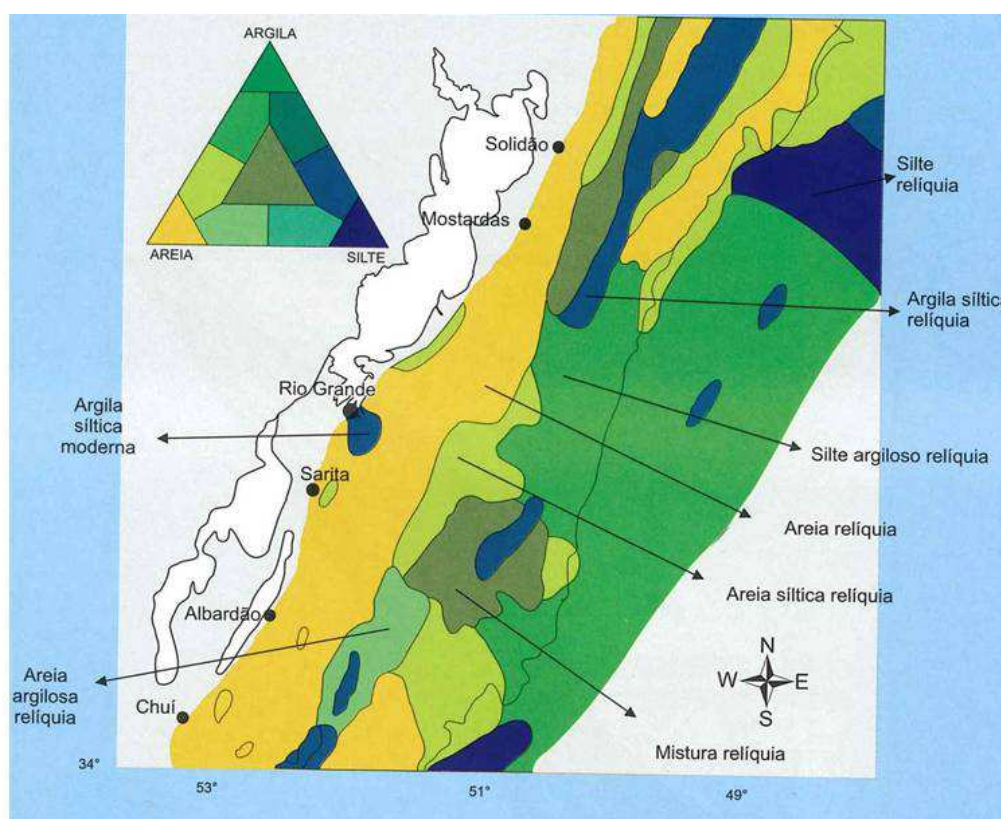


Figura 12. Sedimentos relíquias da plataforma continental e talude do Rio Grande do Sul. Fonte: Corrêa (1996).

De acordo com os autores as lamas predominam na margem sul-brasileira, principalmente a partir dos 100 m de profundidade, com alguns intervalos preenchidos por areia média e grossa, além da predominância de areia muito fina na plataforma média e interna, desde o sul da ilha de Florianópolis até a cidade de Rio Grande (Fig. 13).

Paixão (2012) representou espacialmente as fácies sedimentares superficiais da porção brasileira da Bacia de Pelotas, através de um mapa faciológico nos domínios da plataforma continental, talude e oceano profundo produzido a partir das percentagens totais de areia, cascalho, silte e argila presentes nas amostras de sedimento coletadas entre os anos de 1967 e 2009 (Fig. 14).

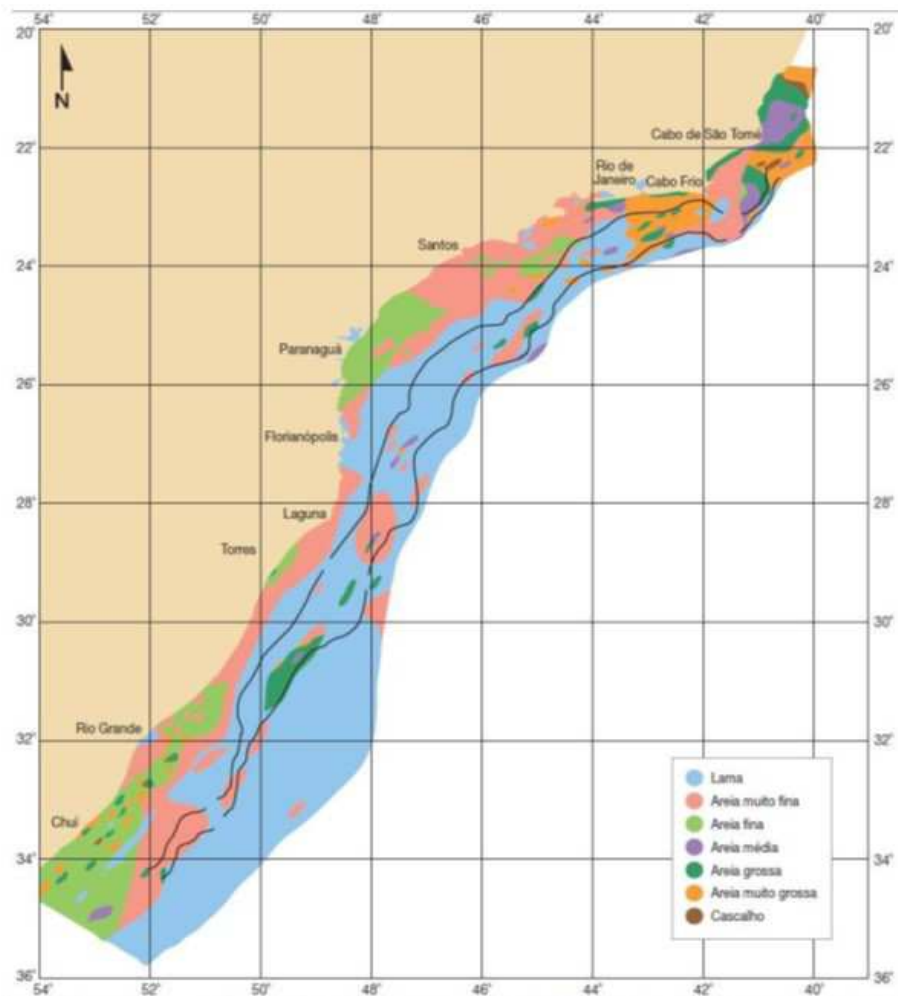


Figura 13. Mapa sedimentológico produzido por Figueiredo & Tessler (2004) a partir do tamanho médio do grão.

Geológico e Sísmico da Plataforma Continental Interna nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, com ênfase nos depósitos de granulados (siliciclásticos, bioclásticos e minerais pesados).

Não apenas a plataforma continental mas também a Planície Costeira do RS apresenta grandes concentrações de minerais pesados. Segundo a análise de Tagliani (2002), citando Villwock (1984), as características evolutivas dessa grande área sedimentar permitiram a acumulação de uma variedade de recursos minerais típicos de cada ambiente, tais como areia, argila, turfa, minerais pesados, calcário biodetrítico, diatomito e outros. Em que pese a importância histórico-econômica do aproveitamento de alguns desses recursos nos municípios costeiros da Zona Sul do Estado, e a potencialidade de aproveitamento de outros, eles têm sido relativamente pouco explorados ou mal aproveitados.

Ainda segundo a análise de Tagliani (*op cit*), dados mais concretos a respeito da potencialidade de recursos minerais desta região foram apresentados pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), em convênio com o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), com base nas informações disponíveis até 1986 (Trainini, 1987), indicando a localização, o status, a potencialidade e o nível de investimento para exploração.

A partir de testemunhos geológicos obtidos por Martins & Urien (2004) na região entre o sul do Rio Grande do Sul (Albardão) e o norte do Uruguai (Cabo Polônio), os autores constataram dois principais grupos sedimentares característicos: as areias quartzosas intensamente retrabalhadas durante o Pleistoceno/Holoceno e o material carbonático biogênico, testemunho de variações climáticas regionais. A mistura de ambos conferiu a morfologia peculiar de Plataforma Rasa, com frequentes registros de arenito-de-praia (*beach rock*), também evidenciando mudanças climáticas em antigas linhas de praias pleistocênicas (Martins & Urien *op cit*).

Os granulados bioclásticos ou carbonáticos marinhos são areias e cascalhos inconsolidados constituídos principalmente por algas calcárias e restos de organismos bentônicos, principalmente na forma de carbonato de cálcio (Corrêa, 1983; Machado *et al.*, 1997; Dias, 2000). Essa substância é usada no

fabrico de cimento, cal virgem, pedra britada, além de ser utilizada pelas indústrias de metalurgia, têxtil e farmacêutica, como também na agricultura onde é utilizado como complemento na fertilização do solo (Vasconcelos, 2012).

Destacam-se também os depósitos conhecidos como concheiros, os quais ocorrem na Baía de Todos os Santos – BA (Villas Boas & Bittencourt, 1992), na Lagoa de Araruama – RJ (Beauclair *et al.*, 2016) e na Região Costeira e Plataforma Continental do Rio Grande do Sul (Delaney, 1965; Calliari & Klein, 1993), sendo que neste último sua origem estaria relacionada a remoção dos fósseis e biodetritos dos depósitos do tipo relíquia presentes na plataforma continental e depositados na linha de praia (Figueiredo Jr., 1975). Em um levantamento feito por Asp (1996), o autor mostrou que os concheiros localizados no extremo sul do RS apresentam um grande potencial para exploração como fonte de calcário.

Além da presença dos recursos minerais discutidos até o momento, cabe destacar também a presença de materiais paleontológicos ao longo da Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS) e Plataforma Continental Interna do RS (PCIRS). Estudos como de Rodrigues & Ferigolo (2004), abordam a ocorrência de fósseis na região de pós praia entre os municípios de Santa Vitória do Palmar e Rio Grande, os quais são resultado de processos hidrodinâmicos atuais que transportam e depositam o material erodido de várias áreas-fonte, a partir da Plataforma Interna.

Buchmann (2002) abordou as relações existentes entre o conteúdo fóssilífero e os processos evolutivos da PCRS bem como a presença desses materiais nas feições submersas da PCI, dentre elas o Banco do Albardão e Parcel do Carpinteiro, analisados nos Capítulos 1 e 2, respectivamente. Outros trabalhos também merecem destaque, tais como Lopes & Buchmann (2011) que apresentaram uma revisão da presença de fósseis de mamíferos terrestres na região costeira do RS bem como os primeiros registros na PCI, mais precisamente no Parcel do Carpinteiro. Em função da importância dessas informações e por se tratarem dos únicos dados disponíveis, os mesmos foram selecionados e utilizados no presente trabalho.

5. Material e Métodos

5.1 Coleta dos dados

O banco de dados deste trabalho (Tab. 1) foi composto por 994 amostras de sedimentos, coletadas na Plataforma Continental da Bacia Sedimentar Marítima de Pelotas, pelo Laboratório de Oceanografia Geológica – LOG/FURG e pelo Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica – CECO/UFRGS, através dos projetos GEOMAR, GEOCOSTA, REMAC, REMPLAC além dos Programas de Geologia e Geofísica Marinha – PGGM (SECIRM) e REVIZEE, tendo como limite a cota batimétrica de 100 metros de profundidade (Fig. 15).

Tabela 1. Descrição dos dados utilizados na pesquisa.

Parâmetro	Tipologia	Formato	Fonte
Dados batimétricos	Pontos de batimetria cotados.	shp ponto	Laboratório de Hidroacústica Aplicada da FURG
Amostragem de sedimentos	994 amostras de sedimentos superficiais.	x,y,z	Laboratório de Oceanografia Geológica da FURG; Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica da UFRGS
Fisionomias	Limites das bacias sedimentares. Linha de costa. Limites dos estados	shp polígono shp linha shp polígono	Atlas da Plataforma Continental Jurídica Brasileira; Projeto Cartas SAO - Bacia de Pelotas; IBGE (2010)
Recursos minerais	Áreas de interesse para mineração	shp polígono	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
Dados de fauna bentônica	156 pontos de coleta 74 pontos de coleta 26 pontos de coleta 14 pontos de coleta	x,y,z	Laboratório de Invertebrados Bentônicos da FURG; Programa Revizee; Zamponi <i>et al</i> (1997); Tommasi <i>et al</i> (1972)
Dados paleontológicos	21 pontos de coleta	x,y,z	Buchmann (2002)
Uso e ocupação	Área de Proteção dos Botos. Navegação. Área de descarte de material dragado	shp linha shp polígono shp polígono	Di Tullio <i>et al</i> (2015); Marinetraffic.com; Laboratório de Oceanografia Geológica da FURG

Os dados batimétricos foram cedidos pelo Laboratório de Hidroacústica Aplicada da FURG, o qual produziu um arquivo único a partir da integração de dados acústicos e dados batimétricos calculados indiretamente, a partir de altimetria por satélite, bem como sua representação interativa em 3D (Pinho, 2015). As informações referentes à ocorrência de recursos minerais foram obtidas a partir das áreas de interesse para mineração, disponibilizadas pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM (Fig. 16). Os dados

referentes à fauna bentônica foram disponibilizados pelo Laboratório de Ecologia de Invertebrados Bentônicos da FURG, bem como a partir de dissertações, teses e artigos científicos sobre o tema (Fig. 17).

Como esse acúmulo de dados gera, com alguma frequência, bases que permanecem inexploradas ou sub-exploradas, optou-se pela utilização dessa informação, já que tanto a FURG quanto a UFRGS possuem uma base de dados oceanográficos estruturada, temporalmente significativa e amplamente disponível.

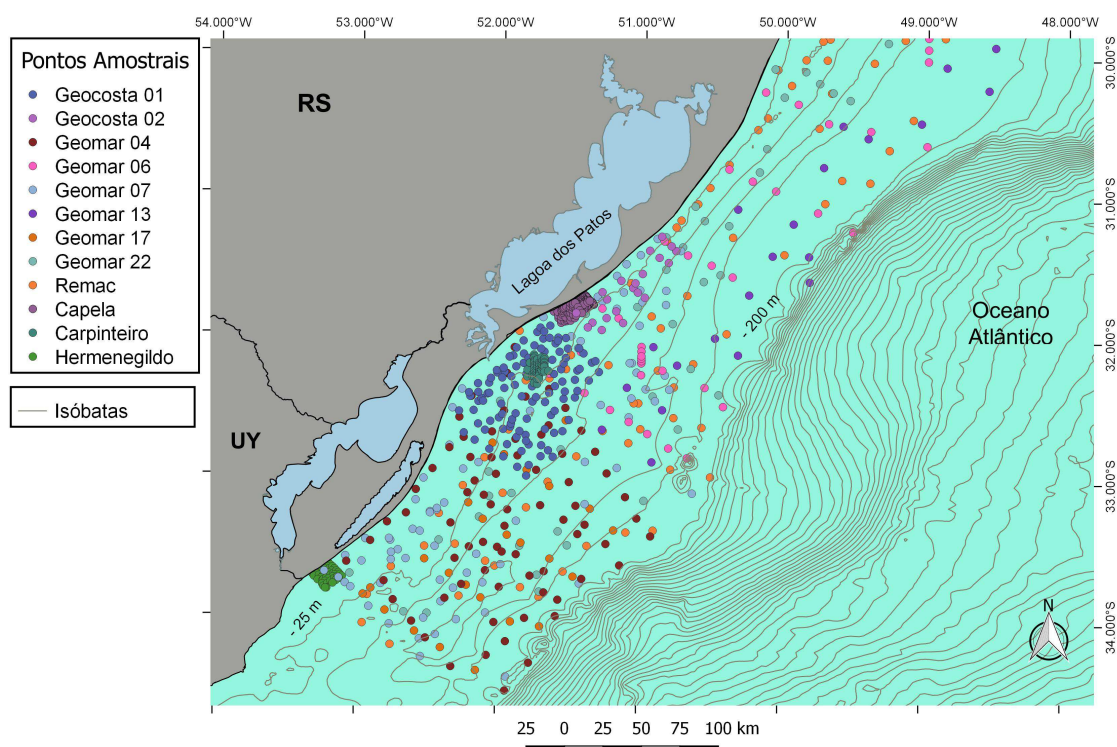


Figura 15. Mapa de localização dos dados sedimentológicos utilizados neste trabalho.

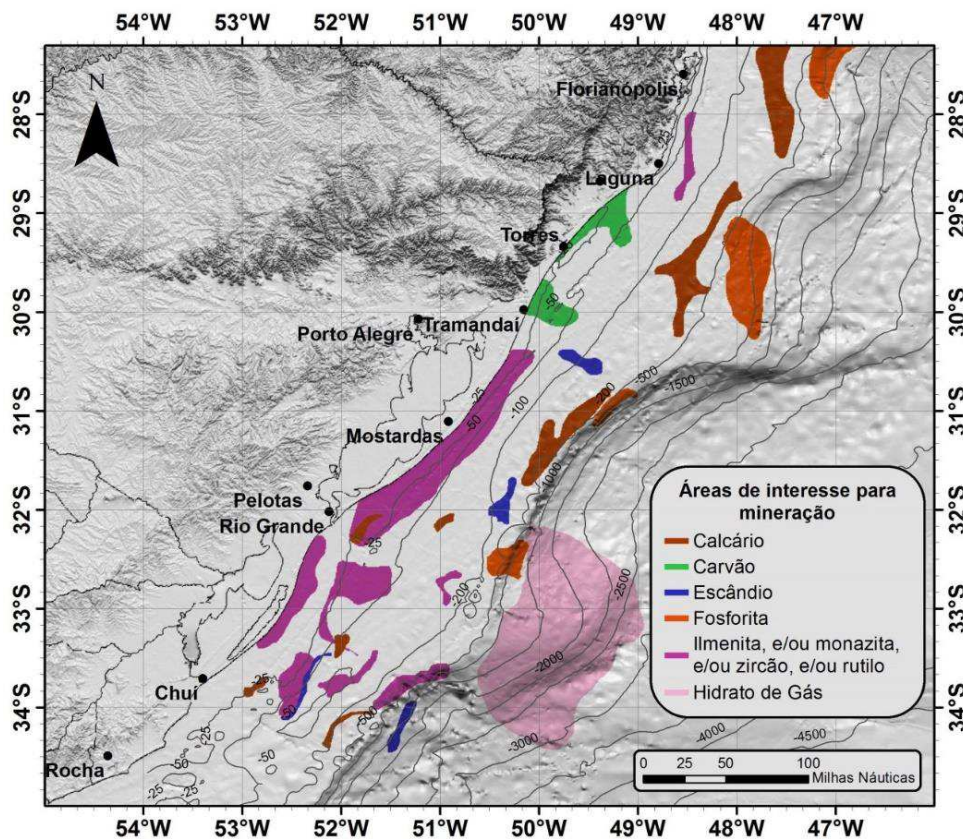


Figura 16. Mapa de recursos minerais da Bacia Sedimentar Marítima de Pelotas utilizados neste trabalho. Fonte: CPRM.

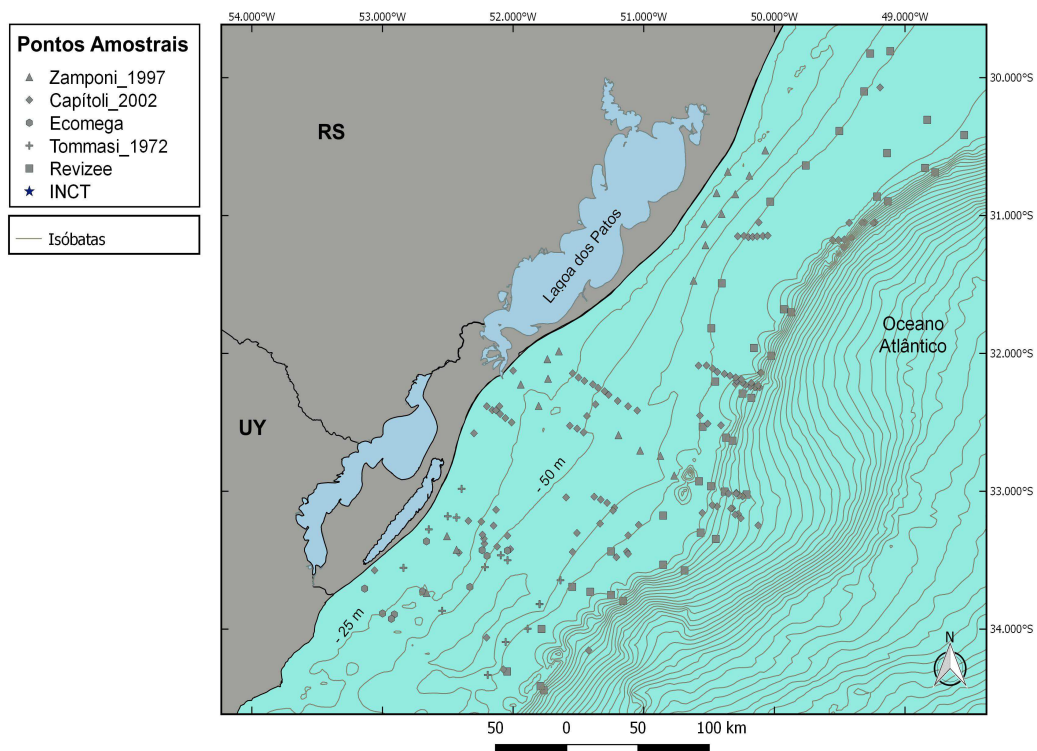


Figura 17. Mapa de localização dos pontos amostrais da fauna bentônica utilizados neste trabalho. Fonte: Laboratório de Ecologia de Invertebrados Bentônicos - FURG.

5.2 Análise dos dados

5.2.1 Padronização

Pelo fato das informações sedimentológicas serem provenientes de diferentes projetos executados pelas instituições citadas no item anterior, foi necessária uma padronização desses dados como forma de se criar um banco de dados único que será disponibilizado, juntamente com os produtos gerados pelas análises, através de um servidor WebSig, para que possam ser utilizados em futuras pesquisas.

As amostras sedimentológicas estavam descritas em planilhas no Excel, com informações a respeito da expedição de coleta, as coordenadas geográficas, o percentual total de areia, cascalho, silte e argila, além do tamanho médio do grão, de acordo com a classificação de Wentworth (Tab. 2).

Tabela 2. Classificação granulométrica de Wentworth, com os valores expressos em mm e *Phi* (Wentworth, 1922).

Nome	Limites de classe (mm)	Limites de classe (ϕ)
Matacão	4096 a 256	-12 a -8
Bloco	256 a 64	-8 a -6
Seixo	64 a 4,0	-6 a -2
Grânulo	4,0 a 2,0	-2 a -1
Areia muito grossa	2,0 a 1,0	-1 a 0
Areia grossa	1,0 a 0,5	0 a 1
Areia média	0,5 a 0,25	1 a 2
Areia fina	0,25 a 0,125	2 a 3
Areia muito fina	0,125 a 0,0625	3 a 4
Silte grosso	0,0625 a 0,031	4 a 5
Silte médio	0,031 a 0,0156	5 a 6
Silte fino	0,0156 a 0,0078	6 a 7
Silte muito fino	0,0078 a 0,0039	7 a 8
Argila	0,0039 a 0,00006	8 a 14

5.2.2 Rasterização

Como a gestão dos recursos marinhos tem uma componente espacial e requer a integração de informações de uma variedade de fontes em múltiplas escalas, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) ganharam ampla aceitação para aplicações de gerenciamento e planejamento ambiental, pois permitem a agregação de informações em várias escalas e a capacidade de analisar uma grande quantidade de atributos de diferentes fontes facilitando, dessa forma, o compartilhamento de dados e a geração e comparação de cenários alternativos (Quan *et al.*, 2001).

