UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa

Departamento de Oceanografia

Programa de Pós-Graduação em Oceanografia

Cristiano Leite Parente

INTERAÇÕES ENTRE CETÁCEOS E AQUISIÇÕES SÍSMICAS MARÍTIMAS NO BRASIL

Recife - Pernambuco

2008

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

Cristiano Leite Parente

INTERAÇÕES ENTRE CETÁCEOS E AQUISIÇÕES SÍSMICAS MARÍTIMAS NO BRASIL

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em Oceanografia.

Orientadora: Dra. Maria Elisabeth de Araújo

Recife - Pernambuco

2008

P228e **Parente, Cristiano Leite.**

Interações entre cetáceos e aquisições sísmicas marítimas no Brasil / Cristiano Leite Parente.- Recife: O Autor, 2008.

ii, 83 folhas, il : figs., tabs.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, 2008.

Inclui Bibliografia.

1. Oceanografia. 2.Cetáceos. 3.Prospecção Sísmicas Marítimas. I. Título.

UFPE

551.46 **CDD (22. ed.)** **BCTG/2008-080**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA

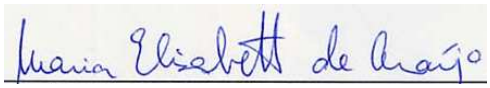
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

Título do Trabalho: Interações entre cetáceos e aquisições sísmicas marítimas no Brasil

Autor: Cristiano Leite Parente

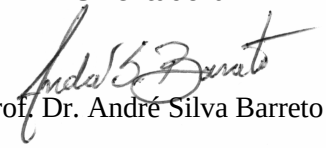
Aprovado em 25/02/2008

Banca Examinadora:



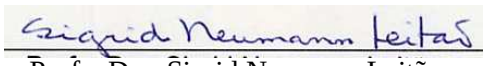
Profa. Dra. Maria Elisabeth de Araújo

Orientadora



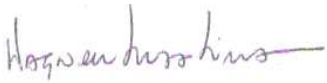
Prof. Dr. André Silva Barreto

Examinador



Profa. Dra. Sigrid Neumann Leitão

Examinadora



Dr. Wagner Souza Lima

Examinador

Dr. José Martins da Silva Júnior

Examinador

Dedico este trabalho à uma maravilha que está por nascer e a mulher divina que a carrega.

"O homem é um animal com instintos primários de sobrevivência.

Por isso, seu engenho desenvolveu-se primeiro e a alma depois, e o progresso da

ciência está bem mais adiantado que seu comportamento ético."

Charles Chaplin

Agradecimentos

À mulher que conduz o meu sorriso, *Jociery E. Vergara-Parente*, não só por estar sempre presente, mas pela ajuda na coleta de dados e comentários enriquecedores durante a elaboração deste trabalho.

À *Beth* por toda a orientação, paciência e amizade.

À todos os observadores de bordo que contribuíram para a realização deste trabalho.

À *Coordenação Geral de Petróleo e Gás* (CGPEG/Ibama), em especial ao seu chefe maior *Edmilson Maturana*, por ter permitido a avaliação dos inúmeros relatórios ambientais existentes.

Ao *David Janiger*, *Janaína Pauline* e *Carol Feitosa* pela ajuda na busca das bibliografias sem as quais este trabalho não seria possível.

Ao *Instituto Baleia Jubarte*, em especial a *Márcia* e *Milton* pela parceria no artigo sobre as baleias-jubarte.

À *Cetacean Society International* pelo apoio na elaboração desta pesquisa.

À *CAPES* pelo apoio financeiro.

Sumário

LISTA DE FIGURAS ..... **I**

LISTA DE TABELAS ..... **II**

1. INTRODUÇÃO **1**

1.1. Medições e terminologias aplicadas em estudos acústicos e de bioacústica **2**

1.2. Produção e utilização de sons pelos cetáceos **4**

1.3. Características das aquisições sísmicas marítimas e dos respectivos pulsos sonoros gerados **6**

2. A SÍSMICA MARÍTIMA NO BRASIL E SEUS POTENCIAIS EFEITOS NA ORDEM CETACEA **13**

2.1. Introdução **13**

2.2. Material e Método **14**

2.3. Resultados **15**

2.4. Discussão **24**

3. DISTRIBUIÇÃO E ENCALHE DE BALEIAS-JUBARTE (*MEGAPTERA NOVAEANGLIAE*) DURANTE PROSPECÇÕES SÍSMICAS MARÍTIMAS NO BRASIL **32**

3.1. Introdução **32**

3.2. Material e Método **34**

3.3. Resultados **37**

3.4. Discussão **45**

4. DIVERSIDADE DE CETÁCEOS COMO FERRAMENTA NO MONITORAMENTO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DAS SÍSMICAS MARÍTIMAS **50**

4.1. Introdução **50**

4.2. Material e Método **51**

4.3. Resultados **54**

4.4. Discussão **62**

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS **68**

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS **71**

Lista de Figuras

Figura 1.1: Sons naturais (coloridos) e antrópicos (cinzas) existentes no ambiente marinho (Adaptado de RICHARDSON *et al.*, 1995)..... 7
Figura 1.2: Aquisição de dados sísmicos utilizando os métodos "*streamer*" (A) e cabos de fundo (B). 9
Figura 2.1: Extensão das sísmicas marítimas 2D e área das sísmicas marítimas 3D realizadas no Brasil entre 1954 e 2004 (Fonte - 1967-1997: FAINSTEIN; SOUZA-FILHO, 2005; GUARDADO *et al.*, 1999; LEITE, 1997; 1999-2004: AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO E GÁS NATURAL, 2005). 18
Figura 2.2: Distribuição das aquisições sísmicas marítimas ocorridas no Brasil entre 1954 e 2004, considerando as bacias sedimentares onde foram realizadas. 18
Figura 3.1: Distribuição de baleias-jubarte observadas durante as aquisições sísmicas marítimas (cruz azul) e respectivos encalhes (círculo verde) nas temporadas de 1999 a 2004. 39
Figura 3.2: Razão anual de incidência de encalhes de baleias-jubarte (RIE) e observações de baleias-jubarte por unidade de esforço durante as aquisições sísmicas marítimas com as respectivas linhas de tendências. 40
Figura 3.3: Extensão (km) e área (km²) registrada em sísmicas marítimas realizadas no Brasil entre os meses de junho a novembro. 41
Figura 3.4: Comparação entre as médias mensais de encalhes de baleias-jubarte e as aquisições sísmicas marítimas ocorridos no Brasil na temporada entre os anos 1999 e 2004. 41
Figura 3.5: Relação entre a distância de encalhe e o tempo decorrido após a observação de baleias-jubarte observadas durantes às aquisições sísmicas marítimas. 44
Figura 4.1: Áreas de ocorrência de sísmicas marítimas (vermelho) entre 1999 e 2004 e quantidade de espécies de cetáceos (azul). 55
Figura 4.2: Dendrograma em modo Q do número de sísmicas marítimas realizadas simultaneamente por ano (λ = 0,90372). 56
Figura 4.3: Dendrograma em modo Q da presença e ausência de espécies de cetáceos por ano (λ = 0,83396). 58
Figura 4.4: Média dos parâmetros oceanográficos durante as sísmicas marítimas e na margem oeste do Oceano Atlântico (10°S-10°W) entre 1999 e 2004 (Salinidade – valores à esquerda, Temperatura e Densidade – valores à direita). 60
Figura 4.5: Dendrograma em modo Q dos parâmetros oceanográficos por ano (Densidade, Salinidade e Temperatura, de cima para baixo). 61

Lista de Tabelas

Tabela 2.1: Artigos revisados com enfoque nos efeitos das sísmicas marítimas em cetáceos. 20
Tabela 3.1: Distâncias e intervalos de tempo entre as observações de baleias-jubarte nas áreas de sísmicas marítimas e os encalhes registrados no período entre 2000 e 2004. 43
Tabela 4.1: Lista de espécies de cetáceos registradas no Brasil entre 1999 e 2004. 57

Resumo

A preocupação sobre os efeitos das prospecções sísmicas marítimas nos cetáceos ganhou força após a abertura do mercado de exploração e produção de petróleo em 1997. O Governo Federal passou a exigir das empresas de geofísica a realização de monitoramento de mamíferos aquáticos durante as sísmicas marítimas. Mesmo assim, pouco se conhece sobre os efeitos da atividade nos cetáceos no Brasil. Este estudo analisou os monitoramentos de cetáceos ocorridos entre 1999 a 2004 durante as sísmicas marítimas. Estas informações foram associadas aos resultados das observações de cetáceos e com dados dos encalhes de baleias-jubarte no mesmo período. Foi ainda realizado um levantamento do histórico das sísmicas marítimas desde o início da exploração de petróleo no Brasil, bem como sobre as informações científicas dos impactos da atividade nos cetáceos. As sísmicas marítimas, embora estando presentes desde a década de 1950, não constituem uma ameaça recente às espécies de cetáceos. Atualmente a atividade apresenta maior ameaça às espécies oceânicas que às costeiras, pois as sísmicas vêm sendo realizadas cada vez mais em águas profundas. Não foi observada relação significativa entre os encalhes de baleias-jubarte e as sísmicas marítimas. Significativa correlação negativa foi identificada entre as sísmicas marítimas e a diversidade de cetáceos, sugerindo que este grupo pode ser utilizado como indicador biológico do impacto da atividade. Os impactos causados pelas sísmicas marítimas nos cetáceos não são facilmente evidenciáveis, sendo necessárias análises de séries temporais com metodologia de coleta de dados padronizada. Os órgãos reguladores da atividade devem atuar de maneira integrada com as instituições financiadoras para definir programas de monitoramento de longo prazo visando identificar efeitos da atividade em populações de cetáceos ocorrentes no Brasil.

Palavras-chave: Prospecções sísmica marítimas, cetáceos, histórico de prospecções, distribuição e encalhes, diversidades de espécies

Abstract

The concern about seismic survey effects in cetaceans was enhanced after opening the market of oil and gas exploration to private companies in 1997. The Federal government started to request the observation of aquatic mammals during seismic surveys by geophysical companies. Even so, the effects of seismic surveys in cetaceans from Brazil are little known. This study evaluated data from observations of cetaceans during seismic surveys carried out between 1999 and 2004. This data were associated with strandings of Humpback whales at the same period. It was also done an analysis of the historic of seismic surveys since the start of hydrocarbon exploration in Brazil, as well as scientific information about the impacts of this activity in cetaceans. The seismic surveys do not constitute a recent threat to cetacean species, in Brazil it occurs since 1950s. Currently the seismic surveys offer more threat to ocean than coastal species. It was not identified a significant relation between strandings of Humpback whales and seismic surveys. A significant negative correlation between seismic surveys and diversity of cetaceans suggests that this group can be used as a biological indicator of impacts of the activity. The impacts of seismic surveys in cetaceans are not easily identified and it is necessary to have temporal series of analyses with standard methodology to identify them. The Governmental institutions should act integrated with grant agencies to define long-term monitoring programs aimed at identifying effects of the activity in populations of cetaceans occurring in Brazilian waters.

Keywords: Seismic surveys, cetaceans, Surveys history, distribution and strandings, diversity of species

1. INTRODUÇÃO

Existem evidencias de que as atividades humanas no oceano intensificaram os níveis de ruídos naquele ambiente (GISINER, 1998). Por este motivo, a preocupação com os potenciais efeitos desta intensificação na vida marinha vem se tornando cada dia mais evidente (DOTINGA; ELFERINK, 2000).

De acordo com o National Research Council (NRC) dos Estados Unidos da América, um dos grupos animais considerado ameaçado pelo aumento de fontes dos ruídos no oceano é a ordem Cetacea (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1994). A preocupação com a ameaça aos cetáceos é justificada pela importância que os sons possuem na vida social das espécies, as quais dependem de intrincados processos de emissão e interpretação de sons para a realização de atividades como a reprodução, alimentação ou simplesmente deslocarem-se no ambiente marinho (REEVES *et al.*, 2002).

As principais fontes de poluição sonora no ambiente marinho são aquelas advindas da navegação, das escavações, explosões e dragagens, da prospecção e exploração de hidrocarbonetos, dos experimentos oceanográficos e, finalmente, da realização de exercícios militares (RICHARDSON *et al.*, 1995). De acordo com as recentes pesquisas, estas atividades podem interferir nas espécies de cetáceos conforme as características dos sons por elas geradas, principalmente a intensidade e a freqüência, sendo consideradas atividades geradoras de impactos para diversas espécies (RICHARDSON; WURSING, 1997; POTTER, 2004).

Dentre estas atividades humanas que se apresenta como geradora de impactos para os cetáceos está a aquisição sísmica marítima (RICHARDSON *et al.*, 1995). As interações entre as aquisições sísmicas marítimas e os cetáceos têm estimulado a

preocupação de pesquisadores e curiosos, além dos estudos científicos nos diversos campos e instituições do planeta, devido à emissão de pulsos sonoros gerados pelos canhões de ar durante os trabalhos de campo no ambiente marinho (p. ex. MALME *et al.*, 1986; GOOLD, 1996; MATE *et al.*, 1994).

Alguns aspectos são fundamentais para o aprofundamento nesta área de conhecimento: 1. as medições acústicas e as terminologias aplicadas nos estudos de acústica e bioacústica; 2. a produção e utilização dos sons pelos cetáceos e 3. as características das aquisições sísmicas marítimas e dos pulsos sonoros gerados pelos canhões de ar. Com o entendimento destes três aspectos é possível obter-se boa compreensão dos efeitos dos sons na biologia da ordem Cetacea.

1.1. Medições e terminologias aplicadas em estudos acústicos e de bioacústica

Os estudos sobre acústica marinha e bioacústica demandam conhecimentos básicos da física na formação e propagação dos sons, suas terminologias e processos. O som é resultado de um movimento vibratório da matéria transmitido através de um meio material e elástico. É energia que se propaga através de ondas mecânicas, longitudinais e tridimensionais. Os meios de propagação são denominados elásticos por sofrerem deformação com a passagem da onda sonora e retornarem a sua condição natural no momento posterior. Como depende de um meio elástico, os sons não se propagam no vácuo (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2003).

De acordo com a American National Standards Institute (ANSI), é possível classificar os sons como de dois tipos: os pulsos e os não-pulsos. Este último ainda pode ser subdividido em intermitente e contínuo (AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE, 1994). Os pulsos são sons breves, de impacto, atonais ou transientes, tendo como exemplos os sons originados das explosões, armas de fogo e canhões de ar

utilizados nas aquisições sísmicas marítimas (SOUTHALL *et al.*, 2007). Estes autores descrevem esses tipos de sons como característicos por apresentar um crescimento relativamente rápido da pressão ambiente para um valor máximo de pressão seguido por um rápido decaimento sonoro que pode incluir um período de diminuição e pressões máxima e mínima oscilante.

