

## Seleção de Áreas Marinhas Protegidas potenciais para o gerenciamento pesqueiro: um estudo de caso da região sudeste-sul do Brasil

Mario Francisco Lacerda Miceli <sup>1</sup>  
Philip Conrad Scott <sup>1</sup>  
Arimatêa de Carvalho Ximenes <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Santa Úrsula – USU  
Laboratório de Aqüicultura e Sistemas de Informações Geográficas  
Rua Jornalista Orlando Dantas, 59, Botafogo – Rio de Janeiro – RJ, Brasil  
miceli.mail@gmail.com, philip@laquasig.bio.br

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE  
Caixa Postal 515 – 12201-970 – São José dos Campos – SP, Brasil  
arimatea@dpi.inpe.br

**Abstract.** Commercial fisheries stocks of the Southeastern-Southern Region of Brazil have been heavily exploited over time. In response to the increased need for conservation efforts and restoration of stocks of overexploited species, a simple model based on a Geographic Information System using IDRISI software was developed addressing the selection process for determination of potential areas to be considered as Marine Protected Areas (MPAs) using biogeographic and habitat representation as a theoretical framework. Presence/absence data for 10 important commercial fishery stocks currently exploited by the fishing industry and a bathymetric map were used as data sources. All species could be represented in a minimum of 12 protected areas as determined by complementarity analysis. We also illustrate the use of spatial multi-criteria evaluation for determining the suitability of additional marine areas. It is hoped that the results of this study can be used to support definition of different spatial arrangements based on size, shape and distance for a MPA network in order to support the recovery of fishery stocks.

**Palavras-chave:** fishery stocks, GIS, complementarity analysis, multi-criteria evaluation, estoques pesqueiros, SIG, análise de complementaridade, avaliação multi-critério.

### 1. Introdução

Diante do declínio da biodiversidade e da pesca em muitas regiões dos oceanos em função da exploração, poluição e degradação ambiental (Kelleher, 1999; Day & Roff, 2000) a comunidade internacional, através da Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar (CNUDM), estabeleceu normas para a utilização e conservação dos recursos marinhos.

Para atender os compromissos definidos pela CNUDM e propiciar o reordenamento da atividade pesqueira nacional, entre 1995 e 2001 o Brasil realizou o Programa Avaliação do Potencial Sustentável de Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva (REVIZEE). Os resultados do REVIZEE para a região sudeste-sul (Cabo de São Tomé – RJ ao Arroio Chuí – RS) são preocupantes, indicando que muitas espécies importantes para a indústria pesqueira como a corvina e o cherne-poveiro encontram-se intensamente explorados.

De forma a proteger a biodiversidade e reduzir os efeitos das incertezas do gerenciamento pesqueiro tradicional, diversos países como Canadá, Nova Zelândia e Itália estão implementando Áreas Marinhas Protegidas (AMPs). De acordo com Kelleher (1999) os benefícios esperados são a proteção da integridade, função e estrutura do ecossistema, melhora na compreensão dos sistemas marinhos e manutenção da produtividade. Para o gerenciamento pesqueiro, uma rede de AMPs podem beneficiar pescarias depletadas através da exportação de larvas e migração de adultos para áreas não protegidas.

Existe uma grande número de termos que designam AMPs. Alguns desses termos são

parque marinho, santuário marinho, área de conservação marinha, reserva da vida marinha e refúgio da vida marinha. Apesar da terminologia variada, que muitas vezes gera confusão, as AMPs podem ser enquadradas em duas categorias:

- **AMP de uso sustentável** é uma área protegida onde o uso de seus recursos é permitido, mas tal uso é regulado para garantir os objetivos de conservação a longo prazo.
- **AMP de proteção integral** (reserva marinha) é uma área completamente protegida, isto é, não é permitida a extração ou modificação dos recursos marinhos vivos ou não-vivos.

