

Sabrina Mendes Espírito Santo

**ESTUDO DA DISTRIBUIÇÃO DA BALEIA
FRANCA AUSTRAL *Eubalaena australis*
(Desmoulins, 1822) (Cetartiodactyla, Balaenidae), DE
ACORDO COM FATORES AMBIENTAIS, NA
COSTA SUL BRASILEIRA**

Tese de Doutorado
Submetida ao Programa de
Pós Graduação em
Engenharia Ambiental da
Universidade Federal de
Santa Catarina para a
Obtenção do Grau de
Doutor
Orientador: Prof. Dr. Davide
Franco
Co-Orientador: Dr.
Domingos Urbano

Florianópolis

2012



Sabrina Mendes Espírito Santo

**ESTUDO DA DISTRIBUIÇÃO DA BALEIA
FRANCA AUSTRAL *Eubalaena australis*
(Desmoulins, 1822) (Cetartiodactyla, Balaenidae), DE
ACORDO COM FATORES AMBIENTAIS, NA
COSTA SUL BRASILEIRA**

Esta Tese foi julgada adequada para obtenção do Título de “Doutor”, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade de Santa Catarina

Florianópolis, 15 de março de 2012.

Prof. Flávio Lapolli, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof., Dr. Davide Franco,
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Dr. Domingos Fernandes Urbano Neto,
Co-Orientador
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

Prof., Dr. Masato Kobayama,
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof., Dr. Antônio Fernando Härter Fetter Filho,
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.^a, Dr.^a Cláudia Weber Corseuil,
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Cassiano Monteiro Neto
Universidade Federal Fluminense

Prof. Dr. Eduardo Resende Secchi,
Fundação Universidade do Rio Grande

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, Prof. Davide Franco pela orientação.

Aos membros da banca examinadora, pelas contribuições que ajudaram a melhorar esta tese.

Agradeço ao Projeto Baleia Franca por me conceder os dados de baleias francas.

À Karina Groch pela orientação sobre as baleias francas.

Agradeço ao Domingos Urbano pela orientação e pela recepção no INPE/CPTEC.

Agradeço aos colegas do LaHiMar Rodrigo Barletta, Fabiane Britto, Gilmar Gomes, Samuel Segatto, Henrique Frasson, Fábio Godoy, Cláudia Corseuil, Júlia Costa e Karla Straiotto pela ajuda e companheirismo.

Ao Prof. Flávio Lapolli coordenador do PPGEA, Maurício Paiva e Lucas da secretaria do PPGEA, pela ajuda e orientação nos processos burocráticos.

Ao Departamento de Estatística da Universidade de Auckland pela ótima recepção e companheirismo.

À Prof. Rachel Fewster pela orientação com os Modelos Aditivos Generalizados e pela recepção no Dep. de Estatística da Universidade de Auckland.

Ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo apoio financeiro.

Aos meus pais Raymundo e Marta por todo o apoio.

Aos meus guias pela proteção e intuição.

RESUMO

O entendimento das relações entre espécies e variáveis ambientais requer o conhecimento dos fatores que influenciam nos padrões de distribuição das populações. A costa sul brasileira é um importante local de concentração reprodutiva para a baleia franca austral *Eubalaena australis* (Desmoulins, 1822) (Cetartiodactyla, Balaenidae) que, atualmente, apresenta crescimento populacional e variabilidade do número de indivíduos que migram, anualmente, para este local. Foram investigadas as hipóteses de que os fatores ambientais e oceanográficos ENSO (*El Niño Southern Oscillation*), TSM (Temperatura Superficial do Mar), declividade da plataforma e quantidade de baías presentes na linha de costa, influenciam na variabilidade interanual do número de indivíduos e, também, determinam agrupamentos em áreas específicas. Para as análises, foram utilizados dados de número e localização de baleias francas, avistadas através de helicóptero, entre 27.4 e 30.4°S. Inicialmente, foi analisado o padrão de distribuição espacial da população, através de mapas de estimativa de densidade. Foram testadas correlações entre a variabilidade interanual do número de baleias francas e o ENSO. Modelos Aditivos Generalizados (MAGs) foram utilizados para testar relações não-lineares entre baleias francas e as variáveis TSM, índice de embaçamento da costa, declividade da plataforma e latitude. A análise do padrão de distribuição espacial indicou grande concentração de indivíduos nos arredores de Imbituba e Cabo de Santa Marta (28.2 e 28.4°S). Entre as correlações testadas com baleias francas e o ENSO, foi significativa a 0.05, apenas para o índice Nino4, no período de alimentação, com seis anos de atraso temporal. Os MAGs indicaram maior número de baleias francas nos arredores de 28.6°S, TSM entre 15 e 18°C, locais com maior número de baías e maior declividade da plataforma, indicando a importância destes fatores na escolha de habitats pelas baleias francas na costa sul brasileira.

Palavras-chave: Baleia Franca Austral, Costa Sul Brasileira, Fatores Ambientais.

ABSTRACT

Knowledge of the relationships between species and environmental variables requires understanding the factors influencing the distribution patterns of populations. The Southern Brazilian coast is an important reproductive and calving site for Southern right whale *Eubalaena australis* (Desmoulins, 1822) (Cetartiodactyla, Balaenidae), which currently shows population growth, and variability in the number of individuals migrating, annually, to this area. This study investigated the hypothesis that the environmental and oceanographic factors ENSO (*El Niño Southern Oscillation*), SST (Sea Surface Temperature), shelf slope and amount of bays, influence southern right whales concentrating in specific areas, as well as the interannual variability in the number of individuals. Right whales data consisted of number and localization of individuals, sighted through helicopter expeditions between 27.4° and 30.4°S. Firstly, the population spatial distribution was analyzed through density estimative maps. Relationships between interannual variability in the number of right whales and ENSO were tested using nonparametric methods. Generalized Additive Models (GAMs) were applied for testing nonlinear relationships between right whales and the covariates SST, shoreline embayment index, shelf slope and latitude. Spatial distribution analysis showed higher concentration of right whales between Imbituba and Santa Marta Cape, which is a region characterized by cooler waters, many bays and higher shelf slope. Among the correlations tested between ENSO and right whales, it was significant at 0.05 only for the Nino4 index, on the feeding season, within a six years lag. GAMs results showed higher number of right whales around 28.5°S, SST between 15 and 18°C, higher number of bays and higher shelf slope, highlighting the importance of these environmental factors for habitat selection in right whales on the Southern Brazilian coast.

Key-words: Southern Right Whale, Southern Brazilian Coast, Environmental Factors.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa da área em estudo.	17
Figura 2. Fluxograma do método das amostragens de baleias francas.....	18
Figura 3. Gráfico do número total de baleias francas e número de filhotes avistados em setembro de 2001 a 2010.....	22
Figura 4. Fotografia de um exemplar de baleia franca.....	25
Figura 5. Principais locais de concentração reprodutiva e possíveis áreas alimentares para as baleias francas no Atlântico Sudoeste.	26
Figura 6. Mapa batimétrico da PCSE e PCS.	31
Figura 7. Fluxograma esquemático dos métodos.....	39
Figura 8. Mapa das estimativas de densidade para as observações de baleias francas.....	43
Figura 9. Fluxograma dos métodos.....	52
Figura 10. Número total de indivíduos e número de filhotes, por unidade de esforço amostral (CPUE), avistados em setembro de 2001 a 2010.....	53
Figura 11. Gráficos de médias mensais das anomalias dos índices Nino1+2, Nino3 e Nino4 no período de 2001 a 2010.	54
Figura 12. Fluxograma dos métodos.....	66
Figura 13. Ilustração do Comprimento linear e Comprimento real da linha de costa.	69
Figura 14. Linha de costa original e linha de costa utilizada nas análises.....	70
Figura 15. Perfis realizados a cada 0.2° de latitude, utilizados para os cálculos de declividade.....	71
Figura 16. Gráficos dos resultados dos MAGs para o teste do ajustamento com 2, 4, 6 e 10 graus de liberdade.....	78
Figura 17. Gráfico da série de dados de TSM.....	79
Figura 18. Gráfico dos valores do coeficiente de embaçamento.....	80
Figura 19. Gráfico dos valores de declividade em perfis até 800 m de profundidade a cada 0.2° de latitude.....	81
Figura 20. Gráficos de dispersão entre a variável resposta (número de baleias francas) e as covariáveis.....	82
Figura 21. Gráficos resultantes dos MAGs.....	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Descrição do ano, tipo de aeronave utilizada em cada expedição e limites da transecção para a série de dados disponível no Projeto Baleia Franca.....	20
Tabela 2. Resultado dos testes de correlação entre número de baleias francas e filhotes, e as médias de anomalias dos índices de ENSO....	57
Tabela 3. Exemplo da série de dados utilizada nas análises com os MAGs.	76
Tabela 4. Resultados dos MAGs para a relação entre número de baleias francas e as covariáveis.....	83

LISTA DE SIGLAS

ACAS – Água Central do Atlântico Sul
AIC – *Aikaika Information Criteria* (Critério de Informação de Akaike)
AO – *Artic Oscillation*
ASO – Agosto, setembro e outubro
AT – Água Tropical
CCA – Corrente Circumpolar Antártica
CPUE – captura por unidade de esforço
DHN – Diretoria de Hidrografia e Navegação
DV– Desvio Explicado
E – Leste
ENSO – *El Niño Southern Oscillation*
GAMs – *Generalized Additive Models*
GI – Graus de liberdade
GPS – *Global Positioning System*
IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*
IUCN – *International Union for Conservation of Nature*
IWC – *International Whaling Commission*
JFM – Janeiro, fevereiro e março
Lat – Latitude
Long – Longitude
MAGs – Modelos Aditivos Generalizados
MLGs – Modelos Lineares Generalizados
MODIS – *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*
N – Norte
NAO - *North Atlantic Oscillation*
NE – Nordeste
NO – Noroeste
NOAA – *National Oceanic and Atmospheric Administration*
(Estados Unidos)
p – grau de significância
S – Sul
SC – Estado de Santa Catarina
SE – Sudeste
GIS – *Geographic Information Systems*
SO – Sudoeste
SST – *Sea Surface Temperature*
RS – Estado do Rio Grande do Sul
TSM – Temperatura Superficial do Mar
F – Coeficiente de Fisher

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	5
RESUMO	6
ABSTRACT	7
LISTA DE FIGURAS.....	8
LISTA DE TABELAS.....	9
LISTA DE SIGLAS.....	10
SUMÁRIO.....	11
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	13
1.1. OBJETIVOS.....	15
1.2. ESTRUTURA DA TESE.....	15
2. MÉTODO GERAL.....	17
2.1. ÁREA EM ESTUDO.....	17
2.2. MÉTODO DAS AMOSTRAGENS DE BALEIAS FRANCAS.....	18
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	24
3.1. BALEIA FRANCA.....	24
3.2. A BALEIA FRANCA AUSTRAL NA COSTA BRASILEIRA.....	27
3.3. RELAÇÕES ENTRE FATORES AMBIENTAIS E MAMÍFEROS MARINHOS	29
3.4. CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA DA PLATAFORMA CONTINENTAL DO ATLÂNTICO SUDOESTE	31
3.5. CIRCULAÇÃO E MASSAS D'ÁGUA NO ATLÂNTICO SUDOESTE.....	32
3.6. INFLUÊNCIA DO ENSO NO ATLÂNTICO SUDOESTE.....	34
4. ANÁLISE DO PADRÃO DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA BALEIA FRANCA NA COSTA SUL BRASILEIRA.....	36
4.1. INTRODUÇÃO.....	36
4.2. MÉTODOS.....	39
4.3. RESULTADOS.....	42
4.4. DISCUSSÃO.....	44
5. ANÁLISE DAS RELAÇÕES ENTRE O ENSO E A POPULAÇÃO DE BALEIAS FRANCAS NA CONCENTRAÇÃO REPRODUTIVA SUL BRASILEIRA.....	48
5.1. INTRODUÇÃO.....	48
5.2. MÉTODOS.....	52
5.3. RESULTADOS.....	56
5.4. DISCUSSÃO.....	58

6. ANÁLISE DAS RELAÇÕES ENTRE A POPULAÇÃO DE BALEIAS FRANCAS E A TSM, FISIOGRAFIA DA LINHA DE COSTA, DECLIVIDADE DA PLATAFORMA E LATITUDE	63
6.1. INTRODUÇÃO	63
6.2. MÉTODOS	66
6.3. RESULTADOS.....	79
6.4. DISCUSSÃO	86
7. CONCLUSÕES GERAIS	94
7.1. CONSIDERAÇÕES PARA FUTUROS ESTUDOS	94
REFERÊNCIAS	95
ANEXOS	120

1. INTRODUÇÃO GERAL

A baleia franca austral *Eubalaena australis* (Desmoulins, 1822) (Cetartiodactyla, Balaenidae) é uma espécie migratória que utiliza a costa sul brasileira, principalmente, a região centro-sul do estado de Santa Catarina, como local de concentração reprodutiva (Lodi *et al.*, 1996; Greig *et al.*, 2001; Santos *et al.*, 2001). Estudos anteriores nesta região indicam que a espécie apresenta padrões de fidelidade a locais específicos e variabilidade interanual no número de indivíduos presentes na costa (Santos *et al.*, 2001; Groch *et al.*, 2005). Em outras regiões, a baleia franca também apresenta padrões de fidelidade, como na Argentina (Rowntree *et al.*, 2001), Nova Zelândia (Patenaude, 2002) e África do Sul (Elwen e Best, 2004).

A baleia franca austral já foi considerada como espécie em risco de extinção devido ao declínio da população causado pela caça, nos séculos 18 e 19 (International Whaling Commission, 2001b). Entretanto, nos últimos anos, com a recuperação da população, a espécie foi classificada pela IUCN (*International Union for Conservation of Nature*) como em mínimo risco de extinção (IUCN, 2011).

Documentos históricos e literatura publicada indicam que as baleias francas ocorriam em abundância na costa brasileira no passado (Tormosov *et al.*, 1998). Capturadas em grande número devido à caça comercial, a população apresentou grande declínio durante os últimos três séculos (Townsend, 1935; Tormosov *et al.*, 1998). Atualmente, esta população está em crescimento, apresentando recuperação (Santos *et al.*, 2001; Groch *et al.*, 2005).

Neste contexto, estudos sobre a influência dos fatores ambientais na distribuição das baleias francas são importantes para a formulação de planos de monitoramento e conservação adequados. O conhecimento de como a espécie responde aos fatores ambientais deve ser considerado no seu manejo, bem como no planejamento de atividades potencialmente impactantes, nos arredores do seu habitat, como a expansão industrial e atividades portuárias.

Estudos sobre as relações entre espécies e seus habitats são fundamentais para o entendimento de padrões de movimentos, e identificação e previsão de como respondem às mudanças ambientais (Croxall *et al.*, 1992; Austin, 2002; Guisan e Thuiller, 2005). Os fatores ambientais são reconhecidos por explicar e controlar os padrões de distribuição das espécies em diversas regiões (Ciotti *et al.*, 1995; 2000; Austin, 2002; Ferrier *et al.*, 2002; Muelbert *et al.*, 2008) e são base para modelos ecológicos (Guisan e Zimmermann, 2000; Austin, 2002).

Modificações nas características ambientais podem ser originadas por causas naturais e/ou antropogênicas. Podem ser responsáveis por mudanças de habitat, afetar padrões reprodutivos e migratórios, alterações na mortalidade e/ou taxa de crescimento (Croxall *et al.*, 1992; Kareiva *et al.*, 1993; Croxall *et al.*, 2002; Forcada *et al.*, 2005).

Até a data deste estudo, são escassos trabalhos de pesquisa investigando as influências dos fatores ambientais sobre a população de baleias francas na costa brasileira. Em outras regiões, foram identificadas relações entre baleias francas e fatores ambientais, como substrato arenoso e enseadas protegidas da energia de correntes (Elwen e Best, 2004), TSM (Woodley e Gaskin 1996, Keller *et al.* 2012; Greene *et al.* 2003) e ENSO (Leaper *et al.* 2006).

A costa sul brasileira apresenta características ambientais peculiares, destacando-se as diferenças fisiográficas na linha de costa e declividade da plataforma, a resurgência do Cabo de Santa Marta (Martins e Urien, 2005; Pimenta *et al.*, 2006; Pereira *et al.*, 2009) e padrão de circulação e penetração de correntes e massas d'água (Möller *et al.*, 2008; Piola *et al.*, 2008).

Portanto, destaca-se a importância do estudo das influências dos fatores ambientais e oceanográficos na escolha de habitats pelas baleias francas na concentração reprodutiva sul brasileira. Neste contexto, o presente estudo objetiva procurar relações entre os processos ambientais e características fisiográficas da costa, e os padrões de distribuição e número de indivíduos presentes anualmente nesta região.

1.1. OBJETIVOS

Os principais objetivos desta tese foram:

a) Estudar a distribuição da baleia franca austral na costa sul brasileira, entre as latitudes 27.4 e 30.4°S.

b) Testar a influência dos fatores ambientais ENSO, TSM, quantidade de baías (coeficiente de embaiamento) e declividade da plataforma continental, em relação ao número de indivíduos presentes anualmente, e padrão distribuição espacial das baleias francas na costa sul brasileira.

Os objetivos específicos foram:

- Analisar a distribuição espacial da baleia franca, identificando as áreas com maiores agrupamentos, e as características fisiográficas da costa e relevo submarino nestes locais.

- Testar as relações entre o número de indivíduos avistados anualmente na costa sul brasileira e o ENSO.

- Testar a existência de relações não-lineares entre o padrão de distribuição e número de baleias francas avistadas anualmente na costa sul brasileira, e as variáveis TSM, quantidade de baías, declividade da plataforma e latitude.

1.2. ESTRUTURA DA TESE

Esta tese está organizada na forma de 7 capítulos. O primeiro capítulo contém a Introdução geral, os Objetivos e Estrutura da Tese.

O segundo capítulo é o Método Geral, que consiste de uma descrição detalhada da coleta dos dados de baleias francas. Estes dados são utilizados em todas as análises da tese.

O terceiro capítulo consiste da Fundamentação Teórica, que aborda a revisão da literatura sobre os principais tópicos deste estudo.

Os capítulos 4, 5 e 6 são as análises realizadas, e estão divididos na forma de artigos independentes:

Capítulo 4 - Artigo 1: Análise do padrão de distribuição espacial da baleia franca na costa sul brasileira.

Capítulo 5 - Artigo 2: Análise das relações entre o ENSO e a população de baleias francas na concentração reprodutiva sul brasileira.

Capítulo 6 - Artigo 3: Análise das relações entre a população de baleias francas e a TSM, fisiografia da linha de costa, declividade da plataforma e latitude.

O sétimo capítulo apresenta as conclusões obtidas nesta tese.

Ao final são apresentadas as referências bibliográficas e os anexos.

2. MÉTODO GERAL

2.1. ÁREA EM ESTUDO

A área em estudo compreende a extensão da costa entre Ilha de Santa Catarina (27.4°S, 48°W) até o norte do Rio Grande do Sul, (30.4°S, 52°W) (Figura 1).

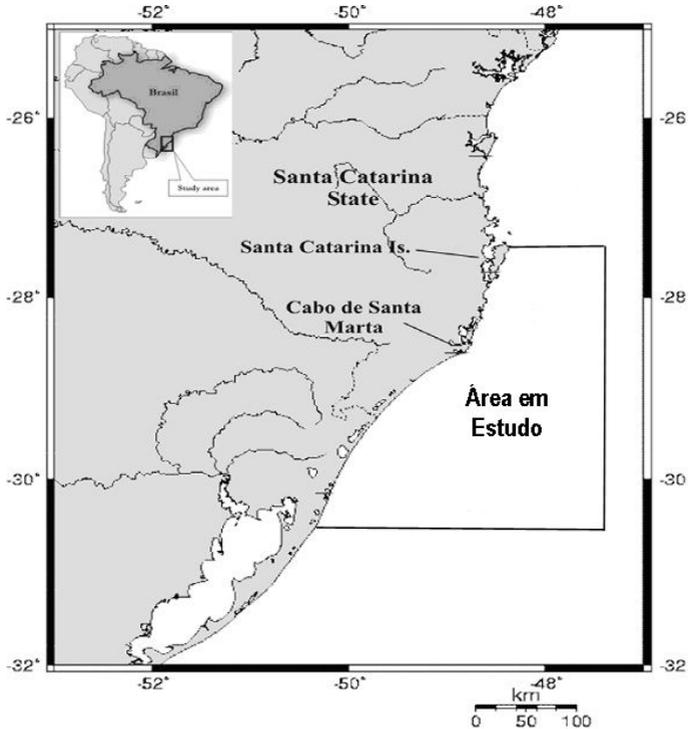


Figura 1. Mapa da área em estudo.

A área em estudo está localizada entre a Plataforma Continental Sudeste e a Plataforma Continental Sul brasileira. O Cabo de Santa Marta representa o ponto de divisão entre estas duas regiões da plataforma continental. Os processos oceanográficos em destaque são a ressurgência no Cabo de Santa Marta, durante o verão e primavera (Pereira *et al.*, 2009), e a influência da Corrente Costeira, durante o inverno (Carvalho *et al.*, 1998; Hille *et al.*, 2008).

As principais correntes que influenciam a dinâmica na área em estudo são: a Corrente do Brasil, que apresenta águas quentes e salinas; a Corrente das Malvinas, caracterizada por águas frias (Zavialov *et al.*, 2002; Pimenta *et al.*, 2006), e a Corrente Costeira, caracterizada por águas frias e menos salinas (Carvalho *et al.*, 1998; Möller *et al.*, 2008).

2.2. MÉTODO DAS AMOSTRAGENS DE BALEIAS FRANCAS

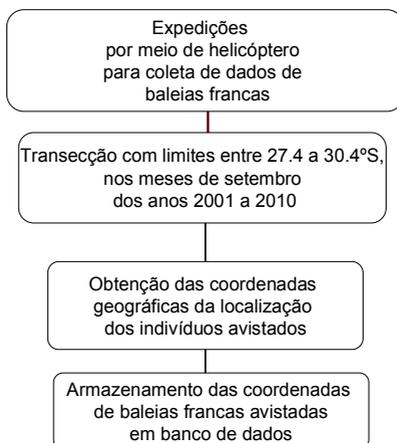


Figura 2. Fluxograma do método das amostragens de baleias francas.

Os dados das avistagens de baleias francas foram fornecidos pelo Projeto Baleia Franca (www.baleiafranca.org). Estes dados são baseados em uma metodologia padrão, que consiste em obter fotografias aéreas e coordenadas da localização dos indivíduos, através de sobrevôos, com transecção entre a Ilha de Santa Catarina (27.4°S), e o norte do Rio Grande do Sul (30.4°S) (Figura 1).

O Projeto Baleia Franca possui um banco de dados de

avistagens de baleias francas a partir de 1987, que é atualizado anualmente. Entretanto, para as análises desta tese foram utilizados os dados a partir de 2001, devido às diferenças no método de amostragem, e irregularidades na transecção e escala temporal, nos anos anteriores a 2001. As expedições foram conduzidas irregularmente, de 1987 a 1994, com amostragens nos anos de 1987, 1988, 1992, 1993 e 1994 e, anualmente, de 1997 a 2010, durante o período de pico da ocorrência de baleias francas, no mês de setembro. Até a data desta tese, os dados mais recentes, processados e disponíveis no banco de dados do Projeto Baleia Franca, eram da expedição de 2010.

Nos sobrevôos iniciais, havia anos em que a transecção não compreendia toda a região em estudo. Adicionalmente, até 1997, os sobrevôos foram realizados através de avião monomotor e, posteriormente, foram realizados através de helicóptero. Estes dois fatores poderiam causar diferenças relacionadas ao esforço amostral.

Foram utilizados nas análises apenas os dados de contagens de baleias francas avistadas entre as latitudes 27.4 a 30.4°S. Os sobrevôos de 2004 e 2008 abrangeram uma transecção maior, no entanto, os indivíduos avistados fora dos limites da área em estudo foram excluídos, para que não ocorresse superestimação da população.

Estão descritos, na Tabela 1, a extensão da transecção, o tipo de aeronave utilizada e o ano das expedições, para todos os dados disponíveis no Projeto Baleia Franca. O esforço amostral e a data das expedições foram descritos apenas para os dados utilizados neste estudo.

Tabela 1. Série de dados disponível no Projeto Baleia Franca. A data das expedições e esforço amostral são descritos apenas para os dados utilizados neste estudo (→).

Ano	Data	Aeronave	Transecção	Esforço Amostral (hrs)
1987		monomotor	-27.4 a -30.4 °S	
1988		monomotor	-28 a -29 °S	
1989				
1990				
1991				
1992		monomotor	-27.4 a -30 °S	
1993		monomotor	-27.4 a -30 °S	
1994		monomotor	-27.4 a -30 °S	
1995				
1996				
1997		monomotor	-27.4 a -30°S	
1998		helicóptero	-28 a -29°S	
1999		helicóptero	-27.4 a -30°S	
2000		helicóptero	-28 a -29°S	
→2001	13-14 set	helicóptero	-27.4 a -30.4°S	6h
→2002	23-24 set	helicóptero	-27.4 a -30.4°S	8h
→2003	12 set	helicóptero	-27.4 a -30.4°S	6h 50min
→*2004	15 set	helicóptero	-27.4 a -33.4°S	5h 35min
→2005	17 set	helicóptero	-27.4 a -30.4°S	6h
→2006	18-19 set	helicóptero	-27.4 a -30.4°S	8h 20min
→2007	20 set	helicóptero	-27.4 a -30.4°S	5h 45min
→*2008	3 set	helicóptero	-27.4 a -33.4°S	6h 20 min
→2009	25-26 set	helicóptero	-27.4 a -30.4°S	5h
→2010	15 set	helicóptero	-27.4 a -30.4°S	5h 20min

*2004 e 2008 = Transecção estendida. Os indivíduos amostrados fora dos limites da área em estudo foram removidos da série de dados.

O esforço amostral variou entre os anos em estudo. É importante considerar que anos com maior número de indivíduos presentes na costa, demandam maior tempo para o registro de informações de todos os animais. Nos anos de 2004 e 2008, em que a transecção foi estendida, o número de horas de esforço amostral foi contabilizado apenas para os limites da transecção em estudo (27.4 a 30.4°S).

As expedições realizadas pelo Projeto Baleia Franca também possuem como objetivo a fotoidentificação dos indivíduos. Este procedimento ajuda a evitar contagens duplas. Entretanto, deve-se considerar que o processo de coleta de fotografias aumenta o número de horas de esforço amostral. Adicionalmente, o maior tempo de permanência em cada ponto amostral para a coleta das fotografias, pode contribuir para a detecção de um maior número de indivíduos. Assim, animais que poderiam estar mergulhando, e não seriam identificadas em um sobrevôo de curta permanência, podem vir à superfície durante o tempo de coleta das fotografias.

O processo de fotoidentificação consiste da diferenciação de cada indivíduo, através dos padrões de calosidades, que são únicos para cada indivíduo, seguindo a metodologia descrita por Payne *et al.* (1983). As análises das fotografias foram adicionadas ao *software Right Whale Photo-identification*, desenvolvido por Hiby e Lovell (2001), para a identificação automática dos animais. Assim, indivíduos reavistados não fizeram parte da contagem.

Para cada grupo avistado, foram registrados:

- Data do vôo (ano, mês, dia);
- Posição (latitude, longitude);
- N° de adultos;
- N° de filhotes;
- N° de fêmeas com filhotes;
- N° de adultos desacompanhados.