Os sons classificados como não-pulsivos, independentes de intermitentes ou contínuos, podem ser tonais, de largo espectro ou ambos. Alguns desses sons não-pulsivos podem apresentar sinais transientes de curta duração porém, sem as propriedades essenciais dos sons pulsivos (p. ex. rápido crescimento da pressão). Exemplos de sons não-pulsivos são aqueles originados por turbinas, hélices e sistemas de sonares ativos (SOUTHALL *et al.*, 2007).

Os sons apresentam variáveis físicas como freqüência e intensidade. A freqüência (f) corresponde ao número de oscilações por segundo do movimento vibratório do som. Para uma onda sonora em propagação, é o número de ondas que passam por um determinado referencial em um intervalo de tempo. A unidade de medida da freqüência é de ciclos por segundo ou Hertz (Hz) (AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE, 1994).

A intensidade, por sua vez, é a quantidade de energia contida no movimento vibratório. Pode ser medida pela energia contida no movimento vibratório, medido em Watts/cm², ou pela pressão causada pela onda sonora, medida em BAR. Como a energia gerada pelo movimento vibratório é muito pequena (10^{-16}W/cm²), foi criada a escala logaritma BEL e posteriormente o décimo do BEL ou decibel (dB). Quando a medida da intensidade sonora é medida em decibel a mesma é definida como Nível de Pressão Sonora (*sound pressure level – SPL*, em inglês) (AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE, 1994).

O **pico de pressão sonora** é o valor máximo absoluto de uma pressão sonora instantânea durante um intervalo de tempo específico descrito na unidade Pascal (Pa). A **pressão sonora pico-a-pico** (p-p) corresponde a diferença algébrica entre um máximo positivo e um máximo negativo pico de pressão instantâneo (SOUTHALL *et al*., 2007).

A **média-quadrada da pressão** (Pa^2) é a média do quadrado da pressão sobre um intervalo de tempo. Portanto, a **raiz-média-quadrada** (*root-mean-square – RMS*, em inglês) SPL é descrita como: dB re: 1µPa, para sons produzidos na água. Se a medida for do pico, acrescenta-se "p" no final da expressão e sendo pico-a-pico, acrescenta-se "p-p". O nível na fonte (*source level - SL*, em inglês) é o nível recebido, medido ou estimado, a 1m da fonte (SOUTHALL *et al*., 2007).

1.2. Produção e utilização de sons pelos cetáceos

Os sons são fundamentais para a biologia das espécies de cetáceos. Sabe-se que eles produzem ao menos duas qualidades de sons: os que intervêm em seu sistema de detecção e navegação e as vocalizações (REEVES *et al*., 2002). Os Odontoceti produzem sons das mais variadas freqüências. Os sons utilizados nas socializações são geralmente na faixa audível dos humanos, variando de poucas centenas de Hz a várias dezenas de kHz, mas especialmente apresentam um sistema de detecção e navegação chamado de ecolocalização, realizado através do biossonar (SOUTHALL *et al*., 2007), que está localizado na fronte dos animais e funciona através da passagem de ar pelos sacos nasais, situados logo abaixo do orifício respiratório. Este sistema funciona em freqüências que se estendem bem acima dos 100kHz (SOUTHALL *et al*., 2007). Na ecolocalização, o animal emite um som, que pode ter freqüências variadas conforme a espécie. Este som atravessa a camada de gordura na região frontal do animal e invade o ambiente aquático. Ao entrar em contato com corpos presentes na coluna d'água, o som

é refletido para o animal, que capta o sinal através da mandíbula, sendo transmitido para os ouvidos internos e decodificado pelo cérebro com informações do tipo: distância, textura e tamanho do corpo presente na água. Assim, os cetáceos passam a localizar e analisar os objetos, e conseqüentemente se orientar de forma precisa sem necessariamente o auxílio dos outros sentidos. Em um ambiente aonde a visão não vai além de alguns metros, está habilidade tornou-se fundamental para o sucesso evolutivo das espécies (AU, 1993).

Os Mysticeti geralmente produzem sons de baixa freqüência nas faixas de dezenas de Hz aos vários kHz, com poucos sinais se estendendo acima dos 10kHz (SOUTHALL *et al*., 2007). Aparentemente estes sons possuem, predominantemente, funções sociais, incluindo reprodução e manutenção de contato, porém eles podem apresentar algum tipo de orientação espacial (RICHARDSON *et al*., 1995).

Conhecer os audiogramas dos cetáceos continua sendo um grande desafio para os pesquisadores. Esse conhecimento contribui para o entendimento das intensidades e faixas de freqüência sonoras que são audíveis por uma determinada espécie, pois somente quando um som é percebido entre o ruído ambiente é que pode ser considerado audível (RICHARDSON *et al*., 1995).

A maioria dos estudos de audiomentria com cetáceos foi realizada com espécimes mantidos em cativeiro e com treinamentos para responderem adequadamente aos estímulos sonoros (p. ex. KASTELEIN *et al.*, 2003), mas existem ainda as técnicas eletro-fisiológicas e através de estudos morfológicos ou por observação dos sons produzidos durante atividades de socialização (SOUTHALL *et al*., 2007). Porém, no Brasil, algumas espécies registradas não possuem seus audiogramas bem conhecidos, existindo apenas estudos da morfologia dos ossos que compõem o ouvido interno de alguns cetáceos registrados no país (PARENTE *et al*., 1999). Com o conhecimento da

audiometria de cetáceos, é possível avaliar quais características sonoras apresentam interferência direta sobre a audição dos cetáceos e, portanto esta categoria de pesquisa deve ser incentivada no Brasil.

1.3. Características das aquisições sísmicas marítimas e dos respectivos pulsos sonoros gerados

A grande maioria das espécies de cetáceos que ocorrem no Brasil está classificada pela *The World Conservation Union* (IUCN) como “dados deficientes” para avaliação do seu estado de risco (HILTON-TAYLOR, 2000), muito embora seja sabido que várias delas sofrem com os impactos das atividades humanas (MONTEIRO-NETO *et al.*, 2000). Dentre as atividades que causam impactos negativos, destaca-se a introdução de sons provenientes das diversas atividades econômicas (Figura 1.1), como ruídos provenientes dos motores de embarcações e aeronaves, construção de estruturas fixas, como pontes, portos e plataformas, exercícios militares, uso de sonares e atividades ligadas à perfuração e extração de petróleo, onde estão inclusas a realização de estudos sísmicos (RICHARDSON *et al.*, 1995).

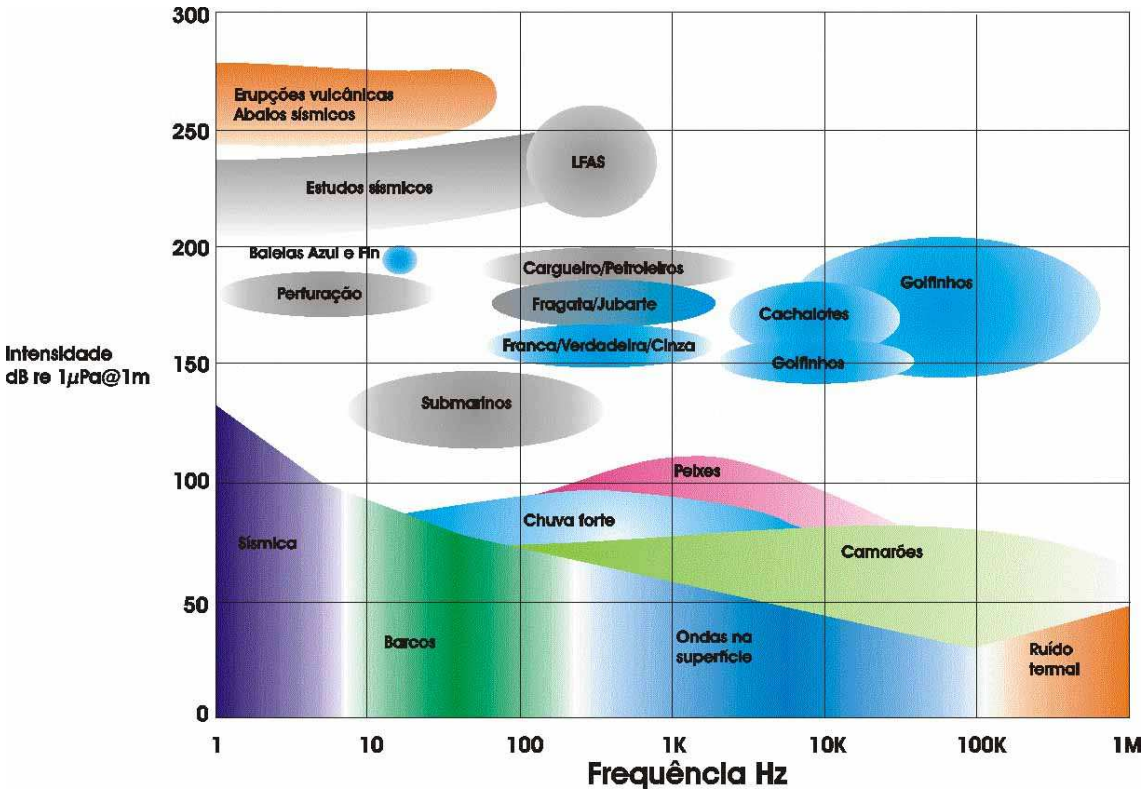


Figura 1.1: Sons naturais (coloridos) e antrópicos (cinzas) existentes no ambiente marinho (Adaptado de RICHARDSON *et al*., 1995).

Após a abertura do mercado de exploração do petróleo no Brasil em 1997, através da Lei nº 9.478 de 6 de agosto daquele ano, as informações sobre os cruzeiros para levantamento de dados sísmicos na costa brasileira foram obrigatoriamente divulgadas a partir de 1999. A prospecção sísmica marítima é uma técnica da geofísica utilizada para a identificação de estruturas e feições das camadas da subsuperfície terrestre. A atividade envolve o uso de ruídos sonoros de alta energia na coluna d'água para análise das feições da subsuperfície marinha (JONES, 1999).

A prospecção sísmica é um processo fundamental para reconhecer e mapear as estruturas geológicas que possam conter acumulação de petróleo em condições e quantidades que permitam o seu aproveitamento econômico. Os pulsos sonoros emitidos durante as prospecções são gerados por meio de colapso de bolhas de ar produzidas por um ou mais canhões de ar comprimido (*airguns*) e captados por arranjos

de hidrofones flutuantes (*streamers*) ou dispostos no assoalho submarino (*cabos de fundo* ou *ocean bottom cable - OBC*, em inglês) após reflexão ou refração (Figura 1.2) (JONES, 1999).

Existem diversos modelos de canhões de ar disponíveis no mercado, o que faz variar consideravelmente as características de intervalos entre os pulsos, freqüência e intensidade dos sons gerados. De uma maneira geral os canhões de ar atuam numa faixa de freqüência que varia de 10 a 1000Hz e pressão sonora variando de 216 a 259dB re: 1µPa (RICHARDSON *et al*., 1995).

Os estudos sísmicos podem variar ainda quanto ao tipo de informação a ser obtida, sendo considerados bidimensional (2D) aqueles que são realizados em linhas isoladas, e por esse motivo expressos em quilômetros, e tridimensional (3D) aqueles realizados em uma malha de linhas que cobrem uma determinada área, podendo ser expressas em quilômetros quadrados (JONES, 1999).

Para os geofísicos, as informações sobre as características dos pulsos acústicos quando percorrendo a coluna d'água não apresentam grande importância. O principal alvo das suas pesquisas são as informações sobre as variações de velocidade, refrações e reflexões nos pulsos sonoros enquanto estes percorrem camadas da subsuperfície, fornecendo informações sobre as variações de densidade das estruturas geológicas e potencial de existência de camadas acumuladoras de hidrocarbonetos (JONES, 1999).

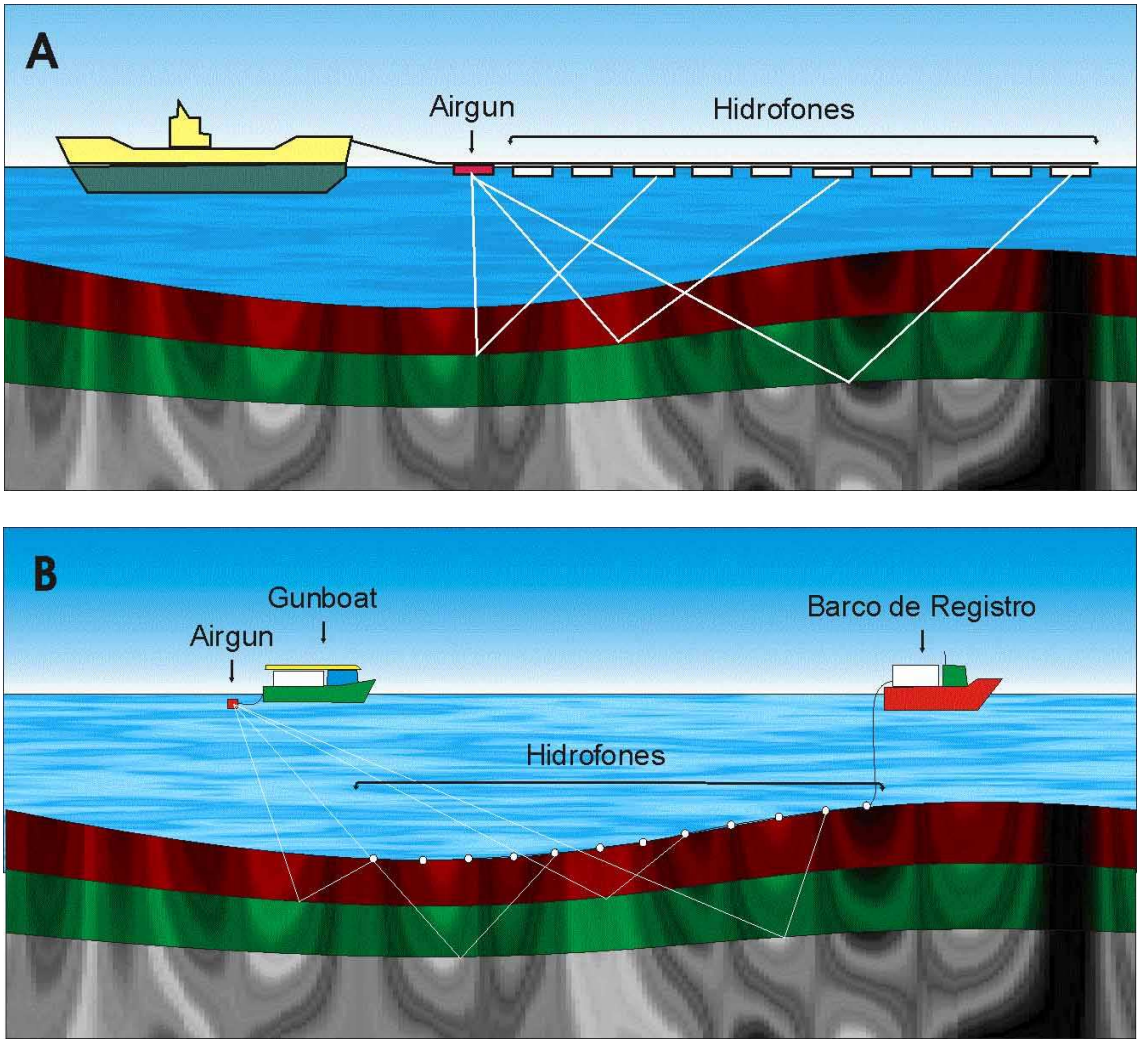


Figura 1.2: Aquisição de dados sísmicos utilizando os métodos "*streamer*" (A) e cabos de fundo (B).