Nesse estudo, o objetivo consiste na construção de um modelo simples, em escala regional (1:50 milhões), que auxilie na seleção de áreas potenciais para o estabelecimento de uma rede de AMPs na região sudeste-sul do Brasil para auxiliar no gerenciamento pesqueiro.

## 2. Área de estudo

A área de estudo compreende a região sudeste-sul marinha brasileira, entre as latitudes 21° – 34° S e longitudes 39° – 54° W, sobre a plataforma continental e o talude até a profundidade de 1.500 m (**Figura 1**).

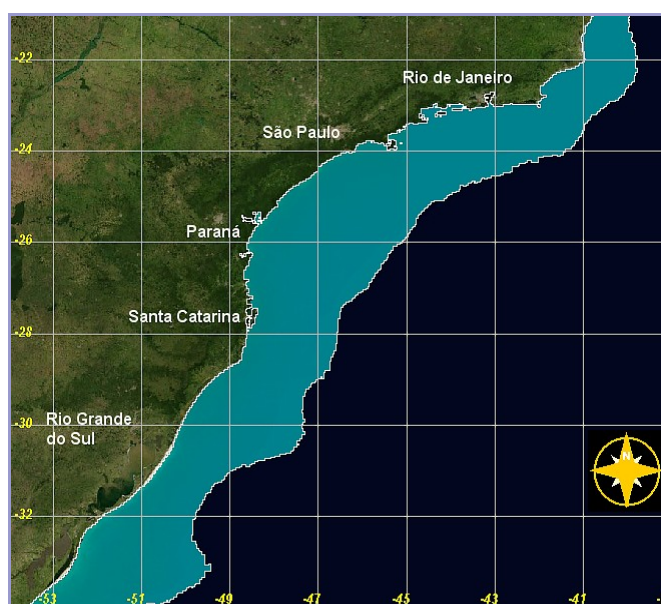


Figura 1 – Região sudeste-sul do Brasil com a área de estudo destacada em azul.

Toda a área é influenciada pela Corrente do Brasil (CB), que consiste de uma corrente de contorno oeste do giro subtropical do Atlântico Sul. A Corrente do Brasil flui para o sul, bordejando o continente sul-americano até encontrar-se com a Corrente das Malvinas (CM), na região da Convergência Sub-Tropical (CS), onde se separa da costa confluindo para leste (Castro *et al.*, 2006).

A área de estudo compreende duas regiões biogeográficas: a **Plataforma Continental Sudeste (PCSE)** e a **Plataforma Continental Sul (PCS)**. A primeira (22° – 28° S) é caracterizada pela presença da Água Central do Atlântico Sul (< 20° C) sobre a parte interna da plataforma no verão. A PCS (28° – 33° 44' S) é influenciada pela convergência das Correntes do Brasil e das Malvinas no inverno e aportes de águas continentais da Lagoa dos Patos e do Rio da Plata (Castro *et al.*, 2006).

### 3. Materiais e métodos

#### 3.1. Fonte de dados

**Base Cartográfica:** mosaico de imagens do satélite AQUA/MODIS bandas 7, 2 e 1 com resolução espacial de 500 m, disponível em <http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/subsets/>. Esse mosaico de imagens serviu como referência cartográfica para todos os dados desse estudo. Foi utilizada a projeção Lat/Long, Datum WGS-84.

**Dados de batimetria:** pertencentes ao banco de dados ETOPO2v2 do *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), disponível em <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html/>.

**Mapas de ocorrência das espécies marinhas exploradas:** obtidos de Cergole, Ávila-da-Silva & Rossi-Wongtschowski (2005). A produção desses mapas baseou-se em dados levantados pelo REVIZEE, sendo os limites de ocorrência delineados por especialistas em cada espécie. Ao todo foram importados mapas de ocorrência de 10 espécies (**Tabela 1** e **Figura 2**).

Tabela 1 – Espécies abordadas nesse estudo.