Nos dados originais obtidos, nos anos de 2002 e 2003, constavam avistagens em três meses consecutivos (agosto, setembro e outubro). Para que estes anos com maior esforço amostral não causassem a superestimativa da população, foram utilizados somente os dados para o mês de setembro, devido este mês apresentar registros em todos os anos da série de dados e, também, por este ser o mês de pico populacional de baleias francas na região em estudo.

A Figura 3 mostra o gráfico com os dados de número total de baleias francas e número de filhotes, avistados no mês de setembro de 2001 a 2010.

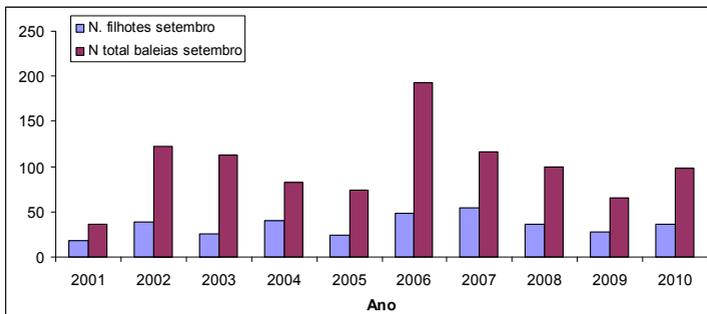


Figura 3. Número total de baleias francas e número de filhotes avistados em setembro de 2001 a 2010.

O trajeto percorrido pela aeronave partia de Itapirubá norte (28.1°S , 48.4°W), em direção ao sul, realizando contagens até aproximadamente 30.4°S , 52°W , no litoral norte do Rio Grande do Sul e, a partir deste ponto, retornava para o ponto de partida, em Itapirubá. Não foram realizadas contagens nos retornos. A partir do ponto inicial, a aeronave seguia para norte, realizando contagens, até aproximadamente 27.4°S , 48.5°W . Em alguns anos, este trajeto foi estendido, entretanto, os animais avistados ao sul da latitude 30.4°S não fizeram parte das análises desta tese.

Os sobrevôos foram conduzidos a uma altitude de 1000 pés ($\sim 300\text{m}$), velocidade de 90 kt (167 km/h), e até a distância de aproximadamente 500 m da linha de costa, o que possibilitava um campo de visada de 1500 m de distância. As expedições foram realizadas somente em dias com condições

de tempo ótimas, com ventos fracos, mar baixo (menores que 3, na escala Beaufort) e condições de luminosidade adequadas.

Os sobrevôos foram conduzidos com três observadores. Um observador tinha a função de anotar e gravar o número de baleias francas, composição do grupo, localização, comportamento e informação fotográfica. Na série de dados completa (1987-2010), disponível no Projeto Baleia Franca, até o ano de 1997, o número de observadores variou de 1 a 3 pessoas, além do piloto.

Sempre que um indivíduo ou grupo era avistado, a aeronave se aproximava, a uma distância mínima de 328 pés, e o número de baleias francas era contado. O helicóptero planava sobre os indivíduos, até que os padrões de calosidades se tornassem visíveis e, então, eram fotografados. Nestes dados, é considerada a contagem mínima, porque indivíduos que se encontram embaixo d'água podem não ser vistos através dos sobrevôos.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. BALEIA FRANCA

As baleias francas austrais *Eubalaena australis* (Desmoulins, 1822) (Cetartiodactyla, Balaenidae) são animais migratórios, pertencentes à subordem dos misticetos, caracterizados por possuírem cerdas bucais, cuja função é a retenção de alimento (Payne *et al.*, 1983; Rice, 1998). Alimentam-se principalmente de pequenos copépodos e euphasiáceos (Payne *et al.*, 1983; Murison e Gaskin, 1989; Rice, 1998).

Os adultos apresentam comprimento máximo de até 17 metros, e podem atingir até 60 toneladas. Os filhotes recém nascidos medem em torno de 4,5 a 6 metros. As fêmeas são ligeiramente maiores que os machos (Payne *et al.*, 1983; Kraus *et al.*, 1986; Rice, 1998).

Caracterizam-se por apresentar corpo negro, com eventuais manchas brancas no ventre, calosidades na cabeça cobertas de parasitas e ausência de aleta dorsal (Payne *et al.*, 1983; Pinedo *et al.*, 1992; Rice, 1998). O padrão de calosidades é único para cada indivíduo e varia pouco ao longo do tempo e, assim, esta feição é utilizada para a fotoidentificação (Payne *et al.*, 1983; Kraus *et al.*, 1986).

As baleias francas possuem boca arqueada e nadadeiras peitorais em forma trapezoidal (Payne *et al.*, 1983; Rice, 1998). Podem ser identificadas à distância pelo esguicho em forma de “v”, com altura de 2 a 4 metros (Carwardine e Hoyt, 1998). Costumam realizar saltos fora d’água, principalmente os filhotes (Payne *et al.*, 1983; Kraus *et al.*, 1986; Rice, 1998). Abaixo, a Figura 4 mostra uma fêmea com seu filhote.



Figura 4. Fotografia de um exemplar de baleia franca com seu filhote. Fonte: Palazzo *et al.* (2007).

Registros de navios baleeiros e amostragens recentes indicam que as baleias francas austrais habitam as águas entre as latitudes 20 e 60°S (Townsend, 1935; Best *et al.*, 1993; Tormosov *et al.*, 1998; Bannister *et al.*, 1999; Moore *et al.*, 1999). Alimentam-se durante o verão, em áreas de concentração alimentar, em locais com alta produtividade biológica. Entretanto, atualmente, os locais de concentração alimentar, no Atlântico Sudoeste, ainda não são bem conhecidos. Há registros de grupos alimentares nas águas da plataforma patagônica (Valenzuela *et al.*, 2009), Península Antártica (Goodall e Galeazzi, 1986; Hamner *et al.*, 1988) e nas proximidades das Ilhas Geórgia do Sul (Moore *et al.*, 1999).

Estudos indicam que a região ao redor das Ilhas Geórgia do Sul é a maior área de concentração alimentar das baleias francas, no Atlântico Sudoeste (Moore *et al.*, 1999). Há evidências de relação entre o sucesso reprodutivo e a abundância de alimento nesta área (Leaper *et al.*, 2006).

Durante o inverno e primavera, as baleias francas migram para as concentrações reprodutivas, em baixas latitudes, onde se aproximam da costa para reprodução,

nascimento e proteção dos filhotes (Taber e Thomas, 1982; Payne *et al.*, 1990; Best *et al.*, 1993; Leaper *et al.*, 2006). No Atlântico Sudoeste, os principais locais são Argentina e Brasil (Rowntree *et al.*, 2001; Groch, 2005; Valenzuela *et al.*, 2009).

Os locais de concentrações reprodutivas e possíveis áreas alimentares, no Atlântico Sudoeste, podem ser visualizados na Figura 5.

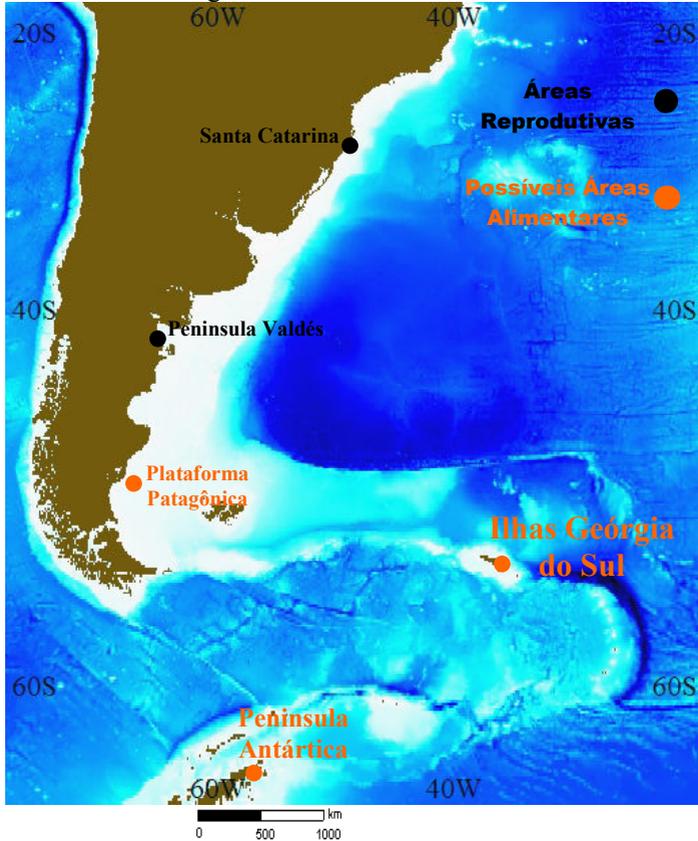


Figura 5. Principais locais de concentração reprodutiva e possíveis áreas alimentares para as baleias francas no Atlântico Sudoeste. Fonte de dados batimétricos: GEBCO (2007).

Em outras regiões do Hemisfério Sul, as principais concentrações reprodutivas estão localizadas na África do Sul

(Best *et al.*, 2001; Elwen e Best, 2004), Austrália (Bannister, 2001; Patenaude *et al.*, 2007; Carroll *et al.*, 2011), Nova Zelândia (Patenaude *et al.*, 2007; Carroll *et al.*, 2011).

As fêmeas com filhotes permanecem nas áreas reprodutivas durante aproximadamente 4 meses (Taber e Thomas, 1982; Best, 2000; Rowntree *et al.*, 2001; Mate *et al.*, 2011). Esta permanência é importante para os filhotes se prepararem para o retorno às áreas de alimentação e, por isto, armazenam reservas de gordura, fortalecem sua musculatura, e desenvolvem a coordenação e aptidão motora (Taber e Thomas, 1982; Payne, 1986).

O tempo de gestação é de aproximadamente 12 meses, e o período necessário para a concepção de um novo filhote é de normalmente 3 anos, podendo chegar a 5 anos. Estes intervalos correspondem à sazonalidade de sua migração (Payne, 1986; Best *et al.*, 1993; Burnell e Bryden, 1997; Cooke *et al.*, 2001; 2003; Mate *et al.*, 2011). O filhote, normalmente nascido em águas rasas, é amamentado durante aproximadamente um ano, e permanece entre dois a três anos acompanhando a mãe (Taber e Thomas, 1982; Burnell e Bryden, 1997).

As baleias francas podem ser flexíveis em muitos aspectos de uso de seus habitats, entretanto, são reportados agrupamentos em áreas específicas, bem como a segregação de áreas entre fêmeas com filhotes, e grupos de reprodução (Payne, 1986; Rowntree *et al.*, 2001; Elwen e Best, 2004). Fêmeas com filhotes podem apresentar maior período de residência do que adultos desacompanhados (Bannister, 1990), e menor movimentação pela costa (Rowntree *et al.*, 2001).

3.2. A BALEIA FRANCA AUSTRAL NA COSTA BRASILEIRA

A costa sul brasileira é um reconhecido local de concentração reprodutiva para as baleias francas austrais no Atlântico Sudoeste (Greig *et al.*, 2001; International Whaling Commission, 2001b; Santos *et al.*, 2001; Groch *et al.*, 2005). A atual distribuição, em águas brasileiras, se estende do Hermenegildo, no extremo sul do estado do Rio Grande do Sul (12°35'S) (Greig *et al.*, 2001), até a Praia do Forte, no

estado da Bahia (12°35'S) (Santos *et al.*, 2001). A área de maior concentração da espécie é a costa centro-sul do estado de Santa Catarina, havendo também diversos registros no Rio Grande do Sul (Greig *et al.*, 2001; Santos *et al.*, 2001; Groch, 2005).

Na costa brasileira, as baleias francas são registradas entre julho a novembro, sendo que o maior número de indivíduos ocorre de agosto a outubro, com pico em setembro (Lodi *et al.*, 1996; Santos *et al.*, 2001; Groch, 2005). Pares de mãe e filhote são comumente observados descansando e nadando próximos à costa, juntos um ao outro, não sendo observado comportamento de alimentação (Lodi e Bergallo, 1984; Groch, 2005).

Historicamente, as baleias francas austrais ocorriam em grande número, na costa do nordeste até a costa sul brasileira (Townsend, 1935; Tormosov *et al.*, 1998). Embora protegidas da caça através de tratados internacionais desde 1935, a caça ilegal às baleias francas ocorreu até a década de setenta (Tormosov *et al.*, 1998).

Estudos científicos sobre as baleias francas austrais, na costa brasileira, incluem amostragens costeiras não sistemáticas (Castello e Pinedo, 1979; Lodi e Bergallo, 1984; Santos *et al.*, 2001; Groch *et al.*, 2005), e expedições conduzidas na costa de Santa Catarina (Groch *et al.*, 2005), Rio Grande do Sul (Greig *et al.*, 2001). Foram realizadas compilações de dados no sul, sudeste e nordeste brasileiro (Santos *et al.*, 2001; Lodi e Bergallo, 1984, Lodi e Rodrigues, 2007).

3.3. RELAÇÕES ENTRE FATORES AMBIENTAIS E MAMÍFEROS MARINHOS

Diversos estudos sugerem que variáveis ambientais como a fisiografia da costa, morfologia da plataforma (Elwen e Best, 2004; Laidre *et al.*, 2004), temperatura da água (Keller e Ward-Geiger, 2006), variações devido ao ENSO (Benson *et al.*, 2002; Leaper *et al.*, 2006), mudanças climáticas (Crowe, 2008; Moore e Huntington, 2008) e variabilidades na circulação (Moore *et al.*, 2002; Tynan *et al.*, 2005) podem afetar as espécies marinhas de diversas maneiras.

Abaixo, é realizada uma breve revisão da literatura sobre a influência de fatores ambientais em mamíferos marinhos e escolha de habitats.

Em áreas de alimentação, as características fisiográficas da plataforma são importantes na distribuição de alimento (Laidre *et al.*, 2004; Friedlaender *et al.*, 2006). A estrutura batimétrica da plataforma e talude são características determinantes para a densidade de zooplâncton e peixes (Bisbal, 1995; Forest *et al.*, 2012).

Moses e Finn (1997) modelaram o padrão de distribuição de baleias francas boreais de acordo com a TSM e batimetria. Jaquet e Gendron (2002) sugerem que fatores biológicos e oceanográficos, como relevo submarino e produção biológica, influenciam a distribuição de baleias cachalote (*Physeter macrocephalus*), no Golfo da Califórnia.

Em áreas de reprodução, os mysticetos realizam alimentação esporadicamente (Best e Schell, 1996) e, assim, a relação com fatores ambientais está associada com a proteção dos filhotes. Locais com maior número de baías proporcionam locais protegidos para os recém-nascidos (Taber e Thomas, 1982; Payne, 1986). Elwen e Best (2004), em estudo sobre a relação entre baleias francas austrais e fatores ambientais, em áreas reprodutivas sul africanas, reportaram a preferência de pares de mãe e filhote por enseadas protegidas da energia de correntes e ondas, e substratos arenosos.

Períodos de escassez alimentar podem causar insuficiência energética nas fêmeas, gerando insucesso

reprodutivo e diminuição do número de indivíduos que realizarão a migração para as áreas de reprodução (Leaper *et al.*, 2006; Kenney, 2007). O aumento da TSM pode causar redução dos estoques de alimento e está relacionado a anos de *El Niño* (Trathan *et al.*, 2003; Leaper *et al.*, 2006).

Nas Ilhas Geórgia do Sul, importante local de concentração alimentar das baleias francas, Trathan *et al.* (2003) obtiveram relações inversas entre densidade de alimento e elevação da TSM. No Atlântico Norte, Greene *et al.* (2003) evidenciaram relações entre o sucesso reprodutivo em baleias francas boreais (*Eubalaena glacialis*) e produtividade nas áreas de alimentação.

Leaper *et al.* (2006) encontraram relações entre baixo sucesso reprodutivo em baleias francas austrais (*Eubalaena australis*), na Península Valdés, e anomalias quentes de temperatura da água, nas Ilhas Geórgia do Sul. Burtenshaw *et al.* (2004) encontraram evidências de que anomalias positivas do ENSO foram responsáveis pelo rompimento da produção biológica, e consequente alteração da presença de baleias azuis (*Balaenoptera musculus*) em locais de alimentação, na plataforma sul californiana, durante o evento de *El Niño*, em 1997-1998.

Modificações nas características do habitat podem causar alterações no padrão de distribuição da população. Na Argentina, Rowntree *et al.* (2001) sugerem que o abandono de áreas anteriormente utilizadas como concentração reprodutiva de baleias francas austrais, devido à modificação da topografia da costa, causada por tempestades.

3.4. CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA DA PLATAFORMA CONTINENTAL DO ATLÂNTICO SUDOESTE

A plataforma continental do Atlântico Sudoeste é dividida em Plataforma Continental Sul (PCS), que se estende do Cabo de Santa Marta ao Chuí, e Plataforma Continental Sudeste (PCSE) abrangendo a região de Cabo Frio - RJ (23°S) ao Cabo de Santa Marta – SC (28° 40'S) (Castro *et al.*, 2006). A Figura 6 mostra as principais feições e divisões da PCS e PCSE.

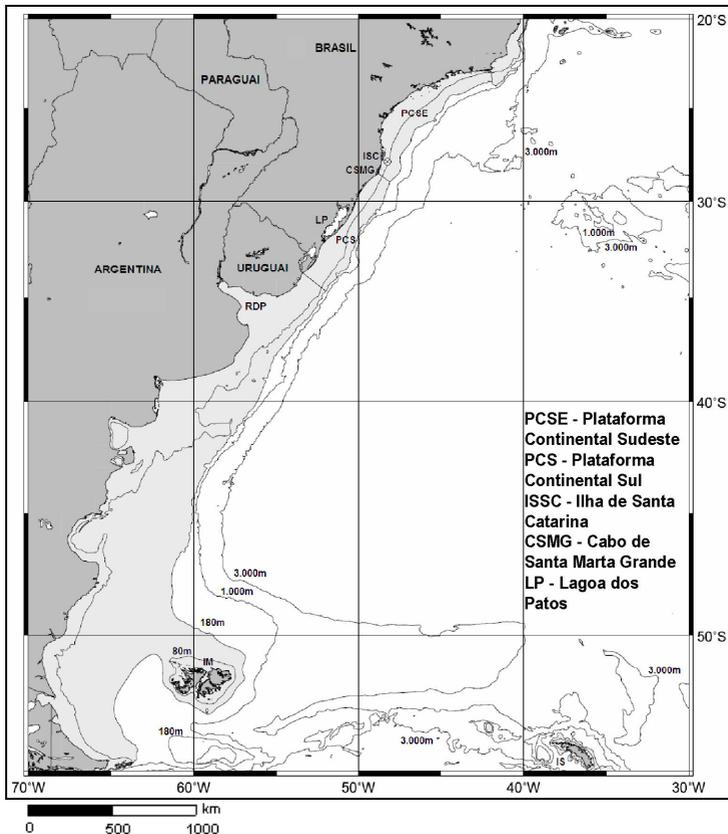


Figura 6. Mapa batimétrico da PCSE e PCS. Fonte de dados batimétricos: GEBCO (2007).

A orientação geral da linha da costa é NE-SO, com exceção das regiões situadas imediatamente ao sul de Cabo Frio (23°S), onde a orientação é E-O, e ao norte do Cabo de Santa Marta (28°40'S), onde a orientação é N-S (Castro *et al.*, 2006).

A parte mais larga da PCSE, com 230 km, está localizada em frente a Santos, e as partes mais estreitas, nas proximidades de Cabo Frio, com 50 km, e Cabo de Santa Marta, com 70 km. O comprimento total da PCSE é de aproximadamente 1000 km, com as isóbatas dispendo-se paralelamente à linha da costa. A profundidade de quebra da plataforma continental varia entre 120 m e 180 m (Muehe, 1998; Castro *et al.*, 2006).

A PCS apresenta topografia e linha de costa suaves. A costa da PCS é constituída por campos de dunas, extensas praias arenosas e lagoas costeiras (Tessler e Goya, 2005). Esta plataforma é estreita na sua fronteira ao norte, no Cabo de Santa Marta, e em direção ao sul, alarga-se progressivamente, até atingir a largura de 198 km na porção central e 170 km na fronteira sul, no Arroio do Chuí (Tessler e Goya, 2005; Castro *et al.*, 2006).

3.5. CIRCULAÇÃO E MASSAS D'ÁGUA NO ATLÂNTICO SUDOESTE

No Atlântico Sudoeste, as águas superficiais são caracterizadas pela presença de duas grandes correntes: a corrente das Malvinas e a Corrente do Brasil (Castro e Miranda, 1998; Silveira *et al.*, 2000; Piola *et al.*, 2008). A Corrente do Brasil (CB) é uma corrente de contorno oeste, originada à 10°S, na região onde o ramo mais ao sul da Corrente Sul Equatorial (CSE) se bifurca, formando também a Corrente do Norte do Brasil (CNB) (Stramma, 1991; Silveira *et al.*, 1994; Silveira *et al.*, 2000; Piola *et al.*, 2008).

A corrente do Brasil flui em direção ao sul, próxima e paralela à quebra da plataforma, bordejando o continente sul-americano, até a região da Convergência Subtropical (33-38°S), onde conflui com a Corrente das Malvinas, e se separa da costa (Silveira *et al.*, 1994; Silveira *et al.*, 2000; Souza e Robinson, 2004). Esta corrente é tropical em sua origem e, por isto, é quente, salina e relativamente oligotrófica (Bisbal,

1995; Castro e Miranda, 1998). A Corrente do Brasil é considerada rasa e estreita, atingindo profundidades de até 400 m, e transporta Água Tropical (AT) e Água da Corrente do Atlântico Sul (ACAS) (Garfield, 1990; Campos *et al.*, 1995).

A AT foi descrita por Emilson (1961), como parte da massa de água quente e salina que ocupa a superfície do Atlântico Sul Tropical, a qual é transportada para o sul pela CB. AT é caracterizada por temperaturas maiores que 20°C e salinidades acima de 36.

A corrente das Malvinas origina-se de uma separação da Corrente Circumpolar Antártica, e flui para nordeste ao longo da elevação continental da costa da Argentina. Devido à sua origem, possui águas frias e ricas em nutrientes (Campos *et al.*, 1996).

A região do Atlântico Sudoeste, onde a quente e salina Corrente do Brasil encontra-se com Corrente das Malvinas, que apresenta águas mais frias, é denominada região da Confluência Brasil-Malvinas. Esta região é caracterizada por um forte contraste termohalino e intensa atividade de meso-escala, devido à mistura de águas subtropicais e subantárticas (Gordon e Greengrove, 1986; Olson *et al.*, 1988; Piola *et al.*, 2000; Piola *et al.*, 2008).

A confluência Brasil-Malvinas apresenta variações substanciais no espaço e no tempo, com períodos em que este sistema encontra-se mais ao norte, chegando até a região do Cabo de Santa Marta (28.4°S). Eventualmente, alcança a latitude de 23°S (Olson *et al.*, 1988; Campos *et al.*, 1996; Pimenta, 2001; Piola, Möller *et al.*, 2005; Piola *et al.*, 2008).

A deriva de águas frias e menos salinas para o norte na PCSE tem sido descrita como a Corrente Costeira do Brasil (CCB) (Souza e Robinson, 2004; Möller *et al.*, 2008). A penetração desta corrente apresenta variabilidades sazonais, que dependem, principalmente, da vazão da bacia hidrográfica do Prata e Lagoa dos Patos (Castro e Miranda, 1998; Möller *et al.*, 2008).

Estudos indicam que o vento causa deriva ao longo da costa. Os ventos do quadrante sudoeste forçam a pluma da bacia do Prata para regiões mais ao norte, durante o inverno e, no verão, quando há predominância de ventos do quadrante nordeste, esta pluma se retrai (Möller *et al.*, 2008).

A Água Central do Atlântico Sul, também conhecida como água subtropical, é encontrada fluindo na região da pinoclina, e com temperaturas menores que 20°C, e salinidade entre 34,6 e 36. Na época de verão, a ACAS alcança a plataforma continental, podendo aflorar em diversos pontos do litoral brasileiro (Castro e Miranda 1998).

3.6. INFLUÊNCIA DO ENSO NO ATLÂNTICO SUDOESTE

O fenômeno *El Niño Southern Oscillation* (ENSO) é a ocorrência da elevação da temperatura das águas do Oceano Pacífico Equatorial, com periodicidade irregular, entre 2 a 8 anos, geradas por interações oceano-atmosfera. Esta anomalia pode também ser reversa, e gerar a presença de águas frias no Pacífico Equatorial, sendo esta a fase fria do ENSO, denominada *La Niña* (Dijkstra, 2006; Santos, 2006).

A influência dos eventos de ENSO são responsáveis por variabilidades na atividade biológica, afetando organismos de diversos níveis tróficos, incluindo fitoplâncton, zooplâncton, peixes pelágicos, caranguejos, aves e mamíferos marinhos, em diversas regiões (Benson *et al.*, 2002; Stenseth *et al.*, 2002; Paes e Moraes, 2007). Os eventos de ENSO, no Brasil, estão associados às secas no nordeste e enchentes no sul (Grimm *et al.*, 1998; Pezzi e Cavalcanti, 2001).

De acordo com Campos *et al.* (1999), eventos de *El Niño* foram relacionados à alta precipitação na Bacia do Prata, aumentando a vazão proveniente desta bacia hidrográfica nas regiões costeiras adjacentes. Estes eventos seriam responsáveis por impulsionar a penetração ao norte, de águas com menor temperatura e salinidade.

Estudos indicam que variabilidades no ENSO causam mudanças na dinâmica física e biológica, na região da Plataforma Continental Sudeste. Anomalias de TSM, tanto quentes como frias, são responsáveis por alterações no ecossistema marinho da região.

Martin *et al.* (1988) detectaram o aumento na frequência da ressurgência de águas frias, em Arraial do

Cabo, durante o evento de *El Niño*, em 1980. Moraes (2000) observou, em Arraial do Cabo, durante o ENSO de 1997/1998, que espécies normalmente encontradas em regiões mais profundas e em menores temperaturas, apresentaram maior abundância, comparadas com anos em que não ocorreram eventos de ENSO.

4. ANÁLISE DO PADRÃO DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA BALEIA FRANCA NA COSTA SUL BRASILEIRA

4.1. INTRODUÇÃO

O conhecimento do padrão de distribuição das espécies é fundamental para a implementação de estratégias de conservação adequadas (Guisan e Zimmermann, 2000; Harwood, 2001; Austin, 2002; Cañadas *et al.*, 2005). Os locais onde os animais realizam atividades importantes como alimentação, descanso, acasalamento, parto e cuidado com os filhotes, são habitats importantes para a conservação destas espécies (Hall *et al.*, 1997; Harwood, 2001; Hoyt, 2004; Cañadas *et al.*, 2005).

As baleias francas, especialmente as fêmeas com filhotes, possuem padrões de fidelidade às áreas de reprodução (Bannister, 1990; Best *et al.*, 2001; Rowntree *et al.*, 2001; Carroll *et al.*, 2011). Portanto, estes locais são essenciais para a conservação da espécie.

A costa sul brasileira é considerada uma área de concentração reprodutiva para as baleias francas (Lodi *et al.*, 1996; International Whaling Commission, 2001b; Santos *et al.*, 2001; Groch, 2005). Existem diversos estudos sobre a abundância e distribuição das baleias francas, na costa brasileira (Lodi *et al.*, 1996; Greig *et al.*, 2001; Santos *et al.*, 2001; Groch *et al.*, 2005; Lodi e Rodrigues, 2007). Entretanto, estudos abordando o mapeamento da distribuição dos indivíduos são escassos.