Como forma de subsidiar os capítulos 1 e 2 do presente trabalho foi gerado inicialmente, como primeiro resultado, um mapa faciológico em detalhes, através da malha amostral produzida a partir da compilação dos diferentes bancos de dados (Fig. 17). Nesta etapa, foi utilizado o software Arcgis 10.1[®] por possuir as ferramentas de interpolação necessárias para geração da superfície sedimentológica da área. A interpolação pode ser definida como um procedimento matemático de ajuste de uma função a pontos não amostrados, baseando-se em valores obtidos em pontos amostrados. Este processo parte da definição de uma malha, a qual serve para estimar o valor de cada ponto pela seleção de pontos próximos com valores conhecidos. Os valores dos pontos são então redefinidos por filtragem e por algoritmos matemáticos que podem ser semelhantes aos valores iniciais (interpoladores exatos) ou aproximados dos valores dos pontos iniciais (Longley *et al.*, 2001).

Como forma de reorganizar os dados nessa malha, são adotados os procedimentos de triangulação, a qual conecta os pontos amostrados e interpola os valores entre eles, e o *gridding* que define uma malha regular (grid) sobre a área considerada e calcula os valores nos pontos sem amostragem com base nos valores dos pontos já amostrados. Em seguida, um algoritmo matemático (interpolador) é utilizado para ajustar uma superfície através dos dados estimados para os pontos. Como a malha amostral de sedimentos se apresentou de forma regular, optou-se pelo uso do interpolador Vizinho Natural.

Este interpolador é considerado o mais adequado para esse tipo de dado pois está baseado na suposição de que a superfície de interpolação deve ser influenciada pelos pontos mais próximos e menos pelos pontos mais

distantes e, diferente das demais técnicas, essa não extrapola valores, resolvendo a interpolação somente para o interior do domínio dos dados.

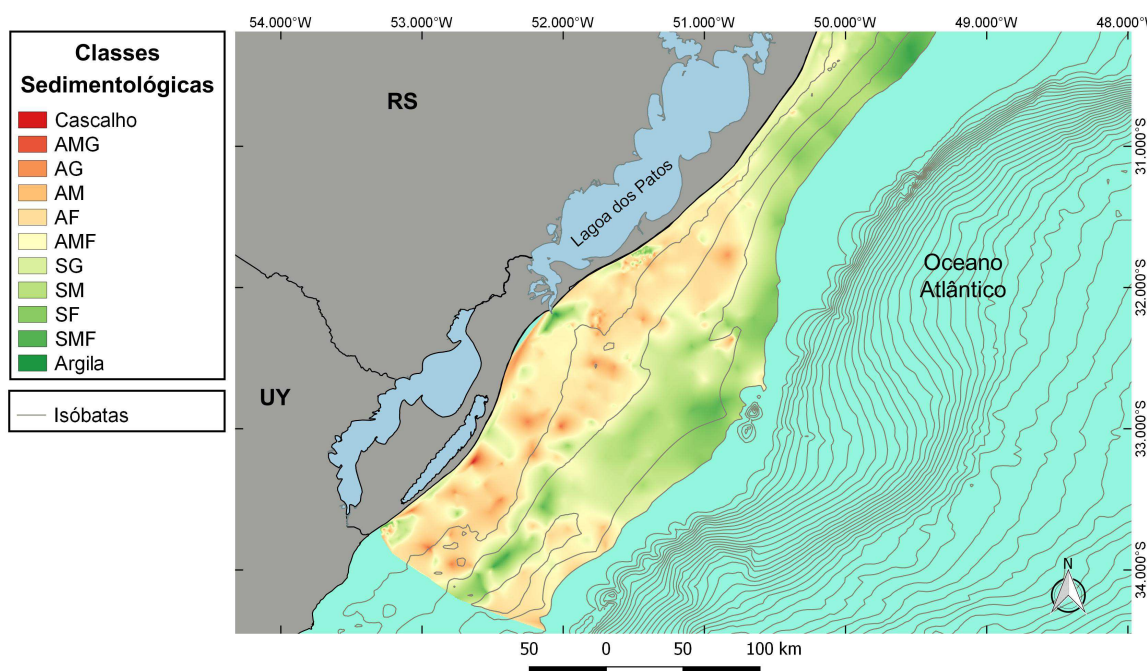


Figura 18. Mapa faciológico elaborado no presente trabalho a partir dos dados do tamanho médio do grão (Φ). Cascalho, AMG (Areia muito grossa), AG (Areia Grossa), AM (Areia média), AF (Areia fina), AMF (Areia muito fina), SG (Silte grosso), SM (Silte médio), SF (Silte fino), Argila.

5.2.3 Análise Multicritério

Depois de revisar e formatar os dados de sedimento e fauna bentônica disponíveis, os mesmos formaram um banco de dados digital no software Quantum GIS e, com base nessas informações, foram criados os respectivos mapas de distribuição espacial. No Capítulo 1 esses mapas foram analisados de forma integrada no software Idrisi Selva® através de uma análise multicritério, onde cada fator foi padronizado para uma escala contínua de valores de vulnerabilidade e gerados os respectivos pesos estatísticos. O mapa de fragilidade ambiental foi gerado a partir da consideração de 5 fatores de vulnerabilidade: 1- escala de classificação de sedimentos (Tab. 2), 2 - feições submersas (bancos arenosos e parcéis), 3 - abundância de fauna bentônica, 4 - espécies bentônicas endêmicas e ameaçadas de extinção. Cada fator foi padronizado para uma escala contínua de valores de vulnerabilidade (grau de

exposição ao perigo x capacidade de resposta), definindo o limite entre o mais vulnerável e o menos vulnerável através de um conceito relativo, ou *fuzzy* (Tagliani, 2003).

A avaliação dos diversos fatores de forma conjunta e integrada é tipicamente um procedimento de avaliação multicritério. A técnica utilizada para essa avaliação foi a combinação linear ponderada (*Weighted Linear Combination- WLC*), onde os fatores contínuos padronizados foram combinados por meio de uma média ponderada. O resultado é um mapeamento contínuo de vulnerabilidade, sendo que uma das vantagens do método é a possibilidade de atribuir pesos de importância diferentes a cada um dos fatores no processo de agregação, permitindo reter toda a variabilidade dos dados contínuos, além da possibilidade de compensação entre os fatores (Eastmann, 1997). A atribuição dos pesos foi feita através do método AHP - *Analytic Hierarchy Process*, utilizando a escala de comparação pareada de Saaty. Este método é um processo de escolha baseada na lógica de comparação par a par, onde diferentes fatores que influenciam na tomada de decisão são organizados hierarquicamente e comparados entre si, e um valor de importância relativa (peso) é atribuído ao relacionamento entre estes fatores, conforme uma escala pré-definida que expressa a intensidade com que um fator predomina sobre outro em relação à tomada de decisão (Saaty, 2008).

As análises realizadas no capítulo 2 encontram-se descritas no organograma metodológico (Fig. 18), onde constam as principais etapas da análise multicritério com base estatística. Neste método, são definidos inicialmente todos os critérios relacionados ao problema de interesse e se estabelece uma matriz de variância para cada um destes critérios, com posterior ranqueamento e análise. A ideia central do método estatístico da análise multicritério está baseada no fato de que um critério de alta variância espacial será mais importante na diferenciação de locais do que um critério de baixa variância espacial. Assim, se um critério varia espacialmente de forma significativa, o mesmo será importante na diferenciação dos locais mais ou menos aptos par a análise.

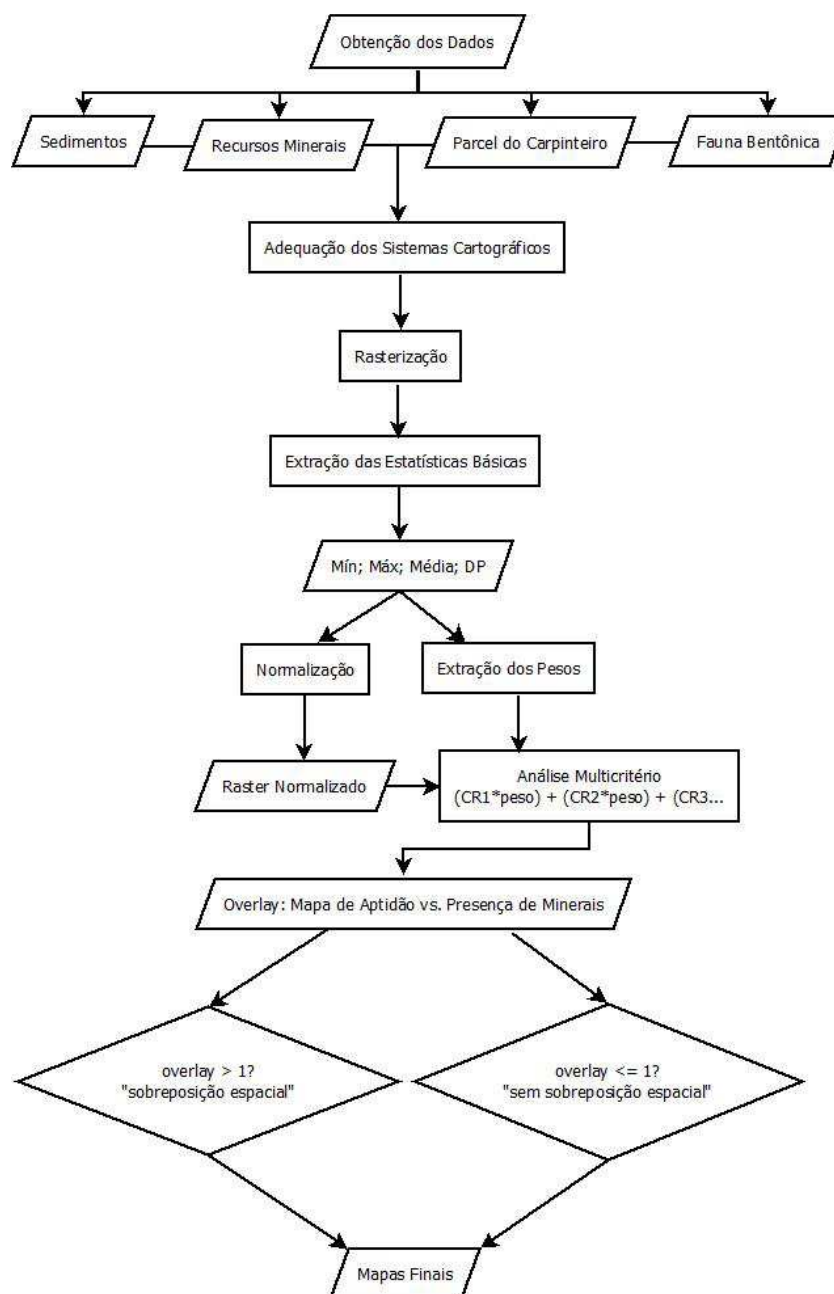


Figura 19. Fluxograma indicando o passo-a-passo metodológico, desde a obtenção dos dados até a produção dos mapas finais.

Para a aplicação deste método, o estudo deve se basear na seleção e na representação dos critérios, em formato raster (especialmente contínuo), que caracterizam a análise. Esse formato de dados permite a álgebra de mapas entre cada critério, formando um modelo de análise desejado. A organização desses critérios em planos de informação e resolução espacial

iguais é fundamental para que se possa operacionalizar a álgebra de imagens, uma vez que apenas matrizes com dimensões iguais podem ser operadas algebricamente. A identificação dos critérios mais importantes é necessária como forma de validar o modelo de análise hierárquica multicritério e desta forma apontar as áreas com maior aptidão para conservação, mineração e usos múltiplos, por exemplo. A técnica de álgebra de mapas, termo este cunhado por Tomlin (1990), é caracterizada como sendo um conjunto de procedimentos de análise espacial na geração de novos dados, a partir de funções de manipulação aplicadas a um ou mais mapas em formato raster (Câmara *et al.*, 2001). Esta visão, concebe a análise espacial como um conjunto de operações matemáticas sobre mapas, em analogia aos ambientes de álgebra e estatística tradicional. Os mapas são tratados como variáveis individuais, sendo que as funções definidas sobre estas variáveis são aplicadas de forma homogênea a todos os pontos do mapa.

Capítulo 1

Geodiversity and biodiversity: an integrated analysis as a basis for the sustainable exploitation of the mineral resources of the Albardão Continental Shelf, Pelotas Sedimentary Basin, RS, Brazil.

Paulo Henrique Mattos, Carlos Roney Armanini Tagliani, Raphael Mathias Pinotti, João Luiz Nicolodi, Lauro Júlio Calliari, Tiago Borges Ribeiro Gandra, Washington Luiz dos Santos Ferreira

(Manuscrito submetido ao periódico Pan American Journal of Aquatic Science)

Geodiversity and biodiversity: an integrated analysis as a basis for the sustainable exploitation of the mineral resources of the Albardão Continental Shelf, Pelotas Sedimentary Basin, RS, Brazil.

Paulo Henrique Mattos, Carlos Roney Armanini Tagliani, Raphael Mathias Pinotti, João Luiz Nicolodi, Lauro Júlio Calliari, Tiago Borges Ribeiro Gandra, Washington Luiz dos Santos Ferreira

Abstract

Seabed compartmentalization for classification purposes can be done in different ways and at varied scales, depending on the purpose, methods employed and data availability. The aim of this study is identify the environmental fragility of the Albardão Continental Shelf and its spatial variation, confront the result with the spots of the existing mineral resources and assess the potential of environmental conflict resulting from the integrated analysis, specially regards with occurrence of endemic and threatened benthic fauna. Data from universities and government agencies were used and standardized to generate the respective thematic maps, both vulnerabilities and attractiveness, which were analyzed in an integrated way in the software Idrisi Selva[®] through multicriteria analysis. From this initial analysis, a map of the natural fragility of the study area was generated, which was confronted with maps of attractiveness for the use of mineral resources, thus determining potential conflicts. Despite the high potential for mineral exploration, the Albardão area presents a certain environmental fragility, due to the presence of endemic and endangered benthic species, as well as the presence of submerged features, such as beach rock outcrops and linear sandy ridges, with high ecosystem potential, providing shelter and food and favor reproductive aggregations of osteolytic and elasmobranch fish. The conflict maps produced in the present work are a good reference to give the initial support necessary to decision makers. In this sense, the result of this work, even if it addresses only the mining sector and in the absence of much relevant information, is already an advance, or at least the beginning of a marine management process that must be continually updated, revised and improved.

1. Introduction

The multiple national and international interests in the oceans and coastal areas have been fostering an increasing number of activities, often conflicting and that counteract exploitation and conservation agendas. These conflicts tend to weaken the ability of ocean environments to provide the many ecosystem services upon which life on earth ultimately depends. Studies around the world have analyzed the relationship between coastal mining and the sustainable management of the marine environment, as well as possible impacts on biota (Earney, 1990; Hilton, 1994; Newell *et al.*, 1998; Hitchcock & Bell, 2004; Kim & Lim, 2009).

However, certain human uses of oceans and coastal areas are expanding at a pace that challenges our ability to plan them from a sectoral approach, requiring a more integrated, comprehensive, flexible and proactive approach to planning and management of these uses and activities, such as oil and gas sector concessions, mineral exploration, fisheries management plans and protection of marine areas (IOPTF, 2009).

Most countries have already developed zoning of the marine space for various human activities such as maritime transport, oil and gas exploration, mining, renewable energy development, offshore aquaculture, and waste disposal. However, the problem usually lies in the fact that these activities are planned separately and dealt with on a case-by-case basis, without affecting both other human activities and the marine environment. An example of this is mineral exploitation in the seabed, which, if carried out in an unplanned manner, can cause serious damage to the upper layers of the sea floor, especially in the first centimeters, where most benthic fauna live (Earney, 1990).

The concept of geodiversity emerged at the end of the 1990s, as a tool applied to the management of protected areas and as a counterpoint to "biodiversity", due to the need for a term encompassing the abiotic elements of the natural environment (Brilha, 2002; Serrano & Ruiz Flaño, 2007; Gray, 2008; Panizza, 2009). It manifests itself in the natural environment through the landscapes and the characteristics of the physical environment of the places where we live, and an inadequate intervention in the geodiversity can generate critical problems for our quality of life and for the environment. Due to the intimate relationship between the components of the physical environment

(support) and the biotic components (biodiversity), the stability relations between these two major environmental components should be systematically addressed.

According to Silva *et al.* (2008a), the application of geodiversity studies geared to territorial planning would function as an indicator of the skills and restrictions of the use of the physical environment of an area, as well as the impacts arising from its geologically inappropriate use. However, in the marine area, this theme is rarely approached, with applications restricted to emerged portions of the oceanic islands or to coastal environments (Nunes *et al.*, 2007; Felton, 2010; Brooks *et al.*, 2011; Gordon & Barron, 2011; Rovere *et al.*, 2011; Brooks *et al.*, 2012; Kaskela *et al.*, 2012).

In Brazil, the concept developed almost simultaneously with the international thinking, with a focus geared to the characterization and quantification of geological heritage (Silva *et al.*, 2008b). Efforts in this respect are observed in numerous scientific work carried out throughout the national territory and in the survey and dissemination programs of the geological heritage. (Corrêa & Ramos, 1995; Theodorovicz *et al.*, 1999; Dantas *et al.*, 2001; Diniz *et al.*, 2005). However, the proposals for sectorization of the seabed in order to recognize its geodiversity are still scarce in the literature (Maia & Castro, *in press*), which becomes an obstacle in the establishment of conceptual models derived from an integrated analysis.

According to Roff & Taylor (2000), one of the seabed data integration strategies is associated with the recognition of marine landscape units, which consist of the classification of a marine system compartment where interactions between different abiotic variables (sedimentology) and biotic (benthos) provide a particular support for the establishment of landscape classes, which may be ecologically correlated to biotopes or habitats (Roff *et al.*, 2003; Galparsoro *et al.*, 2012).

Mapping biologically and ecologically important areas, such as Brazilian Southern Continental Shelf, together with their associated human uses and political and legal arrangements, has been emphasized as an important first step to supply a general framework and strategic tools for the sustainable development of this realm by combining an optimized use with a sustained ecosystem of high quality (Crowder & Norse, 2008; Katsanevakis *et al.*, 2011a).

Marine Spatial Planning (MSP) is a practical way to create and establish a more rational organization of the use of marine space and the interactions between its uses, to balance demands for development with the need to protect marine ecosystems, and to achieve social and economic objectives in an open and planned way (Ehler & Douvere, 2009). It has increasingly become an important framework for ocean governance and is being developed in many countries around the world.

Several countries have been carrying out projects involving marine and coastal spatial planning. Some good examples including the establishment of the Protected Marine Area (MPA) of the Australian Great Barrier Reef and its management actions as precursors in the regulation of the marine space uses (Day, 2002). Also, the territorial organization of the Belgium Sea, with the definition of different scenarios (Douvere *et al.*, 2007) and an important stepping for effective Marine Spatial Planning (MSP) with the assessment of all marine biotopes in terms of goods and services provided and their sensitivity to human activities around Europe (Salomidi *et al.*, 2012).

Specifically in the Brazilian case, the shared use of the marine environment in a planned and organized way is a challenge for the Brazilian State. In addition to dealing with the dimensions of the national territory, this planning process presupposes the involvement and participation of the different sectors that operate in the marine and coastal areas (MMA, 2018). The discussion on this theme has started with the “International Seminar on Marine Spatial Planning, organized in 2014 by the Brazil Environment Ministry and the support of UNESCO.

Currently, the process is under discussion in the framework of the Interministerial Commission for the Sea Resources (CIRM), which, supported by several governmental institutions and the society, is preparing the scope for the first Marine Spatial Planning (MSP) in the country.

With the purpose of subsidizing solutions to these conflicts and suggesting management strategies appropriate for the maintenance of ecosystem functions and the establishment of Marine Spatial Planning (MSP), this study aims to identify natural fragility in the region of Albardão (Pelotas Basin), according to the potential of mineral exploration in the area, through an

integrated analysis between the local geodiversity and the bioecological and socioeconomic components.

2. Study area

The study area comprises a part of the Continental Shelf Adjacent to the Albardão Lighthouse (CSAA) located in the southern portion of the Pelotas Sedimentary Basin (Fig. 1) between 32°88'/33°74'S and 51°41'/52° 20'W. Climatologically, the region corresponds to a hot - temperate (Cfa - mesothermic) transition zone, due to the influence of the South - West Atlantic Subtropical Convergence (Semenov & Berman, 1977).

The hydrography of the region is dominated by expressive fluvial contributions, such as the La Plata River and the Patos-Mirim complex, which form a low salinity plume whose extent varies seasonally (Möller *et al.*, 2008). In addition, the CSAA is dominated by two main currents, the Brazil Current (BC), which flows to the south carrying hot and saline waters and the Malvinas Current (MC), which flows north carrying relatively cooler and less saline waters. These two currents are close to 38°S, a region known as the Brazil-Malvinas Confluence (BMC) (Piola *et al.*, 2000).

In relation to the geomorphological characteristics, CSAA presents very peculiar morphology and sedimentology, such as the presence of linear sand ridges, some of them associated with beach rocks outcrops (sand and shell fragments cemented by calcium carbonate), which comprises a limestone resource (Figueiredo, 1975; Corrêa, 1983), as well as a sandy belt that constitutes a past expression of an extensive sandy coastal plain at a recessive sea level (Corrêa, 1987). Such structures are extremely important, since they constitute as refuge and feeding areas for the biota. Monteiro (2017), through satellite tracking study, reveals a habitat use patterns to Loggerhead Sea Turtles, which found that a high usage areas in austral summer are located on the continental shelf, inside Albardão Lighthouse adjacent area. This region is also a significant part of the nurseries for regional populations of 19 species of elasmobranchs, among then 07 critically endangered (Vooren & Klippel, 2005).

It is also possible to observe the presence of paleochannels located in the southern limit of the inner and middle shelf, respectively delimited by the depths of 50 and 100m and also identified from the textural and mineralogical

characteristics during the “Geocosta Sul I” Expedition carried out by the Laboratory of Geological Oceanography of the Federal University of Rio Grande - LOG/FURG (Abreu & Calliari, 2005).

In addition to the sedimentary variations, the CSAA are under the influence of subtropical convergence, which is characterized by the contribution of continental waters through the Patos Lagoon, La Plata River and the presence of Subantarctic waters (Castello & Möller, 1977). The presence of both subantarctic waters and freshwater input, mainly in winter and spring, determine a high primary production and makes this part of the continental shelf one of the most productive and important fishing area off Brazil (Ciotti *et al.*, 1995; Castello *et al.* 1997).