Nome comum	Nome científico	Habitat	Situação do estoque
Abrótea	<i>Urophycis brasiliensis</i>	Demersal	Plenamente explorado
Anchoita	<i>Engraulis anchoita</i>	Pelágico	Inexplorado
Cherne-poveiro	<i>Polyprion americanus</i>	Demersal	Sobreexplorado
Corvina	<i>Micropogonias furnieri</i>	Demersal	Sobreexplorado
Linguado-branco	<i>Paralichthys patagonicus</i>	Demersal	Sobreexplorado
Maria-mole	<i>Cynoscion guatucupa</i>	Demerso-pelágico	Sobreexplorado
Merluza	<i>Merluccius hubbsi</i>	Demerso-pelágico	Plenamente explorado
Pescada-foguete	<i>Macrodon ancylodon</i>	Demersal	Sobreexplorado
Sardinha-verdadeira	<i>Sardinella brasiliensis</i>	Pelágico	Sobreexplorado
Xixarro	<i>Trachurus lathami</i>	Demerso-pelágico	Plenamente explorado

Fonte: Adaptado de Cergole, Ávila-da-Silva & Rossi-Wongtschowski (2005)

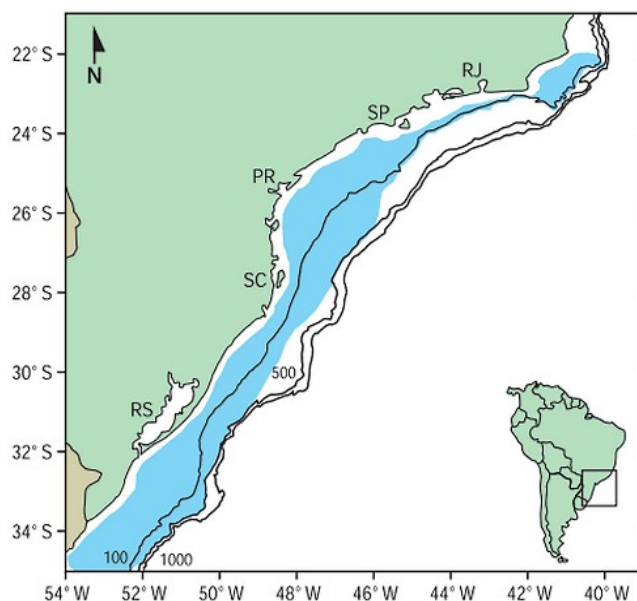


Figura 2 – Exemplo do mapa de ocorrência da anchoita.

**Posição das AMPs existentes:** disponível através do IBAMA em <http://www.ibama.gov.br/siucweb/> no formato *shapefile*. As AMPs existentes na área de estudo são: Reserva Extrativista Marinha de Arraial do Cabo (RJ), Parque Estadual Marinho de Laje de Santos (SP), Reserva Biológica Marinha de Arvoredo (SC), Área de Proteção Ambiental de Baleia Franca (SC) e Reserva Extrativista Marinha de Pirajubaé (SC).

### 3.2 Metodologia

Definido o objetivo e a área de estudo, o passo seguinte para o desenvolvimento de uma rede de AMPs foi dividir a área em unidades de planejamento (células) de 10 x 10 km, correspondendo a uma escala cartográfica de 1:50 milhões. O tamanho adotado para as células foi devido a escala dos mapas de ocorrência das espécies exploradas.

O estudo foi restrito as espécies marinhas de interesse comercial (**Tabela 1**). Mapas de ocorrência (presença / ausência) de 10 espécies foram utilizados como fonte de dados. Foi assumido que usando somente mapas de ocorrência, as espécies protegidas em uma área em particular sejam abundantes o suficiente para garantir a sobrevivência por longo tempo naquela área.

Um dos mais importantes critérios para garantir a conservação dos estoques pesqueiros quando utilizamos uma abordagem com várias espécies é a proteção de todos os habitats. Os dados de batimetria ETOPO2v2 foram utilizados para distinguir os habitats de acordo com os seguintes intervalos de profundidade: **Plataforma continental interna (PCI):** 0 – 30 m, **Plataforma continental média (PCM):** 30 – 100 m, **Plataforma continental externa (PCE):** 100 – 200 m e **Talude (TL):** 200 – 1.500 m.