O mapeamento das áreas ocupadas pelas baleias francas proporciona a identificação de modificações na distribuição da população, que podem ser causadas devido a distúrbios em seu habitat (Rice, 1998; Rowntree *et al.*, 2001; Austin, 2002; Hoyt, 2004). Há indícios de abandono de locais de concentração reprodutiva de baleias francas, na Península Valdés, devido à ação de predadores sobre os filhotes (Sironi *et al.*, 2008), ataques de gaiivotas (Rowntree *et al.*, 1998; Rowntree *et al.*, 2001) e mudanças na topografia do relevo submarino devido às tempestades (Rowntree *et al.*, 2001).

Schick e Urban (2000) identificaram modificações na distribuição de baleias da Groenlândia (*Eubalaena mysticetus*), no Alasca, devido às atividades petrolíferas.

Por outro lado, a fidelidade aos locais específicos pode indicar o favorecimento da população por determinado parâmetro ambiental. Estudos em concentrações reprodutivas de baleias francas sugerem que os padrões de distribuição dos indivíduos estão relacionados a fatores ambientais (Best, 2000; Elwen e Best, 2004; Keller e Ward-Geiger, 2006; Keller *et al.*, 2012).

As características comportamentais também devem ser consideradas na explicação do padrão de distribuição de mysticetos. As baleias francas, em áreas reprodutivas, demonstram filopatria (Best, 2000; Carroll *et al.*, 2011), e segregação entre locais frequentados por grupos de pares de mãe e filhote e indivíduos desacompanhados (Thomas e Taber, 1984; Payne, 1986; Burnell, 2001; Elwen e Best, 2004).

Entre os fatores ambientais, a morfologia da costa e topografia do fundo marinho são considerados importantes na agregação de baleias francas em áreas de reprodução (Thomas e Taber, 1984; Elwen e Best, 2004; Oviedo e Solís, 2008). Há evidências de que pares de mãe e filhote preferem áreas protegidas, próximas à costa e substrato arenoso. Estas características proporcionam maior proteção aos filhotes (Taber e Thomas, 1982; Payne, 1986; Burnell, 2001; Elwen e Best, 2004).

Na área da concentração reprodutiva sul brasileira, a plataforma continental apresenta diferenças quanto à declividade e quantidade de baías. Assim, o mapeamento do padrão de distribuição das baleias francas possibilita a verificação dos locais preferenciais da espécie quanto à morfologia da costa e topografia do fundo marinho.

Neste contexto, o uso da geoestatística proporciona a identificação de padrões de distribuição de dados espaciais. O método *Kernel* (Bailey e Gatrell, 1995; Shawe-Taylor e Cristianini, 2004) possibilita a construção de mapas de densidade dos dados, e é uma ferramenta útil para a análise de diferenças na intensidade da concentração espacial de amostras.

Diversos autores utilizaram o método *Kernel* em estudos de distribuição espacial em ecologia e outras áreas da ciência. Nelson *et al.* (2008) utilizaram o método *Kernel* para caracterizar padrões espaço-temporais de alimentação de baleias cinza (*Eschrichtius robustus*), no Canadá. Quakenbush *et al.* (2010) utilizaram o método *Kernel* para determinar padrões de distribuição da baleia franca ártica (*Balaena mysticetus*), e sua relação com áreas de potencial exploração petrolífera no Alasca.

Assim, os objetivos deste estudo foram:

- a. Analisar e mapear o padrão de distribuição espacial das baleias francas, na costa sul brasileira.
- b. Identificar as características batimétricas e fisiográficas, que possam ter influência na escolha de habitats por grupos de baleias francas.

4.2. MÉTODOS

A Figura 7 mostra o fluxograma dos métodos utilizados para este estudo.

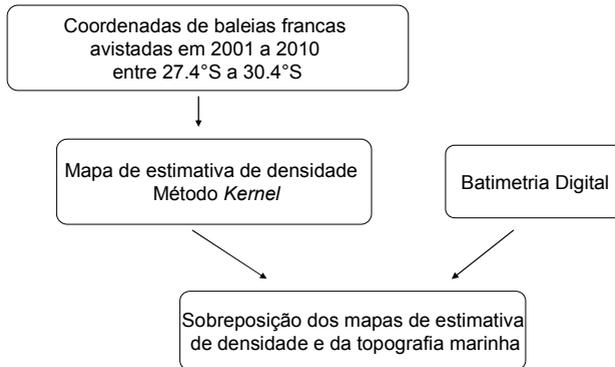


Figura 7. Fluxograma dos métodos.

Área em Estudo

A área em estudo compreende a extensão da costa entre a Ilha de Santa Catarina (27.4°S, 48.5°W), até o norte do Rio Grande do Sul (30.4°S, 52°W). É marcada pela transição das feições fisiográficas da plataforma continental Sul e Sudeste (Castro *et al.*, 2006; Hille *et al.*, 2008). A orientação da costa, no extremo norte de Santa Catarina, até 28°30'S, no Cabo de Santa Marta, é N-S. Desta parte em direção ao sul, a orientação da costa é NE-SO (Muehe, 1998).

A morfologia da linha de costa, na região ao norte do Cabo de Santa Marta, é caracterizada por grande presença de baías separadas por promontórios rochosos. A morfologia da linha de costa, na região ao sul do Cabo de Santa Marta, caracteriza-se por uma costa retilínea e formada por um único

arco praial, interrompido por canais (Muehe, 1998; Siegle e Asp, 2007).

Obtenção dos dados de baleias francas

O método de coleta dos dados de baleias francas está descrito no capítulo 2.2

Foram utilizados dados de contagens de indivíduos de baleias francas, com as respectivas coordenadas geográficas, no mês de setembro dos anos de 2001 a 2010.

Análise dos dados

Para estudar o padrão de distribuição das baleias francas foi utilizada a geostatística, através do método *Kernel* (Bailey e Gattrell, 1995; Shawe-Taylor e Cristianini, 2004). Este é um método não-paramétrico, que realiza a análise da estimativa da intensidade dos agrupamentos pontuais, em toda a região em estudo. A estimativa é feita por meio do ajuste de uma função bidimensional aos eventos considerados, compondo uma superfície, cujo valor será proporcional à intensidade dos eventos, de acordo com o tamanho do raio de influência escolhido.

O método *Kernel* consiste na colocação de um centro (densidade probabilística) sobre cada ponto observado na amostra. Uma grade retangular é sobreposta aos dados, e a estimativa da densidade é obtida para cada interseção da grade, utilizando informação de toda a amostra. A estimativa de densidade em cada interseção é a média das densidades de todos os núcleos, que se sobrepõem a este ponto.

Foi utilizado o *Kernel* quártico para a obtenção da estimativa de intensidade para cada célula da grade.

O *Kernel* quártico é calculado através da Equação 1.

1

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \frac{3}{\pi \tau^2} \left(\frac{s-s_i}{\tau} \right) y_i$$

Onde λ representa a densidade estimada em uma região. A região de influência, dentro da qual os eventos contribuem para o cálculo da intensidade, é um círculo de raio τ , com centro em s . s_i é o local do ponto onde ocorreu o evento. O raio de influência τ é também chamado de largura de banda, e define a área centrada no ponto de estimação, que indica quantos eventos contribuem para a estimativa de densidade.

Considerou-se o valor de atributos do ponto, pois frequentemente havia indivíduos muito próximos um do outro, como é o caso de mãe e filhote, que contêm um ponto com dois indivíduos. Portanto, Y_i é o valor do evento no ponto (número de baleias francas por coordenada).

Para a realização da análise geostatística, as coordenadas de localização dos indivíduos de baleias francas foram exportadas para o SIG. A partir deste arquivo, foi realizada a análise com o método *Kernel*. Foi utilizado o modo razão simples, utilizando raio de influência (largura de banda) de 1500 m.

Foram testados diversos valores de largura de banda. Os critérios para a decisão foram a geração de superfícies com tamanho suficiente para serem reproduzidas no mapa, que pudessem ser interpretadas com facilidade e, no entanto, que não fossem extrapoladas para áreas em que não foram realizadas amostragens. Foi também considerado que durante o procedimento de contagem dos animais em campo, a faixa de alcance de visada dos observadores, a bordo da aeronave, foi de aproximadamente 1500 m.

A análise com este método gera um mapa de superfícies com gradiente de cores, indicativos da estimativa da intensidade dos pontos ao longo da área em estudo. O método *Kernel* é utilizado para análises qualitativas da

variação da densidade de amostras pontuais em uma determinada região, e seus valores devem ser interpretados como áreas com maior ou menor intensidade de concentração de amostras (Bailey e Gatrell, 1995).

Posteriormente, o mapa gerado, a partir do método *Kernel*, foi sobreposto à batimetria digital, através de um SIG. O objetivo foi verificar as características das feições batimétricas, nos locais com maior concentração de baleias francas.

A batimetria foi obtida a partir das cartas náuticas 1900 e 2000, disponíveis na Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN, 1993). A carta 1900 abrange a região da Ilha do Arvoredo – SC a Torres-RS (27°S, 47°53'W; 29°35'S, 49°56'W) com resolução 1:279329. A carta 2000 compreende a região de Torres a Mostardas - RS (29°08'S, 49°10'W; 31°27'S, 51°05'W) com resolução de 1:274023.

As cartas foram digitalizadas em scanner de mesa, com resolução de 300 dpi, georreferenciadas e, após, foram extraídos os pontos cotados, por meio de digitalização em tela. Para a geração de isolinhas e interpolação dos pontos, utilizou-se o método do vizinho mais próximo (Burrough, 1987). Este método consiste em atribuir, para cada ponto (x,y) da grade, uma cota da amostra mais próxima ao ponto. Este interpolador mantém os valores de cotas das amostras na grade, sem gerar valores intermediários.

4.3. RESULTADOS

A Figura 8 apresenta os resultados da aplicação do método *Kernel* para os dados de contagens de baleias francas, com raio de influência de 1500 m. As diferentes estimativas de densidades estão diferenciadas de acordo com a escala de cor, sobrepostas sobre a batimetria digital, entre as latitudes de 30.5°S e 27°S, e longitudes 47.5°W a 51°W. O mapa resultante foi construído com limites ligeiramente maiores do que a área em estudo (27.4 a 30.4°S), para que a visualização dos resultados nos limites da área em estudo não fosse prejudicada.

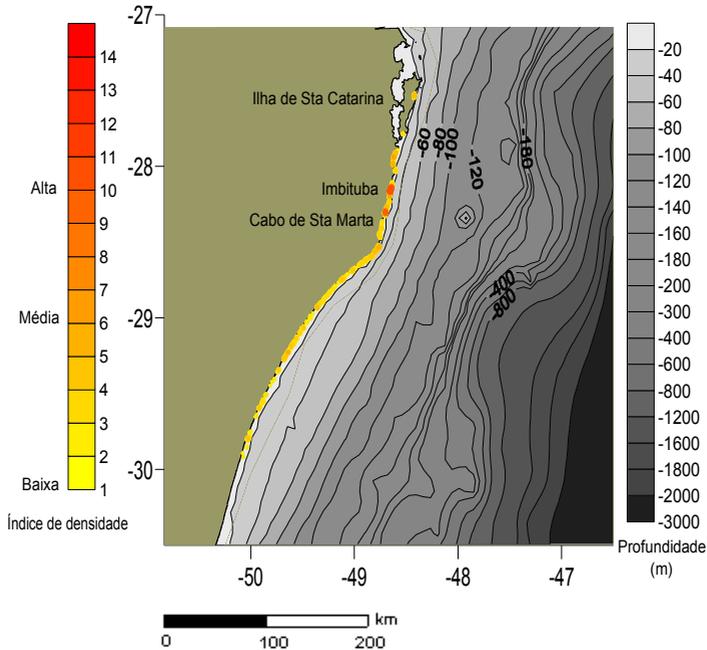


Figura 8. Mapa das estimativas de densidade das observações de baleias francas.

No mapa da Figura 8, as regiões com maior estimativa de densidade de baleias francas, em um raio de influência de 1500 m, estão representadas na cor vermelha, que descem gradativamente para as cores laranja a amarelo, indicando menores densidades. Locais sem preenchimento, apenas com a cor cinza representativa da batimetria, indicam ausência de observações de baleias francas.

Na Figura 8, a cor vermelha indica locais com maior concentração de baleias francas, acima de 10 indivíduos. No mapa há dois pontos com a cor vermelha. O primeiro está localizado na latitude 28.2°S, no entorno de Ibiraquera, e o segundo, em 28.4°S, próximo ao Cabo de Santa Marta.

Os locais com média concentração de baleias francas, entre 6 a 10 indivíduos, foram indicados pela cor laranja. Estão localizados adjacentes aos locais com maior concentração de animais, entre as latitudes de 28.8°S a 27.8°S.

Os locais com as menores estimativas de densidade, contendo entre 1 a 6 indivíduos, foram indicados pela cor amarela. Estas áreas estão localizadas na parte sul, entre 28.8°S e 30°S. Nesta área com cor amarela, observam-se alguns pontos com média concentração de indivíduos, no entorno de 28.9°S e 29.2°S.

Ao sul da latitude 30°S, até o limite da área em estudo (30.4°S) não há superfícies de densidade, indicando ausência de observação de indivíduos. Na porção norte do mapa, há outra área com ausência de indivíduos, no entorno de 27.7°S, seguida de uma média concentração, em 27.5°S. A parte ao norte de 27.4°S é o limite da área em estudo, e dos dados de contagem de baleias francas utilizados. O mapa foi construído até 27.2°S para que a visualização dos resultados não fosse prejudicada nos limites da área em estudo.

Na batimetria digital obtida, observa-se que, nas proximidades do Cabo de Santa Marta, na latitude 28.4°S, as cotas batimétricas de 10 e 40 m estão bastante próximas, indicando maior declividade. O trecho ao sul do Cabo de Santa Marta apresenta maior espaçamento entre as linhas batimétricas, indicando menor declividade.

4.4. DISCUSSÃO

Através da análise do mapa do padrão de distribuição espacial de baleias francas, apresentado na Figura 8, pode ser observado que as maiores concentrações de baleias francas estão localizadas entre as latitudes 27.5°S e 29°S, onde foram indicadas médias e altas estimativas de densidade. Esta região corresponde ao trecho entre a Ilha Santa Catarina até 0.5 graus ao sul do Cabo de Santa Marta.

Foram observados dois pontos com os maiores agrupamentos de baleias francas (acima de 10 indivíduos), indicados pela cor vermelha, no mapa da Figura 8. Estes pontos estão localizados nas latitudes 28.2°S e 28.4°S, sendo o primeiro nas proximidades de Ibiraquera e o outro no Cabo de Santa Marta.

É reconhecido que as baleias francas demonstram preferência por locais específicos, dentro das áreas de concentração reprodutiva (Bannister, 1990; Best, 1990; Best, 2000; Burnell, 2001; Elwen e Best, 2004). Estudos de

fotoidentificação realizados em longo prazo, em várias áreas de concentração reprodutiva, indicam que as fêmeas tendem a retornar à mesma região, em geral ao mesmo local ou a áreas adjacentes, para concepção de um novo filhote (Payne, 1986; Payne *et al.*, 1990; Bannister, 1990; 2001; Best, 1990; 2000; Burnell, 2001).

Este padrão de distribuição é também verificado em diversos locais de concentração reprodutiva de baleias francas, como na África do Sul (Best, 2000; Elwen e Best, 2004), Península Valdés (Payne, 1986; Payne *et al.*, 1990), Nova Zelândia (Patenaude, 2000; Patenaude e Baker, 2001) e Austrália (Burnell, 2001).

Através da análise do padrão de distribuição de baleias francas em relação às feições da morfologia da linha de costa, na Figura 8, foi possível observar que as maiores densidades de indivíduos estão localizadas onde a linha de costa apresenta um grande número de baías.

Em outros locais de concentração reprodutiva de baleias francas, também foram observados padrões de agrupamentos em baías protegidas, como na África do Sul (Best, 2000; Elwen e Best, 2004), Argentina (Payne, 1986) e Nova Zelândia (Patenaude e Baker, 2001).

Estudos sugerem que as baleias francas buscam por baías abrigadas da energia de ondas e correntes, para a maior proteção dos filhotes (Taber e Thomas, 1982; Thomas e Taber, 1984; Payne, 1986). O potencial benefício de águas mais calmas seria a conservação de energia para a lactação, evitar danos físicos aos filhotes que estão em fase de aprendizado da locomoção, e evitar o cortejo de machos (Taber e Thomas, 1982; Thomas e Taber, 1984; Best *et al.*, 2003).

Analisando a Figura 8, se observa que a maior estimativa de densidade de baleias francas ocorre em locais onde a declividade da plataforma é mais acentuada. As profundidades aumentam abruptamente, a partir dos 28.5°S, no Cabo de Santa Marta em direção ao norte, onde as cotas batimétricas de 10 e 40 m estão bastante próximas.

A região do Cabo de Santa Marta se destaca por ser um local de transição entre a Plataforma Continental Sudeste e a Plataforma Continental Sul, apresentando maior declividade (Muehe, 1998). A Plataforma Continental Sul

alarga-se progressivamente em direção ao sul (Muehe, 1998), e a Plataforma Continental Sudeste, alarga-se progressivamente em direção ao norte de Santa Catarina (Abreu, 1998).

A maior concentração de baleias francas, no trecho mais íngreme da plataforma, provavelmente ocorre porque locais com maior declividade proporcionam aos pares de mãe e filhote aproximarem-se da costa, sem o risco de encalhe dos filhotes, em fase de aprendizado da locomoção.

Adicionalmente, existe a hipótese de que misticetos, em sua migração, seguem a orientação das linhas batimétricas e a quebra da plataforma, além de memorizar feições no relevo, como montanhas submarinas (Pike, 1962; Dawbin, 1966; Kenney *et al.*, 2001). Portanto, de acordo com esta hipótese, a região com maior inclinação da plataforma, próximo ao Cabo de Santa Marta, pode representar um corredor de acesso à costa sul brasileira, na rota de migração.

Entretanto, as rotas migratórias das baleias francas que frequentam a costa sul brasileira ainda não são bem conhecidas. Portanto, para conclusões precisas sobre esta hipótese, seriam necessários estudos sobre as rotas de migração das baleias francas que frequentam este local.

Adicionalmente, de acordo com a Figura 8, as baleias francas apresentam maior concentração em praias com costões rochosos. Ao sul da área em estudo, as praias são quase que exclusivamente arenosas, formando um arco praiial contínuo. As praias ao sul também apresentam declividade mais suave, devido à maior largura da plataforma continental.

De acordo com Elwen e Best (2004), as baleias francas, em áreas reprodutivas na África do Sul, demonstram preferência por fundos arenosos. Estes autores sugerem que substratos sedimentares provavelmente proporcionam maior proteção contra ferimentos nos filhotes. Na área em estudo não são comuns fundos rochosos, apenas praias arenosas com costões rochosos. Entretanto, nos locais exclusivamente arenosos, ao sul, observa-se menor concentração de indivíduos. Assim, provavelmente, na costa sul brasileira, as baleias francas procuram por fundos arenosos, entretanto, com a presença de costões rochosos.

É importante que o padrão de distribuição das baleias francas na costa sul brasileira, demonstrado neste estudo, seja

monitorado para identificar possíveis mudanças no habitat e identificação de distúrbios na população. Ao redor das maiores concentrações de baleias francas, identificadas no presente estudo, está localizado o Porto de Imbituba, que gera a movimentação de grandes embarcações. Este porto está em fase de ampliação, o que significará maior fluxo de navios e aumento do porte destes.

Adicionalmente, o crescente número de marinas e atracadouros, embarcações de turismo e lazer, e ainda, a pesca, na costa sul brasileira, podem representar distúrbios na população local de baleias francas. A intensa atividade pesqueira praticada com redes de espera pode causar o aprisionamento dos animais e, também, a morte de filhotes, como constatado por Lodi *et al.* (1996) e Santos *et al.* (2001).

Por fim, conclui-se, através deste estudo, que as baleias francas concentram-se ao redor de Imbituba e Cabo de Santa Marta. Esta região é, portanto, um habitat essencial para o ciclo de vida das baleias francas, e importante para a conservação desta população. Neste local, a linha de costa apresenta maior número de baías e maior declividade da plataforma e, provavelmente, estes fatores ambientais proporcionam benefício aos pares de mãe e filhote, que escolhem este local como habitat.

5. ANÁLISE DAS RELAÇÕES ENTRE O ENSO E A POPULAÇÃO DE BALEIAS FRANCAS NA CONCENTRAÇÃO REPRODUTIVA SUL BRASILEIRA

5.1. INTRODUÇÃO

O termo “*El Niño*” foi originalmente a denominação para a corrente quente que flui em direção sul, na costa do Peru e Equador, aproximadamente no período do natal (Allan *et al.*, 1996; Clarke, 2008). Este termo foi associado aos aquecimentos anômalos, que ocorrem em intervalos de aproximadamente 2 a 8 anos, e modificam a ecologia local e regional (Allan *et al.*, 1996; Trenberth, 1997; Cess e Zhang, 2001).

O fenômeno ENSO (*El Niño Southern Oscillation*) é uma parte natural do sistema climático global. Resulta de interações de grande escala, entre oceano e atmosfera, e possui o núcleo de ocorrência na região tropical-subtropical dos oceanos Pacífico e Índico (Allan *et al.*, 1996; Clarke, 2008). O ENSO é um fenômeno irregular/aperiódico, e manifesta-se através de alternâncias entre suas duas fases ou extremos, comumente chamado de eventos de *El Niño* e *La Niña* (Allan *et al.*, 1996; Clarke, 2008).

A variabilidade do ENSO, no Pacífico Tropical, é caracterizada por anomalias de TSM e mudanças na circulação atmosférica (Dijkstra, 2006; Clarke, 2008). Embora eventos de *El Niño* e *La Niña* apresentem características opostas, os eventos nunca são exatamente iguais, podendo variar em magnitude, extensão espacial, duração, início e fim (Dijkstra, 2006).

As regiões tropicais estão ligadas às médias e altas latitudes, em ambos os hemisférios, via padrões de teleconexão. Portanto, qualquer variação em massa, energia e momento também são comunicados em regiões mais afastadas (Webster, 1994). Este efeito tem o potencial de

estender a influência do ENSO e causar modulações globais no clima (Allan *et al.*, 1996).

Os efeitos do ENSO, e seus impactos climáticos e biológicos, foram observados em diversas regiões, e em diferentes ecossistemas: rios (Villar e Bonneto, 2000), recifes de corais (Gynn *et al.*, 2000; Spencer *et al.*, 2000), estuários (Garcia e Vieira, 2001) e ambientes pelágicos (Gonzales *et al.*, 2000; Sanchez-Velasco *et al.*, 2000), entre outros.

A produtividade dos locais utilizados como áreas alimentares pelas baleias francas está relacionada às condições físicas dos oceanos, como a dinâmica de correntes e temperatura da água (Trathan e Murphy, 2002; Trathan *et al.*, 2003; Whitehouse *et al.*, 2008). Há evidências de que anomalias positivas de TSM estejam relacionadas a eventos de ENSO (Trathan *et al.*, 2003), e baixa disponibilidade de eufasiáceos, fonte de alimento para as baleias francas, nas Ilhas Geórgia do Sul (Murphy *et al.*, 2002; Trathan e Murphy, 2002; Whitehouse *et al.*, 2008), considerada um importante local de alimentação das baleias francas no Atlântico Sudoeste (Hamner *et al.*, 1988; Tormosov *et al.*, 1998).

No Hemisfério Norte, em áreas de alimentação de baleias francas boreais (*Eubalaena glacialis*), também foram evidenciadas relações entre anomalias positivas de TSM, baixa produtividade de zooplâncton e deficiência alimentar nas baleias francas (Kenney e Wishner, 1995; Greene *et al.*, 2003; Kenney, 2007).

As baleias francas requerem a existência de altas concentrações de zooplâncton (Kenney *et al.*, 1986; Kenney e Wishner, 1995; Kenney *et al.*, 2001; Greene *et al.*, 2003), o que as torna sensíveis às mudanças nos fatores ambientais que afetam a produtividade em suas áreas de alimentação (Greene *et al.*, 2003; Greene e Pershing, 2004; Leaper *et al.*, 2006; Kenney, 2007). Eventos de baixa produtividade podem afetar as condições físicas das fêmeas, causando dificuldades para que alcancem a alta demanda energética necessária para a reprodução (Greene *et al.*, 2003; Leaper *et al.*, 2006).

A abundância de *krill* apresenta variabilidade interanual na região antártica e sub-antártica (Mackintosh, 1972; Murphy *et al.*, 1998; Murphy *et al.*, 2002). Trathan *et al.* (2003) e Whitehouse *et al.* (2008) evidenciaram relações entre anomalias na TSM e abundância de *krill* nas Ilhas

Geórgia do Sul. Os autores também sugerem que variabilidades na TSM e na biomassa de *krill* estejam relacionados com variabilidades na circulação da Corrente Circumpolar Antártica.

Há evidências de covariabilidade entre eventos de ENSO no Pacífico e região antártica e sub-antártica (Liu *et al.*, 2002; Landrum *et al.*, 2012) e, também, de relações entre anomalias de temperatura da água, e extensão do gelo marinho e eventos de ENSO (Trathan e Murphy, 2002; Yuan, 2004; Whitehouse *et al.*, 2008). Assim, alguns autores sugerem a existência de relações entre eventos de ENSO, anomalias na temperatura da água e variabilidade na produtividade de *Krill* nas regiões antártica e sub-antártica (Quetin e Ross, 2003; Trathan *et al.*, 2003; Loeb *et al.*, 2009).

O *krill* antártico é base alimentar para diversas espécies, e sua variabilidade foi relacionada com o sucesso reprodutivo de albatrozes (*Diomedea chrysostoma* e *D. melanophns*) (Croxall *et al.*, 1999), pinguins (*Pygoscelis papua* e *Eudyptes chrysol*) (Croxall *et al.*, 1999), focas antárticas (*Arctocephalus gazella*) (Boyd *et al.*, 1994; Forcada *et al.*, 2005) e baleias francas austrais (Leaper *et al.*, 2006).

Os efeitos da variabilidade do ENSO podem ser detectados nas populações após certo intervalo temporal, provavelmente, correspondente aos efeitos no seu ciclo reprodutivo. Foram detectados efeitos na produção de filhotes de focas antárticas, onze meses após o evento do ENSO (Forcada *et al.*, 2005), e no ciclo reprodutivo de baleias francas, na concentração reprodutiva da Península Valdés, após aproximadamente seis anos (Leaper *et al.*, 2006).

Um fator que deve ser levado em consideração neste estudo, é que as rotas migratórias e as principais áreas alimentares das baleias francas, que frequentam a concentração reprodutiva da costa sul brasileira, até o presente momento, não são bem conhecidas. Neste contexto, índices de ENSO, no período de verão, época de alimentação das baleias francas, podem ser um bom indicador de anomalias de TSM e, também, outros fatores ambientais, tanto nas Ilhas Geórgia do Sul, como em outros prováveis locais de alimentação.

Adicionalmente, índices de ENSO no período de inverno e primavera, época em que as baleias francas

frequentam a concentração reprodutiva sul brasileira, possibilitam a investigação se existe alguma relação entre efeitos do ENSO, neste local, e a população das baleias francas. Na região sul brasileira, diversos autores descreveram alterações no ambiente devido aos eventos do ENSO.

Eventos de *El Niño* estão associados ao excesso de chuvas no sul do Brasil, Uruguai e Argentina, aumentando a vazão de água, e a descarga continental nos maiores rios da região (Ropelewski e Halpert, 1987; Grimm *et al.*, 1998). Uma elevada descarga de água doce pode alterar o regime de salinidade e circulação (Soares e Möller, 2001; Piola, Matano *et al.*, 2005; Möller *et al.*, 2008), afetando os ciclos biogeoquímicos e de produção primária (Ciotti *et al.*, 1995; Garcia *et al.*, 2004).