The distribution and abundance of benthic organisms in the region is also be influenced by these environmental characteristics, since the higher primary production determines the nutritional quality of the substrate favoring macrozoobenthos richness (McLusky & McIntyre, 1988).

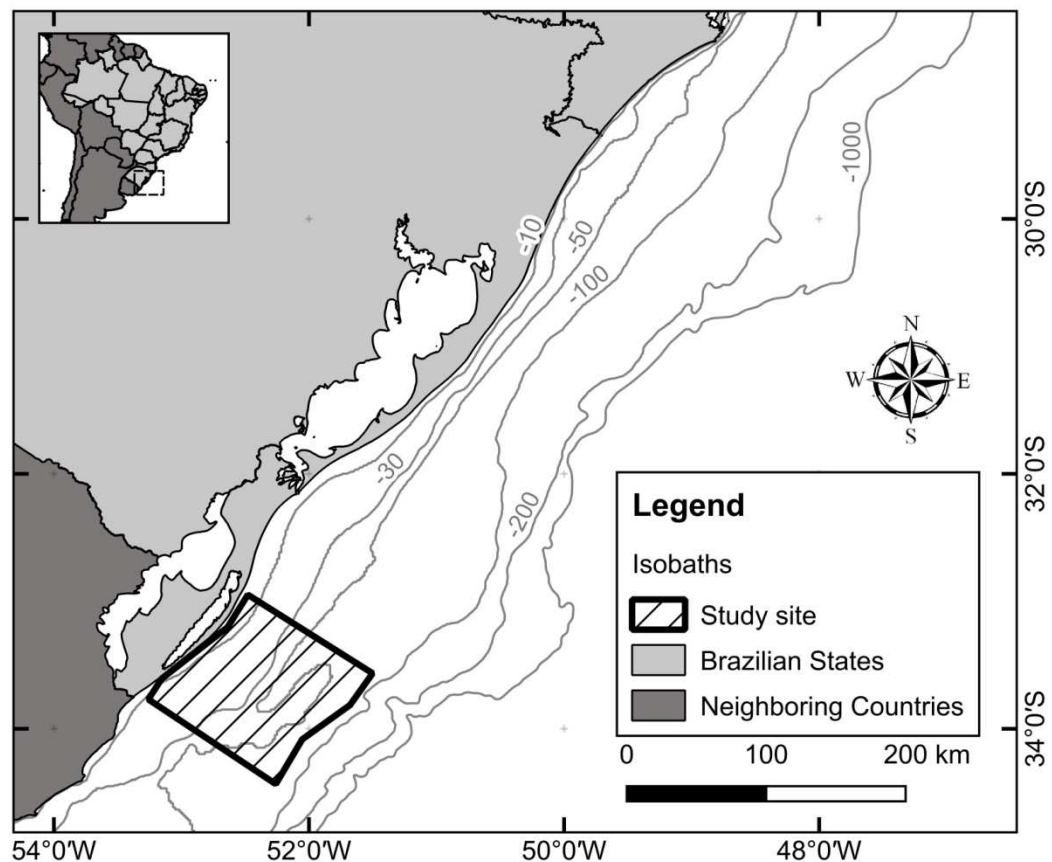


Figure 1. Location and boundaries of the study area.

3. Methodology

In order to reach the aim of the present study, different secondary databases were consulted from universities, research and regulatory agencies, which provided the necessary thematic elements for the interpretative analyses. The sedimentology data was obtained from the Center of Coastal and Oceanic Geology Studies/Federal University of Rio Grande do Sul (CECO/UFRGS) and the Laboratory of Geological Oceanography/Federal University of Rio Grande (LOG/FURG). Data on the occurrence of mineral resources (heavy minerals and limestone) was gathered from the Brazilian Geological Survey Agency (CPRM), bathymetric data was collected by the Laboratory of Applied Hydroacoustics and data of benthic fauna from the Laboratory of Macrobenthic Ecology, both of the Federal University of Rio Grande (FURG).

After reviewing and formatting the available secondary data, these formed a digital database in the Quantum GIS software and, based on this information, the respective basic thematic maps were created. These maps were analyzed in an integrated way in the software Idrisi Selva[®] through multicriteria analysis.

The environmental fragility map was generated from the consideration of 5 vulnerability factors: 1- sediment grading scale (gravel, very coarse sand, coarse sand, medium sand, fine sand, very fine sand, very coarse silt, coarse silt, medium silt, fine silt, very fine silt and mud), 2- submerged features (sandy ridges and beach rock outcrops/parcels), 3 - abundance of benthic fauna, 4- endemic and 5- endangered benthic species. Each factor was standardized for a continuous scale of vulnerability values (degree of exposure to hazard x responsiveness), defining the boundary between the most vulnerable and the least vulnerable through a relative or fuzzy concept (Tagliani, 2003).

The evaluation of the several factors in a joint and integrated manner is typically a multicriteria evaluation procedure. The technique used for this evaluation was the Weighted Linear Combination (WLC), where the standardized continuous factors were combined by means of a weighted average, and the result is a continuous mapping of vulnerability. One of the advantages of the method is the possibility of assigning weights of different importance to each of the factors in the aggregation process, allowing retaining all the variability of the continuous data, besides the possibility of compensation

among the factors (Eastman, 1997). The assignment of weights to the criteria, or valuation, is the quantification of the relative importance of each of them in the decision process. The attribution of weights was performed through the Analytic Hierarchy Process (AHP), using Saaty's paired comparison scale (Saaty, 2008).

Through Saaty's method, the factors are compared two by two in terms of their relative importance against the objective of the analysis (Table 1). After all possible combinations, the module calculates the set of weights and a consistency ratio, which indicates possible inconsistencies that may have been made during the paired comparison process (Fig. 2).

Table 1. Saaty's paired comparison scale.

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Extremely importance	Very strongly importance	strongly importance	Moderately importance	Equally importance	Moderately importance	strongly importance	Very strongly importance	Extremely importance
Less important					More important			

Each element of the matrix showed in Figure 2 indicates how much the factor of the left column is more important than the corresponding factor in the upper row. The assignment of weights is performed by comparing each of the factors listed in the first column with each of them in the upper row. For example, the factor 3 (Threatened species) was considered to be strongly more important than the factor 1 (Grain size), while the factor 5 (Beach rocks) was assigned to be moderately more important than the factor 1 (Grain size). The comparison of importance should always keep in mind the aim of what is being analyzed, in this case, an assessment of the natural fragility of the environment assuming an anthropic intervention.

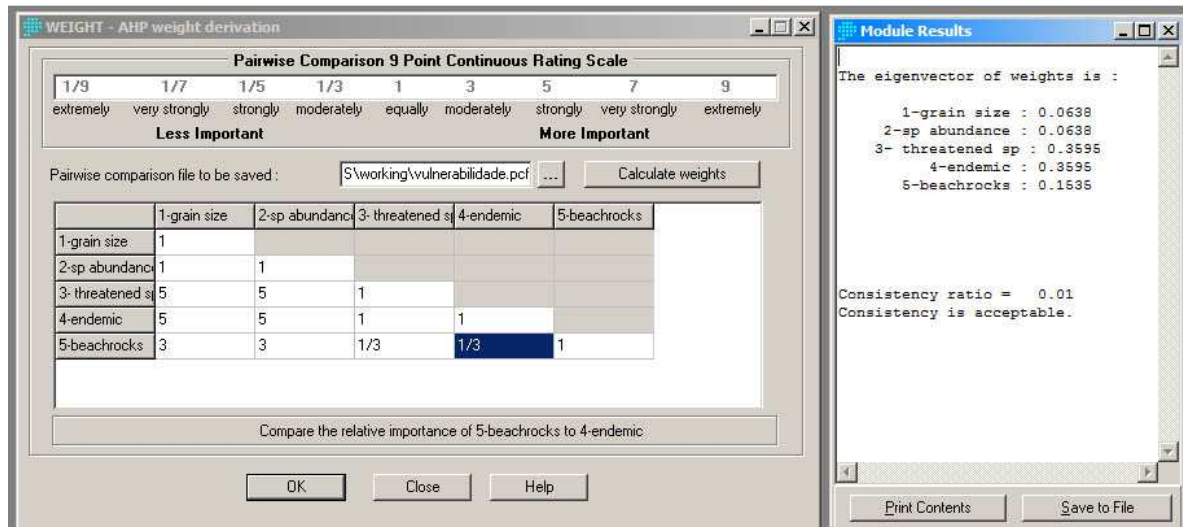


Figura 2 – Pairwise comparison and relative weights on vulnerability analyses.

The multicriteria evaluation proceeds to multiply each factor considered by its corresponding weight, which are added up, and then the sum is divided by the number of factors. As the weighted average is calculated for each pixel, the resulting image is a measure of the natural fragility of the environment ranging from 0 to 1.

Subsequently, attractiveness maps were drawn up for the exploitation of mineral resources (heavy minerals, limestone and sand for civil construction), all standardized in the same way as the previous ones, showing differentiated levels of attractiveness for these factors. Afterwards, through cross-tabulation (CROSSTAB), the fragility map was cross with the attractiveness maps, thus determining different degrees of potential conflicts of use.

4. Results and Discussion

Compartmentalization of seabed for classification purposes can be done in different ways and at various scales, depending on the purpose, methods used and access to data. Due to the availability of an extensive database of the Rio Grande do Sul state Continental Shelf, the compilation of the abiotic, biotic and socioeconomic information of the Albardão Region was use, thus

generating a unique database, as well as an integrated analysis that could subsidize actions related to Marine Spatial Planning.

The identification and delimitation of the environments from multidisciplinary studies are fundamental to get the information necessary for a correct environmental policy. This information can be expressed through environmental maps, which represent the properties necessary for an adequate characterization of the environments and ecosystems that surround them.

From the compilation of the sediment data available in the different databases it was possible to arrive at a grain size distribution map (Fig. 3a), which shows the predominance of sandy bottoms to up 100m. This pattern is interrupted by muddy bottoms related to the paleochannel of the La Plata River during lower stand sea level (Corrêa, 1996).

These results, with a greater level of detail due to the large amount of data compiled, complement the study made by Martins *et al.* (1999) for the same area, which identified deposits predominantly formed by sands of medium to fine granulometry, with variable amounts of heavy minerals and shell fragments. The occurrence of these well-selected sediments is an indicative of reworking in highly energetic environments. The standardization of this factor (Fig. 3b) considered that the distribution of the benthic fauna is related to the different types of sediment present in the region, some of them with a high economic interest, such as sand and gravel, and some areas with the presence of soft bottom like a fine-grained or muddy sediments, a typical habitat for Nematodes and Copepods (Heip *et al.*, 1985).

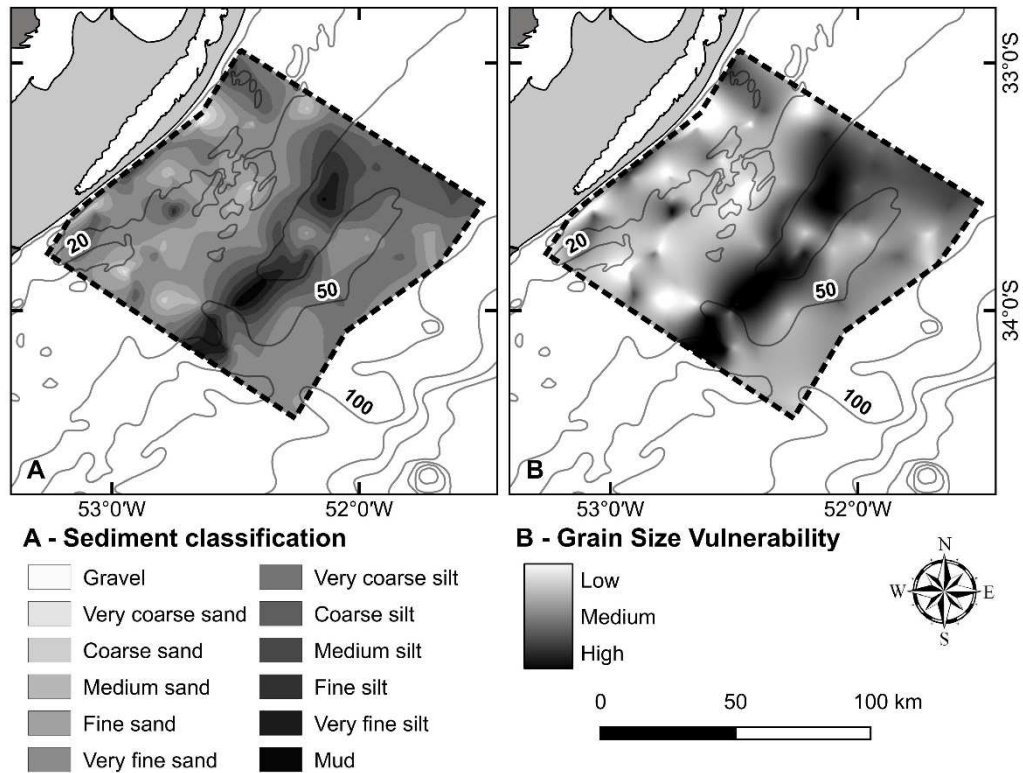


Figure 3 – Sediment classification map (a) and Grain size vulnerability in the study area (b).

Another factor considered important in the definition of the environmental vulnerability of the area was the presence of hard bottoms of beach rocks and submerged sandy ridges (Fig. 4a). These submerged features, known as the Hermenegildo Parcels, further to the south, and the Albardão ridges, further north, are large, three-dimensional consolidated substrates with high ecosystem potential by providing shelter and food and favoring reproductive aggregations of osteolytic and elasmobranch fishes (Vooren & Klippel, 2005). Another factor to be considered is that close to these features, there are generally abundant populations of benthic invertebrates that serve as food items of trophically superior organisms, such as the hermit crabs *Loxopagurus loxochelis*, which are present in the coastal portion of the CSAA and are considered important items in the diet of Loggerhead sea turtle, *Caretta caretta* (Bugoni *et al.*, 2003).

Due to this ecosystemic importance, it was decided to consider as a vulnerability factor only the criterion of proximity of these submerged features, establishing that the lower the distance, the greater the vulnerability (Fig. 4b).

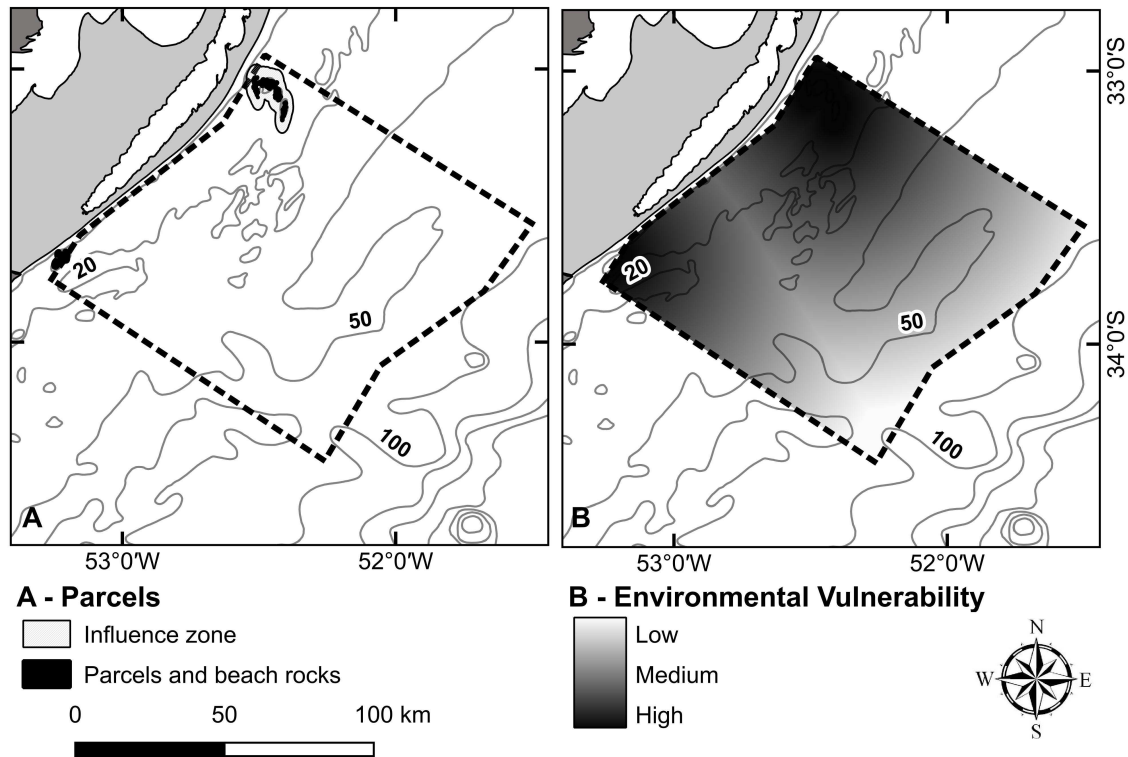


Figure 4 - Location of sandy shoals and beach rocks (a) and standardized environmental vulnerability map (b).

The substrate type is the main factor that influences the distribution and abundance of the benthic macroinvertebrate fauna (Gray 1981, McLusky & McIntyre 1988; Capítoli & Bemvenuti, 2004), and environments with a greater variety of bank types tend to present greater diversity of species (Fresi *et al.*, 1983).

The benthic fauna deserves special attention, more so due to the presence of endemic species in the region, such as the centipede *Renilla tentaculata* and large aggregations of echinoderms, such as *Encope emarginata* and *Astropecten cingulatus*, the latter an endangered species, overlapping with deposits of sand and biodetritic gravel, generating potential conflicts between exploitation and preservation. Benthic communities present an important ecological role in the trophic structure of marine systems, especially in terms of energy flow and nutrient cycling, being characterized as the intermediate link between the primary producers/consumers and the higher trophic levels (Coll *et al.*, 2009; Nascimento *et al.*, 2012).

For the Continental Shelf region located between the states of Santa Catarina (SC) and Rio Grande do Sul (RS), Capitoli & Bemvenuti (2004, 2006) reported the occurrence of echinoderms and characterized the zoobenthonic community in the CSAA, highlighting the relevance of the classes Echinoidea (*E. marginata*) and Asteroidea (*Astropecten sp.*) in this region of the Atlantic Ocean. Of the 627 endangered species present in the Red Book of Brazilian Endangered Fauna (Machado *et al.*, 2008), 19 are echinoderms, organisms susceptible to environmental impacts at different levels: alteration or habitat degradation, erosion, eutrophication, oil, fishing and/or bycatch, among others (Ventura *et al.*, 2013).

The resulting map of the integrated analysis between the variables mentioned above is a reflection of the relative importance of each factor in defining the environmental vulnerability, according to the importance weights attributed to each factor during the paired comparison, as well as due to the availability of the data used in the study (Fig. 5). However, this map provides extremely important information to characterize the natural fragility of this region against certain economic activities, in this case, exploitation of mineral resources.

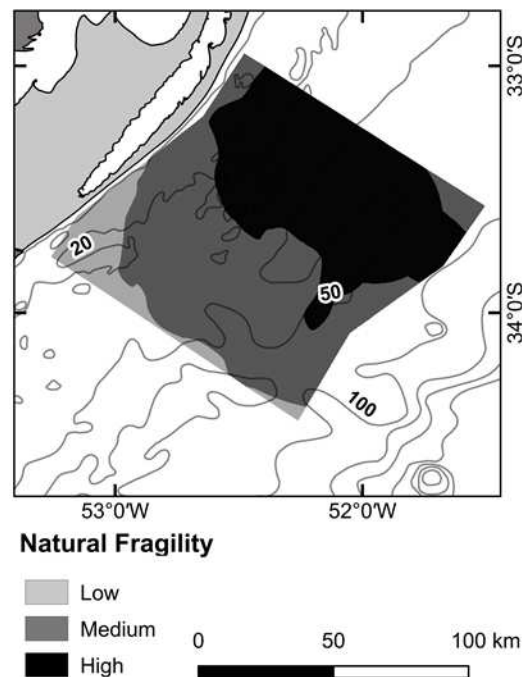


Figure 5 - Natural fragility of the study area due to the presence of endemic and endangered benthic fauna.

After the surveys and analyses of the aspects related to the vulnerability of the Albardão region, the economic attractiveness aspects were analyzed, with special attention to the mineral resources. Among the mineral resources of socio-economic value of the Brazilian Continental Shelf, the commercial extraction of aggregates, mainly in the form of sands and gravels, is a priority. It's due to the importance in the recovery of eroded beaches or to constitute an important input for the construction industry, landfills, road coverings and land distribution, while the finer, clearer, essentially quartzous sands have their direct use in the construction industry (Horn Filho, 2003; Souza *et al.*, 2007c).

The bioclastic limestone deposits (fragments of shells and echinoderms) of the Rio Grande do Sul Continental Shelf are linked to old high energy coastal lines, mainly those related to the Albardão regions, the subject of this work, and Parcel do Carpinteiro (further north), and may represent an economic potential in the order of 1×10^9 tons (Corrêa, 1983). Calliari & Klein (1992) also identified large biotrititic deposits associated with the coastal zone south of the Albardão, in the order of 2 million tons (Fig. 6a).

Corrêa *et al.* (2008), on the other hand, analyzed the sources of heavy minerals as well as their superficial distribution on the South Brazilian-Uruguayan Continental Shelf. According to the authors there are indications of the occurrence of heavy minerals in CSAA, such as Ilmenite, Rutile and Zircon, which was also estimated by CPRM (Fig. 6b), as well as the presence of energy resources (oil and gas) offshore.

According to Souza *et al.* (2009), the volume and potential of the sands and gravels present in the Continental Shelf exceed the value of any other non-living resource, except oil and gas. Among the possible impacts that the extraction of sands and gravels can generate in the marine environment are the increase of turbidity in the seawater, expressive accumulation of mud and destruction of geohabitats that are important to the benthic fauna (Trhush *et al.*, 2002).

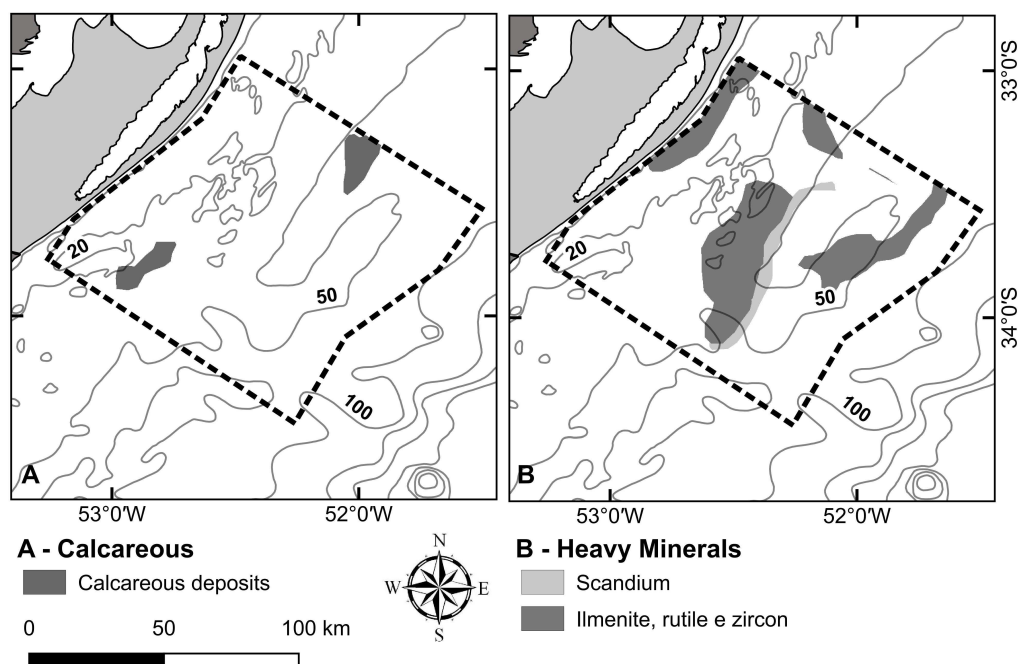


Figure 6. Location of the deposits of bioclastic limestone (a) and heavy minerals (b) in the Albardão Region. Source: CPRM.