Os estudos geofísicos apresentam duas fases: a primeira consiste da coleta dos dados no campo, enquanto a segunda caracteriza-se pela interpretação desses dados com o uso de ferramentas computacionais avançadas. Durante esta segunda fase, os dados sobre os pulsos sonoros na coluna d'água são logo descartados e, através da interpretação das reflexões em relação às densidades das camadas subsuperficiais, são produzidas imagens semelhantes àquelas produzidas em aparelhos de ultra-sonografias. Estas imagens são posteriormente analisadas por geólogos, os quais identificam as

feições e formações geológicas, permitindo-os fazer inferências sobre o potencial de acumulação de hidrocarbonetos.

Os estudos sísmicos com tecnologia 3D fornecem maior precisão que o 2D quanto às estruturas da subsuperfície e por esse motivo são realizados apenas em áreas onde existem estudos preliminares (JONES, 1999). Existe ainda a tecnologia 4C ou 4D que consiste da realização de sísmicas 3D ou 2D em tempos regulares para se avaliar a evolução de uma bacia em efetiva exploração (ROSS; ALTAN, 1997). Em ambas as tecnologias os procedimentos de aquisição dos dados se assemelham, variando apenas quanto à distribuição da malha amostral. Enquanto nas sísmicas 3D são realizadas aquisições em área com desenho amostral de linhas paralelas que preenchem todo o espaço estudada, nas sísmicas 2D os percursos são lineares e deixam espaços vazios nas áreas prospectadas.

Após a abertura do mercado de exploração de hidrocarbonetos no país em 1997, o Governo Brasileiro, através do Instituto de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), criou o Escritório de Licenciamento de Petróleo e Gás (ELPN) em 1999, que recentemente passou por reestruturação e recebeu nova denominação: Coordenação Geral de Petróleo e Gás (CGPEG). Desde 1999, o Ibama, preocupado com os possíveis efeitos dos pulsos sonoros gerados pela atividade sobre as espécies de mamíferos marinhos na costa do Brasil, exigiu das empresas geofísicas medidas mitigadoras que envolveram a obrigação de realização de cruzeiros de observação de mamíferos marinhos durante os estudos sísmicos visando: 1) evitar acidentes com cetáceos e sirênios; 2) acompanhar os efeitos das fontes sonoras sobre os organismos marinhos e 3) registrar o comportamento de cetáceos e sirênios em relação aos disparos dos *airguns* (INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS

NATURAIS RENOVÁVEIS, 2003). Estas medidas geraram informações valiosas sobre as espécies de cetáceos no Brasil.

No processo evolutivo das medidas mitigadoras determinadas pelo Ibama foram elaboradas informações técnicas que reuniram as informações técnico-científicas existentes sobre os impactos da atividade na biota marinha. Estes estudos eram realizados por meio de consultas aos diversos especialistas indicados pelas diretorias desse Instituto. Mais recentemente, as portarias Ibama nº 2040 de 2005 e n° 2110 de 2006 instituíram um grupo técnico multidisciplinar com representantes de seis diretorias do órgão. Como resultado das reuniões deste grupo foi possível realizar uma primeira padronização dos formulários de coleta de dados de observação de cetáceos a partir de 2005.

As medidas mitigadoras adotadas pelas empresas de geofísica são realizadas por uma diversidade de pesquisadores e informadas ao CGPEG através de relatórios ambientais. Estes relatórios apresentam informações valiosas sobre a biologia de uma grande diversidade de espécies, dentre elas aquelas pertencentes à ordem Cetacea. Mesmo com toda a evolução nos processos de mitigação implementados pelo Ibama, lamentavelmente o órgão ainda não possui estrutura para a avaliação dos resultados obtidos nesses estudos, bem como a sua divulgação, fazendo com que as lacunas sobre informações biológicas de um grande número de espécies e suas relações com as sísmicas marítimas permaneçam até a atualidade.

O presente estudo visou avaliar as interações entre os cetáceos presentes em águas oceânicas brasileiras e as prospecções sísmicas marítimas ocorridas de 1999 a 2004, buscando verificar a influência destas atividades na biologia das espécies. De maneira específica, procurou-se ainda descrever o histórico das aquisições sísmicas marítimas ocorridas no Brasil e do conhecimento científico sobre os impactos da

atividade, fazendo inferências para a sua situação no Brasil. Devido a grande importância do Brasil para as baleias-jubarte (*Megaptera novaeangliae*), buscou-se avaliar a influência das sísmicas marítimas nos recentes registros de encalhes da espécie no país e, por fim, verificar a possibilidade de utilização dos cetáceos como indicadores de impactos das sísmicas marítimas no ambiente marinho.

2. A SÍSMICA MARÍTIMA NO BRASIL E SEUS POTENCIAIS EFEITOS NA ORDEM CETACEA

2.1. Introdução

A inquietação sobre os efeitos da degradação ambiental nos mamíferos aquáticos foi consideravelmente intensificada nos últimos anos (RABIN *et al.*, 2003). Na metade do século passado o foco principal das pesquisas estava na pressão de caça sobre as populações das grandes baleias, resultando na criação da Comissão Internacional Baleeira (BAKER; CLAPHAM, 2004). Posteriormente abrangeu outros aspectos tais como as capturas acidentais, colisões com embarcações e efeito de poluentes como: vazamentos de óleo, metais pesados, pesticidas, organoclorados, entre outros (ROSS *et al.*, 2000).

Desde a década de oitenta que existe uma preocupação sobre os potencias efeitos dos sons gerados por atividades humanas sobre os mamíferos aquáticos (p. ex., MALME *et al.*, 1986; RICHARDSON *et al.*, 1986). Esses animais utilizam os sons nos processos de comunicação entre eles e para a localização e posicionamento de suas presas (p. ex., AU, 1993; NACHTIGALL *et al.*, 2000; SUPIN *et al.*, 2001). No ambiente aquático, enquanto a visão limita-se a poucas dezenas de metros, os sons podem ser percebidos a quilômetros de distância. Medições de ruídos no ambiente marinho indicaram que os sons antropogênicos aumentaram consideravelmente em todos os oceanos nos últimos 50 anos (ANDREW *et al.*, 2002).

Estudos apresentam diferentes níveis de interferência dos sons antrópicos nos mamíferos aquáticos (CROLL *et al.*, 2001; JEPSON *et al.*, 2003; ROUSSEL, 2002) e enfatizam principalmente aqueles ocasionados pelo uso de sonares militares e pelas atividades sísmicas destinadas à indústria petrolífera (AU *et al.*, 1997; McCAULEY *et al.*, 2000). Os testes de sonares militares têm se restringido a operações realizadas pela

marinha dos Estados Unidos, enquanto que as sísmicas marítimas têm se expandido por todo o mundo, motivadas pela busca por novas reservas de hidrocarbonetos e a ampliação das áreas de exploração para profundidades cada vez maiores. Por esse motivo, a preocupação com os efeitos das sísmicas marítimas nos mamíferos marinhos é compartilhada por pesquisadores de diferentes países.

No Brasil, as informações sobre as sísmicas marítimas não foram amplamente divulgadas até a abertura do mercado de exploração de petróleo como resultado da promulgação da Lei Federal Nº 9.478 em 1997. Com a divulgação das aquisições sísmicas marítimas realizadas no país a partir de 1999, cresceu o interesse dos pesquisadores sobre os efeitos da atividade nas espécies de cetáceos que ocorrem no Brasil. Muitas hipóteses foram levantadas e as regras ambientais para as aquisições sísmicas marítimas têm sido estabelecidas com base nessas suposições. Portanto, o conhecimento da evolução da atividade no Brasil e os seus potenciais efeitos nos cetáceos é importante para o melhor direcionamento das ações voltadas ao conhecimento científico e à regulamentação ambiental. Pretende-se aqui realizar uma análise histórica das aquisições sísmicas marítimas ocorridas no Brasil, desde os primeiros esforços direcionados para a pesquisa de bacias de acumulação de hidrocarbonetos até os dias atuais, fazendo correlação da atividade com os seus possíveis efeitos nos cetáceos descritos na literatura especializada.

2.2. Material e Método

Para a avaliação da situação das sísmicas marítimas, foram analisados dados públicos extraídos de planilhas eletrônicas disponibilizadas pela Agencia Nacional de Petróleo e Gás Natural (ANP) e dos documentos históricos disponíveis na literatura especializada em geofísica marinha. As informações disponibilizadas pela ANP

referem-se ao período compreendido entre 1999 e 2004. Foram considerados para este estudo apenas as extensões em km ou km², dependendo da tecnologia utilizada (sísmica 2-Dimensões (2D) ou 3-Dimensões (3D), respectivamente), a distribuição geográfica e os períodos de realização. Para complementação desses dados, as informações sobre as aquisições sísmicas marítimas ocorridas no período anterior a 1999 foram obtidas através da literatura disponível.

Fundamentando-se na pesquisa bibliográfica sobre os efeitos dos ruídos provenientes de sísmicas marítimas em cetáceos e na situação da atividade no Brasil, foi realizada uma análise do conhecimento técnico-científico atual a partir dos atributos utilizados por aqueles estudos para mensurar o impacto (p. ex., hormônios, necrose de tecidos, lesões, abundância, diversidade de espécies) e o nível de abordagem investigado (ex. bioquímico, fisiológico, histológico, indivíduo, população, comunidade, ecossistema). Somente foram considerados como base de referência os artigos científicos que foram publicados em revistas ou coleções com corpo editorial revisor. Os artigos e resumos apresentados em seminários e congressos não foram incluídos nesse estudo devido às dificuldades de acesso e a eventuais limitações dos resultados. Com base nesta análise, foram sugeridos estudos necessários para o monitoramento e avaliação dos efeitos de ruídos introduzidos pela sísmica marítima nas espécies ocorrentes no Brasil.

2.3. Resultados

Aquisições sísmicas marítimas no Brasil

As informações sobre as extensões e localizações das sísmicas marítimas, realizadas no Brasil antes da abertura do mercado de exploração e produção de petróleo em 1997 para o capital estrangeiro, são escassas. Os principais dados sobre o assunto

estão disponíveis em apenas quatro publicações especializadas na exploração de hidrocarbonetos. A primeira delas foi publicada por Leite (1997), a qual apresenta informações sobre as extensões das sísmicas marítimas no Brasil agrupados por décadas entre 1956 e 1994, considerando inclusive as realizadas por empresas sobre contratos de risco, mas não apresenta informações sobre sua distribuição. As sísmicas realizadas ou encomendadas pela empresa Petróleo Brasileiro S.A. (Petrobras) entre 1954 e 1997 e suas respectivas extensões foram apresentadas por Guardado *et al.* (1999), demonstrando que a tecnologia 3D teve um crescimento significativo a partir da década de 1980. É informada também a realização de 752.260km de sísmicas marítimas 3D. Estes autores dividiram os períodos de exploração em três fases: terrestre, entre 1954 e 1968; águas rasas, entre 1969 e 1984 e águas profundas, a partir de 1984.

Um extenso histórico das sísmicas marítimas ocorridas no Brasil foi realizado por Brandão e Guardado (1998), os quais separaram as extensões por décadas e apresentaram a distribuição dessas nas bacias sedimentares da plataforma continental do país. Da mesma forma, Possato e Marroquim (1999) apresentaram as extensões das sísmicas marítimas ocorridas ao longo das bacias sedimentares da plataforma continental do Brasil entre 1954 e 1997, onde é possível verificar que as mais exploradas foram: Campos (666.664km), Ceará/Potiguar (259.161km) e Santos (216.478km), enquanto as menos exploradas foram: Pelotas (37.280km) e Pará/Maranhão/Barreirinhas (79.556km). Uma descrição detalhada dessas bacias sedimentares é apresentada por Milani *et al.* (2000). Fainstein e Souza-Filho (2005) apresentaram apenas a extensão total das sísmicas marítimas ocorridas no Brasil entre 1954 e 1998 de acordo com a tecnologia utilizada (2D – 1.155.188km e 3D – 45.535km²).

Além das sísmicas marítimas com fins comerciais, uma série de sísmicas com fins acadêmicos foi realizada entre 1987 e 1996 com o Projeto Levantamento da Plataforma Continental Brasileira (LEPLAC), totalizando aproximadamente 17.864km de extensão (SOUZA, 1999). Uma retrospectiva dos 50 anos da Petrobras, companhia estatal brasileira que deteve o monopólio da exploração e produção no Brasil até 1997, expõe um extenso histórico da atividade de exploração no Brasil, mas não apresenta as informações quanto à distribuição e extensão das sísmicas marítimas (MENDONÇA *et al.*, 2004).

Com a criação da ANP e do Escritório de Licenciamento de Petróleo e Energia Nuclear (ELPN), atual Coordenação Geral de Petróleo e Gás (CGPEG) do Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama) as informações básicas, tais como extensão, localização e período das sísmicas marítimas, tornaram-se públicas através dos relatórios da ANP e dos processos de licenciamento ambiental disponibilizados pelo CGPEG-Ibama. As primeiras sísmicas marítimas licenciadas por esse órgão e controladas pela ANP surgiram a partir de 1999. Assim, entre janeiro de 1999 e dezembro de 2004 ocorreram 106 levantamentos sísmicos, sendo 22 com a tecnologia 2D e 84 utilizando a tecnologia 3D, abrangendo 318.812,7km e 159.035,8km², respectivamente. Com base nas informações disponíveis na literatura nacional especializada e nos dados disponibilizados pelos órgãos reguladores da atividade no país, foi possível reconstruir as áreas/extensões percorridas conforme a tecnologia utilizada (Figura 2.1) e a distribuição nas bacias sedimentares (Figura 2.2).