#### 3.2.1. Análise de complementaridade

A seleção do número mínimo de células capazes de conservar todas as espécies foi baseada na complementaridade de espécies, utilizando o algoritmo descrito por Rebelo & Sigfried (1992) implementado no *software* DIVA-GIS 5.4.

De acordo com Roberts *et al.* (2003) uma rede de AMPs deve ser planejada de forma autônoma para cada região biogeográfica. Assim, foi selecionado o número mínimo de células necessárias para incluir todas as espécies presentes em cada habitat de cada região biogeográfica, e mapeamos a localização dessas células resultando no **plano de informação (PI) AMPs de proteção integral**. Na análise de complementaridade as espécies foram igualmente pesadas.

De forma a evitar uma transição abrupta de uma área protegida para uma área sem proteção (Day & Roff, 2000), uma operação de *buffer* (área de amortecimento) com extensão 10 km foi realizada entorno das células selecionadas pela a análise de complementaridade resultando no **PI AMPs de uso sustentável (Tabela 2)**.

Tabela 2 – Quadro sintético da metodologia para o desenvolvimento dos PIs AMPs de proteção integral e AMPs de uso sustentável.

PI desenvolvido	Software	Operação	Fonte de dados
AMPs de proteção integral	DIVA-GIS	Análise de complementaridade	Mapa de ocorrência das espécies em cada habitat
AMPs de uso sustentável	IDRISI	<i>Buffer</i> 10 km	PI AMPs de proteção integral

### 3.2.2. Avaliação multi-critério

De forma a complementar os resultados obtidos pela metodologia da seção anterior, utilizamos a avaliação multi-critério, através do IDRISI, para avaliar a adequação de áreas não selecionadas pela análise de complementaridade, para o estabelecimento de AMPs.

A avaliação multi-critério é uma técnica de tomada de decisão que permite combinar vários fatores para formar um único índice de avaliação. A escolha dos fatores (**Tabela 3**) foi baseada nos critérios de que uma rede de AMPs deve ser planejada no contexto das AMPs existentes e que deve proteger espécies ameaçadas (Roberts *et al.*, 2003).

Tabela 3 – Fatores utilizados na avaliação multi-critério.

Fator	Fonte de dados	Operação do Idrisi
Distância das AMPs existentes	Posição das AMPs existentes (seção 3.1)	<i>Distance</i> (distância)
Distância das AMPs de uso sustentável	AMPs de uso sustentável (seção 3.2.1)	<i>Distance</i>
Riqueza de espécies	Mapas de ocorrência de todas as espécies (Tabela 1)	<i>Add</i> (soma)
Espécies sobreexplotadas	Mapas de ocorrência das espécies sobreexplotadas apenas (Tabela 1)	<i>Add</i>

Para combinar os diferentes fatores, foi necessário padronizá-los a uma mesma escala de valores. Usou-se o conceito *fuzzy* onde os fatores foram padronizados para uma escala contínua entre 0 (menos adequado) e 1 (mais adequado). A padronização dos fatores ocorreu da seguinte forma:

- **Fatores distância das AMPs existentes e distância das AMPs de uso sustentável:** a conectividade representa um dos maiores desafios para o projeto de AMPs não havendo recomendações precisas em relação ao espaçamento entre elas (Robert *et al.*, 2003). Para esses fatores foi utilizada uma função linear crescente até a distância de 300 km (valor 1), e uma função linear decrescente para distâncias superiores a 300 km.
- **Fatores riqueza de espécies e espécies sobreexplotadas:** foi utilizada uma função linear crescente, atribuindo o valor 1 para as células com o maior número de espécies.

Após a padronização, foi estabelecida a importância relativa entre os fatores através do método de comparação pareada utilizando a escala de Saaty (*in* Eastman, 2005). Cada célula da **Tabela 4** indica a importância relativa do fator da coluna da esquerda em relação ao fator da linha superior.