Due to this occurrence, mainly in shallower areas, the results produced in this work shows that some regions presents a high potential of conflict, much due to its overlapping with the occurrences of benthic fauna. However, in most of the area, the conflict potential was consider as medium to low (Fig. 7).

According to Vellinga (1989), the impact of sand dredging must be analyze in terms of circulation of the Continental Shelf as well as in other economic and conservation issues, like fishing and local benthic fauna.

This caution between exploitation and environmental preservation is common in other countries. For example, in the United Kingdom, where dredging is regulated and confined to specific areas of concessions (Earney, 1990) and also in the United States where this kind of activity is regulated by major government agencies, such as the United States Geological Survey (USGS) and Coastal Engineering Research Center (CERC) (Souza *et al.*, 2007a). In relation to the biotrititic limestone, the main areas of occurrence of this resource are restricted by two points, the first being further north and away from the coast and the second to the south of the study area and near the coastal region. Limestone is important in many sectors, especially industry

(construction and metallurgy) and agriculture (soil amendments and mineral supplementation of poultry feed), but a future exploitation of this resource in the study area should be carried out in a cautious way, due to the environmental fragility and the conflict potential identified in the present study.

As for a possible exploitation of heavy minerals in the open sea, initially identified by Villwock *et al* (1977), which estimated reserves of around 112 thousand tons, this would depend on some factors, such as exploration cost, obtaining permits for mining, meeting environmental requirements, technology and transportation costs (Souza & Martins, 2007). It is important to mention that, except for oil and gas, whose production assumes a more important economic role, development of mining activity, tend to become stronger as a result of public ecological consciousness (Santana, 1999).

In order to clarify all results reached, Figure 7 shows a synthesis of all analyses made, through the crossing of natural fragility, marine mineral resources and potential conflict maps.

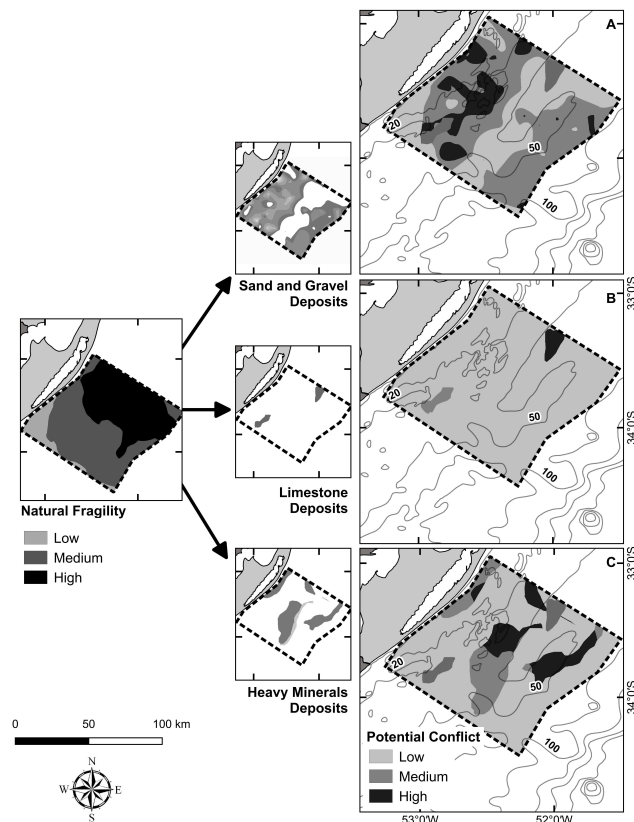


Figure 7 – A synthesis of all analysis made showing the crossing between natural fragility, marine mineral resources and potential conflict maps.

5. Conclusion

Based on the data collected and the analyzes performed by the present study we concluded there is a urgent need to establish a Marine Spatial Planning in Southern of Brazilian Continental Shelf, especially at Albardão region. It is possible through an efficient organization of socio-economic activities, in this case, the exploitation of mineral and energy resources, to avoid possible conflicts of interest (exploitation vs. conservation) and so to occur in a sustainable way.

In the CSAA, there are important submerged mineral deposits whose eventual exploitation could cause significant environmental impacts. Although there is not option of searching other locational alternative, since mineral resources were accumulate by natural processes during regional geological evolution, its distribution is not continuous nor homogeneous. The same mineral resource can be located in areas with different environmental characteristics, or distinct environmental fragility, which leads to assume that its eventual exploitation can affect the area in a different way, causing greater or lesser impact.

In addition, the submerged features identified in the Albardão region are important breeding and feeding areas for marine fauna and, as such, should be protect as a way of maintaining ecosystem functions. The presence of endemic (*R. tentaculata*) and endangered (*A. cingulatus*) benthic species, as well as the submerged features, stands out the importance of maintenance the ecosystem services against human activities. The changes caused by anthropogenic effects around the world, without a marine planned, has degraded and destroyed the environments, leading many species, even entire communities, to extinction.

Although the spatial representation of the objective to be achieved is excellent, it should be seen only as a result of the available data that were used in the multicriteria evaluation. Of the five vulnerability factors used for the mapping of natural fragility in the study area, two of them, endangered species and endemic species, presented only 4 and 5 records respectively, and these records were used for the respective vulnerability map. If there were a denser and complete sampling mesh, the results would certainly be closer to reality, greatly improving the quality of the final product.

Certainly, other variables should be considered in the analysis, such as preferential fishing sites, influence of marine currents, seasonal variations of temperature and salinity of the water column and its relation with nutrients available.

Research initiatives are needed to know the fauna of other taxa, especially top predators in areas subject to numerous environmental impacts such as the Pelotas Basin, whose exploratory potential (minerals and energy) tends to conflict with the management and preservation policies of species.

Marine Spatial Planning is a multisector process to be achieved as soon as possible in response to society's growing demands for natural resources at sea, since decision-making is often carried out even without a minimum of technical criteria. Thus, even if it addresses only one sector (mining), and in the absence of much relevant information, the result of this work is already an advance or at least the beginning of a marine management process that must be continually updated, revised and improved.

Acknowledgements

The authors would like to thank the anonymous reviewers for the very helpful and constructive comments, which improved the research. This research was developed while the first author was developing his PhD thesis. The authors also acknowledge the financial support of Agência Nacional do Petróleo during part of PhD thesis, as well as all institutions that provided the necessary data to this article.

References

Abreu, J.G.N., Calliari, L.J., 2005. Paleocanais na plataforma continental interna do Rio Grande do Sul: evidências de uma drenagem fluvial pretérita. *Revista Brasileira de Geofísica* 23 (2), 123–132.

Brilha, J., 2002. Geoconservation and protected areas. *Environmental Conservation* 29, 273-276.

Brooks, A.J., Kenyon, N.H., Leslie, A., Long, D., Gordon, J.E., 2011. Characterizing Scotland's marine environment to define search locations for new Marine Protected Areas. Part 2: The identification of key geodiversity areas in Scottish waters (Interim report July 2011). Scottish Natural Heritage Commissioned Report, n.430.

Brooks, A.J., Kenyon, N.H., Leslie, A., Long, D., Gordon, J.E., 2012. Characterizing Scotland's marine environment to define search locations for new Marine Protected Areas. Part 2: The identification of key geodiversity areas in Scottish waters (2nd interim report). Scottish Natural Heritage Commissioned Report, n. 431.

Bugoni, L., Krause, L., Petry, M.V., 2003. Diet of sea turtles in southern Brazil. *Chelonian Conservation and Biology* 4 (3), 685-688.

Calliari, L.J., Klein, A.H.F., 1992. Morphodynamics and sedimentology of Southern Brazilian beaches, Rio Grande-Chuí, RS. In: OSNLR/COMEMIR Workshop (nov. 17-19). Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica-CECO, Instituto de Geociências, UFRGS. Resumo das Comunicações.

Capítoli, R.R., Bemvenuti, C.E., 2004. Distribuição batimétrica e variações de diversidade dos macroinvertebrados bentônicos da plataforma continental e talude superior no extremo sul do Brasil. *Atlântica* 26, 27-43.

Capítoli, R.R., Bemvenuti, C.E., 2006. Associações de macroinvertebrados bentônicos de fundos inconsolidados da plataforma continental e talude superior no extremo sul do Brasil. *Atlântica* 28 (1), 47-59.

Castello, J.P., Möller Jr., O., 1977. On the oceanographic conditions in Rio Grande do Sul State. *Atlântica* 2 (2), 25-110.

Castello, J.P., Haimovici, M., Odebrecht, C., Vooren, C.M., 1997. The Continental Shelf and Slope, Chapter 7.3. In: U. Seeliger, C. Odebrecht, J. Castello, (Editors). Subtropical convergence marine ecosystem. The coast and the sea in the warm temperate Southwestern Atlantic. Springer Verlag, Heidelberg, New York, 171-178

Ciotti, A.M., Odebrecht, C., Fillmann, G., Möller Jr., O., 1995. Freshwater outflow and Subtropical Convergence influence on phytoplankton biomass on the southern Brazilian Continental shelf. *Continental Shelf Research* 15 (14), 1737-1756.

Coll, M., Santojanni, A., Palomera, I., Arneri, E., 2009. Food-web changes in the Adriatic Sea over the last three decades. *Marine Ecology Progress Series* 381,17-37.

Corrêa, I. C. S., 1983. Depósito de material carbonático da plataforma continental interna do Rio Grande do Sul, Brasil. In: P.M. Arana (editor) Proceedings of the international conference on marine resources of the Pacific. Viña del Mar, Chile, 155-163.

Corrêa, I.C.S., 1987. Sedimentos Superficiais da Plataforma e Talude Continental do Rio Grande do Sul. *Pesquisas em Geociências* 19, 95-104.

Corrêa, P.R.S., Ramos, V.L.S., 1995. *Diagnóstico geoambiental*. Projeto Mapas Municipais – município de Morro do Chapéu (BA). Salvador: CPRM-SUREG/SA, 148- 155.

Corrêa, I.C.S., 1996 Les variations du niveau de la mer durant les derniers 17.500 ans BP: l'exemple de la plate-forme continentale du Rio Grande do Sul-Brésil. *Marine Geology* 130, 163-178.

Corrêa, I.C.S., Ayup-Zouain, R.N., Weschenfelder, J., Tomazelli, L.J., 2008. Áreas fontes dos minerais pesados e sua distribuição sobre a Plataforma Continental Sul-brasileira, Uruguia e Norte-argentina. *Pesquisas em Geociências* 35 (1), 137-150.

Crowder, L., Norse, E., 2008. Essential ecological insights for marine ecosystem-based management and marine spatial planning. *Marine Policy* 32 (5), 772-778.

Dantas, M.E., Shinzato, E., Medina, A.I.M., Silva, C.R., Pimentel, J., Lumberras, J.F., Calderano, S.B., Carvalho Filho, A., 2001. Diagnóstico geoambiental do estado do Rio de Janeiro. In: CPRM. *Rio de Janeiro: geologia, geomorfologia, geoquímica, geofísica, recursos minerais, economia mineral, hidrogeologia, estudos de chuvas intensas, solos, aptidão agrícola, uso e cobertura do solo, inventário de escorregamentos, diagnóstico geoambiental*. Rio de Janeiro: CPRM; Embrapa Solos; [Niterói]: DRM-RJ.

Day, J., 2002. Zoning lessons from the Great Barrier Reef Marine Park. *Ocean and Coastal Management* 45, 39–56.

Douvere, F., Maes, F., Vanhulle, A., Schrijvers, J., 2007. The role of marine spatial planning in sea use management: the Belgian case. *Marine Policy* 31 (2), 182-191.

Diniz, N.C., Dantas, A.C., Scliar, C., 2005. Contribuições à política pública de mapeamento geoambiental no âmbito do levantamento geológico. In: Oficina Internacional de Ordenamento Territorial Mineiro. Rio de Janeiro: CPRM/CYTED.

Earney, F.C.E., 1990. Marine mineral resources. Ocean Management and Policy Series, Routledge.

Eastman, J.R., 1997. IDRISI for Windows version 2. Tutorial Exercises. Worcester, Clark University.

Ehler, C., Douvère, F., 2009. Marine spatial planning: a step-by-step approach toward ecosystem-based management. Intergovernmental Oceanographic Commission and Man and the Biosphere Programme, Paris, UNESCO.

Felton, A., 2010. Marine geotourism development at the Sapphire Coast Marine Discovery Centre, Eden, NSW. In: Symposium of Geodiversity, Geological Heritage and Geotourism. Sydney, Australia. Report.

Figueiredo, A.G. Jr., 1975. Geologia dos depósitos calcários biodetríticos da plataforma do Rio Grande do Sul. Tese de Mestrado em Geociências. UFRGS. 72 pp.

Fresi, E., Gambi, M.C., Focardi, S., Bargagli, R., Baldi, F., Falsial, L., 1983. Benthic community and sediment types: a structural analysis. *Marine Ecology* 4 (2), 101-121.

Galparsoro, I., Connor, D.W., Borja, A., Aish, A., Amorim, P., Bajjouk, T., Chambers, C., Coggan, R., Dirberg, G., Ellwood, H., Evans, D., Goodin, K.L., Grehan, A., Haldin, J., Howell, K., Jenkins, C., Michez, N., Mo, G., Mortensen, P., Pearce, B., Populus, J., Salomidi, M., Sánchez, F., Serrano, A., Shumchenia, E., Tempera, F., Vasquez, M., 2012. Using EUNIS habitat classification for benthic mapping in European seas: Present concerns and future needs. *Marine Pollution Bulletin* 64 (12), 2630–2638.

Gordon, J.E., Barron, H.F., 2011. Scotland's geodiversity: development of the basis for a national framework. Scottish Natural Heritage Commissioned Report, n. 417.

Gray, L.J., Fisher, S.G., 1981. Postflood recolonization pathways of macroinvertebrates in a lowland Sonoran Desert stream. *American Midland Naturalist* 106, 249–257.

Gray, M., 2008. Geodiversity: developing the paradigm. *Proceedings of the Geologists' Association* 119 (3–4), 287–298.

Heip, C., Vincx, M., Vranken, G., 1985. The ecology of marine nematodes. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review* 23, 399–489.

Hilton, M.J., 1994. Applying the principle of sustainability to coastal sand mining: The case of Pakiri-Mangawhai Beach, New Zealand. *Environmental Management* 18 (6), 815–829.

Hitchcock, D.R., Bell, S., 2004. Physical impacts of marine aggregate dredging on seabed resources in coastal deposits. *Journal of Coastal Research* 20, 101–114.

Horn Filho, N.O., 2003. Setorização da Província Costeira de Santa Catarina em base aos aspectos geológicos, geomorfológicos e geográficos. *Geosul* 18 (35), 1–98.

IOPTC - Interagency Ocean Policy Task Force, 2009. Interim Framework for Effective Coastal and Marine Spatial Planning. The White House Council on Environmental Quality, USA.

Kaskela, A.M., Kotilainen, A.T., Al-Hamdani, Z., Leth, J.O., Reker, J., 2012. Seabed geomorphic features in a glaciated shelf of the Baltic Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 100, 150–161.

Katsanevakis, S., Stelzenmüller, V., South, A., Sørensen, T.K., Jones, P.J.S., Kerr, S., Badalamentig, F., Anagnostoua, C., Breenc, P., Chusth, G., D'Annag, G., Duijini, M., Filatovaj, T., Fiorentinog, F., Hulsmanj, H., Johnsonf, K., Karageorgisa, A.P., Krönckek, I., Mirtog, S., Pipitoneg, C., Portellil, S., Qiue, W.,

Reissk, H., Sakellarioua, D., Salomidia, M., Hoofm, L.V., Vassilopouloua, V., Fernándezg, T.V., Vögek, S., Webern, A., Zenetosa, A., Hofstedem, R.T., 2011. Ecosystem-based marine spatial management: review of concepts, policies, tools, and critical issues. *Ocean and Coastal Management* 54, 807-820.

Kim, C.S., Lim, H. S., 2009. Sediment dispersal and deposition due to sand mining in the coastal waters of Korea. *Continental Shelf Research* 29 (1), 194–204.

MMA – Ministry of Environment. 2007. Priority areas to Brazilian biodiversity conservation.

MMA - Ministry of Environment. Marine Spatial Planning. Available in: <<http://www.mma.gov.br/gestao-territorial/gerenciamento-costeiro/not%C3%ADcias-do-gerenciamento-costeiro/item/10419-planejamento-espacial-marinho>>. Access on: 10 março 2018.

Machado, A.B.M., Drummond, G.M., Paglia, A.P., 2008. Livro vermelho da fauna brasileira ameaçada de extinção. Ministério do Meio Ambiente, Brasília. *Série Biodiversidade* 19.

Maia, M.A.M., Castro, J.W.A. 2015. Methodological proposal for characterization of marine geodiversity in the South Atlantic: Vitória-Trindade Ridge and adjacent areas, southeast of Brazil. *Journal of Integrated Coastal Zone Management* 15(3): 293-309

Martins, L.R., Martins, I.R., Wolff, I. M., 1999. Sand deposits along Rio Grande do Sul (Brazil) inner continental shelf. In: L.R. Martins and C.I. Santana (editors). Non Living Resources of the Southern Brazilian Coastal Zone and Continental Margin. OAS/IOC-UNESCO/MCT. Publication 26-38. Porto Alegre. Brasil.

McLusky, D.S., McIntyre, A.D., 1988. Characteristics of the benthic fauna. In: J. Postma and J.J. Zijlstra (editors). *Ecosystems of the World. Continental Shelves*. pp. 131–154. Amsterdam, Elsevier.

Möller Jr., O.O., Piola, A.R., Freitas, A.C., Campos, E.J.D., 2008. The effects of river discharge and seasonal winds on the shelf off Southeastern South America. *Continental Shelf Research* 28, 1607-1624.

Monteiro, D.S., 2017. Encalhes de tartarugas marinhas e uso de habitat por *Caretta caretta* no sul do Brasil. Doctoral thesis. Universidade Federal do Rio Grande - FURG, Rio Grande. 180p.

Nascimento, F.J.A., Näslund, J., Elmgren, R., 2012. Meiofauna enhances organic matter mineralization in soft sediment ecosystems. *Limnology and Oceanography* 57 (1), 338-346.

Newell, R.C., Seiderer, L.J., Hitchcock, D.R., 1998. The impact of dredging works in coastal waters: a review of the sensitivity to disturbance and subsequent recovery of biological resources on the seabed. *Oceanography and Marine Biology – An Annual Review* 36, 127-178.

Nunes, J.C., Lima, E.A., Medeiros, S., 2007. Os Açores, ilhas de geodiversidade: o contributo da Ilha de Santa Maria. *Açoreana* 5, 74-111.

Panizza, M., 2009. The Geomorphodiversity of the Dolomites (Italy): a key of geoheritage assessment. *Geoheritage* 1, 33-42.

Piola, A.R., Campos E.J.D., Möller Jr., O.O., Charo M., Martinez C., 2000. The Subtropical Shelf Front off eastern South America, *Journal of Geophysical Research* 105, 6565–6578.

Roff, J.C., Taylor, M.E., 2000. National frameworks for marine conservation a hierarchical geophysical approach. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 10, 209–223.

Roff, J.C., Taylor, M.E., Laughren, J., 2003. Geophysical approaches to the classification, delineation and monitoring of marine habitats and their communities. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 13, 77–90.

Rovere, A., Vacchi, M., Valeriano, V., Morri, C., Bianchi, C. N., Firpo, M., 2011. Bringing geoheritage underwater: definitions, methods and application in two Mediterranean marine areas. *Environmental Earth Science* 64 (1), 133-142.

Saaty, T.L., 2008. Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences* 1 (1), 83-97.

Salomidi, M., Katsanevakis, S., Borja, Á., Braeckman, U., Damalas, D., Galparsoro, I., Mifsud, R., Mirto, S., Pascual, M., Pipitone, C., Rabaut, M., Todorova, V., Vassilopoulou, V., Vega Fernández, T., 2012. Assessment of goods and services, vulnerability, and conservation status of European seabed biotopes: a stepping stone towards ecosystem-based marine spatial management. *Mediterranean Marine Science* 13, 49–88.

Santana, C.I., 1999. Mineral resources of the Brazilian Continental Margin and adjacent oceanic regions. In: L.R. Martins and C.I. Santana (editors). Non Living Resources of the Southern Brazilian Coastal Zone and Continental Margin. OAS/IOC-UNESCO/MCT. Publication 15-25. Porto Alegre. Brasil.

Semenov, V.N., Berman, I.S., 1977. Biogeographic aspects of the distribution and dynamics of the water masses off the South American coast. *Oceanology* 17 (6), 710-718.

Serrano Cañadas, E., Ruiz Flaño, P., 2007. Geodiversidad: concepto, evaluación y aplicación territorial. El caso de Tiernes Caracena (Soria). *Boletín de la A. G. E. N.* 45, 79-98.

Silva, C.R., Marques, V.J., Dantas, M.E., Shinzato, E., 2008a. Aplicações múltiplas do conhecimento da geodiversidade. In: C.R. Silva (Editor).

Geodiversidade do Brasil: conhecer o passado para entender o presente e prever o futuro. Rio de Janeiro: CPRM, 13, 181-203.

Silva, C.R., Ramos, M.A.B., Pedreira, A.J., Dantas, M.E., 2008b. Começo de tudo. In: C.R Silva (Editor). Geodiversidade do Brasil: conhecer o passado para entender o presente e prever o futuro. Rio de Janeiro: CPRM, 1, 11-19.

Souza, K.G., Pereira, C.V., Neto, M.B.R., 2007a. Arcabouço legal internacional e o espaço marinho brasileiro. *Parcerias Estratégicas* 24, 41-60.

Souza, K.G., Martins, L.R.S., Cavalcanti, V.M.M., Pereira, C.V., Borges, L., 2007c. Recursos minerais marinhos: fatos portadores de futuro, prioridades de estudo no Brasil e projetos estruturantes. *Parcerias Estratégicas* 24, 247-261.

Souza, K.G., Martins, L.R.S., Cavalcante, V.M.M., Pereira, C.V., Borges, L., 2009. Recursos não-vivos da Plataforma Continental Brasileira e áreas oceânicas adjacentes. *Gravel* 3, 1-77.