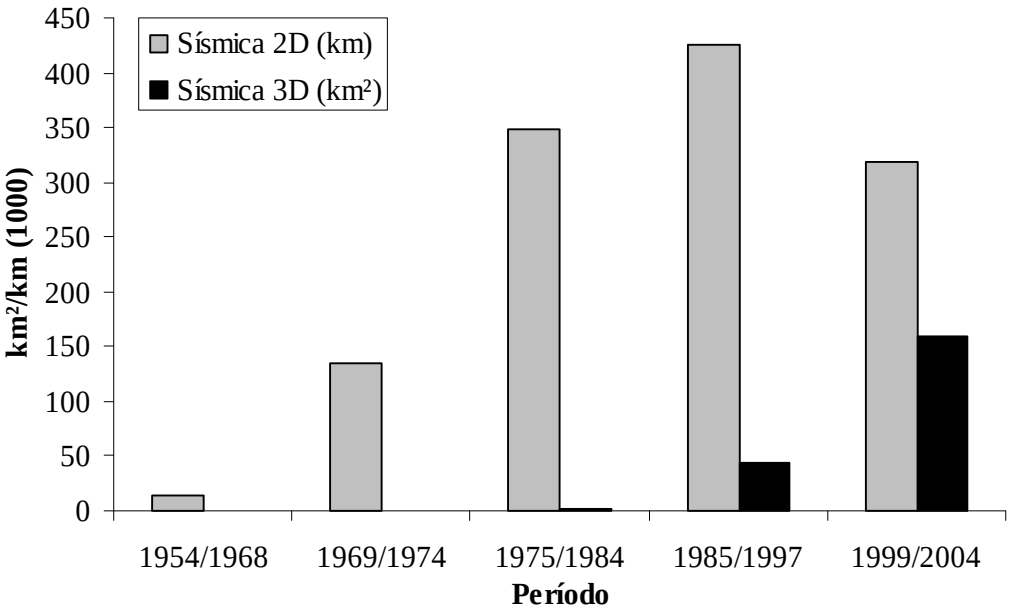


Figura 2.1: Extensão das sísmicas marítimas 2D e área das sísmicas marítimas 3D realizadas no Brasil entre 1954 e 2004 (Fonte - 1967-1997: FAINSTEIN; SOUZA-FILHO, 2005; GUARDADO *et al.*, 1999; LEITE, 1997; 1999-2004: AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO E GÁS NATURAL, 2005).

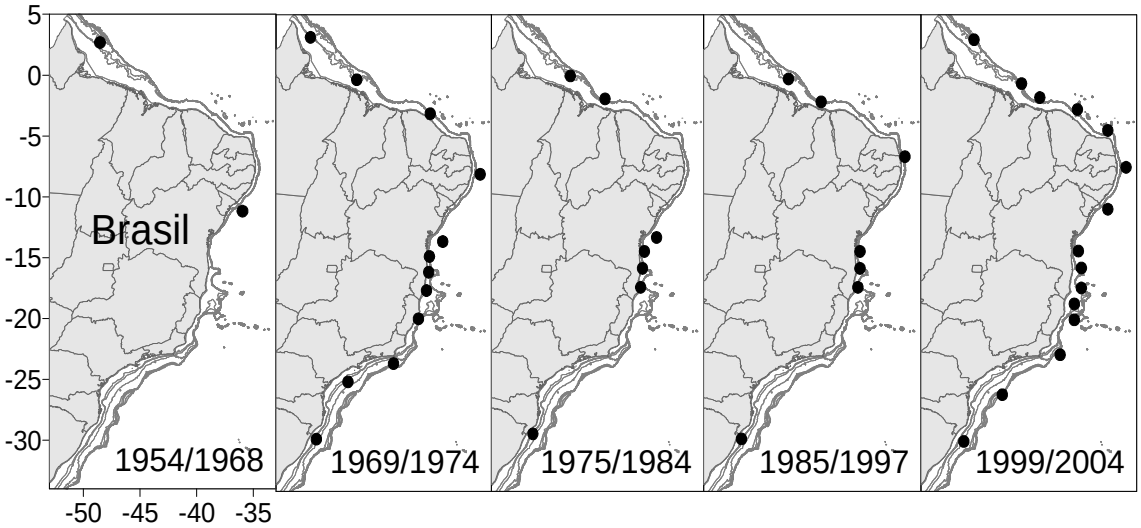


Figura 2.2: Distribuição das aquisições sísmicas marítimas ocorridas no Brasil entre 1954 e 2004, considerando as bacias sedimentares onde foram realizadas.

Observações e efeitos das sísmicas marítimas em cetáceos

Foram encontrados 22 artigos que buscaram avaliar os efeitos das sísmicas marítimas nos cetáceos (Tabela 2.1), sendo que apenas dois são referentes a estudos ocorridos no Brasil. Mesmo com o início da realização das pesquisas de hidrocarbonetos com o auxílio dos levantamentos sísmicos marítimos na década de 50, somente na década de 80 começaram a surgir estudos que relacionaram esta atividade com os cetáceos como de Malme *et al.* (1986). Apenas 14% das publicações foram realizadas na década de oitenta, enquanto 32% ocorreram na década seguinte e 54% na atual. No Brasil, somente em 2004 foi publicado o primeiro artigo sobre a matéria (GURJÃO *et al.*, 2004), com informações sobre a distribuição de duas espécies de odontocetos durante a realização de sísmica marítima em águas rasas no litoral do Estado da Bahia. Posteriormente, Parente *et al.* (2007) realizaram uma análise da diversidade de cetáceos entre 1999 e 2004 fazendo correlação com a incidência de sísmicas marítimas ocorridas no mesmo período.

Tabela 2.1: Artigos revisados com enfoque nos efeitos das sísmicas marítimas em cetáceos.

AUTOR	ESPÉCIE	ATRIBUTO MENSURÁVEL	NÍVEL DE ABORDAGEM	OBSERVAÇÃO
MALME *et al.*, 1986	*Eschrichtius robustus*	Comportamento	Indivíduo	10% evitaram níveis de 164dB re1µPa 50% evitaram níveis de 170dB re1µPa 90% evitaram níveis de 180dB re1µPa
RICHARDSON *et al.*, 1986	*Balaena mysticetus*	Comportamento	Indivíduo	Espécimes evitaram sísmica marítima a uma distância de 2km [> 115dB re 1µPa (RL)]
LJUNGBLAD *et al.*, 1988	*Balaena mysticetus*	Comportamento	Indivíduo	Respostas comportamentais súbitas ocorreram entre 3,5 a 8,2km de distância e o nível de ruído dos canhões de ar entre 142 e 157dB re 1µPa, respectivamente; Abandono parcial da área entre 3,5 e 7,3km com níveis de 142 e 158dB re 1µPa, respectivamente; Abandono total da área quando a 1,3, 7,2, 3,5 e 2,9km dos ruídos aos níveis correspondentes de 152, 165, 178 e 165dB re 1µPa.
BOWLES *et al.*, 1994	*Physeter macrocephalus*	Comportamento	Indivíduo	Alguns espécimes pararam de vocalizar a mais de 300km quando exposta ao nível de 112dB re 1µPa (RL) p-p.
MATE *et al.*, 1994	*Physeter macrocephalus*	Comportamento	Indivíduo	Afastou-se para mais de 50km de uma área com alta abundância da espécie no Golfo do México após uma sísmica marítima ter sido iniciada.
McDONALD *et al.*, 1995	*Balaena mysticetus*	Comportamento	Indivíduo	Alteração dos padrões de vocalização (parou de vocalizar) quando exposta a um nível de 143dB re 1µPa (RL) p-p.

AUTOR	ESPÉCIE	ATRIBUTO MENSURÁVEL	NÍVEL DE ABORDAGEM	OBSERVAÇÃO
GOOLD, 1996	*Delphinus delphis*	Comportamento	Indivíduo	Espécie observada no sul do Mar de Irish antes, durante e após aquisições sísmicas. Foi identificada redução nos grupos durante a realização da prospecção.
McCAULEY *et al.*, 1998	*Megaptera novaeangliae*	Comportamento	Indivíduo	Sem grandes alterações na rota migratória; Manobras para evitar o ruído entre 3-4km; Algumas baleias se aproximaram da embarcação.
McCAULEY *et al.*, 2000	*Megaptera novaeangliae*	Comportamento	Indivíduo	Manobras para evitar o ruído > 4km; Alteração nos padrões de descanso entre 7-12km da fonte; Atração de machos pelas semelhanças dos pulsos com as vocalizações.
MADSEN *et al.*, 2002	*Physeter macrocephalus*	Comportamento	Indivíduo	Não foi observado qualquer comportamento de recusa no nível de 146dB re 1µPa (RL) p-p.
MALAKOFF, 2002	*Ziphius cavirostris*	Lesões	Indivíduo	Dois espécimes encalharam durante a passagem de um navio sísmico a aproximadamente 50km.
FINNERAN *et al.*, 2002	*Tursiops truncatus* *Delphinapterus leucas*	Lesões	Indivíduo	Nenhuma perda auditiva temporária detectada para *T. truncatus*. Perda auditiva temporária detectada para *D. leucas* com nível de 186dB re 1µPa².
GURJÃO *et al.*, 2004	*Sotalia guianensis* *Tursiops truncatus*	Ocorrência	Indivíduo	Registrou a ocorrência de espécimes de ambas as espécies na área durante as aquisições sísmicas marítimas sem identificar qualquer efeito
ROMANO *et al.*, 2004	*Tursiops truncatus* *Delphinapterus leucas*	Hormônios	Fisiológico	Alteração das taxas hormonais após altos níveis de exposição (>100kPa)

AUTOR	ESPÉCIE	ATRIBUTO MENSURÁVEL	NÍVEL DE ABORDAGEM	OBSERVAÇÃO
MADSEN *et al.* 2006	*Physeter macrocephalus*	Comportamento	Indivíduo	Cachalotes mergulhavam a distâncias entre 4 e 13km foram expostas a pulsos de 162dB re 1 µPa (pp) (127dB re. 1µPa^2 s) de nível de recepção
STONE e TASKER, 2006	*Diversas espécies*	Número de indivíduos/ Comportamento	Comunidade	Efeito na orientação de espécimes em todas as espécies: Pequenos cetáceos apresentaram respostas comportamentais superior aos grandes; Não houve alteração significativa nas observações de cetáceos conforme estado de operação dos *airguns*.
JOHNSON *et al.*, 2007	*Eschrichtius robustus*	Abundância/ Comportamento/ Deslocamento	População	5 a 10 espécimes afastaram-se da área quando em operação sísmica; Espécimes não se afastaram das áreas de alimentação durante as sísmicas marítimas; 5 de 11 comportamentos observados tiveram correlação com as sísmicas; 6 de 11 comportamentos não tiveram correlação; Não foram observados impactos biológicos ou populacionais significantes.
PARENTE *et al.*, 2007	Diversas espécies	Diversidade de espécies	Comunidade	Alterações na diversidade de espécies durante os períodos de maior extensão
GAILEY *et al.*, 2007	*Eschrichtius robustus*	Comportamento	Indivíduo	Não detectada alteração na linearidade, velocidade e direção dos movimentos/deslocamentos; Não detectada alteração na respiração e tempo de mergulho; Alteração no movimento/deslocamento, direção e tempo de mergulho quando expostas à altos níveis de energia sonora.

AUTOR	ESPÉCIE	ATRIBUTO MENSURÁVEL	NÍVEL DE ABORDAGEM	OBSERVAÇÃO
YAZVENKO *et al.*, 2007a	*Eschrichtius robustus*	Distribuição/ Abundância	População	Limitada redistribuição em área de alimentação ao sul da área explorada; Cinco variáveis ambientais e outras não relacionadas às sísmicas marítimas e uma relacionada apresentaram efeitos estatisticamente significantes na distribuição e abundância da espécie; A distribuição de 2 a 4 baleias foram afetadas pela sísmica marítima enquanto o número de baleias na área de alimentação permaneceu estável.
YAZVENKO *et al.*, 2007b	*Eschrichtius robustus*	Comportamento	População	Não foram observados efeitos mensuráveis da sísmica marítima na atividade de alimentação de fundo das baleias.

2.4. Discussão

Embora haja pouca disponibilidade de informações sobre as sísmicas marítimas no Brasil, a realização destas não é uma atividade recente. Pode-se observar que tem tido um comportamento crescente desde suas primeiras tentativas na década de 50, sendo a tecnologia 3D a mais empregada desde a década de 80, estabelecendo-se como uma importante tecnologia para a prospecção de novas áreas de exploração. Esta tendência crescente ocorre em escala mundial devido ao avanço tecnológico e necessidade de acompanhamento das bacias exploradas com o uso de tecnologia 4D. Se avaliada apenas pela tendência, sem uma análise detalhada dos efeitos da atividade sobre os organismos, pesquisadores podem ser induzidos a interpretá-la como uma ameaça crescente para as espécies de cetáceos em suas áreas de alimentação, reprodução e descanso. Contudo, é importante observar que a aquisição sísmica marítima não é uma atividade contínua e ininterrupta que ocorre simultaneamente ao longo de todos os oceanos. Essa descontinuidade pode reduzir o seu impacto sobre populações com hábitos migratórios através de uma gestão internacional sobre os períodos de realização da atividade.

Mesmo não havendo sincronismo propositado na realização de sísmicas marítimas ao redor dos oceanos, faz-se necessário verificar o alcance dos ruídos gerados pela atividade e sua contribuição para o incremento da poluição sonora nos oceanos. Neste contexto, gravações realizadas por Nieukirk *et al.* (2004) nas cadeias meso-oceânicas do Atlântico Norte captaram ruídos de sísmicas emitidos na região nordeste do Brasil. Este achado confirma o potencial da atividade como fator de contribuição para a poluição sonora nos oceanos e reforça a necessidade de ações integradas entre os governos para a gestão da atividade, tendo como base os aspectos de conservação ambiental em consonância com os interesses econômicos internacionais.