Evidências de anomalias na Plataforma Continental Sudeste brasileira, também foram descritas por Martin *et al.* (1988), que detectaram aumentos na frequência da ressurgência em Arraial do Cabo, durante o *El Niño* de 1982. Lentini *et al.* (2001), evidenciaram anomalias de TSM no Atlântico Sudoeste, relacionadas a eventos de *El Niño*.

Assim, neste estudo, pretende-se investigar as relações entre eventos de ENSO, nas áreas alimentares e reprodutivas, e a variabilidade interanual do número de baleias francas e filhotes, em seu local de reprodução, na costa sul brasileira.

5.2. MÉTODOS

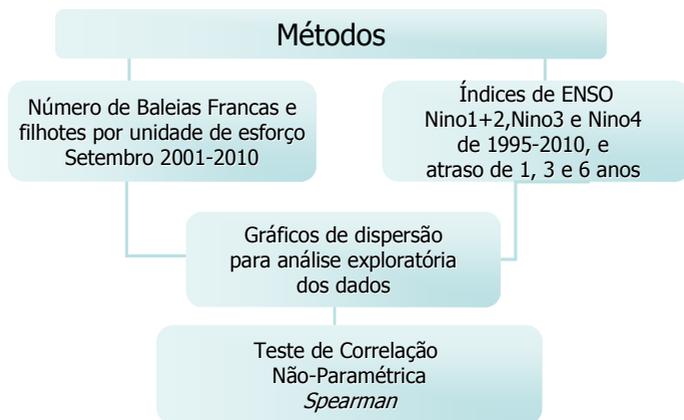


Figura 9. Fluxograma dos métodos.

Foram utilizados dados de contagens de baleias francas e filhotes, avistadas entre a Ilha de Santa Catarina (27.4°S, 48.5°W), ao norte do Rio Grande Sul (30.4°S, 52°W), no período de 2001 a 2010. A metodologia das amostragens está descrita no capítulo 2.2

O esforço amostral variou entre anos, de acordo com a Tabela 1 no capítulo 2.2. Assim, o número total de indivíduos de baleias francas e o número de filhotes foram corrigidos de acordo com o esforço amostral, dividindo-se o número de indivíduos avistados, em setembro de cada ano, pelo número de horas de esforço amostral. Na Figura 10 é apresentado o gráfico do número de baleias francas e número de filhotes, corrigidos por unidade de esforço – CPUE (captura por unidade de esforço).

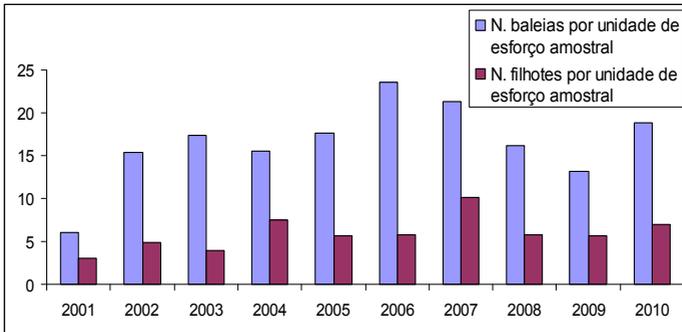


Figura 10. Número total de indivíduos e número de filhotes, por unidade de esforço amostral (CPUE), avistados em setembro de 2001 a 2010.

Os índices de ENSO foram obtidos através do site do NOAA <http://www.cpc.noaa.gov/data/indices/>, no período de 1995 a 2010. Foram utilizadas as anomalias dos índices, que consistem de anomalias de TSM nos locais onde são obtidos: Nino1+2 (anomalias de TSM entre 0-10°S e 90-80°W); Nino3 (5°N-5°S e 150°W-90°W); e Nino4 (5°N-5°S e 160°E-150°W).

Para a melhor visualização da série de dados dos índices de ENSO, é mostrado, na Figura 11, o gráfico com os dados de médias mensais dos índices Nino 1+2, Nino3 e Nino4, para o período de 1995 a 2010. A parte positiva do gráfico representa anos de *El Niño*, com anomalias positivas de TSM e, a parte negativa, representa anos de *La Niña*, com anomalias negativas de TSM.

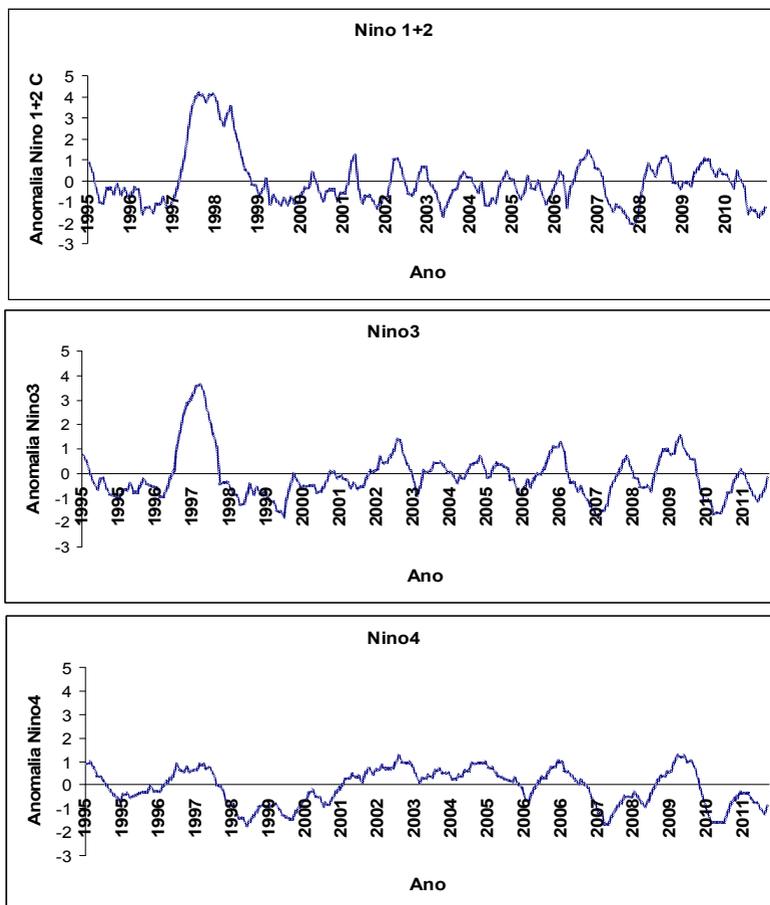


Figura 11. Gráficos de médias mensais das anomalias dos índices Niño1+2, Niño3 e Niño4 no período de 2001 a 2010.

Primeiramente, foi realizada a análise exploratória dos dados, através de gráficos de dispersão entre os índices Niño1+2, Niño3 e Niño4, e o número de baleias francas e número de filhotes, corrigidos por captura por unidade de esforço amostral (CPUE), em setembro de 2001 a 2010

Posteriormente, com o objetivo de testar as possíveis relações entre os efeitos do ENSO e a variabilidade interanual do número de baleias francas e filhotes, foram realizados testes de correlação não-paramétrica de *Spearman*, entre as anomalias dos índices de ENSO e o número total de baleias

francas e o número de filhotes, corrigidos por unidade de esforço amostral.

Este método foi utilizado porque permite a correlação entre dados não-paramétricos. Adicionalmente, o baixo número de amostras (10), e a autocorrelação entre os índices de ENSO, dificulta a utilização de métodos estatísticos mais robustos.

Foram testadas as seguintes relações:

a) Médias das anomalias dos índices de ENSO nos meses de agosto, setembro e outubro (ASO) e o número total de animais avistados e o número de filhotes. O objetivo foi testar relações entre os efeitos do ENSO, na costa sul brasileira, no período em que as baleias francas permanecem no local.

b) Médias das anomalias dos índices de ENSO nos meses de janeiro, fevereiro e março (JFM) e o número total de animais avistados e o número de filhotes. Esta análise objetivou testar relações entre efeitos do ENSO nas áreas de alimentação, no período de verão, época em que as baleias francas estão se alimentando nestes locais; e o número total de baleias e filhotes na concentração reprodutiva sul brasileira.

Para cada período das médias do ENSO (a e b) descritos acima, foram testadas correlações com o mesmo ano das amostragens de baleias francas, e com atraso (*lag*) temporal de 1, 3 e 6 anos, dos índices de ENSO, em relação ao ano das avistagens de baleias francas. Este procedimento foi realizado porque existe a probabilidade de que os efeitos do ENSO, nas áreas de alimentação, possam ser evidenciados ao longo do ciclo reprodutivo das baleias francas. O período de gestação é de um ano, e o intervalo para a produção de um novo filhote é de três a cinco anos (Best, 1994; Burnell, 2001). Existe, também, a hipótese de que anomalias de TSM no Pacífico sejam detectadas no Atlântico Sudoeste com atraso de aproximadamente três anos (Trathan e Murphy, 2002).

5.3. RESULTADOS

Os gráficos de dispersão para a análise exploratória e conferência dos padrões de associação dos dados estão nos anexos, devido ao grande número de gráficos. Em geral, os dados apresentaram-se dispersos, sendo observado algum padrão de agrupamento entre o número total de baleias francas e índices de ENSO com atraso temporal de 3 e 6 anos, no período de JFM.

Os resultados dos testes de correlação são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2. Resultado dos testes de correlação entre número de baleias francas e filhotes, e as médias de anomalias dos índices de ENSO em janeiro, fevereiro e março (JFM) e agosto, setembro e outubro (ASO). Correlações significativas a 0.05 estão destacadas (*).

N. Baleias (CPUE)								
Valor da Correlação (R) e significância (p)								
	Lag 1		Lag 3		Lag 6			
	JFM	ASO	JFM	ASO	JFM	ASO	JFM	ASO
Nino1+2	R = 0.07 $\rho = 0.85$	R = -0.07 $\rho = 0.85$	R = -0.06 $\rho = 0.86$	R = 0.16 $\rho = 0.65$	R = -0.40 $\rho = 0.25$	R = -0.19 $\rho = 0.61$	R = -0.25 $\rho = 0.48$	R = -0.14 $\rho = 0.70$
Nino3	R = 0.38 $\rho = 0.27$	R = -0.28 $\rho = 0.42$	R = 0.28 $\rho = 0.42$	R = 0.53 $\rho = 0.11$	R = 0.28 $\rho = 0.42$	R = 0.16 $\rho = 0.65$	R = -0.59 $\rho = 0.07$	R = 0.13 $\rho = 0.72$
Nino4	R = 0.43 $\rho = 0.21$	R = -0.48 $\rho = 0.16$	R = 0.52 $\rho = 0.12$	R = 0.47 $\rho = 0.16$	R = 0.33 $\rho = 0.34$	R = 0.49 $\rho = 0.14$	R = -0.76* $\rho = 0.01$	R = 0.18 $\rho = 0.62$

N. Filhotes (CPUE)								
Valor da Correlação (R) e significância (p)								
	Lag 1		Lag 3		Lag 6			
	JFM	ASO	JFM	ASO	JFM	ASO	JFM	ASO
Nino1+2	R = 0.04 $\rho = 0.91$	R = -0.24 $\rho = 0.48$	R = 0.03 $\rho = 0.92$	R = 0.41 $\rho = 0.22$	R = -0.07 $\rho = 0.82$	R = 0.26 $\rho = 0.42$	R = 0.20 $\rho = 0.57$	R = -0.03 $\rho = 0.93$
Nino3	R = 0.27 $\rho = 0.44$	R = -0.18 $\rho = 0.60$	R = 0.28 $\rho = 0.42$	R = 0.33 $\rho = 0.34$	R = 0.21 $\rho = 0.55$	R = 0.16 $\rho = 0.65$	R = 0.09 $\rho = 0.80$	R = 0.017 $\rho = 0.98$
Nino4	R = 0.11 $\rho = 0.75$	R = -0.26 $\rho = 0.46$	R = 0.43 $\rho = 0.21$	R = 0.16 $\rho = 0.65$	R = 0.15 $\rho = 0.67$	R = 0.56 $\rho = 0.08$	R = -0.24 $\rho = 0.48$	R = 0.006 $\rho = 0.98$

Nos resultados dos testes de correlação mostrados na Tabela 2, foi significativa a 0.05, apenas a correlação entre o número de baleias francas e médias do índice Nino4, com atraso temporal de 6 anos. Esta correlação obteve R = -76, indicando relação negativa entre o número de baleias francas e o índice Nino4. As outras correlações não foram significativas.

A correlação utilizando médias do índice Nino3, no período de verão, também com atraso temporal de 6 anos, apresentou valor de $R = - 0.59$, $p = 0.07$ valor próximo da faixa de significância a 0.05.

A correlação entre número de filhotes e médias de anomalias do Nino4 nos meses de inverno obteve $p = 0.08$, valor também próximo à faixa de significância.

5.4. DISCUSSÃO

Os resultados dos testes de correlação entre número de baleias francas e filhotes, e os índices de ENSO, indicaram correlação significativa a 0.05, apenas entre as variáveis número de baleias francas e as médias de anomalias do índice Nino4, nos meses de JFM, com seis anos de atraso temporal. As médias das anomalias dos índices de ENSO, em JFM, foram utilizadas para indicar eventos ENSO durante o período em que as baleias francas se encontram nas áreas de alimentação. Esta correlação foi negativa ($R = - 0.76$), indicando relação inversa entre as variáveis.

Grande parte das correlações com o número de filhotes apresentaram baixa significância a 0.05. Entretanto, a correlação entre esta variável e médias de anomalias do Nino4, nos meses ASO, obteve $p = 0.08$, valor próximo à faixa de significância de 0.05. No entanto, os valores de significância 0.05 e correlação, entre número de filhotes, e os outros índices de ENSO para o mesmo período, foram baixos. Assim, o valor $p = 0.08$ pode ter sido obtido ao acaso.

As correlações utilizando as médias das anomalias de ENSO no período ASO, indicativas de eventos no período em que as baleias francas frequentam a costa sul brasileira, não foram significativas. Testes de correlações com dados de TSM no local podem obter melhor resultado. Relações entre TSM na costa sul brasileira, e baleias francas serão testadas no capítulo 6.

É importante salientar que a série de dados utilizada nas correlações foi pequena, o que diminui a eficiência estatística. Assim, é importante a continuidade da verificação desta relação, futuramente, com uma maior série de dados, o que também possibilitará o uso de outros métodos estatísticos.

Na Tabela 2, observa-se valores de correlação relativamente altos ($r > 0.30$), mas que não foram significativos. Isto pode ser explicado devido ao baixo número de amostras, o que exige relações fortes entre as variáveis para que sejam significativas a 0.05.

Em testes de correlações estatísticas, existe a possibilidade da obtenção de resultados de correlações significativas gerados ao acaso. Assim, existe a possibilidade de que correlação significativa a 0.05, entre baleias francas e Nino4, possa estar refletindo características no ciclo reprodutivo, e padrão de crescimento da população, que foram relacionadas com índices de ENSO ao acaso.

No entanto, as correlações com os índices Nino3 e Nino1+2, com atraso temporal de 6 anos, e médias das anomalias em JFM, apesar de não significativas a 0.05, foram também negativas ($R = - 0.25$ e $- 0.59$, respectivamente), sendo que o índice Nino3 obteve $p = 0.07$, próximo do intervalo de confiança de 95%. Os índices de ENSO, apesar de medidos em regiões diferentes, são correlacionados. Assim, estes fatores contribuíram para justificar a aceitação da hipótese alternativa, de correlação entre baleias francas e médias de anomalias do Nino4, nos meses JFM, com atraso de 6 anos.

Para a explicação destes resultados, considera-se a possibilidade de que eventos da fase fria do ENSO, no Atlântico Sudoeste, geram maior produtividade e, conseqüentemente, maior disponibilidade de alimento para as baleias francas, nas áreas de alimentação. Assim, com maior disponibilidade energética, provavelmente maior número de indivíduos estará apto a realizar a migração e a reprodução. Isto explicaria a relação inversa encontrada, entre anomalias negativas do índice Nino4, nos meses JFM, e maior número de animais avistados na costa sul brasileira, com seis anos de atraso temporal.

O período de atraso de seis anos pode ser atribuído ao ciclo reprodutivo das baleias francas e, também, ao tempo para que as anomalias de ENSO no Pacífico sejam conectadas ao Atlântico. Murphy *et al.* (2002) sugerem um intervalo de três anos para que os efeitos do ENSO no Pacífico sejam detectados na região antártica e sub-antártica do Atlântico Sudoeste.

Entretanto, estas hipóteses devem ser examinadas com cuidado, pois há diversas relações ecológicas envolvidas, que devem ser cautelosamente avaliadas. Embora diversos autores tenham detectado modificações ambientais, oceanográficas e biológicas, relacionadas ao ENSO, no Atlântico Sudoeste (Lentini *et al.*, 2001; Trathan *et al.*, 2003; Yuan, 2004; Loeb *et al.*, 2009), seus efeitos, bem como padrões de conexão entre Pacífico e Atlântico, envolvem relações complexas, que devem ser analisadas com cautela.

Leaper *et al.* (2006) encontraram relações entre produção de filhotes, na concentração reprodutiva da Península Valdés, e médias de anomalias nos meses de verão do índice Nino4, indicativo de efeitos do ENSO nas áreas de alimentação, com 6 anos de atraso temporal. Entretanto, Leaper *et al.* (2006) obtiveram relações positivas entre produção de filhotes e anomalias positivas do índice Nino4.

Leaper *et al.* (2006) analisaram um período diferente de dados do presente estudo, utilizando séries de dados entre 1971 e 2000. Assim, deve ser considerado que eventos de ENSO, geralmente, apresentam características distintas entre diferentes períodos. Adicionalmente, a série de dados do presente estudo é menor do que a utilizada por Leaper *et al.* (2006).

A repercussão de variabilidades no clima e seus impactos diretos e indiretos sobre a disponibilidade de alimento, conseqüentemente, são transferidos ao longo da cadeia trófica. Os predadores de topo são potencialmente vulneráveis às flutuações de suas presas, especialmente seu sucesso reprodutivo (Croxall *et al.*, 1999; Simmonds e Isaac, 2007; Laidre *et al.*, 2008). Diversos estudos evidenciaram efeitos relacionados ao ENSO e anomalias de TSM, em espécies do topo da cadeia trófica, predadoras de zooplâncton, como *krill* e copépodos.

Os estudos de Forcada *et al.* (2008) e Forcada *et al.* (2005) evidenciaram que anomalias positivas de TSM, relacionadas aos eventos de ENSO, geraram baixa produtividade de *krill*, nas Ilhas Geórgia do Sul, que estaria relacionada com a redução na produção de filhotes de focas antárticas (*Arctocephalus gazella*). Os autores indicaram um atraso temporal de 1 a 3 anos para que efeitos das anomalias de TSM fossem detectadas na produção de filhotes.

No hemisfério norte, Baumgartner *et al.* (2003), sugerem haver aumento do número de baleias francas boreais, na concentração alimentar em *Scotian Shelf*, Canadá, em anos com menor temperatura da água, provavelmente, devido à maior disponibilidade de alimento. Greene e Pershing (2004) e Greene *et al.* (2003) sugerem que o declínio na abundância do copépodo *Calanus finmarchicus*, no início dos anos 90, seria uma das causas da baixa taxa reprodutiva de baleias francas boreais. Os autores atribuem as causas ao aumento da temperatura da água nas áreas alimentares, relacionadas ao aquecimento global e variabilidades no NAO (*North Atlantic Oscillation*).

Adicionalmente, é importante considerar que existe a hipótese de que as baleias francas, que frequentam a concentração reprodutiva sul brasileira, alimentam-se também em outros locais, e não exclusivamente nas Ilhas Geórgia do Sul. No entanto, provavelmente, os efeitos do ENSO também sejam conectados a estas regiões, embora possa haver diferenças dos efeitos entre estes locais.

Registros de navios baleeiros, nos séculos 19 e 20, indicavam que os principais locais de alimentação das baleias francas, no Atlântico Sudoeste eram: Região denominada por *Brazil Banks* (31°S, 35°W), *False Banks* e no entorno das Ilhas Malvinas. Estes locais compreendem a região de alto mar, entre o sul do Brasil, Uruguai e Argentina, entre 31° e 55°S, e a oeste de 35°W. Estes locais apresentavam registros de baleias francas de outubro a janeiro. A outra região compreendia águas no entorno das Ilhas Geórgia do Sul e *Shag Rocks* (53°S) e Península Antártica (65°S). Nestes locais, os registros de baleias francas eram principalmente nos meses de fevereiro a maio (Townsend, 1935; Tormosov *et al.*, 1998; International Whaling Commission, 2001b).

Provavelmente, as baleias francas da costa sul brasileira frequentem *False Banks* e *Brazil Banks*, no entanto, é improvável que indivíduos da concentração reprodutiva da Península Valdés realizem migrações ao norte para alimentarem-se nestes locais. Entretanto, provavelmente as baleias francas da concentração reprodutiva sul brasileira, realizem migrações até as concentrações alimentares mais ao sul, nas Ilhas Geórgia do Sul e Península Antártica, devido à maior disponibilidade de alimento nestes locais.

Este padrão de migração sugerido para as baleias francas da concentração reprodutiva sul brasileira, foi identificado em baleias jubarte (*Megaptera novaeangliae*), no estudo de Zerbini *et al.* (2006), utilizando o método de telemetria, objetivando a identificação da rota migratória dos indivíduos que frequentam a concentração reprodutiva do nordeste brasileiro, em direção às áreas de alimentação. O estudo indicou que os animais movimentaram-se para *Brazil Banks*, Ilhas Geórgia do Sul e Ilhas *Sandwich*. Assim, sugere-se o estudo das rotas migratórias das baleias francas no Atlântico Sudoeste, para melhores conclusões sobre suas áreas de alimentação.

Este estudo foi uma primeira tentativa de relacionar variabilidades do ENSO sobre a população de baleias francas na concentração reprodutiva sul brasileira. No entanto, a série de dados disponíveis, na data da realização desta pesquisa, ainda é pequena para a realização de estudos como este, o que pode prejudicar a confiabilidade dos resultados. Assim, são necessários futuros estudos, utilizando maior série temporal de dados, para a confirmação dos resultados obtidos, bem como para o monitoramento de efeitos relacionados ao ENSO sobre a população de baleias francas.

6. ANÁLISE DAS RELAÇÕES ENTRE A POPULAÇÃO DE BALEIAS FRANCAS E A TSM, ÍNDICE DE EMBAIMENTO DA COSTA, DECLIVIDADE DA PLATAFORMA E LATITUDE

6.1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de planos de conservação e monitoramento de espécies requer o entendimento das relações entre a população e suas relações com as características do habitat (Harwood, 2001; Austin, 2002; Cañadas *et al.*, 2005). Modelos relacionando espécies e parâmetros ambientais proporcionam um melhor entendimento da dinâmica de uso do habitat, e contribuem para a previsão de como a população pode se distribuir em eventos de mudanças nas condições ambientais (Ferrier *et al.*, 2002; Cañadas *et al.*, 2005; Guisan e Thuiller, 2005).

As populações de baleias francas migram, anualmente, para áreas reprodutivas, geralmente durante o inverno e primavera, com o objetivo de reprodução e cuidado dos filhotes (Payne *et al.*, 1990; Patenaude *et al.*, 1996; Best, 2000). Durante a permanência nas concentrações reprodutivas, os animais geralmente ocupam áreas específicas, apresentando fidelidade a estes locais (Baker *et al.*, 1999; Best, 2000; Elwen e Best, 2004).

O conhecimento da previsibilidade da distribuição de mysticetos foi utilizado por caçadores, no passado, que esperavam pelas baleias nas mesmas baías, anualmente (Tormosov *et al.*, 1998; Richards, 2009). Este comportamento de fidelidade a locais da costa específicos, provavelmente acontece devido a determinados fatores ambientais promoverem algum benefício, principalmente aos pares de mãe e filhote, em áreas reprodutivas.

Estudos e observações sobre a relação entre fatores ambientais e distribuição de baleias francas, em áreas reprodutivas, consideraram importantes: profundidade e declividade (Payne, 1986; Elwen e Best, 2004), águas calmas (Payne, 1986; Elwen e Best, 2004), tipo de substrato (Taber e Thomas, 1982; Elwen e Best, 2004) e locais protegidos por

baías (Thomas e Taber, 1984; Rowntree *et al.*, 2001). Em concentrações reprodutivas de baleias francas boreais, nos estados da Flórida e Geórgia (EUA), Keller e Ward-Geiger, 2006 e Keller *et al.*, (2012) sugerem a importância da TSM e profundidade.

No Capítulo 4, verificou-se a distribuição das baleias francas entre o sul da Ilha de Santa Catarina ao norte do Rio Grande do Sul. Através da análise dos mapas, foi observado que, nos locais com maior concentração de indivíduos, a declividade da plataforma é mais acentuada, há maior número de baías e, também, é o local onde ocorre a ressurgência do Cabo de Santa Marta, responsável pelo afloramento de águas mais frias.

Assim, foram selecionados os parâmetros ambientais TSM, embaçamento da costa, declividade e latitude, para investigar, através de modelos estatísticos, suas relações na distribuição espacial e temporal das baleias francas na costa sul brasileira. Modelos estatísticos são ferramentas úteis para resumir e interpretar dados para estudos ecológicos e ambientais, facilitando a avaliação da forma e da intensidade das associações entre espécies e fatores ambientais (Araújo e Williams, 2000; Guisan e Zimmermann, 2000; Austin, 2002).

Entretanto, geralmente, em análise de dados ecológicos, a variável a ser analisada é o número de indivíduos de determinada espécie em uma região. Frequentemente, este é um dado extremamente irregular, não se adaptando aos métodos estatísticos clássicos, que exigem uma distribuição normal dos dados.

Outros aspectos a serem considerados em análises de dados ecológicos são: a presença de tendência e sazonalidade, a existência de defasagem entre as mudanças ambientais e a ocorrência da espécie, e a possível existência de autocorrelação entre as observações medidas ao longo do tempo, entre outros (Fewster *et al.*, 2000; Guisan *et al.*, 2002; Zuur *et al.*, 2007).

Neste contexto, formas de análises que possibilitem lidar com dados irregulares, como é o caso de dados ambientais e ecológicos, tornam-se úteis. Os Modelos Aditivos Generalizados (MAGs) (Hastie e Tibshirani, 1990) satisfazem estas condições, pois foram formulados para

análises de dados irregulares e não-normais (Hastie e Tibshirani, 1990; Guisan *et al.*, 2002; Zuur *et al.*, 2007).

Os MAGs são, atualmente, amplamente utilizados em estudos de espécies terrestres (Pereira e Itami, 1991; Fewster *et al.*, 2000; Ferrier *et al.*, 2002), de água doce (Olden e Jackson, 2002) e marinhas (GREGG e TRITES, 2001; Ysebaert *et al.*, 2002; Friedlaender *et al.*, 2006; Dalla Rosa *et al.*, 2012). Estes estudos são motivados por propósitos que variam de testes de hipóteses ecológicas (Austin, 2002), ou processos (Leathwick e Austin, 2001) à previsão da distribuição de espécies em áreas geograficamente extensas (GREGG e TRITES, 2001; Dalla Rosa *et al.*, 2012; Keller *et al.*, 2012).

Portanto, neste contexto, este estudo teve como objetivo testar relações não-lineares entre padrões de distribuição das baleias francas na costa sul brasileira, entre a ilha de Santa Catarina (27.4°S) ao norte do Rio Grande do Sul (30.4°S), e as variáveis ambientais TSM, índice de embaçamento da costa, declividade da plataforma e latitude.