Tagliani, C.R.A., 2003. Técnicas para avaliação da vulnerabilidade ambiental de ambientes costeiros utilizando um sistema geográfico de informações. Anais XI SBSR, Belo Horizonte, Brasil, 05 - 10 abril, INPE, 1657 – 1664.

Theodorovicz, A., Theodorovicz, A.M.G., Cantarino, S.C., 1999. Projeto Curitiba: atlas geoambiental da região metropolitana de Curitiba – subsídios para o planejamento territorial. 1:150.000. São Paulo: CPRM/Serviço Geológico do Brasil, 48 p.

Thrush, S.F., Dayton, P.K., 2002. Disturbance to marine benthic habitats by trawling and dredging: implications for marine biodiversity. *Annual Reviews of Ecology and Systematics* 33, 449–473.

Velinga, T., 1989. Environmental effects of dredging and disposal operations. In: Proceedings of the XII World Dredging Congress, 236-252.

Ventura, C.R.R., Borges, M., Campos, L.S., Costa-Lotufo, L.V., Freire, C.A., Hadel, V.F., Manso, C.L.C., Silva, J.R.M.C., Tavares, Y.A.G., Tiago, C., G., 2013. Echinoderm from Brazil: Historical Research and the Current State of Biodiversity Knowledge. In: J.J. Alvarado and F.A. Solís-Marín (Editors). Echinoderm Research and Diversity in Latin America. Springer-Verlag 1, 301-344.

Villwock, J.A., 1977. Concentrações de areias negras ao longo da costa do Rio Grande do Sul. In: Simpósio Brasileiro de Mineração, Resumo dos Trabalhos. Porto Alegre, p.38-39.

Vooren, C.M., Klippel, S., 2005. Diretrizes para a conservação de espécies ameaçadas de elasmobrânquios. In: C.M. Vooren and S. Klippel (editors). Ações para a conservação de tubarões e raias no sul do Brasil. Porto Alegre, 213-246.

Capítulo 2

Ecosystem-based marine spatial planning: an approach to marine and coastal areas of southernmost Brazil.

Paulo H. Mattos; Jean Espinoza; Raphael M. Pinotti; João L. Nicolodi; Lauro J. Calliari;
Kahuam S. Gianuca

(Manuscrito submetido ao periódico Marine Policy)

Ecosystem-based marine spatial planning: an approach to marine and coastal areas of southernmost Brazil.

Paulo H. Mattos; Jean Espinoza; Raphael M. Pinotti; João L. Nicolodi; Lauro J. Calliari;
Kahuam S. Gianuca

Abstract

Human uses in marine and coastal areas are expanding at a pace that challenges our capacity to plan them from a sectoral approach, requiring a more integrated, extensive, flexible and proactive for planning and managing these activities. Ecosystem-based management recognizes interactions within an ecosystem and effectively integrates science and policy for a natural resources' management. The aim of this paper is to propose a tool that subsidize a Marine Spatial Planning through ecosystem-based approach for the Inner Continental Shelf Adjacent to the Lagoa dos Patos estuary, due to environmental attributes, multiple uses and potential for mineral exploration. This area presents a certain environmental sensitivity, due to the presence of benthic threatened species, as well as the presence of submerged features, like the Parcel do Carpinteiro beach rock outcrop, which is an important shelter, feeding and reproductive area for several marine species. The ecosystem-based management proposal presented in this study allowed the identification of areas with different abilities and can subsidize actions for the implementation of Marine Spatial Planning, guaranteeing, thus, the sustainable use of marine and coastal resources, without compromising current and future demands of society. The result of this work is an advance at the beginning of a marine management process that must be continually updated, revised and improved.

Key words: ecosystem approach; inner continental shelf; zoning scheme; integrated analysis

1. Introduction

Marine and coastal ecosystems are habitats with complex interactions. Both provide countless ecologic, economic, cultural and aesthetic benefits and are among the most productive and dynamic ecosystems (1,2). Currently, the greatest challenge is to reconcile the conservation of the innumerable natural resources present in the marine environment with the intense development process demanded by the coastal zones, through a better management of the multiple human uses of the ocean and a better knowledge of natural and socioeconomic systems' responses to our actions (3).

This aspect includes the Marine Spatial Planning (MSP), important management tool adopted by several countries in the creation and establishment of a more rational organization of the use of marine space, in order to balance the demands of development with the need to protect the marine ecosystems through the analysis and allocation of the spatial and temporal distribution of human activities (4).

The ecosystem-based management (EBM) is a methodological approach that emerged in the 1990s with the work of Griffis & Kimball (5) and Christensen *et al* (6). In both, the authors discuss the problematic in the management of marine and coastal resources in a sectoral way and highlight the ecological and socioeconomic problems from limited and imprecise information, emphasizing that they could be minimized or avoided by adopting an EBM approach.

This approach is built on the recognition that nature, on its own, is integrated and that a holistic management approach must be adopted (7). In the case of marine environment, EBM is defined as an environmental management approach that recognizes the complete set of interactions within a marine ecosystem, including human activities, rather than considering only ecosystemic issues, species or services in isolated way. The growing awareness and formalization of the ecosystem approach emerged as a result of international environmental agreements in the framework of United Nations, and a fundamental description of this approach was formalized, for the first time, in the Stockholm Declaration in 1972 (8)

Marine resources play a vital role in social and economic development for industries such as fishing, tourism, agriculture, pharmaceuticals, transport and mining, but the increasing consumer demand and the advent of new technologies in conjunction with the population growth rate, have increased the dependence on these resources (9). Therefore, there is a need to find a balance between economic development, social needs and environmental sustainability when we are dealing with the use and management of the oceans.

In the early 2000s, the United Nations published the Millennium Ecosystem Assessment (MEA), an international work program designed to meet the needs of decision makers and the public in general in the search for scientific information on the consequences of ecosystem changes for the Earth well-being and the options to have a response to these changes.

This program focuses on ecosystem services (the benefits that people obtain from ecosystems) and also on evaluate how the changes in these services affect human well-being, how they can affect people in future decades, and the response options adopted at the level local, national or global scales to improve ecosystem management and, thus, contribute to population well-being and poverty reduction.

Rapid population growth, technological evolution and increasing population needs have increased the demand for more food, energy and the implementation of other activities such as offshore aquaculture, whale-watching tourism and the installation of structures for the generation of renewable energy (10). Due to the reduction or limitation of certain resources in the continental areas, there is a need for a greater supply of goods and services from the coastal areas, and the extraction of resources has been progressively expanded to deeper and distant marine waters (11).

In addition to the risk related to the loss of ecosystem functions, the greatest concern today is related to the impact that activities acting together in the same area can generate in the marine environment or, in other words, the conflicts between human uses and the marine environment. With limited resources in space and quantity, economic development has already proven to be devastating in many places, raising competition among users and interest groups and resulting in increasingly undesirable effects, including overfishing,

habitat loss and destruction, pollution, climate changes and cumulative threats to the oceans as a whole (10).

Designating marine areas for particular uses is not a recent initiative, however, planning and managing these areas in a more comprehensive and integrated way is relatively new. Countries such as the United States and the Philippines have adopted a zoning to create protected marine areas (12,13), besides China which recently approved a national legislation that requires the development of multi-use zoning plans for its entire territory (14).

Brazil has, in its Exclusive Economic Zone (EEZ), rights of sovereignty for the purpose of exploration and exploitation, conservation and management of natural resources, besides other activities for its exploitation and exploitation (15). The dominant physical and chemical oceanographic characteristics, as well productivity are responsible for the enormous diversity of resources present in this realm (16).

The Atlantic Southwest Ocean, which extends from *Terra do Fogo* (55°S) – Argentina to Cabo Frio (22°S) - Brazil, is characterized by being one of the most energetic and complex areas of the oceans (17), where there are intense mixing processes of water bodies, fronts, ocean-atmosphere interactions and high biological productivity, besides significant continental inputs on the ASO Continental Shelf, from *Rio da Prata* and the *Patos-Mirim lagoon system*. This high productivity has been shown in the numerous scientific works carried out in the last decades in this region (18-27).

The aim of this work is to propose an integrated analysis methodology, using the ecosystem-based management approach for the Inner Continental Shelf Adjacent to the *Lagoa dos Patos* estuary, through environmental variables, current and potential uses, subsidizing the implementation of Marine Spatial Planning.

2. Study Area

The study area is located in the southern Brazil, RS, encompassing the Inner Continental Shelf adjacent to the *Lagoa dos Patos* estuary, limited by the *Albardão* Lighthouse to the south (32° 88'S and 52° 50'W), the *Conceição* Lighthouse to the north (31° 77'S and 51° 56'W) and the 100 m bathymetry toward the sea (Fig. 1).

This region presents peculiar characteristics of use, since it is a navigation route of large merchant ships that has as destination the Rio Grande Harbor, besides coexisting different activities, like the industrial fishing (gillnet and trawling), anchoring area, dredged disposal area and traffic of small tourist vessels.

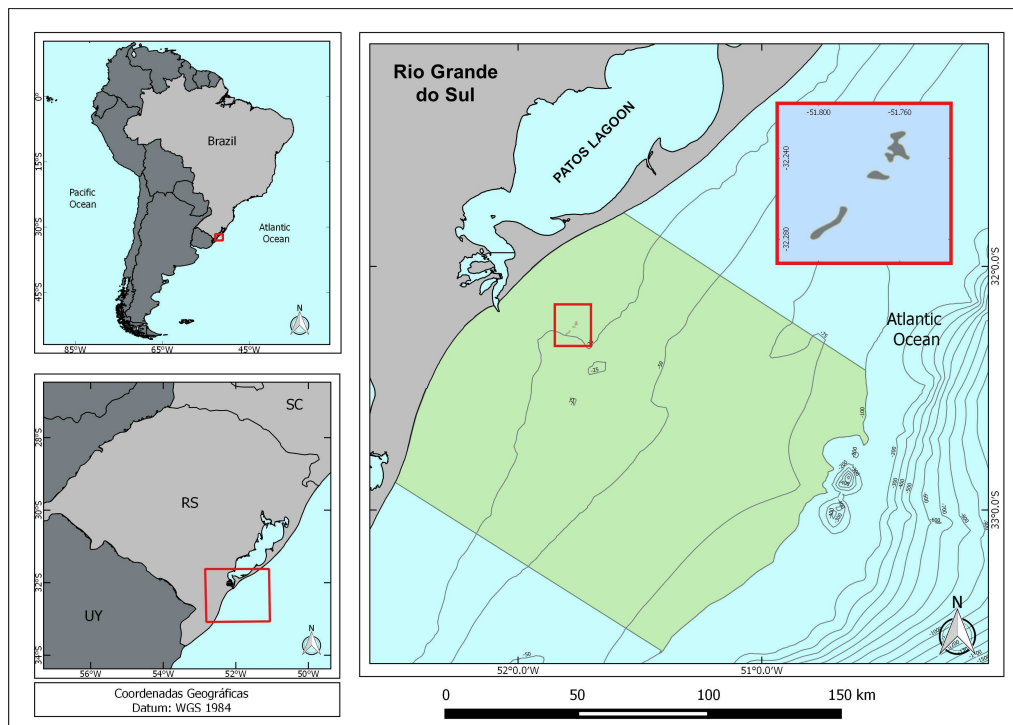


Figure 1. Localization of the study area in the southernmost portion of Brazil, emphasizing Parcel do Carpinheiro outcrop.

In addition to these distinct activities, it is worth mentioning the presence of a submerged feature known as Parcel do Carpinheiro beach rock outcrop, which is located at about 20 m water depth about 15 nautical miles to the southeast of the mouth of the Lagoa dos Patos, composed of beach rocks outcrops associated with shell gravel deposits and quartzose fluvial coarse sand which represent relict sediments enveloped by fine sands with characteristics similar to the sands of beaches and dunes of the current coastal plain, being thus interpreted as ancient coastline (28).

This submerged feature is in fact composed of three outcrops parallel to the coastline, being its origin related to the oscillations of the sea level during the Quaternary period, which drowned and reworked old coastlines deposits

generating the outcrops due to the precipitation and cementation of calcium carbonate. (29). This feature confers an ecosystemic importance for marine biota since it is considered a feeding and reproduction area for several marine species (30,31) and for being an important site with paleontological material (32-34).

Also noteworthy is the existence of the Municipal Conservation Unit Wildlife Refuge (Municipal Law N°. 007/96) located at the eastern jetty at the mouth of *Lagoa dos Patos*, where South American sea lions *Otaria flavescens* populations rest there during their northward foraging trips probably from the coast of Uruguay in winter and spring (35), in addition to the exclusion zone of gillnet fishing around the jetties and the adjacent marine coast (INI n° 12/12), for protection of the bottlenose dolphins *Tursiops truncatus* (36). Although located in the coastal region, these two protection areas would be under indirect influence of activities that may arise in the adjacent oceanic region, such as the exploitation of mineral resources or the choice of new areas for dredged disposal, reinforcing the need to integrate them into eventual authorizations for dredging and marine mining.

In relation to the sedimentary characteristics of this region, they have been studied since the 1960s (37,38), and since then several textural maps have been generated in order to understand the sediment distribution and genesis (39-43). The program of Global Recognition of Brazilian Continental Margin - REMAC (1977) was a pioneer in the grouping of several data, generating one of the first and most complete sediment maps of southern Brazil (44).

The Southern Brazilian Continental Shelf (SBCS) presents a fairly continuous sediment distribution, with almost 90% of the inner portion being made up of predominantly quartzose sand and shell gravel deposited in coastal environments. On the other hand, the middle portion contains clay and silt, of a terrigenous nature, poor in sand and deposited in a past lagoon coastal environment, while the outer zone consists of relict gravel shell deposits, composed of molluscs and foraminifera shells and crustaceans exoskeletons (45).

The oceanographic conditions are influenced by the Subtropical Convergence which results from the interaction among different water masses, especially the Tropical Water - TW, Subantarctic Water - SAW and South Atlantic Central Water - SACW (46,47). In addition to these main water bodies, Piola and Matano (17) found, on the Southern Brazilian Continental Shelf, the presence of Subtropical Shelf Water (STSW) and Subantarctic Shelf Water (SASW), characterized as typical of this region.

3. Methodology

With aim to produce the respective thematic maps, the following datasets were used: a) surface sedimentology, from Geological Oceanography Laboratory of Federal University of Rio Grande and from Center of Coastal and Oceanic Geology Studies of Federal University of Rio Grande do Sul; b) location of the Parcel do Carpinteiro outcrop from the digitalisation of the nautical chart bathymetric DHN N° 2110 of the Brazilian Navy; c) occurrence of mineral resources from Geological Survey of Brazil (CPRM); and, d) data of benthic fauna provided by Ecology of Macroinvertebrates Laboratory of the Federal University of Rio Grande and specialized bibliographical databases.

A total of 994 sediment samples were inserted into the spatial analysis function of GIS and then interpolated through the natural-neighbor method, indicated for regularly distributed stitch meshes for offering a better fit when not extrapolating values, solving the interpolation only within the data domain (48). Data on the benthic fauna were grouped separately as follow: 1) Total Abundance; 2) Trophic important species and; 3) Threatened Species.

For groups 1 and 2 the spatialized data were transformed into continuous surfaces through the Kernel density estimator and then rescaled through normalization to linear function with continuous values between 0 and 1. For group 3 a correlation with the bathymetry and the type of substrate was performed as a way of inferring possible occurrence areas, since these species present a strategic conservation character. This information was later standardized and constituted a single database, being inserted in the Quantum GIS software for generating thematic maps and multicriteria statistical analysis (Fig. 2).

In this method, all data related to the problem of interest are initially defined, for which a variance matrix is established, with subsequent ranking and analysis.

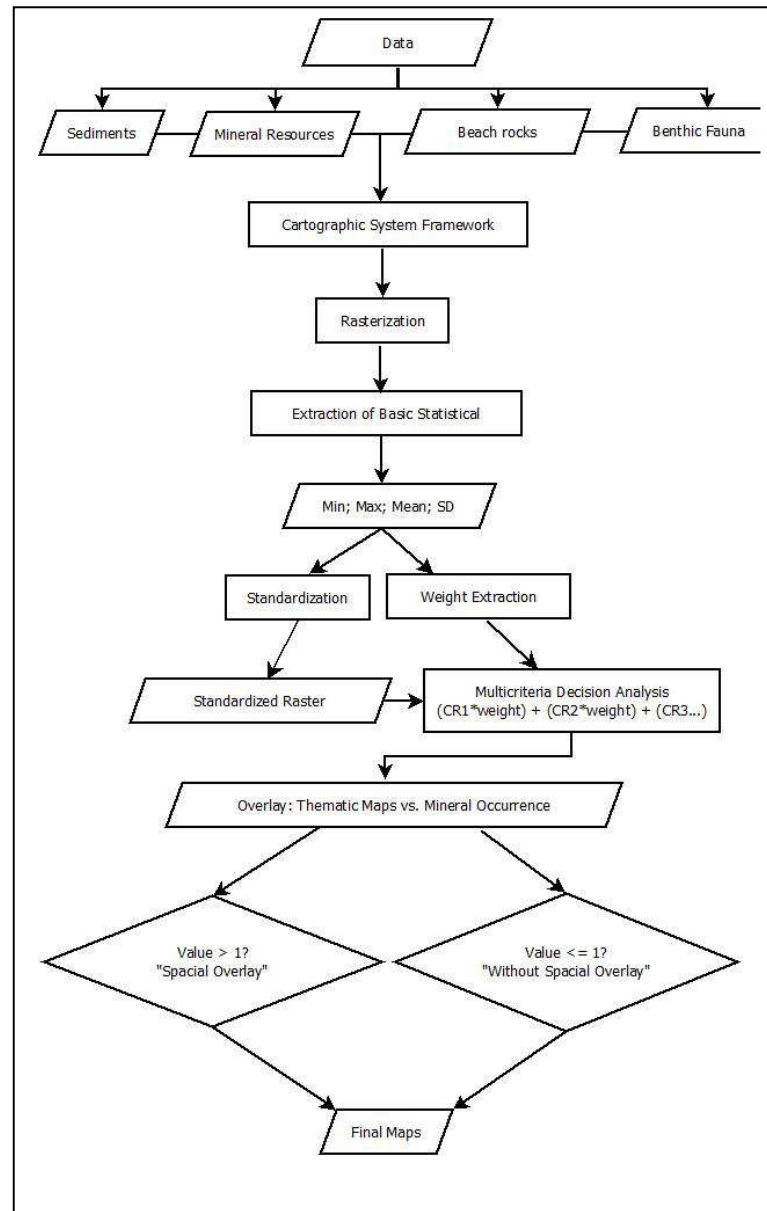


Figure 2. Steps of methodological analysis used.

The central idea of multicriteria statistical analysis is based on the fact that a criteria of high spatial variance will be more important in site differentiation than a low spatial variance. Thus, if a criteria varies spatially it will be important in differentiating the more or less suitable places for the analysis. In addition, the study should be based on the selection and representation of the criteria, in raster format (spatially continuous), that characterize the analysis.

This data format allows map algebra between each criterion, forming a desired analysis model. The organization of these criteria into plans with equal information and spatial resolution is fundamental for the operation of image algebra, since only matrices with equal dimensions can be operated algebraically (49).

The identification of the most important criteria is necessary to validate the hierarchical analysis model and, in this way, to point the areas with greater aptitude for conservation, mining and multiple uses, for example. The technique of algebra maps, a term coined by Tomlin (50), is characterized as being a set of procedures of spatial analysis in the generation of new data, from manipulation functions applied to one or more maps in raster form (51). This view conceives the spatial analysis as a set of mathematical operations on maps, in analogy to the traditional algebra and statistical environments. The maps are treated as individual variables and the functions defined on these variables are applied homogeneously to all points on the map.

4. Results and Discussion

A sedimentological map was initially drawn based on the average grain size (ie, Φ_i) and subsequent interpolation of the samples in order to obtain the spatial distribution of the sediments (Fig. 3). From this map it is possible to observe the predominance of fine sand sediments between the coastal zone and the isobath of 50m, together with some coarse and medium quartzose sand and shell gravell deposits (in red), while in the deeper areas and in the adjacent of Lagoa dos Patos mouth predominate a muddy bottom composed of silt and clay.

It is also observed the geomorphological and sedimentary differentiation of the shoreface and inner shelf to the north of Lagoa dos Patos jetties, where predominate sandier bottoms, and to the south, with more muddy sediments. This difference imposes different management actions by the competent environmental agencies, such as the need for locational alternatives for dredged disposal, making clear the suitability of the south area of the jetties due to substrate type.

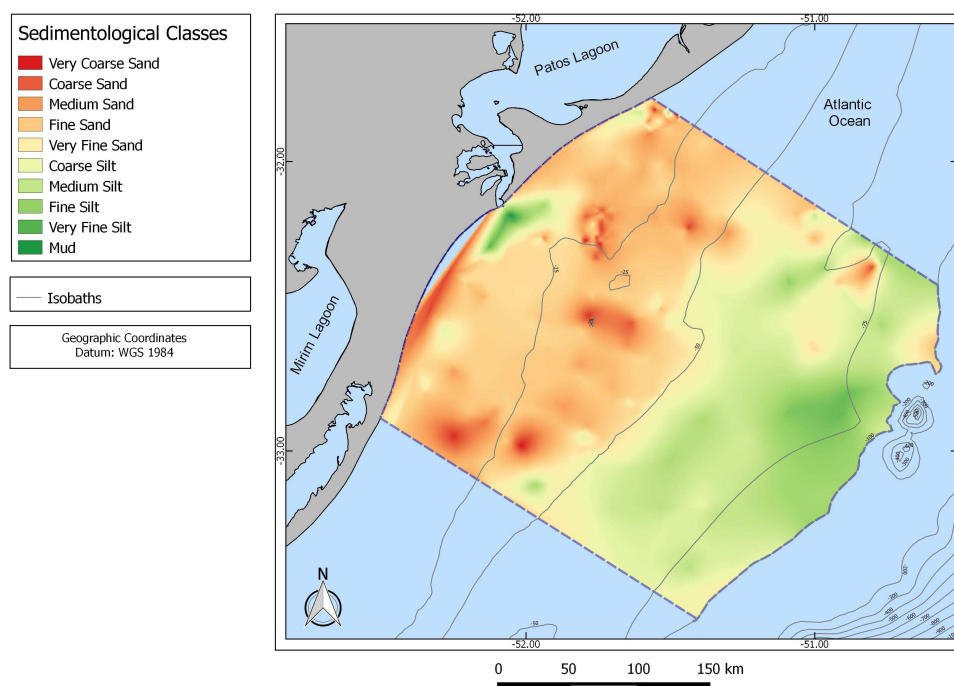


Figure 3. Spatial distribution of sedimentological classes in study area.

The identification of this sedimentological pattern is fundamental in the understanding of the benthic communities, since the type of substrate is considered one of the main factors that influence the distribution and abundance of the benthic fauna, and environments with greater variety of sediment types tend to present a bigger number of species (52,53).

The distribution and abundance of the benthic macroinvertebrates of the Continental Shelf of *Rio Grande do Sul* state have been studied by several authors, with approaches related to the factors that influence the distribution of the species (54-58) and characterization of macrozoobenthic associations and relationships with environmental conditions (59).