Considerando os aspectos da distribuição na plataforma continental ao longo dos períodos no Brasil, pode-se inferir que os levantamentos sísmicos marítimos ocorridos no intervalo anterior à abertura do mercado de exploração e produção de petróleo em 1997, foram semelhantes aos ocorridos nos anos recentes, tendo sido realizadas na extensão de toda a costa brasileira, principalmente no período de 1969 a 1974. No que consiste à distância da costa, os ciclos de exploração no Brasil iniciaram-se em terra e foram seguindo mar adentro. Até a década de 1980, ocorreram levantamentos sísmicos em "zonas de transição" que se estendem da praia até regiões com profundidades próximas dos 50 metros. Estes levantamentos concentraram-se principalmente nas áreas de produção das bacias de Sergipe-Alagoas e do Espírito Santo, com menos ênfase nas bacias Potiguar e do Recôncavo-baiano, caracterizando-se risco principalmente para as espécies de cetáceos costeiros presentes na região, como o boto-cinza (*Sotalia guianensis*). Com o avanço para as regiões mais profundas nos anos recentes, as espécies oceânicas como *Tursiops truncatus*, aquelas do gênero *Stenella* e da subordem Mysticeti, tornaram-se mais expostas aos riscos oferecidos pela atividade.

Embora a tecnologia 2D tenha voltado a ser intensamente aplicada no período recente, a tendência atual em áreas exploradas é a aplicação da tecnologia 4D, a qual fornece informações sobre o potencial de continuidade da extração de petróleo na área. As tecnologias 2D e 3D são utilizadas nas fases de exploração, enquanto a 4D é aplicada na fase de produção para acompanhamento do reservatório. À medida que as tecnologias 3D e 4D são aplicadas, as áreas exploradas passam a ser reduzidas e, conseqüentemente, as zonas de influência da atividade também, o que pode diminuir os impactos sobre as populações de cetáceos.

Outro aspecto relevante é o tipo de fonte de energia utilizada para a geração do pulso sísmico necessário para o mapeamento da subsuperfície. Na década de 50 os

navios sísmicos utilizavam explosivos como fonte de energia para a geração do pulso sísmico, enquanto que o uso dos *airguns* somente foi implementado em águas brasileiras na década de 70 (GUARDADO *et al.*, 1999). A substituição do uso de explosivos para *airguns*, os quais se utilizam da energia gerada pelo colapso de bolhas para a geração do pulso sísmico, foi considerada importante avanço para a conservação de organismos aquáticos. Os explosivos causavam danos imediatos a uma grande diversidade desses organismos, incluindo os cetáceos, devido aos seus efeitos mecânicos (KEEVIN; HEMPEN, 1997). Embora ainda exista uma série de impactos causados pelo uso dos *airguns*, pode-se inferir que estes são inferiores aos gerados pelos explosivos. Portanto, acompanhando a tendência mundial, ocorreu a redução do impacto da atividade oriundo do tipo de fonte de energia sobre os cetáceos ao longo da história das sísmicas marítimas no Brasil.

A ausência de dados sobre a ocorrência de cetáceos durante as sísmicas marítimas realizadas até a década de noventa, deve-se à não exigência, por parte dos órgãos fiscalizadores brasileiros, de monitoramento a bordo das embarcações de disparo. Por este motivo, não é possível quantificar de maneira precisa os impactos causados pela sísmica sobre as espécies que ocorriam na plataforma continental naquela época, tanto em nível populacional quanto de comunidades. Foi somente após 1999, com a criação do Escritório de Licenciamento de Petróleo e Nuclear (ELPN), atual CGPEG, que medidas mitigadoras passaram a serem adotadas. Com esta medida foi possível iniciar estudos que permitam avaliar os impactos da atividade para os cetáceos que ocorrem no Brasil, resultando nos primeiros artigos publicados nos anos recentes (GURJÃO *et al.*, 2004; PARENTE *et al.*, 2007).

Os estudos que avaliam os impactos das sísmicas sobre os cetáceos aumentaram consideravelmente na última década. Mesmo assim, estão geralmente focados em

aspectos limitados da biologia das espécies ou foram realizados durante aquisições sísmicas marítimas realizadas em áreas restritas e com características muito específicas. A preocupação com questões da evolução da sísmica marítima e os seus potenciais impactos na biologia das espécies existentes na mesma região é ainda escassa. A avaliação do histórico das sísmicas ocorridas no Brasil até os dias atuais, bem como dos potenciais impactos desta atividade na biota marinha, em especial nos cetáceos, pode proporcionar informações necessárias ao direcionamento das pesquisas e políticas públicas para a gestão do assunto.

Os mamíferos aquáticos apresentam respostas variadas aos sons antropogênicos presentes no ambiente marinho. Mesmo com os estudos iniciados na década de oitenta, as maneiras pelas quais os sons intensos podem prejudicar os cetáceos ainda são pouco conhecidas. Sabe-se que, a depender da intensidade, a freqüência e a duração dos ruídos antropogênicos presentes no ambiente, os efeitos desses impactos sobre as espécies podem ser: temporários ou permanentes; físicos, fisiológicos ou comportamentais.

São raros os estudos que sugerem lesões em cetáceos causados pela exposição a ruídos provenientes das sísmicas marítimas. Mesmo os estudos que consideraram esse atributo mensurável indicam a possibilidade das lesões observadas não serem resultantes da presença da atividade e sim de doenças potencialmente verificadas nas espécies com comportamentos de mergulhos profundos e conseqüentes exposições a variações de pressão (FINNERAN *et al.*, 2002; MALAKOFF, 2002). Nesses artigos foi evidenciada a necessidade de verificar os efeitos dos sons em tecidos de diferentes espécies, não só nos aspectos referentes às perdas auditivas temporárias ou permanentes, como também no potencial causador de doenças descompressivas. Embora ainda não haja consenso sobre qual a melhor metodologia para se avaliar este potencial, é possível que estudos que associem o uso de telemetria com análises

histopatológicas permitam avaliar a contribuição dos pulsos sonoros gerados durante as aquisições sísmicas marítimas para a formação de bolhas de gás nos tecidos dos cetáceos, responsáveis pelas doenças descompressivas.

Os estudos sobre as respostas comportamentais de cetáceos aos sons oriundos das sísmicas marítimas são os mais comuns na literatura científica, ocorrendo desde a primeira década das pesquisas. Os comportamentos dos cetáceos são demasiadamente diferentes entre espécies, entre populações e até mesmo entre espécimes, não permitindo inferir se as alterações comportamentais observadas referem-se a uma resposta individual ou é uma resposta padrão da espécie estudada, pelo reduzido tamanho amostral estudado. Por esta razão, faz-se necessário o profundo conhecimento prévio dos hábitos daqueles espécimes observados para conferir maior nível de certeza na interpretação dos comportamentos registrados durante a presença de sísmicas marítimas. As constatações realizadas por McCauley *et al.* (1998, 2000), por exemplo, registraram tanto comportamentos de afastamento, quanto de aproximação do navio fonte. Malme *et al.* (1986), por sua vez, evidenciaram que espécimes de *Eschrichtius robustus* afastaram-se de determinados níveis de pulsos sonoros, enquanto Gailey *et al.* (2007) não observaram alterações significativas nos movimentos da mesma espécie quando expostas as sísmicas marítimas.

Certamente estudos realizados com uma mesma população em momentos diferentes com a presença e ausência da prospecção sísmica podem oferecer resultados mais consistentes sobre a influência da atividade naquela população, a exemplo do realizado por Goold (1996), McCauley *et al.* (1998) e, mais recentemente, por Yazvenko *et al.* (2007a). Nos dois primeiros estudos não foi possível determinar até que ponto a atividade afetou a população estudada, havendo um indicativo de que estas

restabeleceram seus padrões normais com a finalização das prospecções. Por outro lado, a última pesquisa concluiu que não houve alteração significativa na população estudada.

Para minimizar as distorções entre os resultados dos estudos e possibilitar comparações mais robustas entre espécies, é fundamental que as pesquisas não foquem apenas nos comportamentos observados, mas incluam a análise da inferência sobre a intensidade e freqüência do pulso recebido pelos animais. Estas informações são necessárias para permitir a avaliação das características dos sons que podem gerar alteração comportamental e, conforme previamente sugerido por Nowacek *et al.* (2007), avançar nos estudos sobre as perdas temporárias e permanentes da audição nos cetáceos em função da exposição a níveis de ruídos de origens antrópicas.

No Brasil, os estudos dos efeitos das sísmicas marítimas nos cetáceos estão apenas começando e apresentam uma relação direta com a divulgação das expedições pelos órgãos fiscalizadores. Mesmo assim, ainda são raras as pesquisas sobre o tema, existindo apenas duas publicações. (1) A nota publicada por Gurjão *et al.* (2004), que não abordou diretamente os efeitos da atividade sobre as espécies ocorrentes no Brasil, embora traga informações sobre ocorrência e distribuição em uma região pouco explorada por pesquisadores até então. (2) Parente *et al.* (2007), que avançaram no conhecimento dos impactos da atividade nos cetáceos com uma abordagem sobre a diversidade de espécies. Os resultados ultrapassam o nível de abordagem individual para o de comunidade, sugerindo uma redução nos índices de diversidade de espécies com o incremento das atividades na costa brasileira. Estes autores também verificaram que há uma maior variação na diversidade de odontocetos da família Delphinidae.

Stone e Tasker (2006) observaram que os pequenos odontocetos tendem a se afastar mais das embarcações de disparo que os grandes cetáceos, suportando as verificações descritas por Parente *et al.* (2007), apontando para a potencial utilização

desses cetáceos como indicadores dos efeitos em longo prazo das sísmicas marítimas nos oceanos. Esta intensificação das atividades sem controle integrado entre as nações pode causar impactos significativos na diversidade de espécies de cetáceos, devendo ser minimizados com medidas de gestão por parte das empresas e dos órgãos fiscalizadores da atividade.

Os resultados da presente pesquisa demonstram que as sísmicas marítimas no Brasil não constituem em uma ameaça introduzida recentemente para os cetáceos ocorrentes no país. A atividade está presente desde a década de cinqüenta, tendo oferecido riscos maiores para as espécies costeiras no início das explorações no mar e atualmente para as espécies registradas em águas profundas. A grande concentração de sísmicas marítimas realizadas na região sudeste do Brasil nos anos recentes pode significar algum risco para as espécies que utilizam aquela região como área de alimentação, descanso, cuidado com filhotes, migração entre outros, devendo esta região ser melhor investigada.

Apesar da existência de algum efeito sobre os cetáceos, fundamentada pelos estudos realizados até o momento, ainda não está claro de que maneira estes efeitos podem afetar significativamente a biologia das espécies expostas e como eles podem afetá-las em níveis populacionais. Somente com estudos de longo prazo e com metodologias ajustadas para este fim poderá avançar nesse sentido, como as pesquisas de Stone e Tasker (2006), Parente *et al.* (2007) e Yazvenko *et al.* (2007a).

Além das medidas preventivas atualmente aplicadas no Brasil para minimizar os impactos da sísmica sobre as populações de cetáceos, é necessário investimento das instituições de fomento para a realização de pesquisas direcionadas ao conhecimento dos efeitos da atividade sobre a biota marinha. Até o momento, todas as pesquisas têm

sido financiadas por empresas interessadas na execução da atividade e instituições internacionais, não existindo linhas de pesquisa direcionadas para o tema no país.

3. DISTRIBUIÇÃO E ENCALHE DE BALEIAS-JUBARTE (*MEGAPTERA NOVAEANGLIAE*) DURANTE PROSPECÇÕES SÍSMICAS MARÍTIMAS NO BRASIL

3.1. Introdução

A baleia-jubarte, *Megaptera novaeangliae* (BOROWSKI, 1781), está classificada como "vulnerável" pela União Mundial para a Conservação da Natureza (IUCN) e pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama) (HILTON-TAYLOR, 2000; INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS, 2001) em função da caça comercial no século XX (FINDLAY, 2001). É uma espécie cosmopolita que realiza migrações anuais das áreas de alimentação em altas latitudes para áreas de reprodução em baixas latitudes, em ilhas e sistemas recifais localizados em águas tropicais (CLAPHAM; MEAD, 1999). No Brasil a principal concentração reprodutiva ocorre no Banco dos Abrolhos, um alargamento da plataforma continental, localizado no extremo sul da Bahia e norte do Espírito Santo (entre as latitudes 15° - 18ºS) (p. ex., ENGEL, 1996, SICILIANO, 1997, MARTINS *et al.,* 2001). Andriolo *et al.* (2006) analisaram sua distribuição na costa brasileira através de transectos realizados por sobrevôo no auge da temporada reprodutiva de 2002 a 2005. Nos primeiros três anos os vôos foram realizados do extremo norte do litoral da Bahia (Lat. 12º 10'S) até o extremo sul do Espírito Santo (Lat. 20º 42'S) indo da linha da costa até a isóbata de 500 metros. Em 2005, a área amostrada foi estendida, indo desde o Rio Grande do Norte (Lat. 5ºS) até o litoral de São Paulo (Lat. 25ºS), confirmando a maior concentração das baleias-jubarte no Banco dos Abrolhos.

Quanto aos encalhes de baleias-jubarte, existem registros desde o Rio Grande do Sul (PINEDO, 1985) até o litoral do Piauí (SEVERO *et al.*, 2004). Embora ocorra ao

longo de todo o ano, a maioria dos encalhes é registrada entre os meses de agosto e setembro, período de maior concentração da espécie na costa do Brasil (MORETE *et al.*, 2003).

Vários fatores, naturais e antrópicos, têm sido responsáveis pelos encalhes de baleias-jubarte em todo mundo, como por exemplo: colisões com embarcações, emalhe em artefatos, pesca e biotoxinas (GERACI *et al.*, 1989; WILEY *et al.*, 1994; PIZZORNO *et al.*, 1998; WEINRICH, 1999; ALZUETA *et al.*, 2001; LAIST *et al.*, 2001; ALAVA *et al.*, 2005). Recentemente Engel *et al.* (2004) levantaram a possibilidade sobre o aumento de encalhes de exemplares adultos da espécie em 2002, poder ter relação com as sísmicas marítimas realizadas nas proximidades do Banco dos Abrolhos.

Prospecções com a técnica da sísmica marítima envolvem a emissão de pulsos sonoros de alta energia e baixa freqüência na coluna d'água para análise das feições da subsuperfície marinha. Esses pulsos sonoros são gerados através do colapso de bolhas de ar produzidas por um ou mais *airguns* e captados por arranjos de hidrofones flutuantes (*streamers*) ou dispostos no assoalho submarino (*ocean-bottom cable* – OBC) após reflexão ou refração (JONES, 1999).