Tabela 4 – Matriz de comparação pareada entre os fatores.

Fator	Parâmetros para a comparação pareada								
	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
	Extremamente	Muito fortemente	Fortemente	Moderadamente	Igualmente	Moderadamente	Fortemente	Muito fortemente	Extremamente
	Menos importante					Mais importante			
Dist. AMPs existentes			1						
Dist. AMPs uso sustentável			3	1					
Espécies sobreexplotadas			1/3	1/5		1			
Riqueza de espécies			1/5	1/7		1/5		1	

Nesse estudo, as justificativas para a atribuição de maior importância aos fatores relacionados com a distância foram: a) todas as espécies já foram incluídas em AMPs através da análise de complementaridade e b) a possibilidade de realizar a distribuição das AMPs de forma mais regular sobre a área de estudo.

A partir dos valores da **Tabela 4** o peso para cada fator foi calculado através do processo hierárquico analítico (PHA), indicando a importância de cada fator em relação aos demais.

O último passo foi a aplicação da combinação linear ponderada (CLP). A CLP foi realizada multiplicando cada fator padronizado pelo seu respectivo peso obtido pelo PHA e somando a seguir todos os resultados.

## 4. Resultados e discussão

### 4.1. Análise de complementaridade

A análise de complementaridade indicou que 12 células foi o número mínimo capaz de incluir todas as espécies que ocorrem em cada habitat de cada região biogeográfica. Na região PCSE foi suficiente a seleção de apenas uma célula em cada um dos habitats PCI, PCM, PCE e duas células no TL. Na região PCS foi suficiente uma célula na PCM e duas células em cada um dos demais habitats.

A operação de *buffer* resultou em uma área de aproximadamente 600 km<sup>2</sup> entorno de cada célula selecionada pela análise de complementaridade (**Figura 3**).

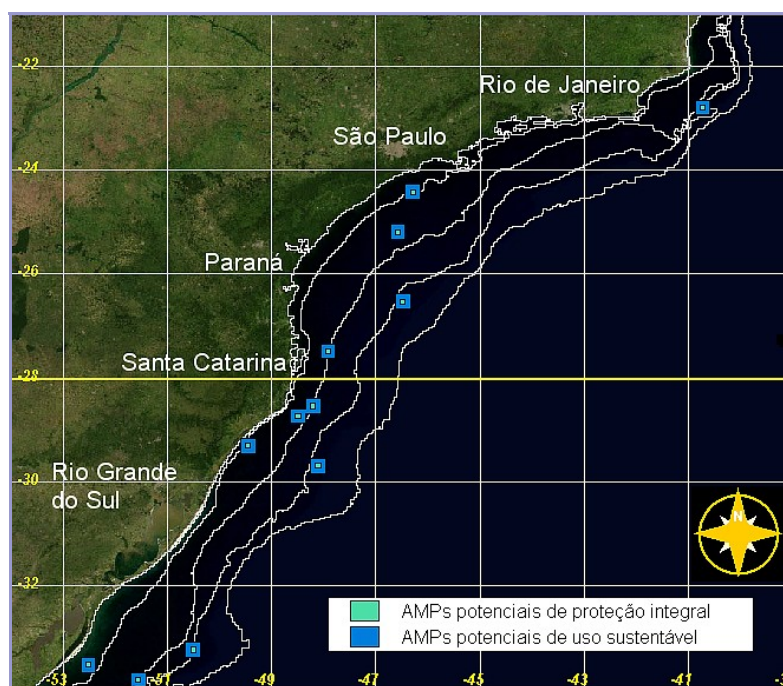


Figura 3 – Posição das AMPs potenciais de proteção integral e de uso sustentável. A latitude 28° S indica a fronteira entre as regiões biogeográficas PCSE e PCS.