6.2. MÉTODOS

A Figura 12 mostra o fluxograma dos métodos utilizados neste estudo.

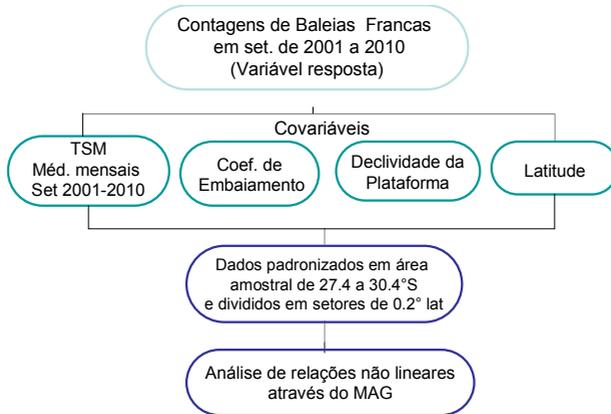


Figura 12. Fluxograma dos métodos utilizados neste estudo.

Dados de Baleias Francas

O método das amostragens de baleias francas está descrito no Capítulo 2.2. Para esta análise, foram utilizados dados de contagens de baleias francas, em setembro de 2001 a 2010. O esforço amostral foi corrigido através da inserção de um *offset*, aos MAGs utilizados.

Dados Ambientais

Temperatura Superficial do Mar

Os dados de TSM utilizados neste estudo são provenientes do MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), disponíveis em:

<http://gdata1.sci.gsfc.nasa.gov>. Este sensor foi projetado para satisfazer os requerimentos de três campos de estudos diferentes: atmosfera, oceano e terra, com bandas de resolução espectral e espacial selecionadas para o conhecimento de diferentes necessidades observacionais (Savtchenko *et al.*, 2004).

O MODIS é um radiômetro de varredura, por meio do qual a visualização óptica varre lado a lado a faixa da terra, através de um espelho giratório. É um dos cinco instrumentos a bordo do satélite Terra (EOS AM), e um dos cinco instrumentos do satélite Aqua (EOS PM). O infravermelho consegue penetrar na água apenas em profundidades até ~50 μm . O MODIS mede radiâncias infravermelhas em dois comprimentos de onda: 3.9 μm e 11 μm . As profundidades de penetração para estas duas bandas são, respectivamente, de ~100 μm e ~10 μm . Portanto, as radiâncias medidas pelo MODIS são emitidas dentro da camada pelicular da superfície do oceano (Savtchenko *et al.*, 2004).

Utilizaram-se dados de TSM com radiância de 11 μm , na fase diurna do satélite MODIS, com resolução de 4 km, e nível 3 de processamento. Para caracterizar a TSM dos diferentes locais, para a posterior análise estatística, e relacioná-las com as coordenadas geográficas dos indivíduos de baleias francas avistados, a área com os valores de TSM foi dividida espacialmente, em quadrados com área de 0.2 graus de latitude, entre 27.4°S a 30.4°S, e com intervalo de longitude de 0.6 graus. Foram utilizadas médias mensais de TSM para o mês de setembro, para abranger o mesmo período dos dados baleias francas. A escala temporal abrangeu o mês de setembro de 2001 até 2010.

Coeficiente de Embaiamento

O objetivo do desenvolvimento “Coeficiente de Embaiamento”, foi gerar um índice para realizar uma quantificação numérica da geometria da linha de costa, e diferenciar numericamente locais com linha de costa com maior número de baías, de locais com linha de costa aberta e retilínea. Desta forma, pela transformação de dados qualitativos de linha de costa em dados numéricos, este índice possibilita a realização de análises estatísticas.

Para o desenvolvimento da equação do coeficiente de embaiamento (Equação 2), partiu-se do princípio de que a linha de costa dos locais com maior número de baías e enseadas possui maior comprimento, devido às curvas, se comparada com a distância de uma linha reta.

A área (27.4°S a 30.4°S) foi dividida em 0.2° de latitude, e para cada para setor, foi calculado o coeficiente de embaiamento, determinado através da razão entre os seguintes termos:

- A linha de costa, que se chamou de coeficiente real, consiste do cálculo do comprimento da linha de costa, incluindo todas as curvas.

- A distância linear entre o início e o final da área em estudo, que consiste da distância linear entre dois pontos, e foi denominada de Coeficiente Linear.

2

$$\text{Coef. Embaiamento} = \frac{\text{Comprimento Real da linha de costa}}{\text{Comprimento Linear da linha de costa}}$$

Quanto mais baías e enseadas no trecho da linha de costa, maior será o valor do coeficiente.

Para um melhor entendimento e visualização, o Comprimento real e o Comprimento linear da linha de costa foram desenhados na Figura 13. O Comprimento real é

demonstrado através da linha preta, e comprimento linear, através da linha vermelha.

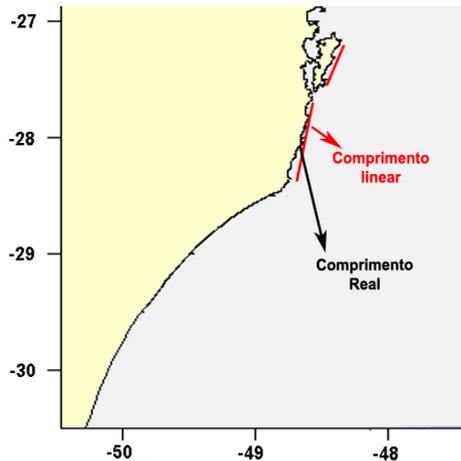


Figura 13. Ilustração do Comprimento linear (—) e Comprimento real (—) utilizados no cálculo do coeficiente de embaiamento.

Os dados de linha de costa foram obtidos através do Vetor da Linha de Costa Mundial (*World Vector Shoreline*) desenvolvido pela NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*), disponível através do site <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/coast/getcoast.html>. A área definida para a obtenção dos dados foi entre as latitudes 30.4°S a 27.4°S, que compreende os limites da área em estudo, e a resolução é de 0.004 graus.

O banco de dados do Vetor da Linha de Costa Mundial apresenta diferenças de resolução, de acordo com o tamanho do intervalo espacial dos dados extraídos. De um modo geral, quanto maior a área extraída, maior a resolução. Portanto, foram realizadas verificações para testar a melhor resolução: Extraíram-se os dados em intervalos espaciais de 3, 2, 1 e 0.5 graus, e calculou-se a resolução. Verificou-se que, a resolução máxima é alcançada extraíndo-se os dados de linha de costa em intervalos de 1 grau.

Foram removidas, do arquivo de linha de costa, as lagoas costeiras, e as baías norte e sul da Ilha de Santa Catarina. Este procedimento foi realizado para que estas

feições não interferissem no resultado do cálculo do coeficiente de embaixamento, no sentido de que estas feições representam áreas com bastante curvatura, e influenciam o resultado final do cálculo do coeficiente de embaixamento.

A Figura 14 mostra a linha de costa original (A), com todas as feições, e após a retirada das lagoas costeiras e baías norte e sul da Ilha de Santa Catarina (B).

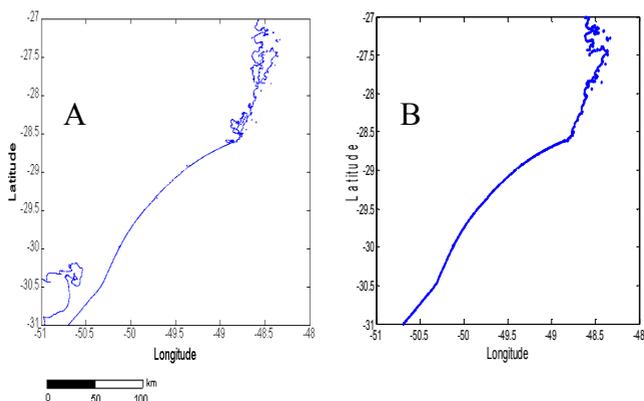


Figura 14. Linha de costa original (A) e linha de costa utilizada nas análises (B).

Declividade da Plataforma

Para os cálculos de declividade, primeiramente foram obtidos os dados de batimetria, a partir das cartas náuticas 1900 e 2000, disponíveis na Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN, 1993). A carta 1900 abrange a região da Ilha do Arvoredo - SC a Torres-RS (27°S, 47°53'W; 29°35'S, 49°56'W), com resolução 1:279329. A carta 2000 compreende a região de Torres a Mostardas - RS (29°08'S, 49°10'W; 31°27'S, 51°05'W), com resolução de 1:274023.

As cartas foram digitalizadas em scanner de mesa com resolução de 300 dpi, georreferenciadas e, após, foram extraídos os pontos cotados por meio de digitalização em tela. Para a geração da grade triangular utilizou-se o método do

vizinho mais próximo (Burrough, 1987). Este método consiste em atribuir, para cada ponto (x,y) da grade, uma cota da amostra mais próxima ao ponto. Este interpolador mantém os valores de cotas das amostras na grade, sem gerar valores intermediários.

Com o objetivo de analisar a variação da declividade, foram realizados cortes, através de perfis, até a profundidade de 800 m, na direção média perpendicular às isolinhas. Os perfis foram realizados a cada 0.2° de latitude, que corresponde à divisão da área padronizada para as análises com os MAGs. A Figura 15 mostra os cortes longitudinais. A profundidade de 800 m foi escolhida por representar a região entre a quebra da plataforma e o talude.

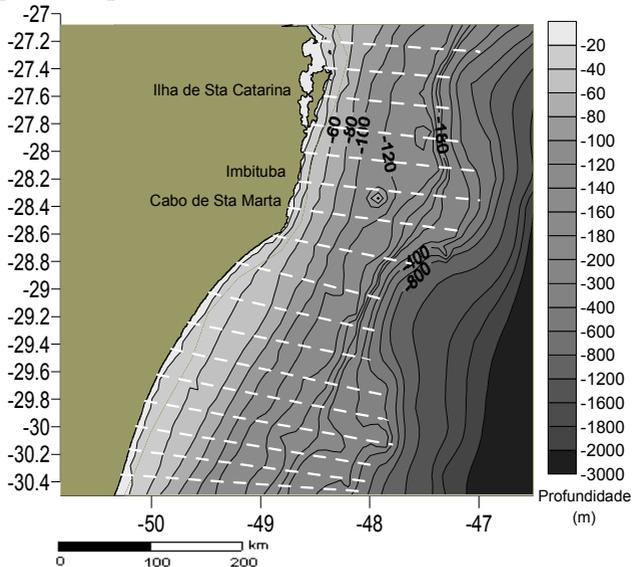


Figura 15. Perfis realizados, a cada 0.2° de latitude, utilizados para os cálculos de declividade.

Para cada perfil, foi calculada a declividade média até 800 m. A Declividade (%) é definida pela razão da distância vertical entre dois pontos do perfil, e a distância horizontal entre os mesmos. O resultado foi expresso em porcentagem.

Análise dos Dados

Análise Exploratória

Foram construídos gráficos de dispersão entre todas as variáveis, objetivando a análise exploratória dos dados. Esta etapa é útil para visualizar a distribuição de dados de cada variável, possíveis relações entre as covariáveis, indicativas de autocorrelação, e a observação de possíveis relações entre a variável resposta (contagem das baleias) e as covariáveis. Adicionalmente, a análise dos gráficos possibilita a verificação da necessidade de correção dos dados, para que estes sejam melhor ajustados pelo modelo.

Modelos Aditivos Generalizados

Os Modelos Aditivos Generalizados (Hastie e Tibshirani, 1990) foram utilizados para modelar a influência das variáveis ambientais latitude, TSM, embaçamento da costa e declividade sobre a população de baleias francas na costa sul brasileira, no período de 2001 a 2010.

Este método foi escolhido porque possibilita a análise de variáveis com distribuições irregulares e não-paramétricas, e por possibilitar a modelagem de relações não lineares entre a variável resposta e as covariáveis. Adicionalmente, comparado aos modelos lineares, este método possibilita melhor ajustamento em dados com presença de autocorrelação, curtose, e outros problemas comuns em séries de dados ecológicos.

Em MAGs, o foco não são os testes de hipóteses, e sim, a seleção do melhor modelo entre um conjunto de modelos candidatos. A questão principal é sobre qual modelo descreve melhor os dados, e quais variáveis explanatórias (ou covariáveis) devem ser incluídas neste modelo (Zuur *et al.*, 2009; Burnham *et al.*, 2011).

Os modelos aditivos generalizados são caracterizados pelo fato de assumirem que a média de uma variável resposta depende de um preditor aditivo, através de uma função de ligação. Na formulação dos MAGs para a presente análise, foi utilizada a função de ligação logarítmica e distribuição de

Poisson. A distribuição de Poisson é adequada para descrever dados de contagens, porque estes são compostos apenas de números inteiros e não-negativos (Fewster *et al.*, 2000; Zuur *et al.*, 2009).

Os MAGs podem ser considerados um caso especial de regressão linear, na qual primeiramente é adicionado um suavizador para modelar relações não-lineares entre a variável resposta e as covariáveis, obtendo-se um Modelo Aditivo. Com a adição de uma função de ligação com o objetivo de modelar distribuições de amostras não-normais, como a Poisson, Binomial e Gamma, se obtém um Modelo Aditivo Generalizado.

Para a explicação do princípio da formulação dos MAGs, será demonstrada a sua formulação a partir da regressão linear (Equação 3).

3

$$E(Y) = \alpha + \beta X_i$$

Onde $E(Y_i)$ é o valor esperado para a variável resposta, X_i é a variável explanatória, α é o intercepto da população, e β é a inclinação da linha de regressão linear. Os dois importantes requerimentos para esta análise são a normalidade e homogeneidade dos dados. A relação entre Y e X é representada pela inclinação β . Assim, é preciso apenas observar a inclinação e seu intervalo de confiança para visualizar se há relação entre X e Y .

A diferença conceitual entre um modelo aditivo e a regressão linear é a substituição da linha de regressão por uma curva suavizada. Em um modelo aditivo, é assumido que Y deve ser normalmente distribuído, com valor esperado equivalente à μ_i e variância σ^2 . A suavização equivalente a um modelo aditivo é dada pela Equação 4:

4

$$E[Y_i] = \mu_i = \alpha + f(X_i)$$

Onde a função $f(X_i)$ é a função de suavização da população. $f(X_i)$ será também representada por (s) . Este modelo é chamado modelo aditivo. Assim, em vez de

determinar a relação entre Y e X_i utilizando a declividade do parâmetro β , é utilizada uma função de suavização $f(X_i)$. Entretanto, neste método é necessário um gráfico de plotagem (*scatterplot smoother*) para a visualização da função $f(X_i)$.

Um suavizador é uma ferramenta para sumarizar a tendência da variável resposta Y como uma função de uma ou mais variáveis preditoras independentes X_1, \dots, X_p .

O suavizador produz uma estimativa da tendência que apresenta menor variabilidade que a variável resposta Y . Uma importante propriedade de um suavizador é a sua natureza não-paramétrica, não assumindo uma forma rígida de dependência entre Y sobre X_1, \dots, X_p .

O gráfico da função de suavização $f(X)$, ou s , demonstra a relação marginal entre a variável resposta (Y) e a variável explanatória (X). Uma função de suavização consiste de uma curva, que descreve como a variável resposta varia em torno da média μ , na medida em que mudam os valores de $f(X)$ ou s .

Para as análises deste estudo foi utilizada a função de suavização *splines* (Hastie e Tibshirani, 1990), que consiste em aproximar uma função por uma série de polinômios, definidos em sub-intervalos, cujos extremos são denominados nós.

A Equação 5 demonstra o suavizador *splines*. Assume-se que uma função de suavização f_i de uma covariável X_i , $i = 1, 2, \dots, p$, pode ser aproximada por uma *spline* polinomial de grau $l = m + 1$, definida em uma série de nós igualmente espaçados. Seja o conjunto de números reais Y_1, \dots, Y_n em um intervalo $[a, b]$, com $a \leq Y_1 < Y_2 < \dots < Y_{n-1} < Y_n \leq b$.

5

$$S(f_i) = \sum_{t=1}^t (Y_t - f_i(X))^2 + \lambda \int_b^a (f^{(m)}(u))^2 du$$

Onde du mede a rugosidade da função f , assumindo valor nulo para f linear. λ é o parâmetro positivo de suavização: quanto maior, mais suave será f .

Entretanto, o modelo aditivo não modela satisfatoriamente variáveis com distribuições não-gaussianas.

Assim, da mesma forma que uma regressão linear pode ser estendida a uma regressão de Poisson, o modelo aditivo pode ser estendido a um modelo aditivo com distribuição de Poisson. Outros tipos de distribuições não-gaussianas, como a Binomial e Gamma, podem também ser utilizadas. É necessária uma função de ligação, e neste caso, foi utilizada uma função de ligação logarítmica, obtendo-se, assim, um modelo aditivo generalizado com função de ligação logarítmica.

A fórmula matemática dos MAGs pode ser escrita da seguinte forma (Equação 6):

6

$$\eta = \alpha + s_0 \sum_{i=1}^P s_i(X_i)$$

Onde η é o termo aditivo, s_1, \dots, s_p são as funções de suavização (f), e X_i são as covariáveis (variáveis explanatórias).

Do modelo aditivo é obtido: $E(Y) = \mu$. A relação entre a média μ do valor esperado para a variável resposta Y , $E(Y)$, e o termo aditivo η é definida por uma função de ligação g , onde $\eta = g(\mu)$.

Para o ajuste do modelo utilizado neste estudo, foi utilizada a função de ligação (g) logarítmica. Portanto, a partir da Equação 6, substituindo $\eta = g(\mu)$, por $\log(\mu)$, o modelo utilizado pode ser escrito através da Equação 7:

7

$$\text{Log}(\mu) = \alpha + s_0 \sum_{i=1}^P s_i(X_i)$$

Onde $s_0 \dots s_i$ são as funções suavizadas (f), para cada variável explanatória, e X_i é o valor de cada variável explanatória.

Devido aos dados de baleias francas apresentarem variabilidade no esforço amostral, foi adicionado ao modelo

um *offset*, que consistiu do logaritmo das horas de esforço amostral para cada ano. Os dados de esforço amostral estão demonstrados na Tabela 1, no capítulo 2.2.

Para obter as estimativas numéricas do intercepto, parâmetros de regressão e suavização, foi utilizado o método de retroajuste (*backfitting*) (Hastie e Tibshirani, 1990). O retroajuste é um método de Gauss-Seidel para ajustar modelos aditivos através da suavização interativa dos resultados parciais. Este algoritmo separa a parte paramétrica da não paramétrica do ajuste, e ajusta a parte paramétrica utilizando mínimos quadrados lineares ponderados dentro do retroajuste.

Neste estudo, as covariáveis foram a TSM, coeficiente de embaimento, declividade da plataforma e latitude, e a variável resposta foi a contagem de baleias francas. Foi construída uma tabela, para a organização dos dados, de forma a possibilitar a utilização do modelo.

Esta tabela foi formulada dividindo-se a área de 27.4° a 30.4 °S, em setores de 0.2° de latitude, e inserindo-se zeros nos locais em que não havia registro de baleias francas. Somou-se o número total de baleias francas em intervalos de 0.2 graus, sendo esta a frequência acumulada de baleias francas a cada 0.2° de latitude. Os dados de TSM, coeficiente de embaimento, declividade da plataforma e latitude, foram atribuídos aos dados de frequência acumulada do número de baleias francas em cada 0.2 graus de latitude.

Na Tabela 3, é apresentada uma parte da série utilizada nas análises com os MAGs.

Tabela 3. Exemplo da série de dados utilizada nas análises com os MAGs.

#	data	latitude	N baleias	Coef emb	TSM	Decliv
1	set-01	-27.4	0	6.52	20.11	4.01
2	set-01	-27.6	0	6.30	20.07	4.08
3	set-01	-27.8	4	4.29	19.90	3.64
4	set-01	-28	8	5.93	19.49	3.78
5	set-01	-28.2	4	2.67	19.41	3.37
156	set-10	-29.6	0	0.93	17.40	2.89
157	set-10	-29.8	0	1.16	17.04	3.26
158	set-10	-30	0	1.88	16.93	2.89
159	set-10	-30.2	0	0.86	16.96	2.85
160	set-10	-30.4	0	0.85	16.68	2.83

As análises foram realizadas utilizando o pacote *gam* (Hastie, 2008) do software *R* v. 2.8.1 (R, 2008).

Inicialmente, foi analisada a sobredispersão do modelo, através da razão entre o parâmetro de dispersão e os graus de liberdade, obtendo-se valor de 3.5. De acordo com Zuur *et. al.* (2009), dados ideais apresentam valor de sobredispersão próximo de 1. A sobredispersão é caracterizada por desvio residual maior do que os residuais dos graus de liberdade do modelo. Geralmente, é causada devido à alta variância dos dados.

Assim, foi utilizado um modelo Quasi-Gam, com distribuição de Poisson. Este modelo inclui correção dos erros padrões, especificando a relação entre a média e a variância, e utilizando uma ligação exponencial entre os valores esperados e as variáveis explanatórias. A variância é dada por $\Phi \times \mu$, onde μ é a média e Φ é o parâmetro de dispersão.

Assim, evitam-se inconsistências causadas por estimativas de erro padrão muito pequenas, como valores de significância (p) muito pequenos. Neste caso, é recomendado o uso do teste F em vez do Chi-quadrado.

Posteriormente, foi testado o grau de suavização aplicado ao modelo, que é calibrado pela quantidade conhecida como graus de liberdade (gl) (Hastie, 1992). À medida que os graus de liberdade são incrementados, a função de suavização ganha em flexibilidade, ou seja, um maior número de pontos angulosos e mudanças de gradientes são acomodados. No estudo em questão, foi realizada uma análise de gráficos, observando-se a rugosidade da curva (Figura 16).

Decidiu-se por 4 graus de liberdade. À medida que os graus de liberdade foram aumentados, do valor inicial de 2 (Figura 16), a curva começa a revelar novas feições até o valor de 6 graus de liberdade. Após, maiores incrementos dos graus de liberdade adicionam muito ruído à curva.

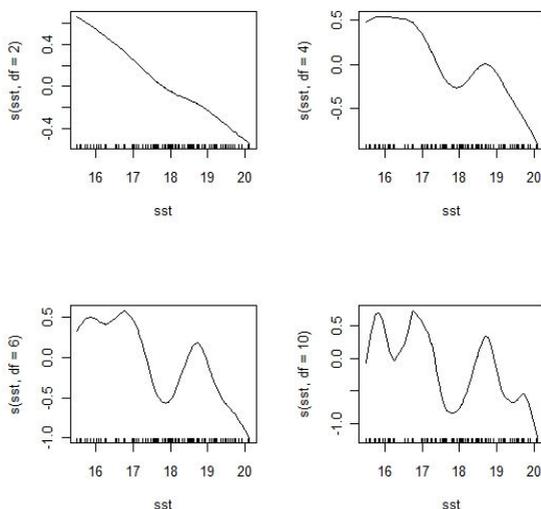


Figura 16. Gráficos dos resultados dos MAGs para a relação entre o número de baleias francas e a TSM, realizados para testar o ajustamento com 2, 4, 6 e 10 graus de liberdade.

Após determinados os graus de liberdade, prosseguiu-se para a análise dos resultados obtidos com os MAGs, primeiramente, avaliando-se a tabela de desvios, que são a medida da discrepância entre os valores observados e os ajustados. Esta tabela é utilizada para definir a significância e o ajuste do modelo.

Para a escolha dos melhores modelos, e interpretação dos resultados, foram utilizados os seguintes parâmetros, de acordo com (Hastie, 1992):

- Desvio Nulo, que é o desvio do modelo com apenas o termo de intercepto.

- Desvio Residual, que é o desvio total de todo o modelo.

- Coeficiente de Fisher (F), utilizado para avaliar a contribuição não-linear de cada covariável

- Desvio explicado (DV) – Utilizado para medir o ajuste do modelo e, também, para avaliar o quanto o modelo consegue explicar a variabilidade da variável resposta de acordo com as covariáveis.

6.3. RESULTADOS

Dados Ambientais

Dados de TSM

A Figura 17 mostra os dados de TSM obtidos, mostrando a variação temporal da TSM, no período de 2001 a 2010, e a variação espacial na área amostral utilizada neste estudo (27.4 a 30.4°S). Observa-se que os anos de 2003, 2006 e 2008 apresentam valores de TSM mais baixos. Nos anos de 2003 e 2006, a TSM mais baixa ocorre entre 29 e 30°S, e aumenta em direção ao sul, indicando uma área de concentração de águas mais frias neste local, pois em condições normais, é esperado que a TSM diminua em direção às latitudes ao sul.

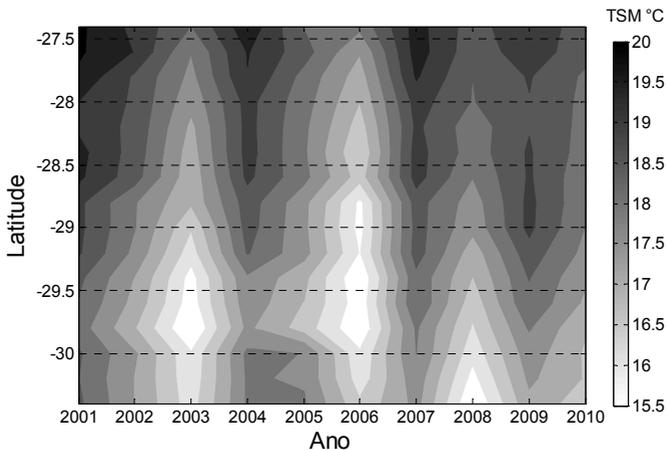


Figura 17. Gráfico da série de dados de TSM.

Coeficiente de Embaiamento

A Figura 18 mostra os resultados obtidos com o cálculo do coeficiente de embaimento. Os dados estão divididos em setores 0.2° de latitude, entre as latitudes 27.4°S a 30.4°S . O coeficiente de embaimento apresentou maiores valores (6.5 a 4), ao norte da área em estudo (27.4°S a 28.2°S), indicando locais com linha de costa recortada, com maior número de baías. A partir de 28.4°S até 30.4°S , os valores do coeficiente de embaimento declinam, apresentados os menores valores (2 a 1), indicando linha de costa retilínea.

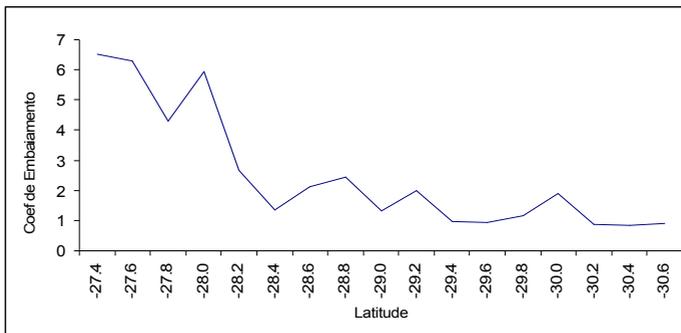


Figura 18. Gráfico dos valores do coeficiente de embaimento, de acordo com a latitude.

Declividade da Plataforma

A Figura 19 mostra o gráfico com os resultados obtidos, através dos cálculos de declividade da plataforma em perfis até 800 m de profundidade, divididos em setores de 0.2° de latitude, entre 27.4°S a 30.4°S . Os maiores valores de declividade ocorrem na região entre 27.4°S a 29°S .