Esta atividade tem sido freqüente no Brasil desde a década de 1980, mas somente após a quebra do monopólio nacional para a exploração de petróleo em 1997, a atividade necessitou de licenciamento ambiental e teve suas informações básicas divulgadas tais como: local, extensão e período, favorecendo as pesquisas de instituições voltadas à conservação da fauna marinha. As primeiras sísmicas marítimas licenciadas pela Coordenação Geral de Petróleo e Gás do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (CGPEG-Ibama) e controladas pela Agência Nacional do Petróleo e Gás Natural (ANP) ocorreram a partir de 1999. De

acordo com a *International Association of Geophysical Contractors* (IAGC) do Brasil, o país abrigou entre os anos 2000 e 2001 cerca de 50% da frota mundial de embarcações especializadas em prospecções sísmicas (INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS, 2003).

Estudos mostraram que aquisições sísmicas marítimas com utilização de canhões de ar podem causar alteração de comportamento em baleias-jubarte com afastamento desses animais da fonte sonora (McCAULEY *et al.*, 2000), porém não há consenso se seus efeitos podem causar o encalhe da espécie. Uma crítica ao trabalho de Engel *et al.* (2004) abordou principalmente os aspectos relacionados aos períodos dos encalhes em relação às sísmicas marítimas e as distâncias entre as áreas de encalhe e as áreas onde as sísmicas ocorreram (INTERNATIONAL ASSOCIATION OF GEOPHYSICAL CONTRACTORS, 2004).

O presente trabalho visa aprofundar as análises realizadas por Engel *et al.* (2004) em relação aos encalhes de baleias-jubarte ocorridos após a intensificação das sísmicas marítimas em águas brasileiras. Serão utilizadas novas informações sobre as observações dessas baleias, registradas durante as sísmicas no Brasil no período de 1999 e 2004, buscando verificar se há correlação entre os encalhes da espécie e a prospecção sísmica.

3.2. Material e Método

Os dados sobre as sísmicas marítimas foram extraídos de planilhas eletrônicas disponibilizadas na *web-page* da Agência Nacional de Petróleo (AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO E GÁS NATURAL, 2005) e de informações públicas disponíveis na biblioteca do CGPEG-Ibama, de onde também foram extraídas informações da ocorrência de baleias-jubarte nas áreas exploradas. As sísmicas

marítimas foram organizadas quanto à época de início e final dos projetos, agrupando-as de acordo com os meses e anos de realização das prospecções. Após esta classificação, os projetos foram associados às coordenadas dos polígonos das áreas para a elaboração de mapas de distribuição das sísmicas marítimas realizadas no Brasil, bem como os respectivos registros de *Megaptera novaeangliae*. Para este estudo, foram selecionadas apenas as sísmicas ocorridas no mar e realizadas entre os meses de junho e novembro. Este período é considerado de maior ocorrência da espécie no litoral brasileiro de acordo com os dados disponibilizados pelo Instituto Baleia Jubarte (IBJ). Somente as observações de baleias-jubarte durante as aquisições sísmicas marítimas com identificação confirmada, as quais foram classificadas como “definitiva”, foram considerados neste estudo. Seguindo a metodologia utilizada por Rossi-Santos *et al*. (2008), o número de baleias-jubarte foi dividido pelo esforço de observação em horas em cada monitoramento consolidando as Observações Por Unidade de Esforço (OPUE) anual da espécie durante as aquisições sísmicas marítimas.

As informações sobre encalhes de baleias-jubarte na costa do Brasil foram levantadas pelo IBJ, a partir de atendimento aos encalhes, pesquisadores colaboradores e revisão de artigos científicos publicados entre 1999 e 2004. Desde 2002 foi implantado um programa de resgate no Instituto Baleia Jubarte, o qual realiza campanhas, monitora e atende ocorrências em um trecho de aproximadamente 420km indo de Belmonte, BA (Lat. 15º 44S ; Long. 38º 53W), até Barra do Riacho, ES (Lat. 20º 00S ; Long. 40º 09W), e conta com o apoio de diversas instituições e pesquisadores ao longo da costa do país. Em caso de encalhes na região nordeste do Brasil, colaboradores das comunidades ou pesquisadores de instituições da Rede de Encalhes de Mamíferos Aquáticos do Nordeste (Remane) informam os eventos que são tratados conforme orientações de um protocolo de conduta em encalhes de mamíferos aquáticos

(INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS, 2005). Nas demais regiões, os pesquisadores realizam as intervenções necessárias aos casos de encalhes e repassam as informações para o IBJ, o qual registra o encalhe em planilha eletrônica com informações sobre a data e local da ocorrência com coordenadas geográficas, biometria dos espécimes, potencial causa da morte (natural, impacto antropogênico ou indeterminada). Todos os animais encalhados foram considerados neste estudo, independente da causa da morte ter sido determinada. Isto porque a desorientação devido a dano no sistema auditivo pode potencializar tanto a ocorrência do emalhe (TODD *et al.*, 1996), quanto à colisão com embarcações e conseqüentemente o no encalhe dos espécimes. Para uma comparação entre as unidades federativas do Brasil, seguiu-se a metodologia apresentada por Wiley *et al.* (1994) dividindo-se o número de encalhes pela extensão do litoral de cada estado, obtendo-se assim a Razão de Incidência de Encalhes (RIE).

Foram determinadas áreas e períodos temporais em função da distribuição das baleias-jubarte na costa brasileira e da sazonalidade dos encalhes, de modo a abranger a maioria dos eventos. Desta forma foram elaborados mapas de distribuição dos encalhes de baleias-jubarte ocorridos entre os meses de junho e novembro entre os Estados de São Paulo e Bahia, considerados o principal período e região de ocorrências de encalhes da espécie no Brasil (ANDRIOLO *et al.*, 2002). Estes eventos foram agrupados aos mapas de distribuição das sísmicas marítimas contendo as observações de baleias-jubarte, considerando a proximidade das datas, para visualização das distâncias entre as baleias observadas e os encalhes registrados.

O número de espécimes encalhados nos meses de maior freqüência de ocorrência foram comparados ao número de prospecções nos mesmos meses visando a análise das relações entre as informações. Para todas as análises foram considerados os

eventos ocorridos entre 1999 e 2004, período no qual há registro das prospecções sísmicas realizadas no Brasil. Tanto o cálculo das distâncias quanto os mapas de distribuição das prospecções sísmicas com as respectivas observações e os encalhes de baleias-jubarte foram elaborados com o auxílio de *software* de geoprocessamento, utilizando a base cartográfica do Brasil disponibilizada pela ANP (AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO E GÁS NATURAL, 2005).

As relações entre as distâncias dos encalhes e os espécimes observados durante as sísmicas marítimas, bem como o tempo em dias entre uma observação e um encalhe, foram verificadas através de estatística descritiva e teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis para verificar diferenças estatisticamente significativas ($p<0,05$). Para tal foram consideradas todas as combinações possíveis de encalhes e observações feitas à bordo, considerando-se um período de até 60 dias após as observações. Este período foi determinado por considerar-se tempo suficiente entre o fato motivador e o encalhe de um espécime, uma vez que não existem informações sobre o tempo necessário para que uma baleia-jubarte submetida a sons antropogênicos venha a encalhar. Para outras espécies, o tempo entre o fato motivador e o encalhe variou de horas à inexistência do encalhe (BUTMAN *et al*., 1995; FORD *et al*., 2005). Esta variação pode dar-se em conseqüência da distância da costa, direção das correntes e afundamento prévio da carcaça, que ocorre logo que o animal morre no mar (GERACI; LOUNSBURY, 1993).

3.3. Resultados

De 1999 a 2004 foram registrados 101 encalhes de baleias-jubarte no litoral do Brasil. Considerando-se apenas o trecho em estudo (da Bahia a São Paulo), foram registrados 80 eventos entre os meses de junho e novembro, sendo 48 encalhes no litoral da Bahia, 21 no Espírito Santo, seis no Rio de Janeiro e cinco em São Paulo. Destes,

apenas um registro ocorrido em 1999 não possibilitou adquirir informações sobre as coordenadas geográficas, embora seja conhecido que o mesmo ocorreu no litoral de São Paulo. Este encalhe não foi considerado para a elaboração dos mapas de distribuição dos encalhes de baleia-jubarte (Figura 3.1).

O estado com maior RIE de baleias-jubarte no período de 1999 a 2004 foi o Espírito Santo (0,0406), seguido pela Bahia (0,0511), Rio de Janeiro (0,0094) e São Paulo (0,0071). As RIE anuais de baleias-jubarte são apresentadas na figura 3.2 com as respectivas OPUE anual das aquisições sísmicas marítimas.

Entre janeiro de 1999 e dezembro de 2004 foram realizadas 106 aquisições sísmicas marítimas, sendo que 87 destas ocorreram apenas entre os meses de junho e novembro de cada ano com 69 aquisições na área de abrangência deste estudo. Aquelas que utilizaram a tecnologia 3D totalizaram no período 1.699,0km², enquanto as realizadas com tecnologia 2D resultaram em 1.528,4km de extensão. As sísmicas variaram significativamente ao longo do período estudado em função da extensão percorrida e conforme a tecnologia utilizada (Figura 3.3). Considerando apenas as sísmicas realizadas entre as latitudes 11ºS e 26ºS, no período selecionado para o estudo, foram realizadas 69 sísmicas marítimas com tendências de redução nas médias de sísmicas simultâneas. Confrontando as médias das sísmicas com as médias dos encalhes observa-se que ocorreram tendências inversas entre estes eventos, onde os primeiros apresentaram tendência decrescente, enquanto os segundos crescente, influenciada pelo forte aumento dos encalhes a partir de 2002 (Figura 3.4).

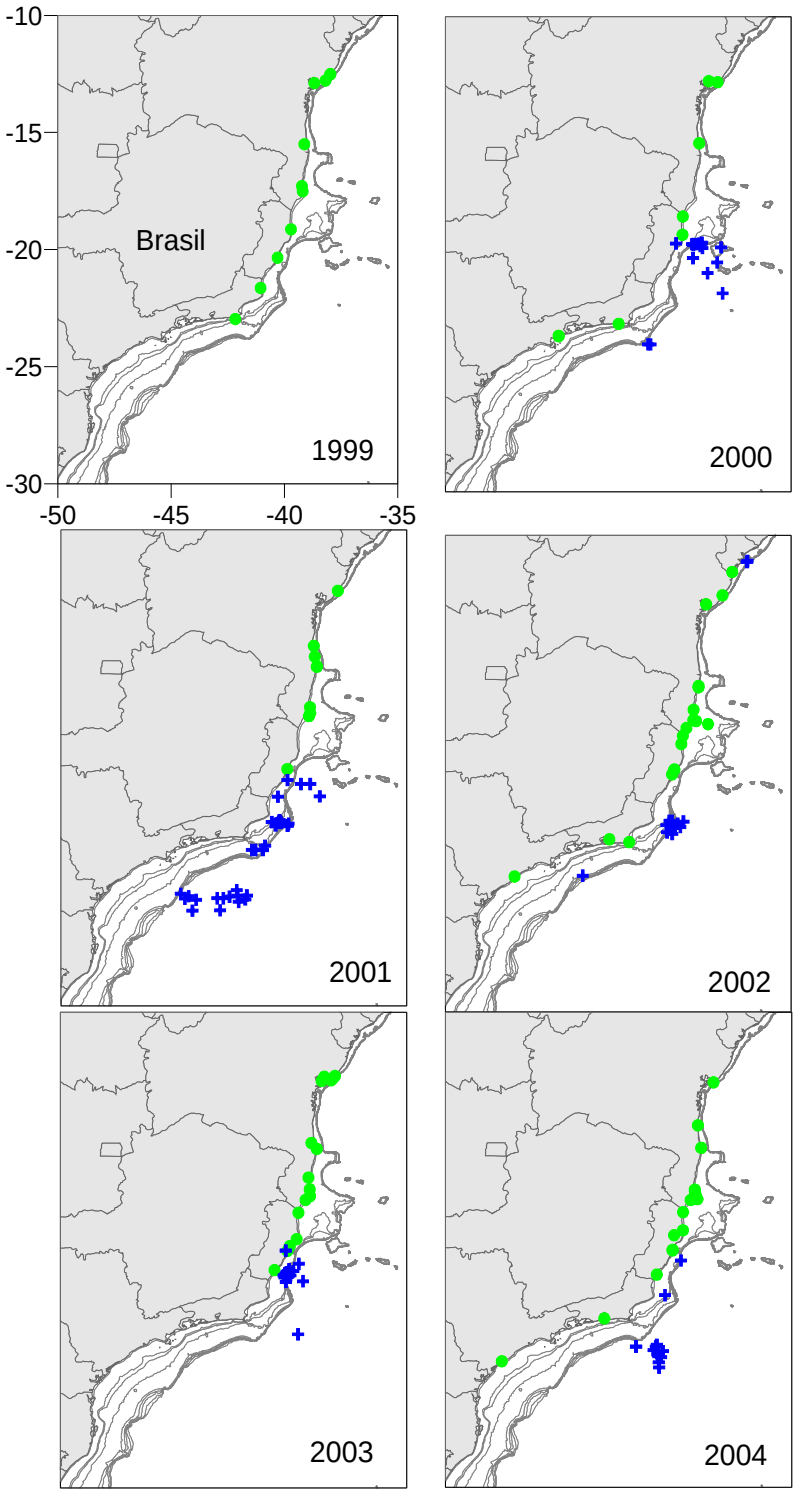


Figura 3.1: Distribuição de baleias-jubarte observadas durante as aquisições sísmicas marítimas (cruz azul) e respectivos encalhes (círculo verde) nas temporadas de 1999 a 2004.

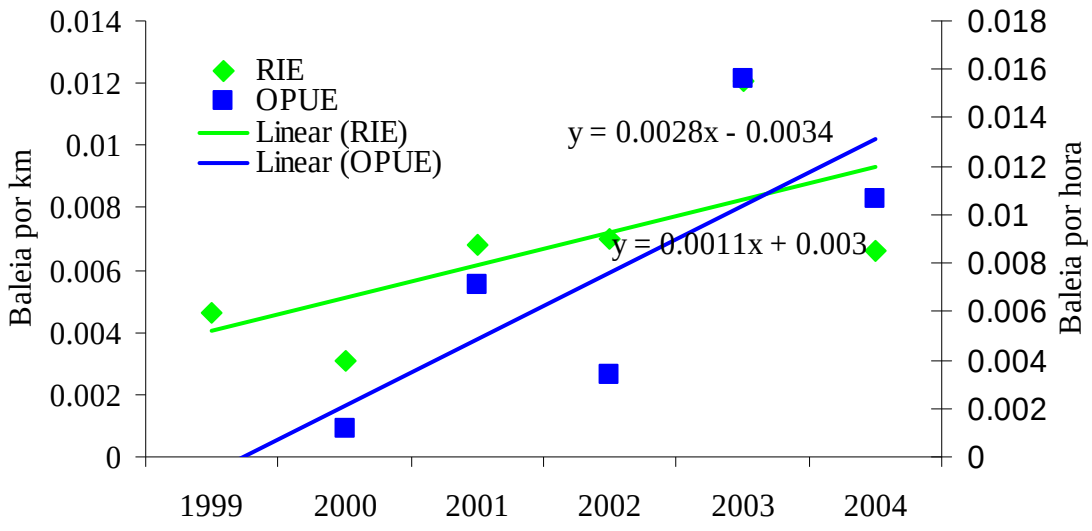


Figura 3.2: Razão anual de incidência de encalhes de baleias-jubarte (RIE) e observações de baleias-jubarte por unidade de esforço durante as aquisições sísmicas marítimas com as respectivas linhas de tendências.