Apesar de Robert *et. al.* (2003) afirmarem que existem evidências de que os benefícios das AMPs de proteção integral serão maximizados quando entre 20% e 50% da área for protegida, diversos obstáculos culturais, políticos e econômicos podem impedir o estabelecimento de uma rede de AMPs tão vasta. O número de células selecionadas pela análise de complementaridade cobriu aproximadamente 0,33% da área de estudo. Todavia, é possível a inclusão de novas áreas ao modelo através de múltiplas iterações até que seja alcançado o número de células necessárias para garantir o percentual de proteção desejável.

De acordo com Hilborn *et al.* (2004) o estabelecimento de AMPs não necessita banir completamente a atividade pesqueira nas áreas designadas, nas quais podem acomodar a pesca e outras atividades econômicas sob regimes específicos. Assim, estabelecemos uma área de *buffer* designada AMPs de uso sustentável que cobriu aproximadamente 2% da área de estudo. Caso seja desejável, é também possível aumentar a área a ser protegida simplesmente aumentando a extensão do *buffer*.

#### 4.2 Avaliação multi-critério

Os pesos calculados pelo PHA estão listados na **Tabela 5**.

Tabela 5 – Pesos calculados pelo PHA.

Fator	Peso
Distância das AMPs de uso sustentável	0,5558
Distância das AMPs existentes	0,2589
Espécies sobreexploradas	0,1364
Riqueza de espécies	0,0489

A partir dos pesos da **Tabela 5**, a equação que definiu o valor de cada *pixel* do mapa da avaliação multi-critério (**Figura 4**) foi:

$$MA = (DAS \times 0,5558) + (DAE \times 0,2589) + (ES \times 0,1364) + (RE \times 0,049)$$

onde: MA = Mapa de avaliação de áreas suplementares, DAS = PI distância das AMPs de uso sustentável padronizado, DAE = PI distância das AMPs existentes padronizado, ES = PI espécies sobreexploradas padronizado, RE = PI riqueza de espécies padronizado.

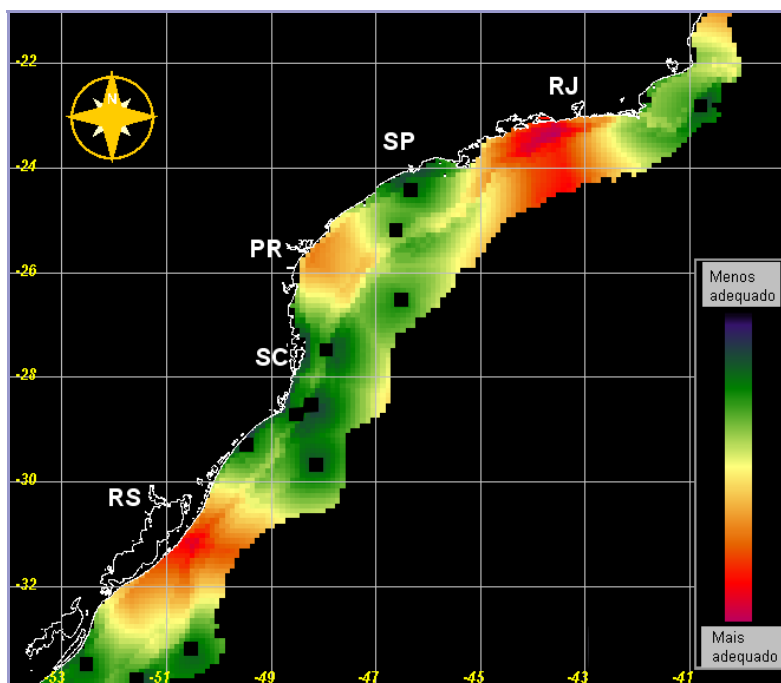


Figura 4 – Mapa de avaliação de áreas suplementares.

O resultado indicou áreas potenciais principalmente no litoral do Estado do Rio de Janeiro, Paraná e Rio Grande do Sul sobre a PCM. O modelo sugerido para as novas AMPs poderia ser o mesmo visto na seção 3.2.1, isto é, uma AMP de proteção integral cercada por uma AMP de uso sustentável.