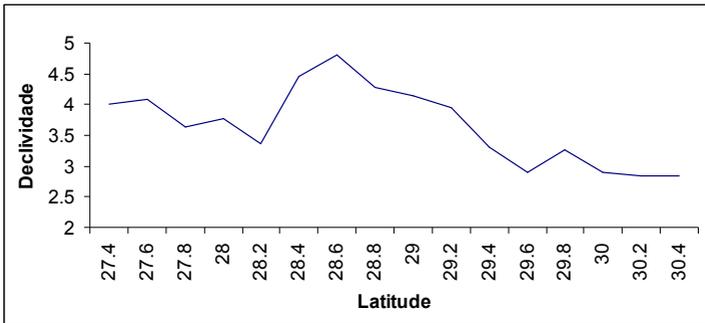


Figura 19. Gráfico dos valores de declividade em perfis até 800 m de profundidade a cada 0.2° de latitude.

Análise dos Dados

Análise Exploratória

A Figura 20 mostra os gráficos de dispersão entre contagens de baleias francas e as variáveis ambientais e, também, entre as diferentes covariáveis. Grande parte das relações entre o número de baleias francas e as covariáveis, são não-lineares. Há padrão de associação entre os dados variável latitude com coeficiente de embaçamento e a declividade. Assim, foi realizado teste de correlação de *Pearson* com intervalo de confiança de 90%, para verificar a autocorrelação. O teste indicou correlação entre a latitude e as covariáveis coeficiente de embaçamento e declividade.

Os dados de baleias francas apresentam distribuição assimétrica, o que reflete os agrupamentos de baleias francas em áreas específicas. Assim, a série apresenta muitos zeros,

correspondentes aos locais onde não há indivíduos, o que deve ser considerado na análise da qualidade do ajuste do modelo.

Assim, considerando a distribuição assimétrica da variável resposta, presença de autocorrelação, e o padrão de relações não-lineares, é justificada a utilização dos modelos aditivos generalizados. No entanto, os MAGs não estão livres de inconsistências causadas por dados irregulares e, também, apresentam problemas relacionados à grande flexibilidade do modelo.

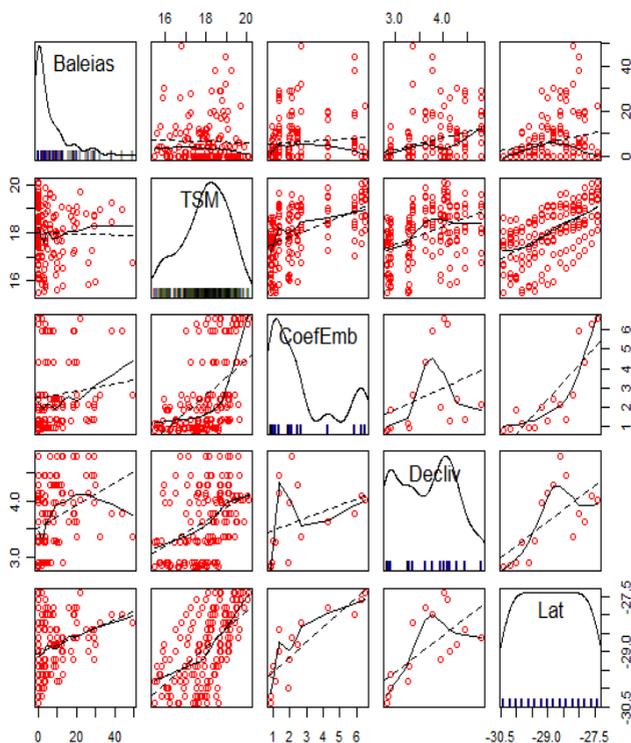


Figura 20. Gráficos de dispersão entre a variável resposta (número de baleias francas) e as covariáveis. Linhas pontilhadas (--) indicam relações lineares e linhas sólidas (—) indicam curvas suavizadas para relações não lineares.

Modelos Aditivos Generalizados

As covariáveis testadas foram a TSM, coeficiente de embaiamento, declividade da plataforma e latitude. Os resultados são mostrados na Tabela 4. Nesta tabela, são também expostos os resultados dos outros modelos ajustados, com várias combinações das covariáveis utilizadas, para a comparação dos resultados. Os modelos escolhidos estão destacados em negrito.

Tabela 4. Resultados dos MAGs para a relação entre número de baleias francas e as covariáveis. Os modelos escolhidos estão destacados em negrito. p significativos estão destacados (*).

Covariável	p	F	Desvio Explicado	Desvio Nulo	Desvio Residual
TSM	0.03*	3	0.08	1913.2	1757.7
Coef Emb	5 ⁻⁶ *	9.8	0.20		1519.2
Decliv	0.001*	7	0.26	1913.2	1413.4
Lat	3⁻⁸*	14	0.36		1223.6
TSM	0.04*	2.69	0.25	1913.2	1435.3
Coef Emb	1 ⁻⁵ *	9.3			
Decliv	0.06*	4.3	0.32	1913.2	1296.2
Coef emb	0.03 *	4.6			
Decliv	0.04 *	2.7	0.32	1913.2	1290.5
TSM	5 ⁻⁵ *	7.9			
TSM	0.05 *	2.43	0.37	1913.2	1206.2
Coef Emb	0.01 *	3.8			
Decliv	0.005 *	4.4			
TSM	0.11	1.9	0.43	1913.2	1080.9
Coef Emb	0.6	0.5			
Decliv	0.4	0.9			
Lat	5 ⁻⁵ *	7.9			
TSM	0.09	2.1	-0.40	1913.2	1135
Lat	1.7 ⁻⁷ *	12.7			

p - grau de significância de cada termo, F- Coeficiente de Fisher.

O processo de escolha entre os modelos considerou os valores de p , DV e F. Verificou-se a significância (p) a 0.05 de cada covariável. Variáveis pouco significativas devem ser excluídas dos modelos.

Inicialmente, foram testados modelos com apenas uma covariável. Após, foi testado o modelo com a TSM e coeficiente de embaimento. O DV indicou que as covariáveis explicaram 25% da variabilidade do número de baleias francas.

Após, foi introduzida a covariável declividade, e foram testados modelos com a combinação entre duas destas covariáveis (coeficiente de embaimento e declividade, e TSM e declividade). O DV obteve incremento, indicando melhora em relação ao modelo anterior. A combinação entre as três covariáveis gerou um modelo ainda melhor, com DV de 37%. Este foi um dos modelos escolhidos.

A covariável latitude foi introduzida, obtendo-se DV de 44%, o mais alto de todos os modelos. No entanto, a inclusão desta covariável afetou as outras, tornando-as não-significativas para o modelo, e diminuindo o valor do F, que explica a contribuição de cada parâmetro para o modelo.

Isto se deve à autocorrelação entre a covariável latitude com a declividade e o coeficiente de embaimento e, também, à forte relação da latitude sobre a variável resposta (número de baleias francas). Assim, embora este modelo apresente maior DV, a latitude diminuiu a influência das outras covariáveis, que são importantes na explicação da variabilidade do número de baleias francas em função da latitude, e por isto foi rejeitado.

Assim, foram escolhidos dois modelos, o primeiro contendo as covariáveis TSM, coeficiente de embaimento e declividade. O segundo modelo incluiu apenas a covariável latitude.

A Figura 21 mostra as curvas suavizadas para a TSM, coeficiente de embaimento e declividade, em função do número de baleias francas, resultantes do modelo com três covariáveis. A curva suavizada para a latitude é resultante do modelo contendo apenas esta covariável.

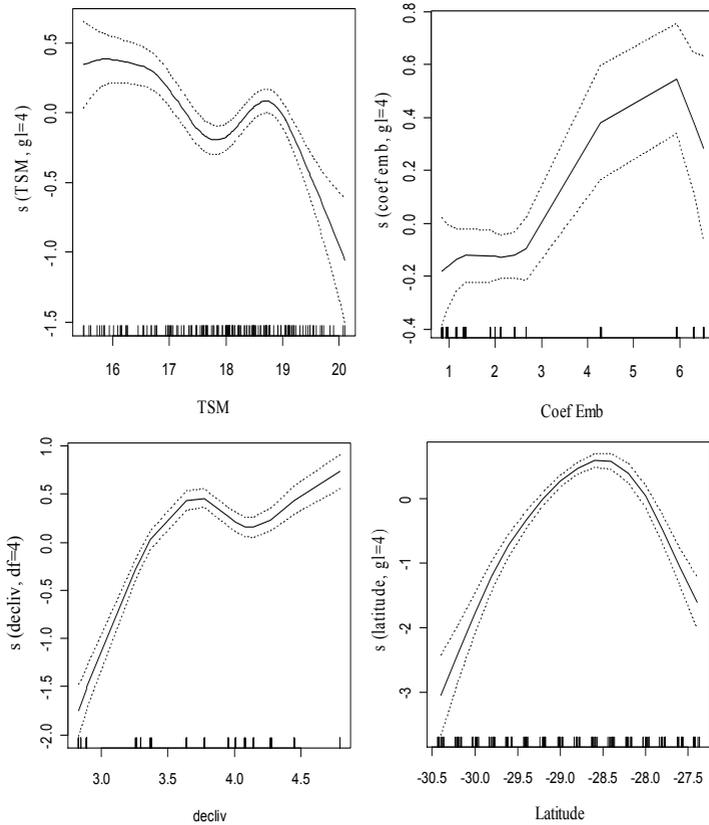


Figura 21. Gráficos resultantes dos MAGs. Curvas suavizadas (s) (—) estimadas com 95% de intervalo de confiança (- - -), ajustadas para a relação entre número de baleias francas e as covariáveis TSM, coeficiente de embaimento, declividade e latitude.

O gráfico com a curva suavizada para a TSM (Figura 21) mostrou relação entre maior número de baleias francas e menores temperaturas. De acordo com este gráfico, o maior número de indivíduos ocorre entre as faixas de temperatura de 15 a 18°C, e declina gradativamente com o aumento da TSM, até chegar ao número mínimo de indivíduos em 20°C. Há uma pequena variabilidade da curva entre 18 e 19°C.

O gráfico para a relação entre a variável coeficiente de embaimento e o número baleias francas (Figura 21) mostra maior número de baleias francas nos locais com alto valor desta covariável. Ao final da curva, os intervalos de confiança são largos, indicativo de menor ajustamento nesta parte.

A curva suavizada para a relação entre a declividade da plataforma e número de baleias francas (Figura 21) apresenta maior número de indivíduos junto aos valores de declividade entre 3.5% e 5%. Neste gráfico, o menor número de animais está relacionado com baixos valores de declividade (2.5 e 3.5%).

No gráfico para a covariável latitude (Figura 21), a curva apresenta um único pico em 28.5°S, indicando o local com maior número de baleias francas. O início da curva, em 30.5°S apresenta baixo número de indivíduos, aumentando gradativamente até o pico de 28.5°S e, depois, decrescendo gradativamente até 27.4°S. O menor número de indivíduos está entre 30.5 e 30°S.

6.4. DISCUSSÃO

Os resultados dos MAGs indicaram que todas as covariáveis ambientais analisadas apresentaram relações com as baleias francas. A mais forte relação foi com a latitude, seguida de declividade, coeficiente de embaimento e TSM. Foram escolhidos dois modelos, um contendo as covariáveis TSM, coeficiente de embaimento e declividade, e outro apenas com a latitude. Esta decisão foi baseada no fato de que a latitude influencia nos resultados das outras covariáveis, tornando-as não significativas para o modelo.

Era esperado que a latitude apresentasse forte influência no modelo, devido ao padrão de agrupamento das baleias francas em regiões específicas. No entanto, o objetivo do estudo foi tentar encontrar relações com fatores ambientais que explicassem este padrão de distribuição.

O DV do primeiro modelo escolhido, utilizando as covariáveis TSM, coeficiente de embaimento e declividade, nos anos de 2001 a 2010, indicou que 37% da variabilidade do número de baleias francas foi explicada pelo modelo. O

segundo modelo escolhido incluiu apenas a latitude, e obteve DV de 36% .

Comparando-se os modelos escolhidos, o primeiro apresentou três covariáveis e DV aproximado do segundo modelo, com apenas uma covariável. Deve ser considerado que o modelo é penalizado a cada inclusão de uma nova covariável. O princípio da modelagem estatística é a escolha de um menor número de covariáveis, que expliquem grande parte da variabilidade dos dados (Zuur *et al.*, 2009).

Assim, a inclusão de uma terceira covariável não apresenta grande incremento no DV. Portanto, o segundo modelo apresenta DV similar ao modelo com 3 covariáveis, primeiro porque a latitude possui relações fortes com a variável resposta, mas também porque a cada inclusão de uma nova covariável, o modelo é penalizado.

A seguir, são mostrados resultados de outros autores para comparação com os resultados dos modelos obtidos.

Dalla Rosa *et al.* (2012), utilizaram os MAGs para tentar relacionar baleias jubarte (*Megaptera novaeangliae*) a diversas covariáveis (índices de clorofila, TSM, profundidade, declividade, disponibilidade de alimento, entre outros) em *British Columbia*, Canadá. O DV resultante do MAG escolhido foi 39.2% para todo o período analisado (3 anos). O estudo obteve resultados de DV mais altos analisando cada ano separadamente, sendo 75% para 2004, 42% para 2005, e 62.9% para 2006.

Friedlaender *et al.* (2006) utilizaram os MAGs para analisar os efeitos de fatores oceanográficos e disponibilidade de alimento, em baleias jubarte e minke (*Balaenoptera acutorstrata*), na Península Antártica. O DV foi de 63.1% para os dois anos analisados.

Os estudos dos autores descritos acima, em geral, apresentaram DV similar, ou maior, que os resultados encontrados para os modelos obtidos neste estudo. Deve ser considerado que foi utilizada uma série de dados de dez anos. Séries temporais maiores conseguem descrever comportamento em longo prazo da população em relação ao ambiente, e foi este o objetivo.

No entanto, devido à grande probabilidade de englobar maior flutuação dos dados ambientais e da variável resposta, o modelo pode perder em ajuste. Pode ser observado

que o modelo de Dalla Rosa *et al.* (2012), abrangendo três anos, obteve menor DV, que os outros modelos dos autores, com menor período de tempo.

A seguir, será discutida cada covariável, de acordo com os resultados dos MAGs.

TSM

A TSM foi a covariável que apresentou a menor contribuição para o modelo em que foi incluída. Deve ser considerado que a TSM, comparada à declividade e coeficiente de embaçamento, apresenta variação de um ano para outro, além da variabilidade geográfica.

A curva suavizada para a TSM (Figura 21) indicou que menores valores de TSM estão associados a anos e locais com maior número de baleias francas, na área em estudo. Esta curva apresentou relações entre maior número de baleias francas, na faixa de 15 a 18°C, declinando abruptamente a partir dos 19°C.

Ressalta-se que foram utilizados dados de TSM apenas para o mês de setembro, pois uma série abrangendo todas as estações do ano, certamente mostrariam relações nos meses de menor temperatura, pois a espécie está presente apenas no período de inverno, na região em estudo. Assim, as relações desta análise demonstram gradientes de temperatura ao longo da área em estudo, e anos com maior ou menor TSM, no mês de setembro.

O gráfico com os dados de TSM, demonstrados na Figura 17, mostram que, os anos de 2003 e 2006, apresentaram menores valores de TSM, comparados aos outros anos. O gráfico do número de baleias francas para cada ano (Figura 3, capítulo 2.2), mostra alto número de indivíduos neste ano, sendo 2006 o ano com maior número de baleias francas de toda a série de dados. No gráfico com os valores de TSM (Figura 17), 2006 também foi o ano com o menor valor de TSM.

Adicionalmente, na Figura 17, observa-se que, no ano de 2003 e 2006, a faixa de baixa temperatura entre 16.5 e 17.5°C atingiu regiões mais ao norte, entre 28 e 28.5°S. A menor temperatura (15-16°C) neste ano foi observada entre

29 a 30°S. Após 30°S, o gráfico mostra que as temperaturas aumentaram em direção ao sul, nos limites da área em estudo, evidenciando a presença de uma região com águas mais frias, pois as temperaturas deveriam diminuir em direção ao sul.

De acordo com Pereira *et al.*, (2009), na costa de Santa Catarina, o local com menores valores de TSM é o Cabo de Santa Marta (28.4°S) e suas áreas adjacentes, devido à ressurgência. Neste local, ocorre o afloramento da ACAS (Água Central do Atlântico Sul), normalmente observada em toda a área em sub-superfície, porém, nesta região, há períodos em que atinge a superfície.

Pereira *et al.* (2009) também relatam que a região do Cabo de Santa Marta, além da ressurgência na primavera e verão, apresenta maior intrusão da Corrente Costeira, que também é caracterizada por águas com temperaturas mais frias, com maior penetração durante o inverno, mas também com registros no outono e primavera. Os autores sugerem que a maior intrusão da Corrente Costeira acontece devido à morfologia da plataforma neste local, que possibilita a maior intrusão desta corrente.

De acordo com as análises do MAG, as baleias francas buscam a faixa de temperatura entre 15 e 18°C, na concentração reprodutiva sul brasileira. Provavelmente, esta seja a faixa de temperatura favorável à espécie, neste local.

Keller e Ward-Geiger (2006) e Keller *et al.* (2012) evidenciaram que na concentração reprodutiva no norte da Flórida e Geórgia, Estados Unidos, as baleias francas boreais se agrupam em uma região que apresenta águas mais frias. Os autores sugerem a preferência pela faixa entre 13 a 15°C. Os autores justificam que a região apresenta águas mais frias devido à menor penetração das águas quentes da Corrente do Golfo em áreas costeiras, que nesta região, é desviada para águas mais profundas.

Estudos sugerem que os misticetos realizam migração para áreas reprodutivas em busca de águas mais quentes e calmas, para o melhor cuidado com os filhotes recém-nascidos (Dawbin, 1966; Thomas e Taber, 1984; Corkeron e Connor, 1999). Entretanto, de acordo com os resultados deste estudo, e os resultados de Keller e Ward-Geiger (2006) e Keller *et al.* (2012), as baleias francas migram para águas com temperatura mais alta do que as do

inverno polar mas, provavelmente, buscam por temperaturas amenas, durante a permanência em menores latitudes.

Embora existam registros de baleias francas em áreas mais ao norte, na costa brasileira (Santos *et al.*, 2001), a maior concentração ocorre na parte sul, onde as águas são mais frias. Este comportamento é diferente do observado para baleias jubarte, que na concentração reprodutiva brasileira, concentram-se em regiões mais quentes (Martins *et al.*, 2001; Zerbini *et al.*, 2004; Zerbini *et al.*, 2006).

A relação entre misticetos e a TSM foram relatadas por diversos autores. Moses e Finn (1997), Woodley e Gaskin (1996) e Baumgartner *et al.* (2003) sugerem relações entre baleias francas boreais e baixa TSM na América do Norte. Entretanto, os locais analisados por estes autores são concentrações alimentares e, provavelmente, os resultados encontrados refletem os efeitos da TSM na disponibilidade e concentração de alimento.

Embaiamento da costa

Os resultado do modelo com três covariáveis, indicou que o coeficiente de embaiamento apresentou o segundo maior valor de F, indicando que esta covariável foi a segunda mais importante na explicação da flutuabilidade do número de baleias francas, na área em estudo. Entretanto, nos resultados dos MAGs, na Tabela 4, nos modelos com apenas uma covariável, o coeficiente de embaiamento apresenta o segundo maior valor de F, após a latitude.

A curva suavizada para o coeficiente de embaiamento, na Figura 21, demonstrou relação entre maior número de baleias francas, associado a alto índice do coeficiente de embaiamento, que representa locais com maior número de baías. Assim, na costa sul brasileira, as baleias francas buscam locais abrigados, geralmente em baías protegidas da energia de correntes e ondas, que possibilitam maior proteção aos pares de mãe e filhote.

Esta característica ambiental também foi identificada como sendo importante em outros locais de concentração reprodutiva de baleias francas, como na África do Sul (Best, 2000; Elwen e Best, 2004), Argentina (Payne, 1986) e Nova Zelândia (Patenaude e Baker, 2001).

As baías protegidas de ondas e correntes proporcionam aos animais melhor aproveitamento de sua energia durante a lactação, pois a força das correntes exige uma constante movimentação para a manutenção do posicionamento (Taber e Thomas, 1982; Thomas e Taber, 1984). Elwen e Best (2004) sugerem que locais protegidos, com menor energia de ondas e correntes, são fatores primordiais na escolha de habitats em áreas reprodutivas.

Estes resultados estão de acordo com a teoria de que uma das razões de mysticetos realizarem a migração, para áreas reprodutivas, seja devido às águas mais calmas possibilitarem melhor proteção aos filhotes (Whitehead e Moore, 1982; Corkeron e Connor, 1999; Clapham *et al.*, 2001)

Declividade

De acordo com o resultado do F para o GAM com três covariáveis, a declividade foi a covariável que mais contribuiu para a explicação da variável resposta (número de baleias francas). Entretanto, o F para o coeficiente de embaçamento, apresentou valor aproximado.

A curva suavizada para a declividade, na Figura 21, mostrou relação entre maior número de baleias francas e locais com maior declividade. A curva apresentou maior concentração de baleias francas nas declividades entre 3.5% e 5%. Estes valores de declividade são observados entre as latitudes de 27.4 a 29.2°S (Figura 19). Na Figura 21, menor número de indivíduos é observado entre as declividades de 2.5 e 3.5%. Estes valores estão localizados entre 29.2°S a 30.2°S (Figura 19).

Na área em estudo, a região entre 28.2°S e 29°S, a declividade é maior, coincidindo com alta concentração de baleias francas nos locais indicados pelos resultados do capítulo 4, e pela relação obtida com o GAM para a covariável latitude. A partir de 29°S, a declividade declina gradativamente, coincidindo com os locais com menor número de baleias francas.

Provavelmente, a maior declividade possibilita aos pares de mãe e filhote se aproximarem da costa, em locais protegidos, sem o risco de encalhes. Animais adultos, em

condições normais, raramente encalham, entretanto, filhotes recém-nascidos ainda se encontram em estágio de aprendizagem da locomoção, o que pode gerar eventuais encalhes (Taber e Thomas, 1982; Payne, 1986).

Entretanto, Elwen e Best (2004) sugerem que as baleias francas, na África do Sul, preferem locais com plataforma suave, embora os autores também afirmem que em locais com plataforma extremamente suave não são observadas grandes agregações. Provavelmente, exista determinado grau de inclinação da plataforma favorável à espécie que, na região em estudo, foi de 3.5 a 5%.

A costa ao sul da área em estudo apresenta plataforma demasiadamente suave e menor número de indivíduos. Assim, de acordo com a sugestão de Elwen e Best (2004) de que plataformas demasiadamente suaves não são muito atrativas às baleias francas na África do Sul.

Outro fator que pode ser responsável por atrair as baleias francas para o local com maior declividade, na costa sul brasileira, seria por esta feição representar um corredor de acesso à costa, na rota de migração entre as áreas alimentares para a concentração reprodutiva. Há evidências de que misticetos sigam as linhas batimétricas em sua migração (Pike, 1962; Dawbin, 1966; Kenney *et al.*, 2001).

Portanto, se as baleias francas utilizam áreas mais profundas em sua migração, os animais teriam fácil acesso à costa, nos arredores do Cabo de Santa Marta. Esta é a região em que as cotas batimétricas de 40 e 80 m encontram-se mais próximas da costa, no litoral sul brasileiro.

Entretanto, as rotas migratórias das baleias francas, no Atlântico Sudoeste, não são bem conhecidas. Para conclusões precisas sobre esta hipótese, são necessários estudos das rotas migratórias das baleias francas, entre suas áreas de alimentação, e a costa sul brasileira.

Latitude

A latitude fez parte do segundo modelo escolhido, incluindo apenas esta covariável. Em todos os modelos testados, esta covariável demonstrou a mais forte relação com as baleias francas. Esta relação reflete o padrão de agrupamento dos indivíduos em locais específicos. Na Figura

21, a curva suavizada apresentou um único pico, indicando que o maior número de baleias francas está localizado em 28.5°S e declina em direção às latitudes ao sul e ao norte. Assim, confirmando os resultados obtidos com os mapas de estimativa de densidade, no capítulo 4.

No entanto, o efeito da latitude como variável explanatória, na região em estudo, é difícil de ser interpretado. Provavelmente a latitude reflete a influência de outros fatores ambientais, como o coeficiente de embaimento e a declividade, que estão correlacionados com esta covariável.

A latitude pode estar relacionada com aspectos comportamentais da espécie. É reconhecido que os filhotes memorizam os locais frequentados por suas mães, e continuam voltando a estes lugares ao longo de suas vidas (Best, 2000; Burnell, 2001).

Outros autores também encontraram associações entre a distribuição de cetáceos e a latitude (Weir *et al.*, 2001; Tynan *et al.*, 2005; Dalla Rosa *et al.*, 2012). No entanto, estes estudos foram realizados em áreas de alimentação, onde a latitude costuma ser representativa de gradientes de disponibilidade de alimento, em direção às altas latitudes (Clarke, 1993; Jaquet, 1996; Rice, 1998).

De acordo com os resultados do MAG para a covariável latitude, a área com maior número de baleias francas está localizada entre 28 e 29°S. Este local reúne as características de maior declividade, grande número de baías e menor TSM. Assim, de acordo com os resultados dos MAG, as baleias francas concentram-se neste local devido à combinação destas características ambientais.

7. CONCLUSÕES GERAIS

O padrão de distribuição das baleias francas, na costa sul brasileira, apresenta áreas com maior concentração de indivíduos, ao redor de Imbituba e Cabo de Santa Marta, entre 28.2°S e 28.4°S, e médias concentrações nas regiões adjacentes, entre as latitudes 28.8°S a 27.8°S. Estas áreas são habitats importantes para a espécie.

O número de baleias francas que migram, anualmente, para costa sul brasileira, indicou relação com o ENSO nas áreas de alimentação, com atraso temporal de 6 anos. No entanto, devido ao baixo número de amostras disponíveis na data da realização deste estudo, a confiabilidade destes resultados é prejudicada. Assim estas relações devem ser testadas, futuramente, com uma série de dados maior.

Foram encontradas relações entre o número de baleias francas e as variáveis ambientais TSM, latitude, declividade da plataforma e coeficiente de embaçamento. Concluiu-se que as baleias francas buscam uma temperatura entre 15 e 18°C, locais com maior número de baías, maior declividade da plataforma, e concentram-se entre as latitudes 28 e 29°S.

7.1. CONSIDERAÇÕES PARA FUTUROS ESTUDOS

- Estudos sobre as rotas migratórias e locais de alimentação das baleias francas que frequentam a costa sul brasileira.

- A continuidade da aplicação da metodologia desta tese, com futuras séries de dados de baleias francas na costa sul brasileira, para o monitoramento e previsão do padrão de distribuição. Adicionalmente, séries de dados mais extensas certamente proporcionarão melhores resultados estatísticos.

REFERÊNCIAS

ABREU, J. G. N. **Contribuição à sedimentologia da plataforma interna de Santa Catarina entre a foz dos rios Tijucas e Itapocu.** (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 1998. 62 p.

AKAIKE, H. Likelihood of a model and information criteria. **Journal of Econometrics**, v.16, n.1, p.3-14. 1981.

ALLAN, R.; LINDESAY, J.; PARKER, D. **El Niño Southern Oscillation and Climate Variability.** Collingwood, Austrália: CSIRO Publishing. 1996. 416 p.

ALLEN, S. E.; VINDEIRINHO, C.; THOMSON, R. E.; FOREMAN, M. G. G.; MACKAS, D. L. Physical and biological processes over a submarine canyon during an upwelling event. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v.58, p.671-684. 2001.