The benthic fauna is considered an important item in the trophic level of important commercially fishes (60,61), as well as vertebrates at some conservation risk, such as the dusky grouper *Epinephelus marginatus*, currently endangered, the narrownose shark *Mustelus schmitti*, critically endangered, and the loggerhead sea turtle *Caretta caretta*, recently emerged as a threat (26,62,63). Among the macroinvertebrates species identified from the cited

studies, it must be highlighted the starfish *Astropecten cingulatus*, currently considered vulnerable by the Red Book of the Brazilian Threatened Fauna (64) and the crustacean *Loxopagurus loxochelis*, considered an important food item of *C. caretta* (63).

The figure 4 presents a spatial density for the total abundance (Fig. 4a) and trophic important species (Figure 4b) of the benthic fauna registered in the study area and also the correlation between the sampling points for *A. cingulatus* and the type of substrate in which they were found generating, thus, a projection of the area that would present the potential for occurrence of this species (Fig. 4c). Adopting as premise the Precautionary Principle "*where there is a threat of substantial reduction or loss of biological diversity, the lack of full scientific certainty should not be invoked as a reason for delaying action to avoid or minimize such threat*" (65), this projection could overcome the lack of data until a more samples can be collected in the this area, avoiding possible conflicts between the conservation of this species and anthropic activities that may occur in the region, such as marine mining.

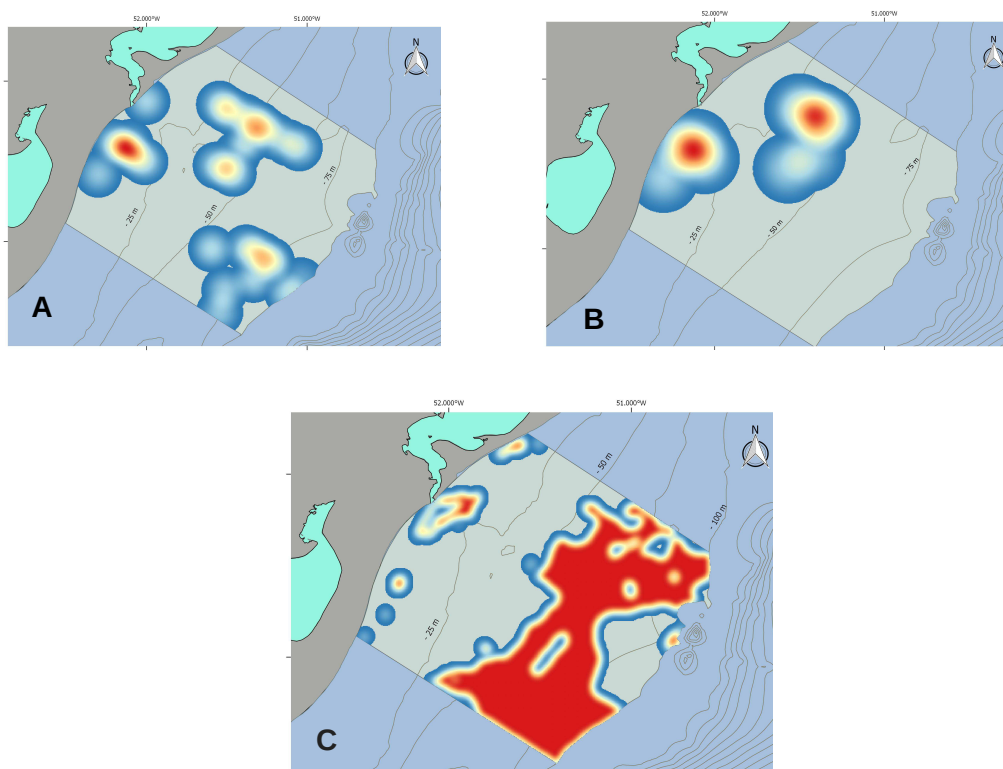


Figure 4. Kernel density estimator (red: high density; yellow: low density; blue: no data) for total abundance (A) and trophic important species (B), besides the correlation between *A. cingulatus* data points and substrate type they were found (C), projecting a potential occurrence area (red).

The substrate present in the projection area for *A. cingulatus* (Fig. 4c) is mainly composed of sandy mud sediments, which is the preferred environment for the species (66). Further studies on the distribution of starfish show that most of these species are tropical and widely distributed in the Atlantic Ocean, being possible to extend to temperate zones under the influence of hot waters and wide bathymetry distribution, from shallow water up to 300m deep, although higher densities are found up to 100m (67,68).

For the "Trophic important species" group, it must be highlighted the decapods *Anomura L. loxochelis*, also known as hermit crab and quite common along the continental shelf of *Rio Grande do Sul - CSRS* (69), being more abundant between 30°S and 32°S (70). From the GPS tracking of loggerhead turtles (*Caretta caretta*), it was possible to identify the probable foraging areas for the specie, due to high frequency and intensity of use, besides being detected a higher occurrence near the coast (71). These areas coincide with the surveys on the benthic macroinvertebrates present in the CSRS and the sampling points where *L. loxochelis* was observed (57,58,70), emphasizing the importance of this crustacean as the main food item (63), as well as spider crabs *Libinia spinosa* and *Buccinanops* spp. gastropods, also abundant around Parcel do Carpinteiro outcrop (72).

In addition to the presence of crustaceans, the outcrop is currently recovered by an abundant and exuberant epibiota, mainly cnidarians of the genus *Leptogorgia*, most representing new occurrences for Rio Grande do Sul state (73), and macroalgae *Rhodomenia delicatula*, which was cited only for British Isles and Mediterranean (74). The surrounding of the outcrop area also demonstrates to be an important area, under a paleontological view, with fossil records of marine organisms, such as sharks and crustaceans, and bones of extinct terrestrial mammals associated with shell gravel (33). These records are considered important tools for paleoecological and paleoenvironmental analysis, as well as providing information for the understanding of the previous conditions (75)

Finally, it is possible to emphasize the presence of zooxanthellae corals. The greatest diversity of these organisms occurs between 100 and 300 m isobaths, with only one species, *Astrangia rathbuni*, recorded for the inner Shelf, between 50 and 100 m isobaths (76). These organisms are extremely

important for demersal and benthic fauna, emphasizing aspects of refuge, nursery, feeding (77) and also the ability to establish areas of consolidated substrate from unconsolidated, a concretions phenomenon produced by limestone secretory organisms (78).

The figure 5 shows the areas of interest for mining, obtained from the Brazilian Legal Continental Shelf Atlas (APCJB), available by the Brazilian Geological Survey. There it is possible to observe the occurrence of heavy minerals represent by Ilmenite, Monazita or Zircon (dark gray), in addition to biotrititic limestone (light gray). Results obtained from studies carried out in the South-Brazilian, Uruguayan and North-Argentine Continental Shelf characterized the presence of concentrations of heavy minerals in regions submitted to the marked beach or river past influences (79). Marine mining requires some measures of environmental control and monitoring, depending on the current environmental legislation. However, it is common the conducting of environmental studies before and during the project, addressing issues of control and evaluation of environmental impact, the environmental sensitivity of the area and the proposal of alternatives of disposal as a way of reducing impacts (80).

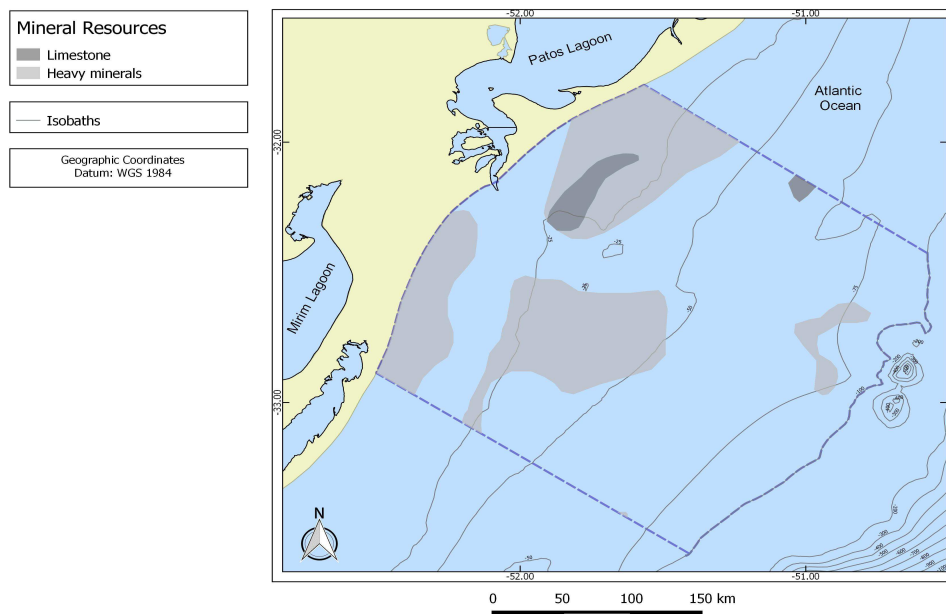


Figure 5. Location of mineral resources in study area. Source: (81).

The fact that this activity causes both direct and indirect impacts, either in the benthic environment itself or in the organisms that inhabit it, has made countries such as the United Kingdom and the United States adopted preventive measures as a way of mitigating these impacts, like the allocation in specific areas of concession and rigid control by government agencies (82,83). In addition, several studies approach the question of impacts caused by gravel, sand and marine minerals mining over benthic communities, in terms of habitat loss and recolonization of anthropized environments (84-90).

Taking into consideration the environmental characteristics raised in this work and the economic activities present in the adjacent Continental Shelf of *Lagoa dos Patos*, this study proposes a zoning for these activities, taking into account the most important areas for conservation of the benthic fauna, the most suitable areas to mineral resources exploitation present in the region and the proposal of a Marine Protected Area (MPA) in the surroundings of *Parcel do Carpinteiro* outcrop due to its ecosystemic importance.

Several studies highlight the importance of this outcrop to the inner Shelf marine ecosystem and the creation of this MPA would guarantee the main ecosystem services offered by this environment, it would contribute to the success of the stock recovery of the dusky grouper *Epinephelus marginatus* in their austral limit of distribution in the Southwest Atlantic. In addition, it would subsidize the strategic governmental actions that have already pointed the coastal and marine region of *Rio Grande do Sul* as priority areas for conservation, sustainable use and sharing of benefits of Brazilian biodiversity (91)

It is also worth mentioning the observed overlap between the disposal material dredged area and navigation routes. In order to select a locational alternative for the disposal of this material, more detailed studies on the pattern of the main marine currents, sediment transport and tracer use are needed, to minimize possible impacts on the marine and coastal areas (Fig 6).

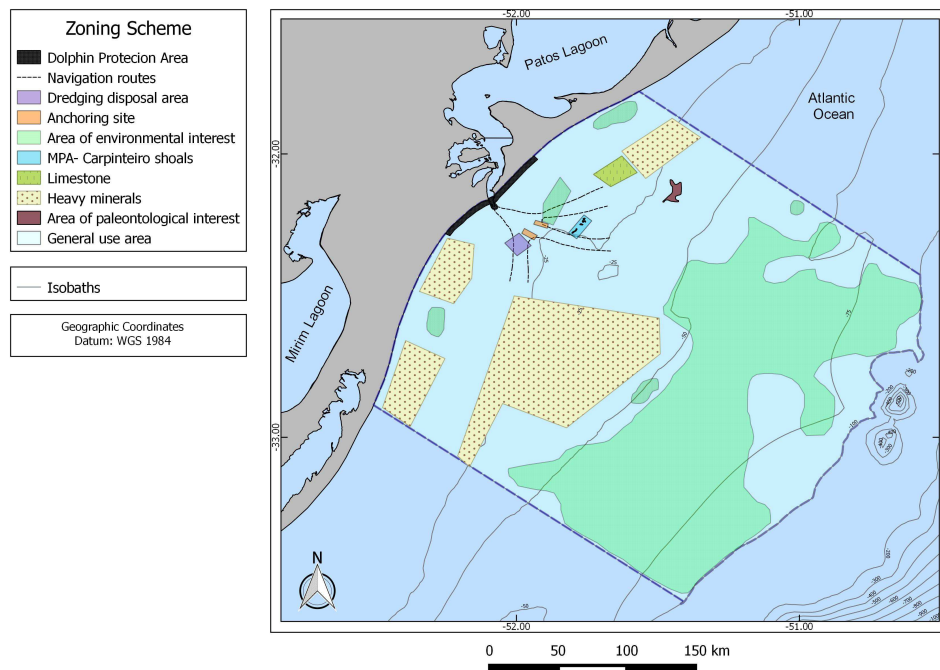


Figure 6. Proposal zoning scheme to the inner Continental Shelf of RS state through ecosystem-based approach.

5. Conclusion

The present study proposes the creation of zones of exclusive uses and multiple uses from the survey and mapping of the environmental and socioeconomic characteristics of the region of interest. The integrated analysis among different activities and the environmental characteristics in a given region is fundamental to the definition of priority areas for conservation and exploitation, avoiding, thus, future conflicts. The oceanic region of Lagoa dos Patos estuary currently includes different anthropic activities, such as areas to navigation, ship anchoring, disposal of dredged material, industrial fishing and activities that may arise in the medium and long term, like marine mining.

It is well known that living and non-living marine resources are limited in space and in abundance, being the increased pressure over the maritime environment resulting from the expansion of anthropic uses and activities, as well as the appearance of other uses, which increase this problem. The

proposal of ecosystem-based management applied in this study allowed the identification of areas with different abilities and can subsidize actions for the implementation of Marine Spatial Planning, guaranteeing, thus, the sustainable use of marine and coastal resources, without compromising current and future demands of society. In this context, the MSP emerges as an essential tool to manage the development and the use of marine and coastal resources in the most sustainable and integrated way.

Acknowledgements

This research was made while the first author was developing his PhD thesis. The authors also acknowledge the financial support of Agência Nacional do Petróleo during part of PhD thesis, as well as all institutions that provided the necessary data to this article.

References

- 1- C. Wilkinson, D. Souter, Status of Caribbean Coral Reefs after Bleaching and Hurricanes in 2005. Townsville, Australia: Global Coral Reef Monitoring Network, and Reef and Rainforest Research Centre, 2008.
- 2- X. Yang, Remote sensing and geospatial technologies for coastal ecosystem assessment and management. Springer-Verlag, Berlin, 2009.
- 3- B. Cicin-Sain, R.W. Knecht, Integrated Coastal and Ocean Management: Concepts and Practices. Island Press, Washington, DC, 1998.
- 4- C. Ehler, F. Douvere, Marine spatial planning: a step-by-step approach toward ecosystem-based management. Intergovernmental Oceanographic Commission and Man and the Biosphere Programme, Paris, 2009.
- 5- R.B. Griffis, K.W. Kimball, Ecosystem approaches to coastal and ocean stewardship, Ecological Applications 6 (3) (1996) 708-712.
- 6- N.L. Christensen, A.M. Bartuska, J.H. Brown, S. Carpenter, C. D'Antonio, R. Francis, J.F. Franklin, J.A. Macmahon, R.F. Noss, D.J. Parsons, C.H. Peterson, M.G. Turner, R.G. Woodmansee, The report of the Ecological Society of America Committee on the Scientific Basis for Ecosystem Management, Ecological Applications 6 (1996) 665- 691.
- 7- O. Misund, Ecosystem-based Management: Definition and International Principles. Institute of Marine Research, Bergen, Norway, 2006.
- 8- W.R. Turrel, The policy basis of the Ecosystem Approach to fisheries management. Fisheries Research Services Internal Report No 02/04, 2004.
- 9- J. Ansong, E. Gissi, H. Calado, An approach to ecosystem-based management in maritime spatial planning process, Ocean & Coastal Management 141 (2017) 65-81.
- 10- F. Douvere, The importance of marine spatial planning in advancing ecosystem-based sea use management, Marine Policy 32 (2008) 762–771.
- 11- F. Berkes, T.P. Hughes, R.S. Steneck, J.A. Wilson, D.R. Bellwood, B. Crona, C. Folke, L.H. Gunderson, H.M. Leslie, J. Norberg, M. Nyström, P.

Olsson, H. Österblom, M. Scheffer, B. Worm, Globalization, Roving Bandits, and Marine Resources, *Science* 311 (5767) (2006) 1557-1558.

12- A.T. White, C.A. Courtney, A. Salamanca, Experience with Marine Protected Area Planning and Management in the Philippines, *Coastal and Management*, 30 (1) (2002) 1-26.

13- A.W. Bates, Revisiting Approaches to Marine Spatial Planning: Perspectives on and Implications for the United States, *Agricultural and Resource Economics Review* 46 (2) (2017) 206–223.

14- W.H. Lu, J. Liu, X.Q. Xian, W.L. Song, A. McIlgorm, A comparison of marine spatial planning approaches in China: Marine functional zoning and the marine ecological red line, *Marine Policy* 62 (2015) 94–101.

15- L.F.S. Fernandes, O espaço marítimo brasileiro. In: J.P. Castello, L.C. Krug (Eds.) *Introdução às Ciências do Mar*. Pelotas, Editora Textos, 2015, p. 522-575.

16- U. Seeliger, C. Odebrecht, J.P. Castello, Subtropical convergence environments: the coast and sea in the southwestern Atlantic. Berlin: Springer-Verlag, 1997.

17- A.R. Piola, R.P. Matano, The South Atlantic Western Boundary Currents Brazil/Falkland (Malvinas) Currents, in: J.M. Steele, S.A. Thorpe, K.K. Turekian (Eds.), *Encyclopedia of Ocean Sciences*. Academic Press, 2001, pp. 340-349.

18- L.B. Miranda, A. Magliocca, Características gerais da variação anual de temperatura e da salinidade ao longo da costa do Rio Grande do Sul, in: A.J. Ferrante, J.S. Franco (Eds.), *Hidrodinâmica computacional*, Editora UFRGS, 1975, pp. E3-E24.

19- J.P. Castello, O.O. Möller Jr., Sobre as condições oceanográficas no Rio Grande do Sul. *Revista Atlântica* 2 (2) (1977) 25 – 99.

20- L.F. Niencheski, O.O. Möller Jr., D. Dolci, R. Kantin, Situação hidrológica da Plataforma Continental e do Talude do Rio Grande do Sul durante o outono de 1978, in: XXXI Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, Fortaleza, 1979.

- 21- M. Haimovici, J.M. Andriguetto, Cefalopodes costeiros na pesca de arrasto do litoral sul do Brasil. *Arquivos de Biologia e Tecnologia* 29 (3) (1986) 473-495.
- 22- G. Fillmann, Caracterização química das massas de água da plataforma continental do sul do Brasil. Master thesis, FURG, 1990, 133 p.
- 23- A.M. Ciotti, Fitoplâncton da Plataforma Continental do Sul do Brasil: Clorofila-a, feopigmentos e Análise preliminar da produção primária. Master thesis, FURG, 1990, 84 p.
- 24- R.R. Capítoli, C.E. Bemvenuti, Distribuição batimétrica e variações de diversidade dos macroinvertebrados bentônicos da plataforma continental e talude superior no extremo sul do Brasil, *Atlântica* 26 (2004) 27-43.
- 25- M. Haimovici, Sistemas pesqueiros marinhos e estuarinos do Brasil: caracterização e análise da sustentabilidade, Editora da Furg, 2011.
- 26- M.V. Condini, D.J. Hoeinghaus, A.M. Garcia, Trophic ecology of dusky grouper *Epinephelus marginatus* (Actinopterygii, Epinephelidae) in littoral and neritic habitats of southern Brazil as elucidated by stomach contents and stable isotope analyses, *Hydrobiologia* 743 (2015) 109-125.
- 27- M. Haimovici, L.G. Cardoso, Colapso do estoque de Umbrina canosai do Sul do Brasil devido à introdução do arrasto-de-meia-água, *Boletim do Instituto de Pesca* 42 (1) (2016) 258–267.
- 28- L.J. Calliari, L.S. Esteves, C.P. Oliveira, H.A.M. Tozzi, R.P. Silva, J.N. Cardoso, Padrões sonográficos e sedimentológicos de um afloramento de beachrock na plataforma interna do Rio Grande do Sul (COMEMIR/OSNLR), *Notas Técnicas* 7 (1994) 27-32.
- 29- F.S.C. Buchmann, M. Seeliger, L.R.C. Zanella, L.S.P. Madureira, L.J. Tomazelli, L.J. Calliari, Análise batimétrica e sedimentológica no estudo do Parcel do Carpinteiro, uma paleolinha de praia plesitocênica na antepraia atual do Rio Grande do Sul, Brasil, *Pesquisas em Geociências* 28 (2) (2001) 109-115.
- 30- L. Bugoni, L. Krause, M.V. Petry, Diet of sea turtles in southern Brazil, *Chelonian Conservation and Biology* 4 (3) (2003) 685-688.

- 31- M.V. Condini, Biologia reprodutiva, determinação de estrutura etária e crescimento da Garoupa-Verdadeira, *Epinephelus marginatus* (Lowe, 1834) em fundos rochosos no extremo sul do Brasil. Master thesis, FURG, 2012, 133p.
- 32- F.S.C. Buchmann, Distribuição dos fósseis pleistocênicos na zona costeira e plataforma continental interna no Rio Grande do Sul, *Acta Geologica Leopoldensia* 17 (39) (1994) 355-364.
- 33- F.S.C. Buchmann, Bioclastos de organismos terrestres e marinhos na praia e plataforma interna do Rio Grande do Sul: Natureza, distribuição, origem e significado geológico, Doctoral thesis, UFRGS, 2002 122 p.
- 34- R.P. Lopes, F.S. Buchmann, Pleistocene mammals from the southern Brazilian continental shelf, *Journal of South American Earth Sciences* 31 (2011) 17-27.
- 35- C.W. Rosas; M.C. Pinedo; M. Marmontel; M. Haimovici, Seasonal movements and distribution pattern of the southern sea lion *Otaria flavescens* (Shaw, 1800) off the Rio Grande do Sul coast, Brazil, *Mammalia* 58 (1) (1994) 51-59.
- 36- J.C. Di Tullio, P.F. Fruet, E.R. Secchi, Identifying critical areas to reduce bycatch of coastal common bottlenose dolphins *Tursiops truncatus* in artisanal fisheries of the subtropical western South Atlantic, *Endangered Species Research* 29 (2015) 35–50.
- 37- S.G. Zembruski, Sedimentos da Plataforma Continental do Brasil, in: D.H.N. 22^o Comissão Oceanográfica Noc. Almirante Saldanha. Rio de Janeiro, 1967, p. 389-409
- 38- L.R. Martins, U. Melo, A.M.C. França, C.I. Santana, I.R. Martins, Distribuição faciológica da margem continental sul-rio-grandense, in: 26^o Congresso Brasileiro de Geologia, Belém, 2 (1972) 115-132.
- 39- C.M. Urien, L.R. Martins, Sedimentos da Plataforma Continental Sul Americana entre Cabo de Santa Marta (Brasil) e Terra do Fogo (Argentina). Parte 1. Texturas e Origem, Congresso Brasileiro de Geologia, Porto Alegre, Brasil, 3 (1974) 213-223.
- 40- I.C.S. Corrêa, Sedimentos Superficiais da plataforma e talude continental do Rio Grande do Sul, *Pesquisas em Geociências*, 19 (19) (1987) 95- 104.