Apesar dos fatores utilizados serem relevantes ao planejar uma rede de AMPs, é muito importante ressaltar que as funções *fuzzy* e os pesos aplicados aos fatores foram atribuídos de forma subjetiva baseando-se no conhecimento sobre o tema. Contudo, a metodologia é flexível, permitindo a inclusão de novos fatores ou reavaliação das funções e pesos em um fórum técnico.

## 5. Conclusão

Esse estudo ilustrou a possibilidade do uso das técnicas análise de complementaridade e avaliação multi-critério para seleção de áreas com o potencial de auxiliar no gerenciamento pesqueiro. A abordagem é flexível e novos critérios podem ser adicionados dependendo da disponibilidade dos dados e objetivos desejados.

Uma limitação da metodologia foi a não inclusão de dados que refletem as mudanças de comportamento dos indivíduos e populações. Para incorporar a natureza dinâmica dos sistemas físicos e biológicos no projeto de AMPs, é necessária uma melhor compreensão da relação entre as mudanças ambientais e características das espécies como crescimento populacional e dispersão larval.

Contudo, a implementação de AMPs no Brasil é rara e inadequada com pouca padronização de procedimentos. Aliada a esse cenário, a gestão da atividade pesqueira é precária trazendo prejuízos à biodiversidade e à produtividade. Diante desse cenário a não adoção de medidas conservacionistas não deve ser uma opção, devendo estas medidas serem baseadas nos melhores dados disponíveis.

## 6. Referências bibliográficas

Castro, B. M.; Lorenzetti, J. A.; Silveira, I. C. A.; Miranda, L. B. A estrutura termohalina e circulação na Região entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS). *In*: Rossi-Wongtschowski, C. L. D. B.; Madureira, L. S. P. (org.). **O ambiente oceanográfico da plataforma continental e do talude na Região Sudeste-Sul do Brasil**. São Paulo: Editora Universidade de São Paulo, 2006. cap.1, p.11 – 120.

Cergole, M.C.; Ávila-da-Silva, A. O.; Rossi-Wongtschowski, C. L. D. B. (eds.). **Análise das principais pescarias comerciais da Região Sudeste-Sul do Brasil: dinâmica populacional das espécies em exploração, Série documentos Revizee: Score Sul**. São Paulo: Editora Universidade de São Paulo, 2005. 176p.

Day, J.C.; Roff, J.C. **Planning for representative marine protected areas: A framework for Canada's Oceans**. Toronto: World Wildlife Fund Canada, 2000. 133 p.

Eastman, J. R. **IDRISI Kilimanjaro, Guide to GIS and image processing**. Worcester: Clark University, 2005. 320p.

Hilborn, R.; Stoke, K.; Maguire, J.J.; Smith, T.; Botsford, L. W.; Mangel, M.; Orensanz, J.; Parma, A. ; Rice, J.; Bell, J.; Cochrane, K. L.; Garcia, S.; Hall, S.; Kirkwood, G. P.; Sainsbury, K.; Stefansson, G.; Walters, C., 2004. When can marine reserves improve fisheries management? **Ocean & Coastal Management**, n. 47, p. 197 – 205, 2004.

Kelleher, G. **Guidelines for marine protected areas**. Cambridge: IUCN, 1999. 107p.

Rebelo, A. G.; Sigfried, W. R. Where should nature reserves be located in the Cape Floristic Region, South Africa? Models for the spatial configuration of a reserve network aimed at maximizing the protection of diversity. **Conservation Biology**, n. 6, p. 243 – 252, 1992.

Roberts C. M.; Aldeman, S.; Branch, G.; Bustamante, R. H.; Castilla, J. C.; Dugan, J.; Halpern, B. S.; Lafferty, K. D.; Leslie, H.; Lubchenco, J.; McArdle, D.; Possingham, H.; Ruckelshaus, M.; Warner, R. R. Ecological criteria for evaluating candidate sites for marine reserves. **Ecological Applications**, v. 13, n.1, p. 199 – 214, 2003.