Quanto às observações e distribuição das baleias-jubarte registradas durante as sísmicas marítimas, as mesmas totalizaram 121 espécimes, excluindo-se quatro registros fora da área de estudo, com maior número de observações nos anos 2001(38), 2003(33), 2002(18), 2000(17) e 2004(16). Nenhum registro foi verificado em 1999. As baleias-jubarte estiveram presentes desde a latitude 4ºS (em 2002), mas somente aquelas observadas entre as latitudes 11ºS e 26ºS foram consideradas para este estudo porque este trecho é a principal área de monitoramento de encalhes do IBJ (Figura 3.1).

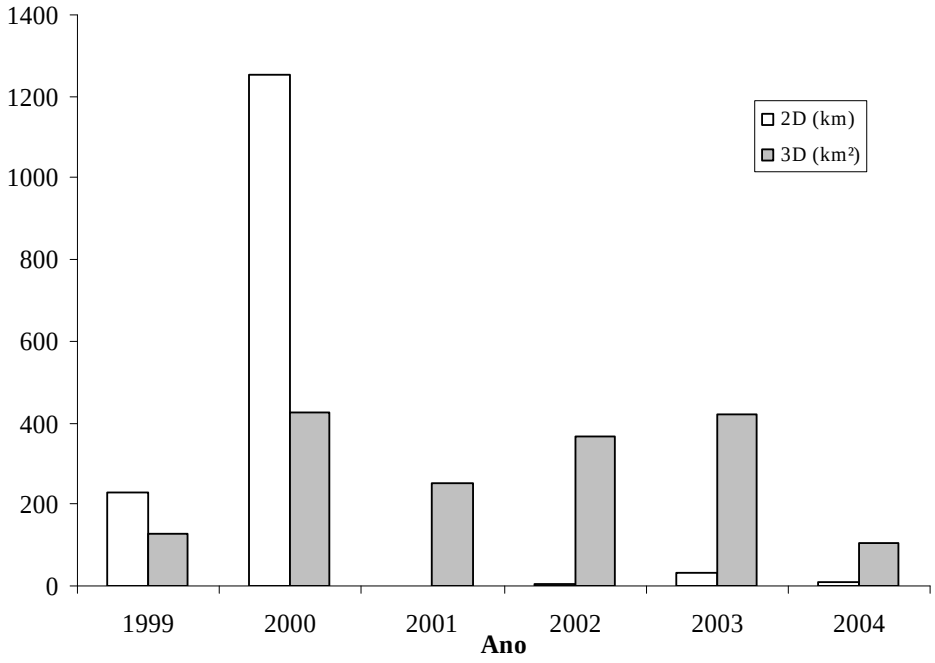


Figura 3.3: Extensão (km) e área (km²) registrada em sísmicas marítimas realizadas no Brasil entre os meses de junho a novembro.

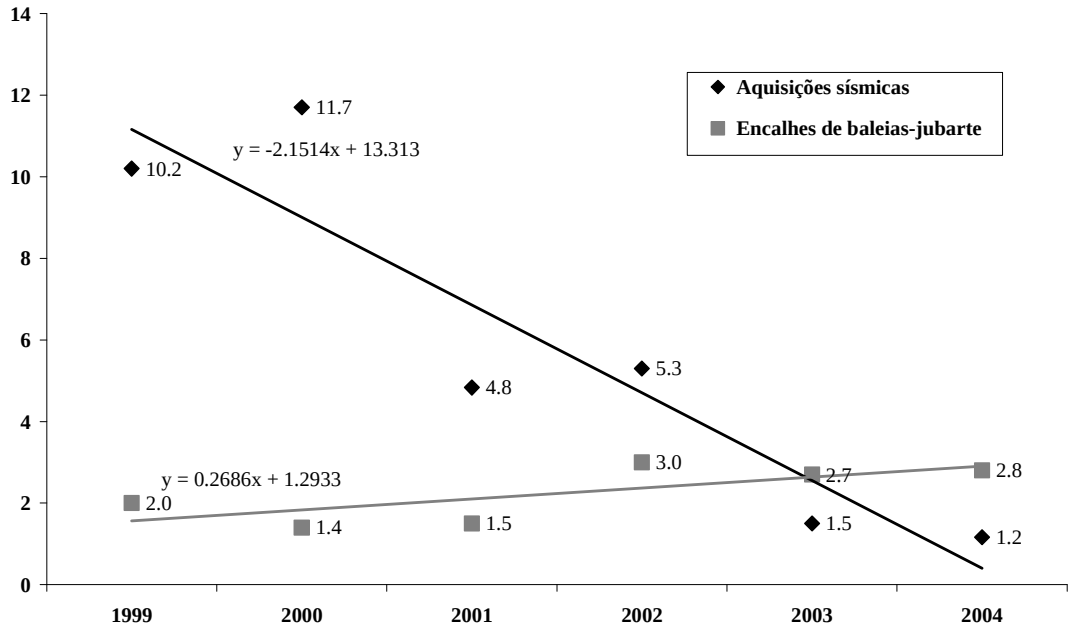


Figura 3.4: Comparação entre as médias mensais de encalhes de baleias-jubarte e as aquisições sísmicas marítimas ocorridos no Brasil na temporada entre os anos 1999 e 2004.

Na análise do número de encalhes em relação às baleias-jubarte observados durante as sísmicas marítimas ocorridas no período, foi verificado que o tempo entre cada observação e encalhe, bem como a distância entre os mesmos eventos variaram a cada ano (Tabela 3.1). De maneira geral, os intervalos entre as observações e os encalhes variaram entre 0 e 58 dias (média=26,7; SD=15,8) e entre 53 e 2241,8km (634,4; SD=361,5). Na figura 3.5 apresenta-se a relação entre as distâncias e tempo entre as observações de baleias-jubarte e os encalhes registrados para os períodos.

A menor distância entre uma observação e um encalhe ocorreu em 2003, após 41 dias, enquanto a maior distância foi registrada em 2001, após 27 dias. O menor coeficiente de variação entre as distâncias ocorreu em 2000 (26,8%), seguido de 2004 (32,5%), 2003 (41,4%, 59,2%) e 2002 (69,8%). A análise estatística de Kruskal-Wallis demonstrou diferenças significativas entre os anos estudados e somente não mostrou diferença significativa ($p>0,05$) nas comparações entre os anos 2000-2001, 2000-2004, 2001-2004 e 2002-2003, com maior diferença entre os anos 2001-2002 e 2001-2003. Em relação ao tempo, os coeficientes de variação foram diferentes entre os anos, com os seguintes resultados: 2000 (95,5%), 2004 (71,9%), 2001 (56,7%), 2003 (47,8%) e 2002 (47,0%). O resultado do teste estatístico apresentou diferenças significativas para este parâmetro nos mesmos anos observados para a análise das distâncias, com maior diferença entre os anos 2002-2004.

Tabela 3.1: Distâncias e intervalos de tempo entre as observações de baleias-jubarte nas áreas de sísmicas marítimas e os encalhes registrados no período entre 2000 e 2004.

	2000		2001		2002		2003		2004	
	Extensão (km)	Intervalo (dias)	Extensão (km)	Intervalo (dias)	Extensão (km)	Intervalo (dias)	Extensão (km)	Intervalo (dias)	Extensão (km)	Intervalo (dias)
Média	632,5	22,1	903,1	22,5	533,0	33,0	495,3	31	657,4	20,3
Desvio padrão	140,8	22	534,5	12,7	329,8	15,5	204,9	14,8	213,8	14,6
Erro padrão	27,3	3,3	49,2	1,2	35,4	1,7	15,1	1,1	20,1	1,4
Máximo	895,3	57	2241,8	51	1667,1	59	1069,3	58	1223,4	56
Mínimo	421,8	1	122,8	0	77,3	1	53,0	0	270,9	0

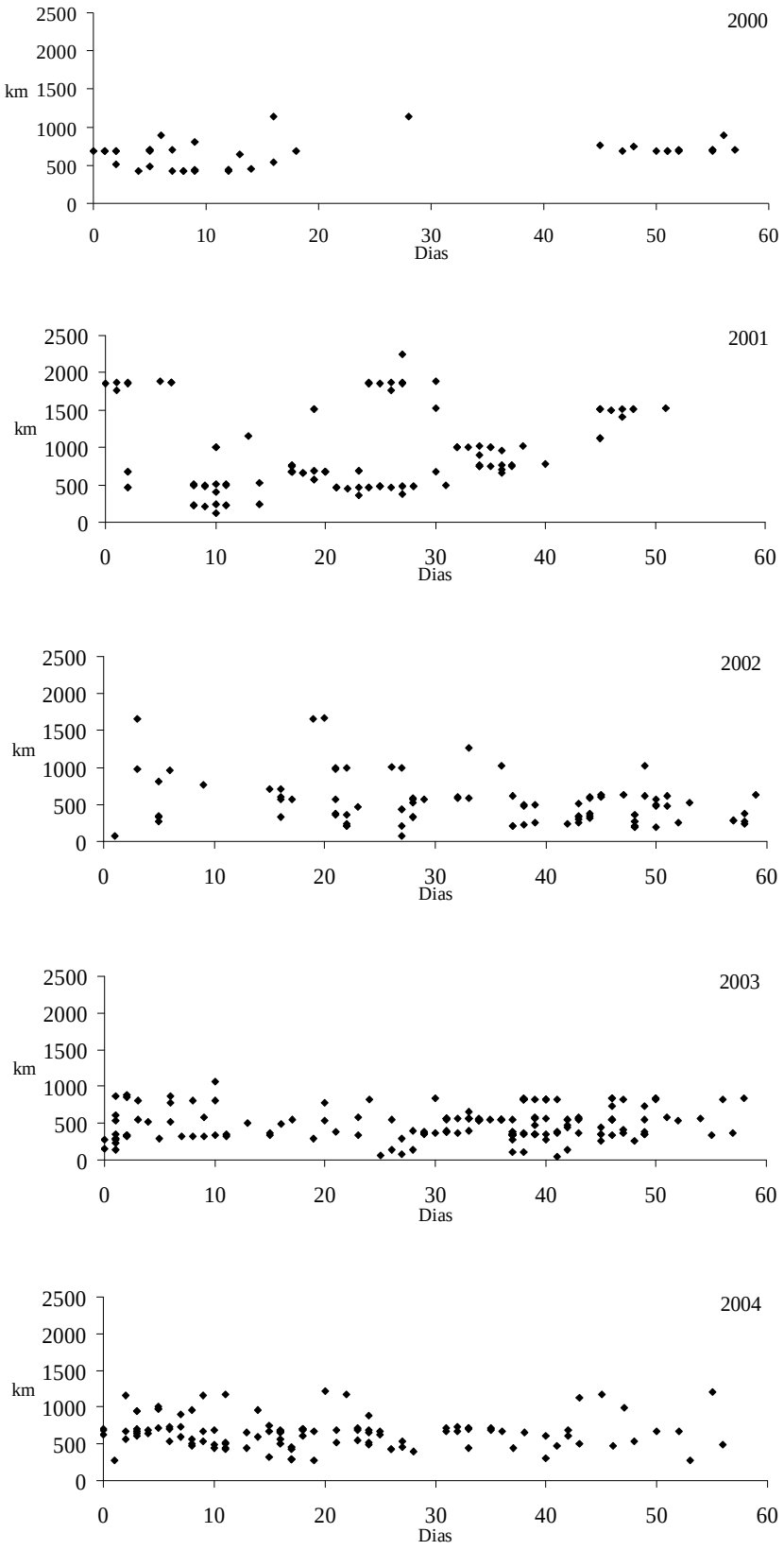


Figura 3.5: Relação entre a distância de encalhe e o tempo decorrido após a observação de baleias-jubarte observadas durantes às aquisições sísmicas marítimas.

3.4. Discussão

A divulgação de informações por parte do governo federal do Brasil sobre as sísmicas marítimas ocorridas nos anos recentes permitiu uma boa avaliação sobre a evolução dessa atividade em águas territoriais. De acordo com informações de representantes da IAGC no Brasil, somente em 2001 cerca de 50% da frota mundial de embarcações especializadas em prospecções sísmicas estiveram presente no país (INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS, 2003). Ficou evidente a forte intensificação da atividade com uso da tecnologia 2D no ano 2000. A sísmica 2D é utilizada principalmente em fases exploratórias iniciais, para um conhecimento preliminar das áreas a serem exploradas para em seguida se realizar a sísmica 3D nas áreas identificadas como de maior potencial para a exploração do petróleo (JONES, 1999). Quando analisadas as sísmicas marítimas que aplicaram a tecnologia 3D no período e área de abrangência do estudo, verifica-se que as mesmas ocorreram em extensões similares ao longo dos anos. Esta distribuição temporal das tecnologias utilizadas indica que o conhecimento das áreas disponibilizadas a partir de 1999 era, até então, restrito à Petróleo Brasileiro S.A. (Petrobras) a qual deteve o monopólio da exploração de petróleo no Brasil até 1997. Esta nova situação pós-monopólio estimulou as empresas especializadas em geofísica a realizar grandes extensões de sísmicas marítimas nos primeiros anos do período estudado. De qualquer forma, houve uma tendência de redução das sísmicas marítimas ao longo do período com maior intensidade até 2000 e queda intensa nos anos seguintes.

Entende-se que em todas as sísmicas realizadas desde 1999 havia observadores de bordo nas embarcações de prospecção com o objetivo de identificar mamíferos aquáticos e interromper os disparos dos *airguns* quando os espécimes foram avistados em um raio de 500m destas durante o período diurno, uma vez que esta é uma exigência do processo de licenciamento (INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E

DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS, 2003). Entretanto, as informações sobre as espécies observadas e suas distribuições não eram igualmente divulgadas, havendo pouca informação no meio científico (p. ex.,. GURJÃO *et al.*, 2004, PARENTE, 2005). As observações de baleias-jubarte durante o período do presente estudo demonstram que, em 1999 não ocorreram registros da espécie durante as sísmicas marítimas, e que nos anos seguintes, a espécie esteve presente em todas as áreas de realização das prospecções com tendências de crescimento nas observações de bordo em relação ao esforço. Estas observações mostram que os monitoramentos realizados durante as sísmicas marítimas incrementam o conhecimento sobre a espécie e suas áreas de ocorrência e coincidem com os resultados observados por Rossi-Santos *et al*. (2008) os quais verificaram aumento nas observações por unidade de esforço durante os anos 2000 e 2006 na costa norte do estado da Bahia.