41- I.C.S. Corrêa, Les variations du niveau de la mer durant les derniers 17.500 ans BP: l'exemple de la plate-forme continentale du Rio Grande do Sul-Brésil, *Marine Geology* 130 (1996) 163-178.

42- A.G. Figueiredo Jr., M.G. Tessler, Topografia e composição do substrato marinho da região Sudeste-Sul do Brasil. Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. Série Documentos REVIZEE/SCORE SUL, São Paulo, 1, 2004, p. 64.

43- B.E.G. Paixão, Distribuição faciológica da Bacia de Pelotas. Monography, FURG, 2012, 53p.

44- Reconhecimento Global da Margem Continental Brasileira - REMAC, Evolução Sedimentar Holocênica da Plataforma Continental e do Talude do Sul do Brasil, PETROBRAS/CENPES/DINTEP, Rio de Janeiro, 1977, 507p.

45- J.M. Rocha, J.D. Milliman, C.I. Santana, M.A. Vicalvi, Southern Brazil. in: *Contributions to Sedimentology, Upper continental margin sedimentation off Brazil*, 4, 1975, p.117-150.

46- J.P. Castello, O.O. Möller Jr., On the oceanographic conditions in the Rio Grande do Sul State, *Atlântica* 2 (1977) 25–110.

47- L. Ortega, A. Martinez, Multiannual and seasonal variability of water masses and fronts over the Uruguayan shelf, *Journal of Coastal Research* 23 (2007) p. 625–629.

48- C. Childs, Interpolation surfaces in ArcGIS spatial analyst. *ArcUser* July/September, 2004, p.32-35.

49- P.A. Longley, M.F. Goodchild, D.J. Maguire, D.W. Rhind, *Geographic information systems and science*. John Wiley & Sons, New York, 2001.

50- D. Tomlin, *Geographic information systems and Cartographic Modeling*, Prentice Hall, New York, 1990.

51- G. Câmara, C. Davis, A.M.V. Monteiro, *Introdução à ciência da geoinformação*, National Institute of Spatial Research, São José dos Campos, 2001.

- 52- L.J. Gray, S.G. Fisher, Postflood recolonization pathways of macroinvertebrates in a lowland Sonoran Desert stream, *American Midland Naturalist* 106 (1981) 249–257.
- 53- E. Fresi, M.C. Gambi, S. Focardi, R. Bargagli, F. Baldi, L. Falsial, Benthic community and sediment types: a structural analysis, *Marine Ecology* 4 (2) (1983) 101-121.
- 54- D.S. McLuscky, A.D. McIntyre, Characteristics of the Benthic fauna, in: H. Postma, J.J. Zijlstra (Eds.), *Continental Shelves of the World*. Elsevier, Amsterdam, 1988.
- 55- R.S. Absalão, Environmental discrimination among soft-bottom mollusc associations off Lagoa dos Patos, South Brazil, *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 32 (1991) 71-85.
- 56- M.O. Zamponi, La distribución biocénica y continua del género *Renilla* Lamarck, 1816 (Cnidaria, Pennatulacea) y su endemismo en el continente americano, *Physis* A58 (2001) 7-9.
- 57- R.R. Capitoli, Distribuição e abundância dos macroinvertebrados bentônicos da plataforma continental e talude superior no extremo sul do Brasil. Doctoral Thesis, FURG, 2002, 173p.
- 58- R.R. Capitoli, C. Bemvenuti, Distribuição batimétrica e variações de diversidade dos macroinvertebrados bentônicos da Plataforma Continental e Talude Superior no extremo sul do Brasil, *Atlântica* 26 (1) (2004) 27-43.
- 59- R.R. Capitoli, C. Bemvenuti, Associações de macroinvertebrados bentônicos de fundos inconsolidados da Plataforma Continental e Talude Superior no extremo sul do Brasil, *Atlântica* 26 (1) (2006) 47-59.
- 60- A.F. Oliveira, M.A. Bemvenuti, Ciclo de vida de alguns peixes do estuário da Lagoa dos Patos, RS, informações para o ensino fundamental e médio, *Cadernos de Ecologia Aquática* 1 (2) (2006) p. 16-29.
- 61- L. G. Cardoso, M. Haimovici, Density-dependent changes in the feeding behaviour of *Macrodon atricauda* of southern Brazil, *Journal of Fish Biology* 89 (1) 2016 p. 01-07.

- 62- R.R. Capítoli, M.L. Rufino, C.M. Vooren, Alimentação do tubarão *Mustelus schmitti* Springer na Plataforma Costeira do estado do Rio Grande do Sul, *Atlântica* 17 (1995) 109-122.
- 63- J.A. Barros, Alimentação da Tartaruga-cabeçuda (*Caretta caretta*) em habitat oceânico e nerítico no sul do Brasil: Composição, aspectos nutricionais e resíduos sólidos antropogênicos. Master Thesis, FURG, 2010, 118p.
- 64- A.B.M. Machado, G.M. Drummond, A.P. Paglia, Livro vermelho da fauna brasileira ameaçada de extinção. Environment Ministry, Brasil, 2008.
- 65- Convention on Biological Diversity (CDB), Decision VII/5, AApp. 3 of the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity, Kuala Lumpur, 9-20 February. Elements of a Marine and Coastal Biodiversity Management Framework. Marine and Coastal Biological Diversity, 2004.
- 66- C.J. Carrera-Rodriguez, L.R. Tommasi, Asteroidea de la plataforma continental de Rio Grande do Sul (Brasil), coleccionados durante los viajes del N/Oc. "Prof. Besnard" para el proyecto Rio Grande do Sul, *Boletim do Instituto Oceanográfico da USP* 26 (1977) 51-130.
- 67- A.M. Clark, Notes on Atlantic Asteroidea (Ludiidae), *Bulletim of British Museum of Natural History* 42 (3) (1982) 157-184.
- 68- C.R.R. Ventura, F.C. Fernandes, Bathymetric distribution and population size structure of paxillosid seastars (Echinodermata) in the Cabo Frio upwelling ecosystem of Brazil, *Bulletin of Marine Science* 56 (1) (1995) 268-282.
- 69- J.P. Rieger, Famílias Diogenidae e Paguridae, in: L. Buckup, G. Bond-Buckup, (Eds.) *Os crustáceos do Rio Grande do Sul*. Editora UFRGS, 1999.
- 70- N.B. Berchieri, Distribuição e abundância de paguros e gastrópodes associados às áreas de forrageio de tartarugas marinhas na Bacia de Pelotas, sul do Brasil. Monography, FURG, 2016, 29p.
- 71- D.S. Monteiro, Encalhes de tartarugas marinhas e uso de habitat por *Caretta caretta* no sul do Brasil. Doctoral thesis, FURG, 2017, 180p.
- 72- W. Bauer, Levantamento dos macroinvertebrados bentônicos do entorno do Parcel do Carpinteiro, RS – Brasil. Monografia, FURG, 2008, 39p.

- 73- P.A. Horta, A.C. Morandini, F.S.C. Buchmann, E.C. Oliveira. Macrobentos do Parcel do Carpinteiro – Um desafio para o levantamento da biodiversidade do Infralitoral do sul do Brasil, Anais da 13ª Semana Nacional de Oceanografia, Rio Grande, 2001, 126-127.
- 74- P.A. Horta, Macroalgas do Infralitoral do sul e sudeste do Brasil: Taxonomia e Biogeografia, Tese de Doutorado, USP, 2000, 301 p.
- 75- A.W.R. Seddon, A.W. Mackay, A.G. Baker, H.J.B. Birks, E. Breman, et al, Looking forward through the past: identification of 50 priority research questions in palaeoecology, Journal of Ecology 102 (1) (2014) p. 256–267.
- 76- M.V. Kitahara, R.R. Capitoli, N.O. Horn Filho, Distribuição das espécies de corais azooxantelados na plataforma e talude continental superior do sul do Brasil, Iheringia 99 (2009) 223–236.
- 77- P.B. Mortensen, Aquarium observations on the deep-water coral *Lophelia pertusa* (Linnaeus, 1758) (Scleractinia) and selected associated invertebrates, Ophelia 54 (2) (2001) 83-104.
- 78- L.R. Tommasi, Nota Sobre os Fundos Detríticos do Circalitoral Inferior da Plataforma Continental Brasileira ao Sul do Cabo Frio (RJ), Boletim do Instituto Oceanográfico de São Paulo 18 (1) (1970) 55-62.
- 79- I.C.S. Corrêa, R.N. Ayup-Zouain, J. Weschenfelder, L.J. Tomazelli, Áreas Fontes dos Minerais Pesados e sua Distribuição sobre a Plataforma Continental Sul-Brasileira, Uruguia e Norte-Argentina, Pesquisas em Geociências 35 (2008) 137-150.
- 80- K.G. Souza, L.R.S. Martins, Tecnologia de pesquisa, lavra e beneficiamento de recursos minerais marinhos, Parcerias Estratégicas I (2007) 231-246.
- 81- Company of Mineral Resources Research – CPRM, Geologia e Recursos Minerais do Estado de São Paulo: Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Programa Geologia do Brasil: Integração, atualização e difusão de dados da Geologia do Brasil. Mapas Geológicos Estaduais escala 1:750000, Brasília, 2008, (CD-ROM).
- 82- C.F. Earney, Marine mineral resources. New York: Routledge; 1990.

83- K.G. Souza, L.R.S. Martins, V.M.M. Cavalcanti, C.V. Pereira, L. Borges, Recursos minerais marinhos: fatos portadores de futuro, prioridades de estudo no Brasil e projetos estruturantes, *Parcerias Estratégicas* 24 (2007) 247-261.

84- R.C. Newell, L.J. Seiderer, D.R. Hitchcock, The impact of dredging works in coastal waters: a review of the sensitivity to disturbance and subsequent recovery of biological resources on the seabed, *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review* 36 (1998) 127-178.

85- L.J. Seiderer, R.C. Newell, Analysis of the relationship between sediment composition and benthic community structure in coastal deposits: implications for marine aggregate dredging, *ICES Journal of Marine Science* 56 (1999) 757-765.

86- R. Sardá, S. Pinedo, A. Gremare, S. Taboada, Changes in the dynamics of shallow sandy-bottom assemblages due to sand extraction in the Catalan Western Mediterranean Sea, *ICES Journal of Marine Science* 57 (2000) 1446–1453.

87- A.S. Gomes, J.J.C. Palma, C.G. Silva, Causas e consequências do impacto ambiental da exploração dos recursos minerais marinhos, *Brazilian Journal of Geophysics* 18 (3) (2000) 447-454.

88- S.E. Boyd, D.S. Limpenny, H.L. Rees, K.M. Cooper, S. Campbell, Preliminary observations of the effects of dredging intensity on the re-colonization of dredged sediments off the south-east coast of England (Area 222), *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 57 (2003) 209-223.

89- S.E. Boyd, D.S. Limpenny, H.L. Rees, K.M. Cooper, The effects of marine sand and gravel extraction on the macrobenthos at a commercial dredging site (results 6 years post-dredging), *ICES Journal of Marine Science* 62 (2005) 145-162.

90- M. Lodge, D. Johnson, G.L. Gurun, M. Wengler, P. Weaver, Seabed mining: International Seabed Authority environmental management plan for the Clarion–Clipperton Zone. A partnership approach, *Marine Policy* 49 (2015) 66-72.

91- Ministry of Environment - MMA, Priority areas to conservation of Brazilian biodiversity, 2007.

Considerações Finais

Os resultados aqui apresentados demonstram uma necessidade intrínseca em se estabelecer um Planejamento de Espaço Marinho na Plataforma Continental do sul da Brasil, especialmente nas regiões do Albardão e do Parcel do Carpinteiro. Isto é possível através de uma organização eficiente das atividades socioeconômicas, em respeito às características ambientais da região, para evitar possíveis conflitos de interesse (exploração versus conservação) e, através dessa organização, permitir que o desenvolvimento econômico ocorra de forma sustentável.

O capítulo 1 mostra que na Plataforma Continental Adjacente ao Albardão, existem importantes depósitos minerais submersos, cuja eventual exploração pode causar impactos ambientais significativos. Embora não exista a opção de buscar outras alternativas locais, uma vez que os recursos minerais foram acumulados por processos naturais durante a evolução geológica regional, sua distribuição não é contínua nem homogênea. O mesmo recurso mineral pode ser localizado em áreas com diferentes características ambientais ou fragilidade ambiental distinta, o que leva a assumir que sua eventual exploração pode afetar a área de formas diferentes, causando maior ou menor impacto.

Além disso, as feições submersas identificadas nessa área são importantes áreas de refúgio e alimentação para a fauna marinha e, como tal, devem ser protegidas como forma de manter suas funções ecossistêmicas. A presença de espécies bentônicas endêmicas (*Renilla tentaculata*) e ameaçadas (*Astropecten cingulatus*), bem como os parcéis e bancos arenosos, destacam a importância da manutenção dos serviços ecossistêmicos, frente à determinadas atividades humanas. Embora a representação espacial do objetivo a ser alcançado seja excelente, isso deve ser visto apenas como resultado dos dados disponíveis que foram utilizados na análise multicritério analítica.

Dos cinco fatores de vulnerabilidade utilizados para o mapeamento da fragilidade natural na área de estudo, dois deles, espécies ameaçadas de extinção e espécies endêmicas, apresentaram apenas 4 e 5 registros, respectivamente, e esses registros foram utilizados para o respectivo mapa de

vulnerabilidade. Se houvesse uma malha de amostragem mais densa e completa, principalmente em relação à fauna bentônica e o incremento de outras variáveis, tais como locais preferenciais de pesca, influência de correntes marinhas, variações sazonais de temperatura e salinidade da coluna de água e sua relação com nutrientes disponíveis, os resultados certamente seriam mais robustos.

O capítulo 2 propôs a criação de zonas de usos exclusivos ou usos gerais a partir do levantamento e mapeamento das características ambientais e socioeconômicas da região de interesse, através da análise multicritério estatística. A análise integrada entre diferentes atividades humanas e as características ambientais numa determinada região é fundamental na definição de áreas prioritárias para conservação e exploração evitando, dessa forma, futuros conflitos. A região oceânica adjacente ao Parcel do Carpinteiro comporta atualmente diferentes atividades antrópicas e tem potencial para implementação de atividades futuras, como mineração, dragagem e áreas alternativas para descarte de material dragado, além das próprias características ambientais dessa região, como áreas de proteção para os botos e leões marinhos, presença de espécies com algum tipo de risco de extinção e o próprio Parcel do Carpinteiro, feição submersa fundamental para reprodução e alimentação de vertebrados marinhos.

A coexistência desses aspectos demandam um rápido planejamento, a fim de se preservar as principais funções ecossistêmicas dessa área. Os métodos propostos nesse trabalho permitiram a identificação de áreas com distintas aptidões e poderão subsidiar as ações para implementação do Planejamento Espacial Marinho na Plataforma Continental do Rio Grande do Sul garantindo, dessa forma, o uso sustentável dos recursos vivos e não-vivos, sem comprometer as demandas atuais e futuras da sociedade.

Referências Bibliográficas

Abreu, J. G. N. & Calliari, L. J. Paleocanais na Plataforma Continental Interna do Rio Grande do Sul: Evidências de uma drenagem fluvial pretérita. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 23, n. 2, p. 123-132, 2005.

Agenda 21 - capítulo 17. **United Nations Conference on Environment and Development**. 1992.

Alencar, R. **A Geodiversidade da Ilha de Santa Catarina: explorando seu valor didático no 6º ano do Ensino Fundamental**. Florianópolis, UFSC, 227p. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal de Santa Catarina, 2013.

Almeida, L. E. S. B.; Casalas, A. B.; Rosauero, N. M. L. & Schettini, E. B. C. **Simulação da circulação induzida por vento na Lagoa dos Patos**. In: XIV Congresso Latino americano de Hidráulica, p. 1251 – 1263, 1990.

Asmus, H. E. & Porto, R. **Classificação das bacias sedimentares brasileiras segundo a tectônica de placas**. In: Anais do Congresso Brasileiro de Geologia, v. 2, p. 67-90, 1972.

Asp, N. E. **Avaliação da potencialidade de depósitos de calcário biodetrítico da Plataforma Interna e linha de costa do sul do RS**. Rio Grande, FURG, 73p. Monografia de Graduação (Curso de Oceanologia). Universidade Federal do Rio Grande, 1996.

Barr, L. M. & Possingham, H. P. Are outcomes matching policy commitments in Australian marine conservation planning? **Marine Policy**, v. 42, p. 39–48, 2013.

Beauclair, M.; Duarte, M. R. & Silva, E. P. Sambaquis (shell mounds) and mollusk diversity in the past history of Araruama Lagoon, Rio de Janeiro, Brazil. **Pan American Journal of Aquatic Sciences**, v. 11, n. 1, p. 47-59, 2016.

Bertrand, G. Paisagem e Geografia Física Global: esboço metodológico. **Caderno de Ciências da Terra**, v. 13, p. 01 – 21, 1972.

Biggs, D.; Abel, N.; Knight, A. T.; Leitch, A.; Langston, A. & Ban, N. C. The implementation crisis in conservation planning: could 'mental models' help? **Conservation Letters**, v. 4, p.169–183, 2011.

Borba, A. W. Geodiversidade e geopatrimônio como bases para estratégias de geoconservação: conceitos, abordagens, métodos de avaliação e aplicabilidade no contexto do Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa em Geociências**, v. 38, n. 1, p. 3-13, 2011.

Boyes, S. J.; Elliott, M.; Thomson, S. M.; Atkins, S. & Gilliland, P. A proposed multiple-use zoning scheme for the Irish Sea: An interpretation of current legislation through the use of GIS-based zoning approaches and effectiveness for the protection of nature conservation interests. **Marine Policy**, v. 31, p. 287–298, 2007.

Brady, R. F.; Tobias, T.; Eagles, P. F. J.; Ohmer, R.; Micak, J.; Veale, B. & Dorney, R. S. A typology for the urban ecosystem and its relationship to larger biogeographical landscape units. **Urban Ecology**, v. 4, p. 11-28, 1979.

Brilha, J. Geoconservation and protected areas. **Environmental Conservation**, v. 29, p. 273–276, 2002.

Brooks, A. J.; Kenyon, N. H.; Leslie, A.; Long, D. & Gordon, J. E. Characterizing Scotland's marine environment to define search locations for new Marine Protected Areas. Part 2: The identification of key geodiversity areas in Scottish waters (interim report July 2011). **Scottish Natural Heritage Commissioned Report**, n.430, 2011.

Buchmann, F. S. C. **Bioclastos de organismos terrestres e marinhos na praia e plataforma interna do Rio Grande do Sul: Natureza, distribuição, origem e significado geológico**. Porto Alegre, UFRGS, 122p. Tese

(Doutorado em Geociências). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002.

Cacciari, P. L. **Estudo descritivo sobre vórtices e núcleos quentes e frios incorporados à circulação oceânica, no limite oeste do Atlântico Sul**. São Paulo, USP, 113 p. Dissertação (Mestrado em Oceanografia), Instituto Oceanográfico da USP, 1986.

Calliari, L. J. & Klein, A. H. Características Morfodinâmicas e Sedimentológicas das Praias Oceânicas Entre Rio Grande e Chuí, RS. **Pesquisas em Geociências**, v. 20, n. 1, p. 45-56, 1993.

Calliari, L. J. Sedimentação marinha. In: Castello, J. P. & Krug, L. C. (Eds.) **Introdução às Ciências do Mar**. Pelotas, Editora Textos, 602p. 2015.

Câmara, G.; Davis, C. & Monteiro, A. M. V. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos, INPE, 344p. 2001.

Campos, P. C.; Weigert, S. C. & Madureira, L. S. P. Ecobatimetria e características acústicas do leito oceânico na região do canal do Albardão, Rio Grande do Sul, Brasil. Universidade Federal do Rio Grande (FURG), **Atlântica**, v. 31, n. 1, p. 5-23, 2009.

Casimiro, D. F. M. A. **O ordenamento e gestão do espaço marítimo português: a articulação com o regime terrestre e o contexto europeu**. Lisboa, Dissertação (Mestrado em Ecologia e Gestão Ambiental). Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, 100p. 2015.

Castello, J. P. & Möller Jr., O. O. Sobre as condições oceanográficas no Rio Grande do Sul. **Revista Atlântica**, v. 2, n. 2, p. 25 – 99, 1977.

Castello, J. P. & Möller, O. O., Jr. On the relationship between rainfall and shrimp production in the estuary of the Patos Lagoon, Rio Grande do Sul, Brazil. **Atlântica**, v. 3, p. 67-74, 1978.

Castello, J. P.; Duarte, A.; Möller Jr., O. O.; Niencheski, L. F.; Odebrecht, C.; Weiss, G.; Habiaga, R. P.; Bellotto, V. R.; Kitzman, D.; Souto, C.; de Souza, R. B.; Ciotti, A. M.; Fillmann, G.; Schiwingel, P. R.; Bersano, J. C.; Cirano, M.; Freire, K.; Lima Jr., I.; Mello, R.; Monteiro, A.; Resgalla Jr., C.; Soares, I. & Suzuki, M. On the importance of coastal and subantarctic waters for the shelf ecosystem off Rio Grande do Sul. *Anais do 2º Simpósio de Ecossistemas da Costa Sul e Sudeste Brasileira: Estrutura, Função e Manejo*. v. 1. Águas de Lindóia, São Paulo, 1990.

Ciotti, A. M.; Odebrecht, C.; Fillmann, G. & Möller Jr., O. O. Freshwater outflow and subtropical convergence influence on phytoplankton biomass on the southern Brazilian continental shelf. **Continental Shelf Research**, v. 15, n. 14, p.1737-1756, 1995.

Cogan, C. B.; Todd, B. J.; Lawton, P. & Noji, T. T. The role of marine habitat mapping in ecosystem-based management. **ICES Journal of Marine Science**, v. 66, n. 9, p. 2033–2042, 2009.

Connor, D. W.; Gilliland, P. M.; Golding, N.; Robinson, P.; Todd, D. & Verling, E. **UKSeaMap: the mapping of seabed and water column features of UK seas**. Joint Nature Conservation Committee, Peterborough, 113 p. 2006.

Corrêa, I. C. S. **Estudo da sedimentação quaternária na plataforma continental média e externa do Rio Grande do Sul**. In: Sociedade Brasileira de Geologia, *Anais do 32º Congresso Brasileiro de Geologia*, Salvador, Bahia, v. 4, p. 1504-1510, 1982.

Corrêa, I. C. S. Depósito de material carbonático da plataforma continental interna do Rio Grande do Sul, Brasil. In: Arana, P. M. (Ed.) **Proceedings of the international conference on marine resources of the Pacific**. Viña del Mar, Chile, 155-163, 1983.

Corrêa, I. C. S. **Evolução da sedimentação holocênica da plataforma continental e talude superior entre Rio Grande e Torres- RS**. In: Sociedade

Brasileira de Geologia, Anais do 32º Congresso Brasileiro de Geologia, Rio de Janeiro, v. 1, p. 63- 73, 1984.

Corrêa, I. C. S. Sedimentos Superficiais da plataforma e talude continental do Rio Grande do Sul. **Pesquisas em Geociências**, v. 19, n. 19, p. 95- 104, 1987.