ARAÚJO, M.; WILLIAMS, P. H. Selecting areas for species persistence using occurrence data. **Biological Conservation**, v.96, n.3, p.331-345. 2000.

AUSTIN, M. P. Spatial prediction of species distribution: an interface between ecological theory and statistical modelling. **Ecological Modelling**, v.157, p.101-118. 2002.

BAILEY, T. C.; GATRELL, A. C. **Interactive spatial analysis.** Londres, Inglaterra: Longman Scientific and Technical. 1995. 413 p.

BAKER, C. S.; PATENAUDE, N. J.; BANNISTER, J. L.; ROBINS, J.; KATO, H. Distribution and diversity of mtDNA lineages among southern right whales (*Eubalaena australis*) from Australia and New Zealand. **Marine Biology**, v.134, p.1-7. 1999.

BANNISTER, J. Status of southern right whales (*Eubalaena australis*) off Australia. **Journal of Cetacean Research and Management**, special issue, n.2, p.103-110. 2001.

BANNISTER, J. L. Southern right whales of Western Australia. **Report of the International Whaling Commission**, v.12, p.279-288. 1990.

BANNISTER, J. L.; PASTENE, L. A.; BURNELL, S. R. First records of southern right whales movement between warm water breeding grounds and the Antarctic Ocean, south of 60°S. **Marine Mammal Science**, v.15, p.1337-1342. 1999.

BAUMGARTNER, M. F.; COLE, T. V. N.; CLAPHAM, P. J.; MATE, B. R. North Atlantic right whale habitat in the lower Bay of Fundy and on the SW Scotian Shelf during 1999–2001. **Marine Ecology Progress Series**, v.264, p.137–154. 2003.

BENSON, S. R.; CROLL, D. A.; MARINOVIC, B. B.; CHAVEZ, F. P.; HARVEY, J. T. Changes in the cetacean assemblage of a coastal upwelling ecosystem during *El Niño* 1997-98 and *La Niña* 1999. **Progress in Oceanography**, v.54, p.279–29. 2002.

BEST, P. B. Trends in the inshore right whale population off South Africa, 1969-1987. **Marine Mammal Science**, v.6, n.2, p.93-108. 1990.

_____. Seasonality of reproduction and the length of gestation in southern right whales *Eubalaena australis*. **Journal of Zoology**, v.232, n.2, p.175–189. 1994.

_____. Coastal distribution, movements and site fidelity of right whales *Eubalaena australis* off South Africa, 1969–1998. **South African Journal of Marine Science**, v.123, p.43–55. 2000.

BEST, P. B.; BRANDÃO, A.; BUTTERWORTH, D. S. Demographic parameters of southern right whales off South Africa. **Journal of Cetacean Research and Management** special issue 2, n.161-169. 2001.

BEST, P. B.; PAYNE, R.; ROWNTREE, V.; PALAZZO, J. T.; BOTH, M. C. Long-range movements of South Atlantic right whales *Eubalaena australis*. **Marine Mammal Science**, v.9, n.3, p.227-234. 1993.

BEST, P. B.; SCHAEFF, C. M.; REEB, D.; PALSBOÛLL, P. J. Composition and Possible Function of Social Groupings of Southern Right Whales in South African Waters. **Behaviour**, v.140, n.11-12, p.1469-1494. 2003.

BEST, P. B.; SCHELL, D. M. Stable isotopes in southern right whale (*Eubalaena australis*) baleen as indicators of seasonal movement, feeding and growth. **Marine Biology**, v.124, p.483-494. 1996.

BISBAL, G. A. The Southeast South American shelf large marine ecosystem. Evolution and components. **Marine Policy**, v.19, p.21-38. 1995.

BOYD, I. L.; ARNOULD, J. P. Y.; BARTON, T.; CROXALL, J. P. Foraging behaviour of Antarctic fur seals during periods of contrasting prey abundance. **Journal of Animal Ecology**, v.63, p.703-713. 1994.

BURNELL, S.; BRYDEN, M. M. Coastal residence periods and reproductive timing in southern right whales, *Eubalaena australis*. **Journal of Zoology**, v.241, p.613-621. 1997.

BURNELL, S. R. Aspects of the reproductive biology, movements and site fidelity of right whales off Australia. **Journal of Cetacean Research and Management** v.2, p.89-102. 2001.

BURNHAM, K. P.; ANDERSON, D. R.; HUYVAERT, K. P. AIC model selection and multimodel inference in behavioral ecology: some background, observations, and comparisons **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v.65, p.23-35. 2011.

BURROUGH, P. A. **Principles of geographical information systems for land resources assessment**. Oxford: Clarendon Press. 1987. 193 p.

CAMPOS, E. J. D.; GONÇALVES, E.; IKEDA, Y. Water mass characteristics and geostrophic circulation in the South Brazil Bight: Summer of 1991. **Journal of Geophysical Research**, v.100, n.9, p.18537-18550. 1995.

CAMPOS, E. J. D.; LORENZZETTI, J. A.; STEVENSON, M. R.; STECH, J. L.; SOUZA, R. B. Penetration of Waters from the Brazil-Malvinas Confluence Region Along the South American Continental Shelf up to 23°S. **Academia Brasileira de Ciências**, v.68, p.49-58. 1996.

CANAÑADAS, A.; SAGARMINAGA, R.; DE STEPHANIS, R.; URQUIOLA, E.; HAMMOND, P. S. Habitat preference modelling as a conservation tool: proposals for marine protected areas for cetaceans in southern Spanish Waters. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, v.15, p.495-521. 2005.

CARROLL, E.; PATENAUDE, N. J.; ALEXANDER, A.; STEEL, D.; HARCOURT, R.; CHILDERHOUSE, S.; SMITH, S.; BANNISTER, J. L.; CONSTANTINE, J.; BAKER, S. C. Population structure and individual movement of southern right whales around New Zealand and Australia. **Marine Ecology Progress Series**, v.432 p.257–268. 2011.

CARVALHO, J. L. B.; SCHETTINI, C. A. F.; RIBAS, T. M. Estrutura Termohalina do Litoral Centro-Norte Catarinense. **Notas Técnicas Facimar**, v.2, p.181-197. 1998.

CARWARDINE, M. H.; HOYT, E. **Whales, Dolphins and Porpoises**. Surry Hills, NSW, Austrália: Reader's Digest. 1998.

CASTELLO, H. P.; PINEDO, M. C. Southern right whales (*Eubalaena australis*) along the southern Brazilian coast. **Journal of Mammalogy**, v.60, n.2, p.429-30. 1979.

CASTRO, B. M.; LORENZZETTI, J. A.; SILVEIRA, I. C. A. S.; MIRANDA, L. B. Estrutura Termohalina e Circulação na Região entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS). *In*: C. L. D. B. Rossi-Wongtschowsk e L. S. P. Madureira (Ed.). **O Ambiente Oceanográfico da Plataforma Continental e do Talude na Região Sudeste-Sul do Brasil**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2006. p.11-120.

CASTRO, B. M.; MIRANDA, L. B. Physical Oceanography of the western Atlantic continental shelf located between 4°N and 34°S – Coastal segment (4,W). *In*: A. R. Robinson e K. H. Brink (Ed.). **The Sea**. Nova York: Jonh Wiley & Sons, Inc., v.11, 1998. p.209-251.

CESS, R. D.; ZHANG, M. The Influence of the 1998 El Niño upon Cloud-Radiative Forcing over the Pacific Warm Pool. **Journal of Climate**, v.14, p.2129-2137. 2001.

CIOTTI, A. M.; ODEBRECHT, C.; FILLMANN, G.; MÖLLER, 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.

CLAPHAM, P.; ROBBINS, J.; BRANDÃO, A.; BROWN, M. R.; WADE, P.; FINDLAY, K. A note on plausible rates of population growth in possible humpback whales. **Journal of Cetacean Research and Management**, v.3, p.196-197. 2001.

CLARKE, A. Seasonal acclimatization and latitudinal compensation in metabolism: do they exist? **Functional Ecology**, v.7, p.139-149. 1993.

CLARKE, A. J. **An Introduction to the Dynamics of El Niño & the Southern Oscillation**. Londres: Academic Press. 2008. 324 p.

COOKE, J.; ROWNTREE, V.; PAYNE, R. Estimates of demographic parameters for southern right whales (*Eubalaena australis*) observed off Peninsula Valdes, Argentina. **Journal of Cetacean Research and Management**, v.2, p.125-132. 2001.

_____. Analysis of inter-annual variation in reproductive success of South Atlantic right whales (*Eubalaena australis*) from photo-identifications of calving females observed off Península Valdés, Argentina, during 1971-2000. Documento SC/55/023. **Scientific Committee Meeting of the International Whaling Commission**. Sorrento, Itália: 16 p. 2003.

CORKERON, P. J.; CONNOR, R. Why do baleen whales migrate? **Marine Mammal Science**, v.15, n.4, p.1228-1245. 1999.

CROWE, G. O. Climate Change and the Molecular Ecology of Arctic Marine Mammals. **Ecological Applications**, v.18, p.S56–S76. 2008.

CROXALL, J. P.; CALLAGHAN, T.; CERVELLATI, R.; WALTON, D. W. H. Southern Ocean Environmental Changes: Effects on Seabird, Seal and Whale Populations [and Discussion]. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, v.338, n.1285, p.319-328. 1992.

CROXALL, J. P.; REID, K.; PRINCE, P. A. Diet, provisioning and productivity responses of marine predators to differences in availability of Antarctic krill. **Marine Ecology Progress Series**, v.177, p.115–131. 1999.

CROXALL, J. P.; TRATHAN, P. N.; MURPHY, E. J. Environmental Change and Antarctic Seabird Populations. **Science**, v.297, p.1510-1514. 2002.

DALLA ROSA, L. D. R.; FORD, J. K. B.; TRITES, A. W. Distribution and relative abundance of humpback whales in relation to environmental variables in coastal British Columbia and adjacent waters. **Continental Shelf Research**, v.36, p.89–104. 2012.

DAWBIN, W. H. The seasonal migratory cycle of humpback whales. *In*: K. S. Norris (Ed.). **Whales, Dolphins, and Porpoises**. Berkeley e Los Angeles: University of California Press, 1966. p.145-169.

DHN. **Atlas de Carta Piloto**: Diretoria de Hidrografia e Navegação. Marinha do Brasil. 1993.

DIJKSTRA, H. A. The ENSO phenomenon: theory and mechanisms. **Advances in Geosciences**, v.1, n.6, p.3-15. 2006.

ELWEN, S. H.; BEST, P. B. Environmental factors influencing the distribution of southern right whales (*Eubalaena australis*) on the south coast of South Africa I: Broad scale patterns. **Marine Mammal Science**, v.20, p.567–582. 2004.

EMÍLSON, I. The shelf and coastal waters off Southern Brazil. **Boletim do Instituto Oceanográfico**, v.17, n.2, p.101-112. 1961.

FERGUSON, M. C.; BARLOWA, J.; FIEDLER, P.; REILLY, S. B.; GERRODETTE, T. Spatial models of delphinid (family Delphinidae) encounter rate and group size in the eastern tropical Pacific Ocean. **Ecological Modelling**, v.193, p.645–662. 2006.

FERRIER, S.; WATSON, G.; PEARCE, J.; DRIELSMA, M. Extended statistical approaches to modelling spatial patterns in biodiversity: the north-east New South Wales experience. I. Species-level modelling. **Biodiversity and Conservation**, v.11, p.2275–2307. 2002.

FEWSTER, R. M.; BUCKLAND, S. T.; SIRIWARDENA, G. M.; BAILLIE, S. R.; WILSON, J. D. Analysis of Population Trends for Farmland Birds Using Generalized Additive Models. **Ecology**, v.81, p.1970-1984. 2000.

FORCADA, J.; TRATHAN, P. N.; MURPHY, E. J. Life history buffering in Antarctic mammals and birds against changing patterns of climate and environmental variation. **Global Change Biology**, v.14, n.11, p.2473-2488. 2008.

FORCADA, J.; TRATTHAN, P. N.; REID, K.; MURPHY, E. J. The Effects of Global Climate Variability in Pup Production of Antarctic Fur Seals. **Ecology**, v.89, n.6, p.2408–2417. 2005.

FOREST, A.; STEMMANN, L.; PICHERAL, M.; BURDORF, L.; ROBERT, D.; FORTIER, L.; BABIN, M. Size distribution of particles and zooplankton across the shelf-basin system in southeast Beaufort Sea: combined results from an Underwater Vision Profiler and vertical net tows. **Biogeosciences**, v.9, p.1301–1320. 2012.

FRIEDLAENDER, A. S.; HALPIN, P. N.; QIAN, S. S.; LAWSON, G. L.; WIEBE, P. H.; THIELE, D.; READ, A. J. Whale distribution in relation to prey abundance and oceanographic processes in shelf waters of the Western Antarctic Peninsula. **Marine Ecology Progress Series**, v.317, p.297–310. 2006.

GARCIA, A. M.; VIEIRA, J. P. O aumento da diversidade de peixes no estuário da Lagoa dos Patos durante o episódio El Niño 1997-1998. **Atlântica**, v.23, p.85-96. 2001.

GARCIA, A. M.; VIEIRA, J. P.; WINEMILLER, K. O.; GRIMM, A. M. Comparison of the 1982-1983 and 1997-1998 El Niño effects on the shallow-water fish assemblage of the Patos Lagoon estuary (Brazil). **Estuaries**, v.27, n.6, p.905-914. 2004.

GARFIELD, N. **The Brazil Current at subtropical latitudes**. (Tese de Doutorado). Universidade de Rhode Island, Rhode Island, Estados Unidos. 1990. 122 p.

GEBCO. 1-minute Global Bathymetric Grid. General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO). <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/gebco/>. 2007.

GONZALES, H. E.; SOBARZO, M.; FIGUEROA, D.; NOTHIG, E. Composition, biomass and potential grazing impact of the crustacean and pelagic tunicates on the northern Humboldt Current area off Chile: differences between El Niño and non-El Niño years. **Marine Ecology Progress Series**, v.195, p.201-220. 2000.

GOODALL, R. N. P.; GALEAZZI, A. R. Recent sightings and strandings of southern right whales off subantarctic South America and the Antarctic Peninsula. **Report of the International Whaling Commission. Special Issue**, n.10, p.173-176. 1986.

GORDON, A. L.; GREENGROVE, C. Geostrophic circulation of the Brazil-Falkland Confluence. **Deep Sea Research**, v.33, p.573-585. 1986.

GREENE, C. H.; PERSHING, A. J. Climate and the conservation biology of North Atlantic right whales: The right whale at the wrong time? **Frontiers in Ecology and the Environment**, v.2, p.29-34. 2004.

GREENE, C. H.; PERSHING, A. J.; KENNEY, R. D.; JOSSI, J. W. Impact of climate variability on the recovery of endangered North Atlantic right whales. **Oceanography**, v.16, p.98-103. 2003.

GREGG, E. J.; TRITES, A. W. Predictions of critical habitat for whale species in the waters of coastal British Columbia. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science**, v.58, p.1265-1285. 2001.

GREIG, A. B.; SECCHI, E. R.; ZERBINI, A. N.; DALLA ROSA, L. Stranding events of southern right whales, *Eubalaena australis*, in southern Brazil. **Journal of Cetacean Research and Management**, v.2, p.157-160. 2001.

GRIMM, A. M.; FERRAZ, S. E. T.; GOMES, J. Precipitation anomalies in Southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. **Journal of Climate**, v.11, p.2863-2880. 1998.

GROCH, K. R. **Biologia Populacional e Ecologia Comportamental da Baleia Franca Austral, *Eubalaena australis* (Desmoulins, 1822), CETACEA, MYSTICETI, no litoral sul do Brasil.** (Tese de Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005. 168 p.

GROCH, K. R.; PALAZZO, J. T.; FLORES, P. A. C.; ADLER, F. R.; FABIAN, M. E. Recent rapid increases in the Right Whale (*Eubalaena australis*) population off southern Brazil. **LAJAM**, v.4, n.1, p.41-47. 2005.

GUIBAN, A.; EDWARDS JR, T. C.; HASTIE, T. Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene. **Ecological Modelling**, v.157, p.89-100. 2002.

GUIBAN, A.; THUILLER, W. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. **Ecology Letters**, v. 8, p.993–1009. 2005.

GUIBAN, A.; ZIMMERMANN, N. E. Predictive habitat distribution models in ecology. **Ecological Modelling**, v.135, p.147–186. 2000.

GYNN, P. W.; COOLLEY, S. B.; TING, J. H.; MATE, J. L.; GUZMAN, H. M. Reef coral reproduction in the eastern Pacific: Costa Rica, Panama and Galapagos Islands (Ecuador). VI. Agaraciidae, recruitment and recovery of *Pavona varians* and *Pavona* sp. **Marine Biology**, v.136, n.5, p.785-805. 2000.

HALL, L. S.; KRAUSMAN, P. R.; MORRISON, M. L. The Habitat Concept and a Plea for Standard Terminology. **Wildlife Society Bulletin**, v.25, n.1, p.173-182. 1997.

HAMNER, W. M.; STONE, G. S.; OBST, B. S. Behavior of southern right whales, *Eubalaena australis*, feeding on the Antarctic krill, *Euphausia superba*. **Fishery Bulletin**, v.86, p.143-150. 1988.

HARWOOD, J. Marine mammals and their environment in the twenty-first century. **Journal of Mammalogy** v.82, n.3, p.630-640. 2001.

HASTIE, T.; TIBSHRANI, R. **Generalized additive models**: Chapman and Hall. 1990. 355 p.

HASTIE, T. J. Generalized Additive Models. *In*: J. M. Chambers e T. J. Hastie (Ed.). **Statistical Models in S**. Pacific Grove, CA: Wadsworth & Brooks/Cole, 1992.

_____. GAM: generalized additive models. R Package. 2008.

HIBY, L.; LOVELL, P. Trials of a computerized aid for matching right whale callosity patterns. **Journal of Cetacean Research and Management**, v.2, n.1, p.291-295. 2001.

HILLE, E.; SCHETTINI, C. A. F.; RIBEIRO, M. R. Estrutura termohalina no litoral de Santa Catarina nos anos de 2005 e 2006. *In*: E. S. Braga (Ed.). **Oceanografia e mudanças globais**. São Paulo: Edusp, 2008. p.371–381.

HOFFMEYER, M. S.; MENÉNDEZ, M. C.; LINDNER, M. S.; BERASATEGUI, A. A.; CARRIBERO, A.; SEVERINI, M. D. F.; BIANCALANA, F.; FULCO, V. K.; DIODATO, S. L.; BERRIER, E. Planktonic food and foraging of *Eubalaena australis*, on Peninsula Valdés (Argentina) nursery ground. **Revista de Biología Marina y Oceanografía**, v.45, p.131-139. 2010.

HOYT, E. **Marine Protected Areas for whales, dolphins and porpoises: a world handbook for cetacean habitat conservation**. Londres, Reino Unido: Earthscan. 2004. 384 p.

INTERNATIONAL WHALING COMMISSION. Report of the Workshop on Status and Trends of Western North Atlantic Right Whales. **Journal of Cetacean Research and Management**, v.2, p. 61-87. 2001a.

_____. Report of the Workshop on the Comprehensive Assessment of Right Whales: A worldwide comparison. **Journal of Cetacean Research and Management**, v.2, p. 1-60. 2001b.

IPCC. **Climate change 2007: The physical science basis**. (Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change). Cambridge, Reino Unido e Nova York, NY, EUA: Cambridge University Press. 2007. 996 p.

IUCN. International Union for Conservation of Nature. Red List of Threatened Species. www.iucnredlist.org, acessado em 16/04/2012. 2011.

JAQUET, N. How spatial and temporal scales influence understanding of Sperm Whale distribution: a review. **Mammal Review**, v.26, n.1, p.51–65. 1996.

JAQUET, N.; GENDRON, D. Distribution and relative abundance of sperm whales in relation to key environmental features, squid landings and the distribution of other cetacean species in the Gulf of California, Mexico. **Marine Biology**, v.141, p.591-601. 2002.

KAREIVA, P. M.; KINGSOLVER, J. G.; HUEY, R. B. **Biotic interactions and global change**. Seattle: Sinauer Associates Incorporated. 1993. 559 p.

KELLER, C. A.; GARRISON, L.; BAUMSTARK, R.; WARD-GEIGER, L. I.; HINES, E. Application of a habitat model to define calving habitat of the North Atlantic right whale in the southeastern United States. **Endangered Species Research**, v.18, p.73–87. 2012.

KELLER, C. A.; WARD-GEIGER, L. I. North Atlantic Right Whale Distribution in Relation to Sea-Surface Temperature in the Southeastern United States Calving Grounds. **Marine Mammal Science**, v.22, n.2, p.426-445. 2006.

KENNEY, R. D. Right whales and climate change: Facing the prospect of a greenhouse future *In*: S. D. Kraus e R. M. Rolland (Ed.). **The Urban Whale: North Atlantic Right Whales at the Crossroads**. Cambridge, MA: Harvard University Press, 2007. p.436-459.

KENNEY, R. D.; HYMAN, M. A. M.; OWEN, R. E.; SCOTT, G. P.; WINN, H. E. Estimation of prey densities required by western North Atlantic right whales. **Marine Mammal Science**, v.2, p.1–13. 1986.

KENNEY, R. D.; MAYO, C. A.; WINN, H. E. Migration and foraging strategies at varying spatial scales in western North Atlantic right whales: a review of hypotheses. **Journal of Cetacean Research and Management**, v.2, p.251–260. 2001.

KENNEY, R. D.; WISHNER, K. F. The South Channel Ocean Productivity Experiment: SCOPEX. **Continental Shelf Research**, v.15, p.373–611. 1995.

KRAUS, S. D.; BROWN, M. W.; CASWELL, H.; CLARK, C. W.; FUJIWARA, M.; HAMILTON, P. K.; KENNEY, R. D.; KNOWLTON, A. R.; LANDRY, S.; MAYO, C. A.; MCLELLAN, W. A.; MOORE, M. J.; NOWACEK, D. P.; PABST, A. D.; READ, A. J.; ROLLAND, R. M. North Atlantic Right Whales in Crisis. **Science**, v.309, n.22, p.561-562. 2005.

KRAUS, S. D.; MOORE, K. E.; PRICE, C. A.; CRONE, M. J.; WATKINS, W. A.; WINN, H. E.; PRESCOTT, J. The use of photographs to identify individual North Atlantic right whales (*Eubalaena glacialis*). **Report of the International Whaling Commission**, Special Issue 10, p.145-151. 1986.

LAIDRE, K. L.; HEIDE-JØRGENSEN, M. P.; JØRGENSEN, O. A.; TREBLE, M. A. Deep ocean predation by a high Arctic cetacean. **ICES Journal of Marine Science**, v.61, p.430–440. 2004.

LAIDRE, K. L.; STIRLING, I.; LOWRY, L. F.; WIIG, Ø.; HEIDE-JØRGENSEN, M. P.; FERGUNSON, S. H. Quantifying the Sensitivity of Arctic Marine Mammals to Climate-Induced Habitat Change. **Ecological Applications**, v.18, p.S97–S125. 2008.

LANDRUM, L.; HOLLAND, M. M.; SCHNEIDER, D. P. Antarctic Sea Ice Climatology, Variability, and Late Twentieth-Century Change in CCSM4. **Journal of Climate**, v.25, n.14, p.4817–4838. 2012.

LEAPER, R.; COOKE, J.; TRATHAN, P.; REID, K.; ROWNTREE, V.; PAYNE, R. Global climate drives southern right whale (*Eubalaena australis*) population dynamics. **Biology Letters**, v.2, p.289–292. 2006.

LEATHWICK, J. R.; AUSTIN, M. P. Competitive interactions between tree species in New Zealand's old-growth indigenous forests. **Ecology**, v.82, p.2560–2573. 2001.

LENTINI, C. A. D.; PODESTÁ, G. G.; CAMPOS, E. J. D.; OLSON, B. D. Sea surface temperature anomalies on the Western South Atlantic from 1982 to 1994. **Continental Shelf Research**, v.21, n.1, p.89-112. 2001.

LIU, J.; YUAN, X.; RIND, D.; MARTINSON, D. G. Mechanism study of the ENSO and southern high latitude climate teleconnections. **Geophysical Research Letters**, v. 29, p.1679. 2002.

LODI, L.; RODRIGUES, M. T. Southern right whale on the coast of Rio de Janeiro State, Brazil: conflict between conservation and human activity. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v.87, p.105–107. 2007.

LODI, L.; SICILIANO, S.; BELLINI, C. Ocorrências e conservação de baleias-francas-do-sul, *Eubalaena australis*, no litoral do Brasil. **Papéis Avulsos de Zoologia**, v.39, n.17, p.307-328. 1996.

LODI, L. F.; BERGALLO, H. G. Presença da baleia-franca (*Eubalaena australis*) no litoral brasileiro. **Boletim da Fundação Brasileira para a Conservação da Natureza**, v.19, p.157-63. 1984.

LOEB, V. J.; HOFMANN, E. E.; KLINCK, J. M.; HOLM-HANSEN, O.; WHITE, W. B. ENSO and variability of the Antarctic Peninsula pelagic marine ecosystem. **Antarctic Science**, v.21, n.2, p.135-148. 2009.

MACKINTOSH, N. A. Life cycle of Antarctic krill in relation to ice and water conditions. **Discovery Repts.**, v.36, p.1-94. 1972.

MARTIN, L.; FLEXOR, J. M.; VALENTIN, J. L. Influence du phénomène océanique pacifique “El Niño” sur l’upwelling et le climat de la région du Cabo Frio, sur la côte brésilienne de l’État de Rio de Janeiro. **Comptes rendus de l'Académie des sciences**, v.307, n.11, p.1101-1105. 1988.

MARTINS, C. C. A.; MORETE, M. E.; ENGEL, M. H.; FREITAS, A. C.; SECCHI, E. R.; KINAS, P. G. Aspects of habitat use of humpback whales in the Abrolhos Bank, Brazil, breeding ground. **Memoirs of the Queensland Museum**, v.47, n.2, p.83-90. 2001.

MARTINS, I. R.; URIEN, C. M. Sand Bodies of the Santa Catarina Inner Continental Shelf, Brazil. **Gravel**, v.3, p.103-108. 2005.

MATE, B. R.; BEST, P. B.; LAGERQUIST, B. A.; WINSOR, M. H. Coastal, offshore, and migratory movements of South African right whales revealed by satellite telemetry. **Marine Mammal Science**, v.27, n.3, p.455-476. 2011.

MATSUURA, Y. A probable cause of recruitment failure of the Brazilian sardine *Sardinella aurita* population during the 1974/75 spawning season. **South African Journal of Marine Science**, v.17, p.29-35. 1996.

MÖLLER, O. O.; PIOLA, A. R.; FREITAS, A. C.; CAMPOS, E. J. D. The effects of river discharge and seasonal winds on the shelf off Southeastern South America. **Continental Shelf Research**, v.28, n.13, p.1639-1648. 2008.

MOORE, M. J.; BERROW, S. D.; JENSEN, B. A.; CARR, P.; SEARS, R.; ROWNTREE, V. J.; PAYNE, R.; HAMILTON, P. K. Relative abundance of large whales around South Georgia (1979-1998). **Marine Mammal Science**, v.15, n.4, p.1287-1302. 1999.

MOORE, S. E.; HUNTINGTON, H. P. Arctic Marine Mammals and Climate Change: Impacts and Resilience. **Ecological Applications**, v.18, p.S157-S165. 2008.

MOORE, S. E.; WAITE, J. M.; FRIDAY, N. A.; HONKALEHTO, T. Cetacean distribution and relative abundance on the central-eastern and the southeastern Bering Sea shelf with reference to oceanographic domains. **Progress in Oceanography**, v.55, p.249-261. 2002.