Corrêa, I. C. S. Processus dynamiques dans la distribution des sédiments de la plate-forme continentale du Rio Grande do Sul (Brésil). **Geodinamica Acta**, v. 9, n. 4, p. 167-169, 1994.

Corrêa, I. C. S. & Villwock, J. A. Continental shelf and coastal plain sediments of the Southeast and South coast of Brazil. In: Martins, L.R. & Corrêa, I.C.S. (Eds.). **Morphology and sedimentology of the Southwest Atlantic coastal zone and continental shelf from Cabo Frio (Brazil) to Península Valdés (Argentina)**. UFRGS-IG-CECO, Porto Alegre, 74 p. 1996.

Crowder, L. B.; Osherenko, G.; Young, O. R.; Airame, S.; Norse, E. A.; Baron, E. A.; Day, J. C.; Douvere, F.; Ehler, C. N.; Halpern, B. S.; Langdon, S. J.; McLeod, K. L.; Ogden, J. C.; Peach, R. E.; Rosenberg, A. A. & Wilson, J. A. Resolving mismatches in U.S. Ocean Governance. **Science**, v. 319, n. 5865, p. 948-952, 2006.

Crowder, L & Norse, E. Essential ecological insights for marine ecosystem-based management and marine spatial planning. **Marine Policy**, v. 32, n. 5, p. 772-778, 2008.

Delaney, P. J. V. Fisiografia e geologia de superfície da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. **Publicação especial da Escola de Geologia**, Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, v. 6, p. 1-195, 1965.

Dias, G. T. M. Granulados bioclásticos – Algas calcárias. **Brazilian Journal of Geophysics**, v.18, n. 3, p. 307-318, 2000.

Douvere, F.; Maes, F.; Vanhulle, A. & Schrijvers, J. The role of marine spatial planning in sea use management: the Belgian case. **Marine Policy**, v. 31, n. 2, p. 182-191, 2007.

Douvere, F. The importance of marine spatial planning in advancing ecosystem-based sea use management. **Marine Policy**, v. 32, p. 762–771, 2008.

Douvere, F. & Ehler, C. N. New perspectives on sea use management: Initial findings from European experience with marine spatial planning. **Journal of Environmental Management**, v. 90, p. 77–88, 2009.

Ehler, C. & Douvere, F. **Marine spatial planning: a step-by-step approach toward ecosystem-based management**. Intergovernmental Oceanographic Commission and Man and the Biosphere Programme, Paris, UNESCO, 99p, 2009.

Earney, F. C. E. **Marine mineral resources**. Ocean Management and Policy Series, Routledge, 387 p. 1990.

Eastman, J. R. **IDRISI for Windows version 2**. Tutorial e Exercícios. Worcester, Clark University, 328 p. 1997.

Emilsson, I. The shelf and coastal waters of southern Brazil. **Boletim do Instituto Oceanográfico da USP**, v. 11, n. 2, p. 101 – 112, 1961.

EUNIS. **EUNIS Habitat Classification**. European Environment Agency, 2002. Disponível em: <http://eunis.eea.eu.int>.

Farina, A. **Principles and methods in landscape ecology**. Chapman and Hall, London, 235 p. 1997.

Felton, A. **Marine geotourism development at the Sapphire Coast Marine Discovery Centre, Eden, NSW**. In: Symposium of Geodiversity, Geological Heritage and Geotourism. Sydney, Australia, 2010. Disponível em:

http://www.resources.nsw.gov.au/_data/assets/pdf_file/0004/359428/GGHG_2010_Program_Abstr acts.pdf

Figueiredo Jr., A. G. **Geologia dos depósitos calcários biodetríticos da plataforma do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, UFRGS, Dissertação (Mestrado em Geociências), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 72 p. 1975.

Figueiredo Jr., A. G. & Tessler, M. G. Topografia e composição do substrato marinho da região Sudeste-Sul do Brasil. Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. **Série Documentos Técnicos do Programa REVIZEE Score Sul**, São Paulo: Instituto Oceanográfico – USP, 64p. 2004.

Freitas, R.; Ricardo, F.; Pereira, F.; Sampaio, L.; Carvalho, S.; Gaspar, M.; Quintino, V. & Rodrigues, A. M. Benthic habitat mapping: concerns using a combined approach (acoustic, sediment and biological data). **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 92, p. 598-606, 2011.

Gamboa, L. A. P. & Rabinowitz, P. D. The Rio Grande Fracture Zone in the western South Atlantic and its tectonic implications. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 52, p. 410-418, 1981.

Garcia, C. A. E. Physical oceanography. In: Seeliger, U., Odebrecht, C., Castello, J.P. (Eds.), **Subtropical Convergence Environments: the Coast and Sea in the Southwestern Atlantic**. Springer, Berlin, Heidelberg, 308 p. 1997.

Gern, F. R. **Planejamento espacial marinho: uma ferramenta de gestão para ordenamento na zona de uso aquaviário e portuário de Itajaí, SC**. Itajaí, Tese (Doutorado em Oceanografia), Universidade do Vale do Itajaí, 134 p. 2017.

Gibbs, A. & Cochran, S. An integrated approach to benthic habitat mapping using remote sensing and GIS: An example from the Hawaiian Islands. In:

Yang, X. (Ed.) **Remote sensing and geospatial technologies for coastal ecosystem assessment and management**, Berlin: Springer Publishing, p. 211-231, 2009.

Godoy, S. S. **Estudo das variações sazonais da frente oceânica subtropical entre a corrente do Brasil e a corrente das Malvinas, utilizando dados oceanográficos e dados do satélite SMS – 2**. São José dos Campos, INPE. Dissertação (Mestrado em Processamento de Imagens), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 295p, 1982.

Gordon, J. E. & Barron, H. F. **Scotland's geodiversity: development of the basis for a national framework**. Scottish Natural Heritage Commissioned Report, n. 417, 168 p. 2011.

Gray, M. **Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature**. Wiley, Chichester, 434 p. 2004.

Gray, M. Geodiversity: developing the paradigm. **Proceedings of the Geologists' Association**. v. 119, p. 287–298, 2008.

GBRMPA - Great Barrier Marine Park Autorith. **Basis for zoning decision report**. Consultation draft, Townsville, Australia, 2003.

Guerra, J. V.; Azevedo, M. M. & Villena, H. H. Influência do padrão de transporte de sedimentos junto às sand ridges da plataforma continental interna do Rio Grande do Sul a partir da aplicação de modelos de tendência direcional. In: 6° Simpósio Nacional de Geomorfologia - SINAGEO, Goiânia, 2006.

Hatch, L.; Clark, C.; Merrick, R.; Parijs, S.V.; Ponirakis, D.; Schwehr, K.; Thompson, M.; Wiley, D. Characterizing the Relative Contributions of Large Vessels to Total Ocean Noise Fields: A Case Study Using the Gerry E. Studds Stellwagen Bank National Marine Sanctuary. **Environmental Management**, v.42, p. 735-752, 2008.

Henriques, V.; Guerra, M. T.; Mendes, B.; Gaudêncio, M. J. & Fonseca, P. Benthic habitat mapping in a Portuguese Marine Protected Area using EUNIS: An integrated approach. **Journal of Sea Research**, v. 100, p. 77-90, 2015.

Interagency Ocean Policy Task Force. **Interim Framework for Effective Coastal and Marine Spatial Planning**. The White House Council on Environmental Quality, USA, 2009.

Kaskela, A. M., Kotilainen, A. T., Al-Hamdani, Z., Leth, J. O. & Reker, J. Seabed geomorphic features in a glaciated shelf of the Baltic Sea. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 100, p. 150-161, 2012.

Knight, A. T. & Cowling, R. M. Into the thick of it: bridging the research-implementation gap in the Thicket Biome through the Thicket Forum. **South African Journal of Science**, v. 102, p.406–408, 2006.

Knight, A. T. & Cowling, R. M. Embracing opportunism in the selection of priority conservation areas. **Conservation Biology**, v. 21, p.1124–1126, 2007.

Kostylev, V. E.; Todd, B. J.; Fader, G. B. J.; Courtney, R. C.; Cameron, G. D. M. & Pickrill, R. A. Benthic habitat mapping on the Scotian Shelf based on multibeam bathymetry, surficial geology and sea floor photographs. **Marine Ecology Progress Series**, v. 219, p. 121–137, 2001.

Kowsmann, R. O.; Costa, M. P. A.; Vicalvi, M. A.; Coutinho, M. G. M. & Gambôa, L. A. P. Modelo da sedimentação holocênica na plataforma continental sul brasileira. In: Projeto REMAC – Evolução sedimentar holocênica da plataforma continental e do talude do Sul do Brasil. **Série Projeto REMAC**, Rio de Janeiro, Petrobrás, Cenpes, v. 2, p. 7-26, 1977.

Laffoley, D.; Maltby, C.; Vincent, M.; Mee, L.; Dunn, E.; Gilliland, P.; Hamer, J.; Mortimer, D. & Pound, D. **The Ecosystem Approach. Coherent Actions for Marine and Coastal Environments**. A report to the UK Government. English Nature, 65 p., 2004.

Lausch, A. & Herzog, F. Applicability of landscape metrics for the monitoring of landscape change: issues of scale, resolution and interpretability. **Ecological Indicators**, v. 2, n. 1-2, p. 3-15, 2002.

Legeckis, R. & Gordon, A. L. Satellite observations of the Brazil and Falkland currents – 1975 to 1976 and 1978. **Deep Sea Research**, v. 29, n. 3, p. 375 – 401, 1982.

Longley, P. A.; Goodchild, M. F.; Maguire, D. J. & Rhind, D. W. **Geographic information systems and science**. John Wiley & Sons, Nova Iorque, 540p, 2001.

Lopes, M. F. **Hidroquímica da plataforma sul do Brasil: Caracterização e variabilidade sazonal**. Rio Grande, FURG. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Biológica), Universidade Federal do Rio Grande, 158p, 2004.

Lopes, R. P. & Buchmann, F. S. Pleistocene mammals from the southern Brazilian continental shelf. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 31, p. 17-27, 2011.

Machado, M. I. C.; Badiale, E. F.; Calliari, L. J.; Treibs, S. Recursos calcários associados aos depósitos biotécnicos da região sul do Rio Grande do Sul para uso industrial. **Revista Vetor**, v. 7, p. 21-30, 1997.

Maia, M. A. M. & Castro, J. W. A. Methodological proposal for characterization of marine geodiversity in the South Atlantic: Vitória-Trindade Ridge and adjacent areas, southeast of Brazil. **Journal of Integrated Coastal Zone Management**, v. 15, p. 1-17, 2015.

Manderson, J. P. Seascapes are not landscapes: an analysis performed using Bernhard Riemann's rules. **ICES Journal of Marine Science**, v. 73, p. 1831-1838, 2016.

Mansur, K. L. & Carvalho, I. S. Characterization and valuation of the geological heritage identified in the Peró dune field, state of Rio de Janeiro, Brazil. **Geoheritage**, v. 3, p. 97-15, 2011.

Martins, L. R.; Melo, U.; França, A. M. C.; Santana, C. I. & Martins, I. R. Distribuição faciológica da Margem Continental Sul Riograndense. Congresso Brasileiro de Geologia, Belém, Brasil, v. 2, p.115-132, 1972.

Martins, I. R.; Martins, L. R. & Urien, C. M. Sedimentos relíquias na Plataforma Continental Brasileira. **Pesquisas em Geociências**, v. 9, p. 76-91, 1978.

Martins, L. R.; Martins, I. R. & Urien, C. M. Aspectos sedimentares da Plataforma Continental na área de influência do Rio de La Plata. **Gravel**, v. 1, p. 68-80, 2003.

Martins, L. R. & Urien, C. M. Areias da Plataforma e a erosão costeira. **Gravel**, v. 2, p. 4-24, 2004.

Martins, L. R. Aspectos Científicos dos Recursos Minerais Marinhos. In: Estudo do Mar: importância econômica, política e estratégica dos recursos minerais da plataforma continental brasileira e áreas oceânicas adjacentes. **Parcerias Estratégicas**, v. 24, p. 115-136, 2007.

Martins, L. R. S. & Souza, K. G. Ocorrência de recursos minerais na plataforma continental brasileira e áreas oceânicas adjacentes. **Parcerias Estratégicas**, v. 24, p.137-190, 2007.

Miranda, L. B.; Luedemann, E. F. & Miyao, S. Distribuição da temperatura, salinidade e circulação geral em superfície - Relatório sobre a Segunda pesquisa oceanográfica e pesqueira do Atlântico Sul entre Torres e Maldonado (lat. 29° S – 35° S). **Programa Rio Grande do Sul – 2° Publicação Especial do IOUSP**, v. 3, n. 2, p. 1 – 82, 1973.

Mohriak, W. U. Bacias Sedimentares da Margem Continental Brasileira. In: Bizzi, L. A.; Schobbenhaus, C.; Vidotti, R. M. & Gonçalves, J. H. (Eds.) **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil**, CPRM, Brasília, p. 87-94, 2003.

Naidoo, R.; Balmford, A.; Ferraro, P. J.; Polasky, S. & Ricketts, T. H. Integrating economic costs into conservation planning. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 21, p. 681–687, 2006.

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration. Final Rule to Implement Speed Restrictions to Reduce the Threat of Ship Collisions. **Federal Register**, v. 73, n.198, 2008.

Norse, E. A. **EBM perspective: Ocean zoning is inevitable**. Washington, DC: Marine Conservation Biology Institute, 2008. Disponível em: http://mcbi.marine-conservation.org/publications/pub_pdfs/norse_MEAM_2008.pdf

Norse, E. A. Ecosystem-based spatial planning and management of marine fisheries: why and How? **Bulletin of Marine Science**, v. 86, p. 179-195, 2010.

Nunes, J. C.; Lima, E. A. & Medeiros, S. Os Açores, ilhas de geodiversidade: o contributo da Ilha de Santa Maria. **Açoreana**, v. 5, p. 74-111, 2007.

Paixão, B. E. G. **Distribuição faciológica da Bacia de Pelotas**. Rio Grande, FURG. Monografia (Graduação em Oceanologia), Universidade Federal do Rio Grande, 53p, 2012.

Pereira, C. S. Seasonal variability in the coastal circulation on the Brazilian continental shelf (29° - 35°). **Continental Shelf Research**, v. 9, n. 3, p. 285 – 299, 1989.

Pinto-Correia, T.; D'Abreu, A. C.; Oliveira, R. Identificação de Unidades de Paisagem. Metodologia aplicada a Portugal Continental. **Finisterra**, v. 72, p. 195-206, 2001.

Piola, A. R.; Campos E. J. D.; Möller Jr., O. O.; Charo, M. & Martinez C. The Subtropical Shelf Front off eastern South America. **Journal of Geophysical Research**, v. 105, p. 6565–6578, 2000.

Polette, M. **Gerenciamento Costeiro Integrado: uma nova perspectiva para o Brasil**. Informativo da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar – CIRM, 1997.

Prestelo, L. & Vianna, M. Identifying multiple-use conflicts prior to marine spatial planning: A case study of a multi-legislative estuary in Brazil. **Marine Policy**, v. 67, p. 83-93, 2016.

Quan, J.; Oudwater, N.; Pender, J. & Martin, A. **GIS and participatory approaches in natural resources research**. Socio-economic methodologies for natural resources research: Best practices guidelines. Chatham, UK: Natural Resources Institute, 40 p. 2001.

Rodrigues, P. H. & Ferigolo, J. Roedores pleistocênicos da Planície Costeira do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Paleontologia**, v. 7, n. 2, p. 231-238, 2004.

Roff, J. C. & Taylor, M. E. National frameworks for marine conservation – a hierarchical geophysical approach. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, v. 10, p. 209–223, 2000.

Roff, J. C.; Taylor, M. E. & Laughren, J. Geophysical approaches to the classification, delineation and monitoring of marine habitats and their communities. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, v. 13, p. 77–90, 2003.

Rovere, A.; Vacchi, M.; Valeriano, V.; Morri, C.; Bianchi, C.N. & Firpo, M. Bringing geoheritage underwater: definitions, methods and application in two Mediterranean marine areas. **Environmental Earth Sciences**, v. 64, n. 1, p. 133-142, 2011.

Ruban, D. A. Quantification of geodiversity and its loss. **Proceedings of the Geologists' Association**, v. 121, p. 326-333, 2010.

Saaty, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. **International Journal of Services Sciences**, v. 1, n. 1, p. 83-97, 2008.

Santana, C. I. Mineral resources of the Brazilian Continental Margin and adjacent oceanic regions. In: Martins, L. R. & Santana, C. I. (Eds.). **Non Living Resources of the Southern Brazilian Coastal Zone and Continental Margin**. OAS/IOC-UNESCO/MCT. p. 15-25, 1999.

Sayer, J.; Sunderland, T.; Ghazoul, J.; Pfund, J. L.; Sheil, D.; Meijaard, E.; Venter, M.; Boedhihartono, A. K.; Day, M.; Garcia, C.; van Oosten, C. & Buck, L. E. Ten principles for a landscape approach to reconciling agriculture, conservation, and other competing land uses. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the U.S.A**, v. 110, p. 8349–8356, 2013.

Serrano Cañadas, E. & Ruiz Flaño, P. Geodiversidad: concepto, evaluación y aplicación territorial. El caso de Tiernes Caracena (Soria). **Boletín de la A. G. E. N.**, v. 45, p. 79-98, 2007.

Silva, C. R.; Ramos, M. A. B.; Pedreira, A. J. & Dantas, M. E. Começo de tudo. In: SILVA, C.R. (Ed.). **Geodiversidade do Brasil: conhecer o passado para entender o presente e prever o futuro**. Rio de Janeiro: CPRM Cap. 1, p. 11-19, 2008.

Silva, C. R.; Marques, V. J.; Dantas, M. E. & Shinzato, E. Aplicações múltiplas do conhecimento da geodiversidade. In: SILVA, C.R. (Ed.), **Geodiversidade do Brasil: conhecer o passado para entender o presente e prever o futuro**. Rio de Janeiro: CPRM Cap. 13, p. 182-204, 2008.

Souza, K. G. Recursos minerais marinhos além das jurisdições nacionais. **Brazilian Journal of Geophysics**, v. 18, n. 3, p. 455-466, 2000.

Souza, C. R. G. A Erosão Costeira e os Desafios da Gestão Costeira no Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 9, n. 1, p. 17-37, 2009.

Souza, R. B. & Robinson, I. S. Lagrangian and satellite observations of the Brazilian Coastal Current. **Continental Shelf Research**, v. 24, p. 241-262, 2004.

Stanley, M. Geodiversity. **Earth Heritage**, v. 14, p. 15-18, 2000.

Sverdrup, H. U.; Johnson, M. W. & Fleming, R.H. **The Oceans, their physics, chemistry and general biology**. New York, Prentice-Hall, 1087 p. 1942.

Tagliani, C. R. **A mineração na porção média da Planície Costeira do Rio Grande do Sul: estratégia para a gestão sob um enfoque de Gerenciamento Costeiro Integrado**. Porto Alegre, UFRGS. Tese (Doutorado em Geociências), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 252 p. 2002.

Tagliani, C. R. A. **Técnicas para avaliação da vulnerabilidade ambiental de ambientes costeiros utilizando um sistema geográfico de informações**. Anais do 11º Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Belo Horizonte, Brasil, p. 1657 – 1664, 2003.

Tomlin, D. **Geographic information systems and Cartographic Modeling**. Prentice Hall, New York, 1990.

Trainini, M. D. R. **Projeto Mapas metalogenéticos e de previsão de recursos minerais, Folhas SI-22 Jaguarão - Rio Grande**. Escala 1:250.000, Brasil, 1987.

Urien C. M. & Martins, L. R. Sedimentos da Plataforma Continental Sul Americana entre Cabo de Santa Marta (Brasil) e Terra do Fogo (Argentina). Parte 1. Texturas e Origem. Congresso Brasileiro de Geologia, Porto Alegre, p. 313-323, 1974.

Urien, C. M. & Martins, L. R. **Structural and physiographic map of eastern South America and western South Africa**. CECO/UFRGS. Série Mapas, 03. Porto Alegre, Brasil, 1978.

Unece. Report of the Executive Body on its twenty-fifth session held in Geneva, 2008.

Valentine, P. C.; Todd, B. J. & Kostylev, V. E. Classification of marine sublittoral habitats with application to the northeastern North America region. **American Fisheries Society Symposium**, v. 41, p. 183–200, 2005.

Van Lancker, V. & Foster-Smith, R. How do I make a map? In: MESH Guide to Habitat Mapping, MESH Project, 2007. JNCC, Peterborough, p. 78, 2007. Disponível online em: <http://www.searchmesh.net/>.

Vasconcelos, Y. Fertilizante marinho. Uso de algas calcárias como adubo em lavouras de cana pode elevar a produtividade em até 50%. **Pesquisa Fapesp**, v. 7, p. 62–64, 2012.

Vilas Boas, G. S. & Bittencourt, A. C. S. P. Variação da energia e sua repercussão nas características composicionais e texturais em sedimentos praias atuais: exemplo da costa leste da Baía de Todos os Santos, Bahia, Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 22, n. 3, p. 311-320, 1992.

Villwock J. A. & Martins L. Depósitos lamíticos do pós-praia, Cassino, RS. **Pesquisas em Geociências**, v. 1, p. 69-85, 1972.

Villwock, J. A. **Concentrações de areias negras ao longo da costa do Rio Grande do Sul**. In: Simpósio Brasileiro de Mineração, Porto Alegre, p. 38-39, 1979.

Villwock, J. A. Geology of the Coastal Province of Rio Grande do Sul, Southern Brazil - A synthesis. **Pesquisas**, v. 16, p. 5-49, 1984.

Villwock, J. A. & Tomazelli, L. J. Geologia Costeira do Rio Grande do Sul. **Notas Técnicas**. Instituto de Geociências, UFRGS, n.8, 45 p. 1995.

Weeks, R.; Russ, G. R.; Alcala, A. C. & White, A. T. Effectiveness of marine protected areas in the Philippines for biodiversity conservation. **Conservation Biology**, v. 24, p. 531-540, 2010.

Weiss, C. V. C.; Tagliani, P. R. A.; Espinoza, J. M. A.; Lima, L. T. & Gandra, T. B. R. Spatial planning for wind farms: perspectives of a coastal area in southern Brazil. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 20, p. 655-666, 2018.

Wentworth, C. K. A scale of grade and class terms for clastic sediments. **Journal of Geology**, v. 30, p. 377-392, 1922.

World Summit on Sustainable Development (WSSD). **Plan of Implementation**, n. 31, 2002.

Yang, X. Theme issue: remote sensing of the coastal ecosystems. **Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 20, p. 568-591, 2008.

Zembruski, S. G. Sedimentos da plataforma continental do Brasil. Diretoria de Hidrografia e Navegação, v. 26, n. 10, p. 369-409, 1967.

Zembruski, S. G. Geomorfologia da Margem Continental Sul Brasileira e das Bacias Oceânicas Adjacentes. In: **Geomorfologia da margem continental brasileira e das áreas oceânicas adjacentes**. Relatório final, Projeto REMAC, 177 p. 1979.