MORAES, L. E. S. **Correlações entre fenômenos de larga escala "El Niño/La Niña" e a estrutura da comunidade de peixes demersais da região de Ressurgência de Cabo Frio.** (Dissertação de Mestrado). Instituto de Biologia Marinha, Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2000. 246 p.

MOSES, E.; FINN, J. T. Using Geographic Information Systems to Predict North Atlantic Right Whale (*Eubalaena glacialis*) Habitat. **Journal of Northwest Atlantic Fishery Science**, v.22, p.37-46. 1997.

MUEHE, D. O litoral brasileiro e sua compartimentação. *In*: S. B. Cunha e A. J. T. Guerra (Ed.). **Geomorfologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. p.273-349.

MUELBERT, J. H.; ACHA, M.; MIANZAN, H.; GUERRERO, R.; RETA, R.; BRAGA, E. S.; GARCIA, V. M. T.; BERASATEGUI, A.; GOMEZ-ERACHE, M.; RAMÍREZ, F. Biological, physical and chemical properties at the Subtropical Shelf Front Zone in the SW Atlantic Continental Shelf. **Continental Shelf Research**, v.28, n.13, p.1662-1673. 2008.

MURISON, L. D.; GASKIN, D. E. The distribution of right whales and zooplankton in the Bay of Fundy, Canada. **Canadian Journal of Zoology**, v.67, p.1411- 1420 1989.

MURPHY, E. J.; WATKINS, J. L.; REID, K.; TRATHAN, P. N.; EVERSON, I.; CROXALL, J. P.; PRIDDLE, J.; BRANDON, M. A.; BRIERLEY, A. S.; HOFMANN, E. Interannual variability of the South Georgia marine ecosystem: biological and physical sources of variation in the abundance of krill. **Fisheries Oceanography**, v.7, n.3-4, p.381-390. 1998.

_____. Inter-annual variability of the South Georgia marine ecosystem: biological and physical sources of variation in the abundance of krill. **Fisheries Oceanography**, v.7, p.381-390. 2002.

NELSON, T. A.; DUFFUS, D. A.; ROBERTSON, C.; FEYRER, L. J. Spatial-temporal patterns in intra-annual gray whale foraging: Characterizing interactions between predators and prey in Clayquot Sound, British Columbia, Canada. **Marine Mammal Science**, v.24, n.2, p.356–370. 2008.

OLDEN, J. D.; JACKSON, D. A. A comparison of statistical approaches for modelling fish species distributions. **Freshwater Biology**, v.47, p.1976–1995. 2002.

OLSON, D. B.; PODESTÁ, G. P.; EVANS, R. H.; BROWN, O. B. Temporal Variations in the Separation of Brazil and Malvinas Currents. **Deep-Sea Research II**, v.35, p.1971-1990. 1988.

OVIEDO, L.; SOLÍS, M. Underwater topography determines critical breeding habitat for humpback whales near Osa Peninsula, Costa Rica: implications for Marine Protected Areas. **Revista de Biología Tropical**, v.56, n.2, p.591-602. 2008.

PAES, E. T.; MORAES, L. E. S. A new hypothesis on the influence of the El Niño/La Niña upon the biological productivity, ecology and fisheries of the Southern Brazilian Bight. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, v.2, n.2, p.94-102. 2007.

PALAZZO, J. T.; GROCH, K. R.; SILVEIRA, H. A. **Projeto Baleia Franca: 25 anos de Pesquisa e Conservação, 1982-2007**. Imbituba: IWC Brasil. 2007. 170 p.

PATENAUDE, N. J. Southern right whales wintering in the Auckland Islands. **Conservation Advisory Science Notes, Department of Conservation, Wellington**. 2000.

_____. **Demographic and genetic status of southern right whales at the Auckland Islands, New Zealand**. (PhD Thesis). Biology Department, University of Auckland, Auckland, 2002. 196 p.

PATENAUDE, N. J.; BAKER, C. S. Population status and habitat use of southern right whales in the sub-Antarctic Auckland Islands of New Zealand. **Journal of Cetacean Research and Management**, v.2, p.111-116. 2001.

PATENAUDE, N. J.; PORTWAY, V. A.; SCHAEFF, C. M.; BANNISTER, J. L.; BEST, P. B.; PAYNE, R. S.; ROWNTREE, V. J.; RIVAROLA, M.; BAKER, S. C. Mitochondrial DNA Diversity and Population Structure among Southern Right Whales (*Eubalaena australis*). **Journal of Heredity**, v.98, n.2, p.147–157. 2007.

PATENAUDE, N. J.; SCOTT, C. B.; GALES, N. J. Observations of Southern Right Whales on New Zealand's Subantarctic Wintering Grounds. **Marine Mammal Science**, v.14, n.2, p.350 – 355. 1996.

PAYNE, R. Long term behavioral studies of the southern right whale (*Eubalaena australis*). **Report of the International Whaling Commission**, v.10, p.161-168. 1986.

PAYNE, R.; BRAZIER, O.; DORSEY, E. M.; PERKINS, J. S.; ROWNTREE, V. J.; TITUS, A. External features in southern right whales (*Eubalaena australis*) and their use in identifying individuals. In: R. Payne (Ed.). **Communication and behaviour of whales**. Colorado: Westview Press, 1983. p.371-445.

PAYNE, R.; ROWNTREE, V. J.; PERKINS, J. S.; COOKE, J. G.; LANKESTER, K. Population size, trends and reproductive parameters of right whales (*Eubalaena australis*) off Peninsula Valdes, Argentina. **Report of the International Whaling Commission**, v.12, p.271-278. 1990.

PEREIRA, J. M. C.; ITAMI, R. M. GIS-based modelling using logistic multiple regression: a case study of the Mt. Graham Red Squirrel. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v.57, p.1475–1486. 1991.

PEREIRA, M. D.; SCHETTINI, C. A. F.; OMACHI, C. Y. Caracterização de feições oceanográficas na plataforma de Santa Catarina através de imagens orbitais. **Revista Brasileira de Geofísica**, v.27, n.1, p.81-93. 2009.

PEZZI, L. P.; CAVALCANTI, I. F. A. The Relative Importance of ENSO and Topical Atlantic Sea Surface Temperature Anomalies for Seasonal Precipitation over South America: A Numerical Study. **Climate Dynamics**, v.17, p.205-212. 2001.

PIKE, G. C. Migration and feeding of the gray whale (*Eschrichtius gibbosus*). **Journal of the Fisheries Research Board of Canada**, v.19, n.5, p.815-838. 1962.

PIMENTA, F. **Estudo numérico da influência da descarga fluvial e dos ventos sobre a dinâmica da pluma do Rio da Prata**. (Dissertação de mestrado.). Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, 2001. 139 p.

PIMENTA, F. M.; MELO, E.; FRANCO, D.; ZAVIALOV, P. O. Assessment of Santa Catarina Shelf Currents Through the Analysis of Indirect Measurements. **Journal of Coastal Research**, v.39, p.651-655. 2006.

PINEDO, M. C.; ROSAS, F. C. W.; MARMONTEL, M. **Cetáceos e pinípedes do Brasil: uma revisão dos registros e guia para identificação das espécies**. Manaus: UNEP/FUA. 1992. 213 p.

PIOLA, A. R.; CAMPOS, E. J. D.; MÖLER, O. O.; CHARO, M.; MATINEZ, C. Subtropical Shelf Front off eastern South America. **Journal of Geophysical Research**, v.105, n.3, p.6565–6578. 2000.

PIOLA, A. R.; MATANO, R. P.; PALMA, E. D.; MÖLLER, O. O.; CAMPOS, E. J. D. The influence of the Plata River discharge on the western South Atlantic shelf. **Geophysical Research Letters**, v.32, p.L01603. 2005.

PIOLA, A. R.; MÖLLER JR, O. O.; GUERRERO, R.; CAMPOS, E. J. D. Variability of the subtropical shelf front off eastern South America: Winter 2003 and summer 2004. **Continental Shelf Research**, v.28, n.13, p.1639-1648. 2008.

PIOLA, A. R.; MÖLLER, O.; PALMA, E. D. O Impacto do Rio da Prata. **Ciência Hoje**, v.36, p.30-37. 2005.

QUAKENBUSH, L. T.; CITTA, J. J.; GEORGE, J. C.; SMALL, R. J.; HEIDE-JØRGENSEN, M. P. Fall and Winter Movements of Bowhead Whales (*Balaena mysticetus*) in the Chukchi Sea and Within a Potential Petroleum Development Area. **Arctic**, v.63, n.3, p.289 – 307. 2010.

QUETIN, L. B.; ROSS, R. M. Episodic recruitment in Antarctic krill *Euphausia superba* in the Palmer LTER study region. **Marine Ecology Progress Series**, v.259, p.185–200. 2003.

R. A language and environment for statistical computing. v. 2.8.1. Vienna, Austria. 2008.

RICE, D. W. Marine mammals of the world: systematics and distribution. **Society for Marine Mammalogy, Special Publication**, n.4, p.231. 1998.

RICHARDS, R. Past and present distributions of southern right whales (*Eubalaena australis*). **New Zealand Journal of Zoology**, v.36, n.4, p.447-459. 2009.

ROPELEWSKI, C. F.; HALPERT, M. S. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. **Monthly Weather Review**, v.115, p.1606-1626. 1987.

ROWNTREE, V.; MCGUINNES, P.; MARSHALL, K.; PAYNE, R.; SIRONI, M.; SEGER, J. Increased harassment of right whales (*Eubalaena australis*) by kelp gulls (*Larus dominicanus*) at Península Valdés, Argentina. **Marine Mammal Science**, v.14, n.1, p.99-115. 1998.

ROWNTREE, V. J.; PAYNE, R.; SCHELL, D. M. Changing patterns of habitat use by southern right whales (*Eubalaena australis*) on their nursery ground at Península Valdés, Argentina, and in their long-range movements. **Journal of Cetacean Research and Management**, v.2, p.133-43. 2001.

SANCHEZ-VELASO, L. B.; SHIRASAGO, B.; CISNEROS-MATA, M. A.; AVALOS-GARCIA, C. Spatial distribution of small pelagic fish larvae in the Gulf of California and its relation to the El Niño 1997-1998. **Journal of Plankton Research**, v.22, n.8, p.1611-1618. 2000.

SANTOS, J. L. The Impact of El Niño - Southern Oscillations Events on South America. **Advances in Geosciences**, v.6, p.221-225. 2006.

SANTOS, M. C. O.; SICILIANO, S.; SOUZA, S. P.; PIZZORNO, J. L. A. Occurrence of southern right whales (*Eubalaena australis*) along southeastern Brazil. **Journal of Cetacean Research and Management**, v.2, p.153-156. 2001.

SAVTCHENKO, A.; OUZOUNOV, D.; AHMAD, S.; ACKER, J.; LEPTOUKH, G.; KOZIANA, J.; NICKLESS, D. Terra and Aqua MODIS products available from NASA GES DAAC. **Advances in Space Research**, v.34, p.710–714. 2004.

SCHICK, R. S.; URBAN, D. L. Spatial components of bowhead whale (*Balaena mysticetus*) distribution in the Alaskan Beaufort Sea. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v.57, p.2193–2200 2000.

SHAWE-TAYLOR, J.; CRISTIANINI, N. **Kernel Methods for Pattern Analysis**. Nova Iorque, EUA: Cambridge University Press. 2004

SIEGLE, E.; ASP, N. E. Wave Refraction and Longshore Transport Patterns Along the Southern Santa Catarina Coast. **Brazilian Journal of Oceanography**, v.55, n.2, p.109-120. 2007.

SILVEIRA, I. C. A.; MIRANDA, L. B.; BROWN, W. S. On The Origins Of The North Brazil Current. **Journal of Geophysical Research**, v.99, p.22501-22512. 1994.

SILVEIRA, I. C. A.; SCHMIDT, A. C. K.; CAMPOS, E. J. D.; GODOY, S. S.; IKEDA, Y. A Corrente do Brasil ao largo da costa leste brasileira. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v.48, n.2, p.171–183. 2000.

SIMMONDS, M. P.; ISAAC, S. J. The impacts of climate change on marine mammals: early signs of significant problems. **Oryx**, v.41, n.1, p.19-26. 2007.

SIRONI, M.; LÓPEZ, J. C.; BUBAS, R.; CARRIBERO, A.; GARCÍA, C.; HARRIS, G.; INTRIERI, E.; IÑÍGUEZ, M.; PAYNE, R. Predation by killer whales (*Orcinus orca*) on southern right whales (*Eubalaena australis*) off Patagonia, Argentina: effects on behaviour and habitat choice. **Report of the International Whaling Commission**, p.1-18. Paper SC/60/BRG29. 2008.

SOARES, I.; MÖLLER, O. Low-frequency currents and water mass spatial distribution on the southern Brazilian shelf. **Continental Shelf Research**, v.21, p.1785-1814. 2001.

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

SPENCER, T.; TELEKI, K. A.; BRADSHAW, C.; SPALDING, M. D. Coral Bleaching in the Southern Seychelles During the 1997-1998 Indian Ocean Warm Event. **Marine Pollution Bulletin**, v.40, n.7, p.569-586. 2000.

STENSETH, N. C.; MYSTERUD, A.; OTTERSEN, G.; HURRELL, J. W.; CHAN, K.-S.; LIMA, M. Ecological Effects of Climate Fluctuations. **Science**, v.297, p.1292-1296. 2002.

STRAMMA, L. Geostrophic Transport of the South Equatorial Current in Atlantic. **Journal of Marine Research**, v.49, p.281-294. 1991.

TABER, S.; THOMAS, P. Calf development and mother-calf spatial relationships in southern right whales. **Animal behaviour**, v.30, p.1072-1083. 1982.

TESSLER, M. G.; GOYA, S. C. Processos Costeiros Condicionantes do Litoral Brasileiro. **Revista do Departamento de Geografia**, v.17, p.11-23. 2005.

THOMAS, P. O.; TABER, S. M. Mother-infant interaction and behavioral development in southern right whales, *Eubalaena australis*. **Behaviour**, v.88, p.42-60. 1984.

TOOLIKA, R.; BROWN, M. W.; MCLEOD, B. A.; FRASIER, T. R.; GRENIER, R.; CUMBAA, S. L.; NADARAJAH, J.; WHITE, B. N. Genetic analysis of 16th-century whale bones prompts a revision of the impact of Basque whaling on right and bowhead whales in the western North Atlantic. **Canadian Journal of Zoology**, v.82, n.10, p.1647-1654. 2004.

TORMOSOV, D. D.; MIKHALIEV, Y. A.; BEST, P. B.; ZEMSKY, V. A.; SEKIGUCHI, K.; BROWNELL, R. L. Soviet catches of southern right whales *Eubalaena australis* 1951-1971. Biological data and conservation implications. **Biological Conservation**, p.185-197. 1998.

TOWNSEND, C. H. The distribution of certain whales as shown by logbook records of American whaleships. **Zoologica**, v. 19, p.1-56. 1935.

TRATHAN, P. N.; BRIERLEY, A. S.; BRANDON, M. A.; BONE, D. G.; GOSS, C.; GRANT, S. A.; MURPHY, E. J.; WATKINS, J. L. Oceanographic variability and changes in Antarctic krill (*Euphausia superba*) abundance at South Georgia. **Fisheries Oceanography**, v.12, n.6. 2003.

TRATHAN, P. N.; MURPHY, E. J. Sea surface temperature anomalies near South Georgia: Relationships with the Pacific El Niño regions. **Journal of Geophysical Research**, v.107. 2002.

TRENBERTH, K. E. The Definition of El Niño. **Bulletin of the American Meteorological Society**, p.2771-2777. 1997.

TYNAN, C. T.; AINLEY, D. G.; BARTH, J. A.; COWLES, T. J.; PIERCE, S. D.; SPEAR, L. B. Cetacean distributions relative to ocean processes in the northern California Current System. **Deep-Sea Research II**, v.52, p.145-167. 2005.

VALENZUELA, L. O.; SIRONI, M.; ROWNTREE, V. J.; SEGER, J. Isotopic and genetic evidence for culturally inherited site fidelity to feeding grounds in southern right whales (*Eubalaena australis*). **Molecular Ecology**, v.18, p.782-791. 2009.

VILLAR, C. A.; BONNETO, C. Chemistry and nutrient concentrations of the Lower Parana River and its floodplain marshes during extreme flooding. **Archives of Hydrobiology**, v.148, p.461-479. 2000.

WEBSTER, P. J. The role of hydrological processes in the atmosphere. **Reviews of Geophysics**, v.32, n.1, p.427-476. 1994.

WEIR, C. R.; POLLOCK, C.; CRONIN, C.; TAYLOR, S. Cetaceans of the Atlantic Frontier, north and west of Scotland. **Continental Shelf Research**, n.21, p.1047-1071. 2001.

WHITEHEAD, H.; MOORE, M. J. Distribution and movements of West Indian humpback whales in winter. **Canadian Journal of Zoology**, v.0, p.2203-2211. 1982.

WHITEHOUSE, M. J.; MEREDITH, M. P.; ROTHERY, P.; ATKINSON, A.; WARD, P.; KORB, R. E. Rapid warming of the ocean around South Georgia, Southern Ocean, during the 20th century: Forcings, characteristics and implications for lower trophic levels. **Deep-Sea Research I**, v.55, p.1218–1228. 2008.

WOODLEY, T. H.; GASKIN, D. E. Environmental characteristics of North Atlantic right and fin whale habitat in the lower Bay of Fundy. **Canadian Journal of Zoology**, v.74, p.75-84. 1996.

YSEBAERT, T.; MEIRE, P.; HERMAN, P. M. J.; VERBEEK, H. Macrobenthic species response surfaces along estuarine gradients: prediction by logistic regression. **Marine Ecology Progress Series**, v.225, p.75–95. 2002.

YUAN, X. ENSO-related impacts on Antarctic sea ice: a synthesis of phenomenon and mechanisms. **Antarctic Science**, v.16, n.04, p.415-425. 2004.

ZAVIALOV, P. O.; MÖLLER, O.; CAMPOS, E. First direct measurements of currents on the continental shelf of Southern Brazil. **Continental Shelf Research**, v.22, p.1975–1986. 2002.

ZERBINI, A. N.; ANDRIOLO, A.; HEIDE-JØRGENSEN, M. P.; PIZZORNO, J. L.; MAIA, Y. G.; VANBLARICOM, G. R.; DEMASTER, D. P.; SIMÕES-LOPES, P. C.; MOREIRA, S.; BETHLEM, C. Satellite-monitored movements of humpback whales *Megaptera novaeangliae* in the Southwest Atlantic Ocean. **Marine Ecology Progress Series**, v.313, p.295–304. 2006.

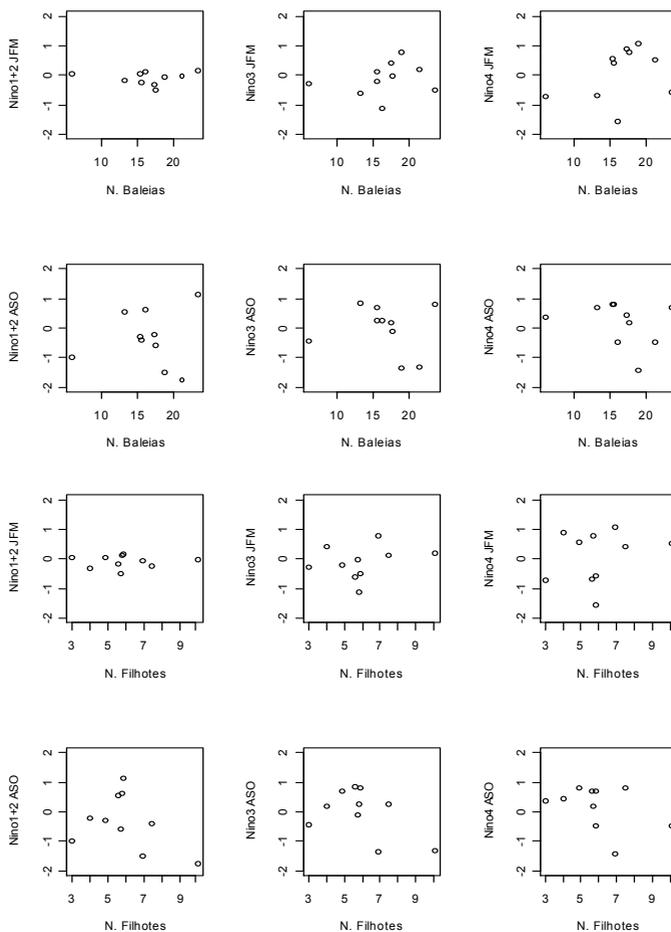
ZERBINI, A. N.; ANDRIOLO, A.; ROCHA, J. M. D.; SIMÕES-LOPES, P. C.; SICILIANO, S.; PIZZORNO, J. L.; WAITE, J. M.; DEMASTER, D. P.; VANBLARICOM, G. R. Winter distribution and abundance of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) off Northeastern Brazil. **Journal of Cetacean Research and Management**, v.6, n.1, p.101–107. 2004.

ZUUR, A. F.; IENO, E. N.; WALKER, N. J.; SAVELIEV, A. A.; SMITH, G. M. **Mixed effects models and extensions in ecology with R**. Londres: Springer. 2009. 574 p.

ZUUR, A. K.; IENO, E. N.; SMITH, G. M. **Analysing Ecological Data**. Nova Iorque: Springer. 2007, 694p.

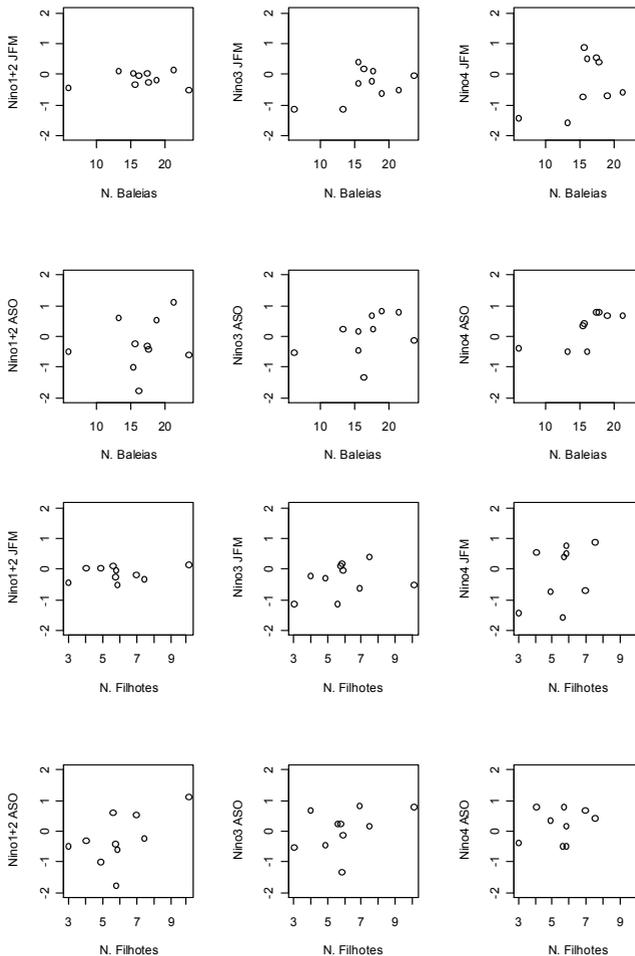
ANEXOS

Anexo 1. Gráficos de dispersão do número de baleias francas (1° e 2° linha) e número de filhotes (3° e 4° linha) por unidade de esforço (CPUE), no mês de setembro dos anos de 2001 a 2010; e médias das anomalias dos índices Nino1+2, Nino3 e Nino4, em janeiro fevereiro e março (JFM -1° e 3° linha); e agosto, setembro e outubro (ASO - 2° e 4° linha).



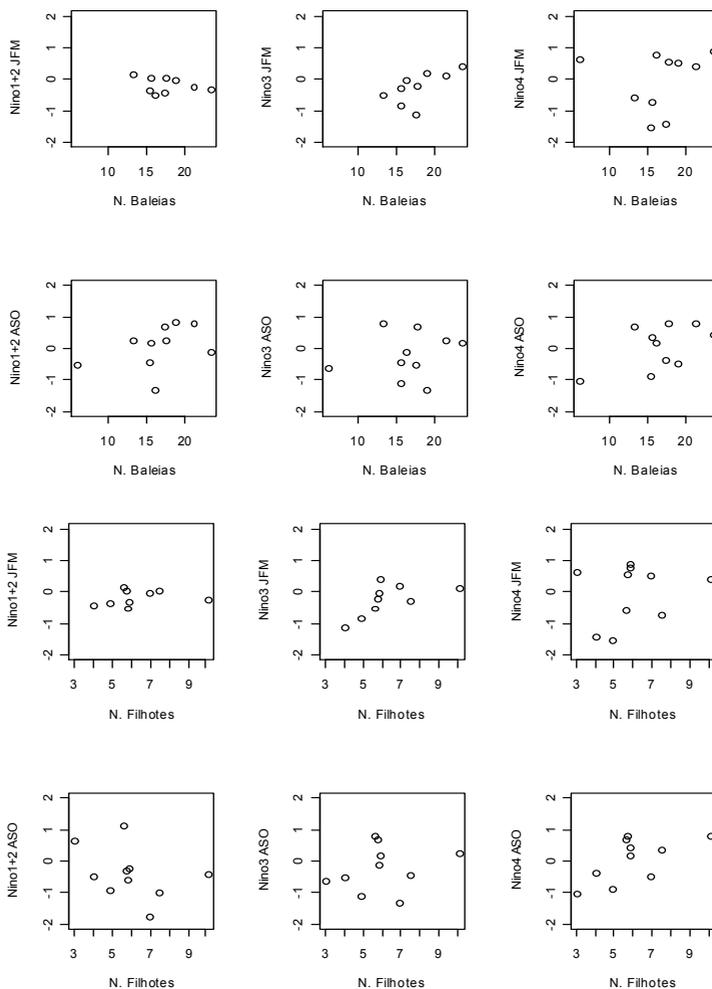
Anexo 2. Gráficos de dispersão do número de baleias (1° e 2° linha) e número de filhotes (3° e 4° linha) por unidade de esforço (CPUE), no mês de setembro dos anos de 2001 a 2010; e médias das anomalias dos índices Nino1+2, Nino3 e Nino4 com atraso (*lag*) de 1 ano, em janeiro fevereiro e março (JFM -1° e 3° linha) ; e agosto, setembro e outubro (ASO - 2° e 4° linha).

Atraso de 1 ano



Anexo 3. Gráficos de dispersão do número de baleias (1^o e 2^o linha) e número de filhotes (3^o e 4^o linha) por unidade de esforço (CPUE), no mês de setembro dos anos de 2001 a 2010; e médias das anomalias dos índices Nino1+2, Nino3 e Nino4 com atraso (*lag*) de 3 anos, em janeiro fevereiro e março (JFM - 1^o e 3^o linha); e agosto, setembro e outubro (ASO - 2^o e 4^o linha).

Atraso de 3 anos



Anexo 4. Gráficos de dispersão do número de baleias (1° e 2° linha) e número de filhotes (3° e 4° linha) por unidade de esforço (CPUE), no mês de setembro dos anos de 2001 a 2010; e médias das anomalias dos índices Nino1+2, Nino3 e Nino4 com atraso (*lag*) de 6 anos, em janeiro fevereiro e março (JFM - 1° e 2° linha); e agosto, setembro e outubro (ASO - 3° e 4° linha).

Atraso de 6 anos