Zerbini *et al.* (2004) concluíram que as baleias-jubarte costumam ser observadas em profundidades de 200m na costa brasileira. No presente estudo as baleias-jubarte foram observadas em lâminas d'água com profundidade superiores aos 200m nas bacias de Campos e Santos, demonstrando que a espécie está presente também em águas profundas nas latitudes próximas a estas áreas de exploração no sudeste brasileiro.

Diversas hipóteses têm sido propostas para explicar a ocorrência de encalhes de cetáceos, tais como: patologias (LAMBERTSEN, 1997), falhas na navegação relacionadas aos campos geomagnéticos terrestres (KLINOWSKA, 1988), contaminantes (SIMMONDS, 1997) ou distúrbios causados por sons intensos que alteram o comportamento dos animais (GOOLD *et al.*, 2002; MALAKOFF, 2002). Os encalhes de baleias-jubarte no Brasil ocorreram em todo o período do atual estudo (1999-2004), com maior incidência nos três últimos anos. Entre os fatores que poderiam explicar este aumento, pode-se considerar o aumento do esforço amostral, realizado a

partir de 2002, com a implantação de programa de resgate, justamente na área com maior razão de incidência de encalhes. Outro fator que poderia ser considerado como responsável por este acréscimo dos encalhes é o crescimento da população de baleias-jubarte no litoral da Bahia registrado nos anos recentes através das observações do IBJ (ROSSI-SANTOS *et al.*, 2008).

Um relatório elaborado pela IAGC (2004) sugeriu que as variações no número de encalhe de baleias-jubarte nos últimos anos são reflexo das variações sazonais e temporais de grupos nas áreas de concentração da espécie no Brasil. Este relatório foi uma contestação da hipótese levantada por Engel *et al*. (2004) na qual associou os encalhes de baleias-jubarte a aquisições sísmicas marítimas realizadas próximas as áreas de concentração da espécie no sul da Bahia. De fato é possível que variações sazonais possam interferir nos encalhes, assim como é possível que fatores antropogênicos contribuam com esta variação. No presente estudo, não foi possível fazer relação direta dos encalhes registrados com as aquisições sísmicas marítimas ocorridas no período. O aumento observado na razão de encalhes parece estar muito mais relacionado a reocupação da espécie da costa nordeste do Brasil que com as aquisições sísmicas marítimas, uma vez que o número de espécimes registrados aumentou nos anos recentes como pode ser observado durante os monitoramentos e conforme relatado por Rossi-Santos *et al*. (2008).

Quanto à distância e tempo entre as observações de baleias-jubarte e os respectivos encalhes no período, com exceção dos anos 2001 e 2002, todos os encalhes ocorreram a distâncias inferiores a 1500km das baleias-jubartes observadas. Em geral os encalhes ocorreram ao redor dos 600km de distância, sem que tenha-se percebido qualquer aspecto particular no que se refere ao tempo entre as observações e os encalhes de baleias-jubarte.

Estudo realizado por McCauley *et al.* (2000) sugeriu que alguns exemplares da espécie tendiam a se afastarem das áreas onde estavam sendo realizados estudos sísmicos, embora outros espécimes tenham apresentado deslocamento no sentido oposto. Alterações comportamentais também foram observadas para outras espécies de cetáceos (GOOLD, 1996). Em relação aos ruídos da sísmica, estudos acústicos realizados nas cadeias meso-atlântica para o registro de sons de baleias captaram pulsos sísmicos emitidos a mais de 3.000km de distância (NIEUKIRK *et al.*, 2004). Alguns desses pulsos foram originados na costa nordeste do Brasil e sobrepuseram os registros das vocalizações de baleias. Com base nas informações desses autores, e considerando a importância dos sons para os mamíferos marinhos, é aceitável propor que as baleias-jubarte possam identificar os sons originados pelos estudos sísmicos a longas distâncias e evitem as áreas de realização da atividade.

Os resultados dos censos aéreos até a isóbata de 500m, realizados entre 2001 e 2003 na área de distribuição da baleia-jubarte no Brasil, demonstraram menor densidade de baleias-jubarte nas suas áreas de concentração entre os anos 2001 e 2002 quando comparados ao ano 2003, sugerindo um aumento da população na área do Banco dos Abrolhos no período (MARTINS *et al.*, 2004). Rossi-Santos *et al.* (2008) realizaram observações entre 2000 e 2006 em uma área mais extensa do litoral do Estado da Bahia e verificaram tendência de aumento na presença da espécie nos anos recentes, concluindo que está ocorrendo reocupação da área pelas baleias-jubarte. Os resultados do presente estudo demonstram a presença da baleia-jubarte nas áreas com profundidades superiores aos 500m mais ao sul da sua principal área de concentração no Banco dos Abrolhos desde o ano 2000 ao ano 2004. Estas informações indicam que as baleias-jubarte que migram para o nordeste do Brasil, vindas das áreas de concentração ao sul da América do Sul, estiveram expostas às sísmicas marítimas durante sua

migração, podendo apresentar respostas comportamentais que resultem na alteração da direção deste deslocamento.

A pouca divulgação das informações de ocorrência e distribuição das baleias-jubarte nas áreas de realização das sísmicas, tanto na presença quanto a ausência dessa atividade, leva a comunidade científica a associar os encalhes dessas baleias com os efeitos causados por essa atividade naqueles organismos. Este estudo é o primeiro realizado no Brasil que apresenta resultados de distribuição da espécie durante a realização das sísmicas marítimas.

Considerando o aumento nas observações de baleias-jubarte registrado por Martins *et al*. (2004) e corroborado por Rossi-Santos *et al*. (2008), os quais ainda concluíram que as baleias-jubarte estão reocupando as áreas da costa brasileira. Considerando ainda que os resultados aqui apontados não demonstraram relação positiva entre as aquisições sísmicas marítimas e os encalhes de baleias-jubarte, conclui-se que é muito mais provável que o aumento nos encalhes, observado no presente estudo, esteja relacionado com a reocupação da espécie na costa brasileira que com as aquisições sísmicas marítimas ocorridas no mesmo período.

Faz-se necessária a adoção de medidas integradas de gestão entre as empresas de geofísica, as instituições de pesquisa e o órgão ambiental regulador da atividade para que ocorra a avaliação das informações oriundas dos monitoramentos realizados durante as sísmicas imediatamente após o final das expedições com divulgação dos resultados para toda a sociedade visando reduzir as dúvidas sobre o tema. A continuidade das avaliações com o aumento da série histórica dos encalhes e sísmicas ocorridas no Brasil também fornecerão informações mais acuradas sobre o tema.

4. DIVERSIDADE DE CETÁCEOS COMO FERRAMENTA NO MONITORAMENTO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DAS SÍSMICAS MARÍTIMAS

4.1. Introdução

Embora registros de novas espécies ocorram de tempos em tempos, já foram identificadas 119 espécies de mamíferos aquáticos no mundo inteiro (JEFFERSON *et al.*, 1994). Destes, a ordem Cetacea agrupa 84 espécies distribuídas pelos oceanos, rios e estuários, sendo 13 espécies na subordem Mysticeti e 71 na Odontoceti. No Brasil 43 espécies de Cetáceos foram catalogadas, com oito representantes da subordem Mysticeti e 35 Odontoceti (INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS, 2001; PINEDO *et al.*, 2002).

Assim como em outras partes do mundo, no Brasil estes mamíferos aquáticos sofrem efeitos negativos devido à realização de diversas atividades humanas, como a pesca (p. ex., MONTEIRO-NETO *et al.*, 2000; PIZZORNO *et al.*, 1998; ROSAS *et al.*, 2002; SICILIANO, 1994), o turismo (p. ex., LODI *et al.*, 1996; SILVA-Jr, 1996) e mais recentemente têm-se relacionado o encalhe de machos de baleia-jubarte adultos com a realização de prospecções sísmicas (ENGEL *et al.*, 2004). A preocupação com os efeitos das prospecções sísmicas sobre os mamíferos marinhos não é recente (p. ex., GREEN *et al.*, 1994; POPPER *et al.*, 2000; RICHARDSON *et al.*, 1995). Os estudos realizados até o momento demonstraram que os pulsos sonoros emitidos pela atividade sísmica causam efeitos diversificados nas diferentes espécies de cetáceos, provavelmente devido à sensibilidade auditiva, estado comportamental, habituação ou dessensibilização, idade, sexo, local de exposição e proximidade da linha de costa (p. ex., DOLMAN; SIMMONDS, 2003; EVANS *et al.*, 1993; GORDON *et al.*, 2004; MADSEN *et al.*, 2002). As análises estão, no entanto, direcionadas para poucas

espécies, àquelas que ocorrem durante uma prospecção sísmica ou que já possuem uma série histórica de observações (p. ex., GOOLD, 1996; MATE *et al.*, 1994; McCAULEY *et al.*, 2000). Devido à variação do comportamento sonoro com as características ambientais e às tecnologias utilizadas em cada prospecção sísmica, não é adequado extrapolar os resultados obtidos para as demais espécies e regiões do mundo.

A diversidade de espécies tem sido uma excelente ferramenta para a análise de impactos ambientais (p. ex., MYERS, 1989; GASTON, 2000; WEITZMAN, 1993). No entanto, a variação na diversidade de cetáceos em função da intensificação das prospecções sísmicas não tem sido verificada. É possível que tal análise não tenha sido realizada devido a: (1) a dificuldade de uma série histórica de observações com procedimentos padronizados e (2) as pesquisas com cetáceos são direcionadas para as espécies mais comuns em determinadas regiões. Contudo, considerando as diferentes respostas dos cetáceos frente às prospecções sísmicas, é possível que a diversidade de espécies em uma determinada área seja alterada com a intensificação ou redução dessas prospecções. Este estudo pretende avaliar o potencial do uso da diversidade de cetáceos como ferramenta indicativa dos efeitos das sísmicas marítimas neste grupo animal registrado na plataforma continental brasileira entre 1999 e 2004.

4.2. Material e Método

Origem dos dados

As informações sobre a diversidade anual dos cetáceos no Brasil foram obtidas por meio de duas fontes: (1) relatórios de progresso em pesquisas no Brasil publicados pela Comissão Internacional Baleeira (CIB) entre 1999 e 2005, os quais são compilações dos resultados de pesquisas desenvolvidas anualmente no Brasil e enviados à CIB pelo governo brasileiro, e (2) relatórios de observação de cetáceos realizados

durante as sísmicas marítimas ocorridas no mesmo período e disponibilizadas nos arquivos públicos da Coordenação Geral de Petróleo e Gás (CGPEG). Os registros de cetáceos foram obtidos por pesquisadores e observadores através da avistagem desses animais em cruzeiros de observação ao longo de toda a costa do Brasil. Como os dados são originários de diferentes instituições e pesquisadores, sem a padronização dos métodos de coleta, este estudo considerou apenas a presença e ausência das espécies para a análise de agrupamento e número de espécimes para a análise de diversidade. Apesar de esta metodologia ser incomum em estudos com cetáceos, a mesma é recomendada por pesquisadores como uma ferramenta efetiva para estudos ecológicos (LEGENDRE; LEGENDRE, 1998). O período entre 1999 e 2004, utilizado como intervalo da amostra, foi selecionado por coincidir com o crescimento das pesquisas científicas das espécies e as recentes sísmicas marítimas a partir de 1997. Neste ano, o Governo brasileiro publicou o primeiro plano de ação para os mamíferos aquáticos do Brasil (INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS, 1997), garantindo que as alterações na diversidade não são resultantes das variações do esforço amostral.

Os dados das sísmicas marítimas realizadas entre 1999 e 2004 foram extraídos dos relatórios anuais da Agência Nacional do Petróleo e Gás Natural (AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO E GÁS NATURAL, 2005) e complementados com as informações dos relatórios ambientais disponíveis na biblioteca do CGPEG. As informações das sísmicas bidimensionais (2D) e tridimensionais (3D) foram organizadas em planilha eletrônica de maneira que permitiu a avaliação do total de sísmicas realizadas no período conforme tecnologia utilizada.

As informações sobre os parâmetros oceanográficos (temperatura, salinidade e densidade) foram obtidas durante as sísmicas marítimas e do projeto Pirata (*Pilot*

Research Moored Array in the Tropical Atlantic), adquirido através da página de internet do projeto TAO (*Tropical Atmosphere Ocean project*). Estes dados foram utilizados para calcular a média mensal de temperatura (°C), salinidade (PSU) e densidade (kg/m³) à profundidade de 1 metro nas bóias oceanográficas localizadas nas coordenadas 10ºS-10°W.

Análise dos dados

As informações sobre a ocorrência de cetáceos foram organizadas em planilha eletrônica para a elaboração de uma tabela anual de presença e ausência de espécies no Brasil. Esta planilha permitiu a quantificação de espécies registradas no período e a aplicação de índices de diversidade de Shannon-Wiener (H') baseado em Log_2 (SHANNON, 1948).

As tabelas com a lista anual de espécies (presença/ausência), os dados oceanográficos e as sísmicas marítimas anuais foram submetidas à análise de agrupamento utilizando o método de aglomeração por pesos proporcionais e médias aritiméticas (WPGMA), em modo Q, para verificar níveis de similaridade entre os anos de estudo (LEGENDRE; LEGENDRE, 1998). O coeficiente de Dice foi usado para a tabela de espécies de cetáceos e o coeficiente de distância euclidiana foi aplicado aos dados de sísmica marítima e dados oceanográficos. Uma análise cofenética foi também realizada para verificar o percentual de ajuste dos dendrogramas elaborados (DICE, 1945; LEGENDRE; LEGENDRE, 1998; ROHLF; FISHER, 1968).

O teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis foi aplicado sobre o número de sísmicas marítimas em execução por mês, visando verificar as diferenças significativas entre os anos estudados, assim como para analisar as diferenças nos dados oceanográficos no mesmo período. Para comparar a variação dos dados oceanográficos,

o teste Anova foi aplicado na matriz de cada parâmetro (temperatura, salinidade e densidade).

As médias das sísmicas marítimas por mês e os índices de diversidade de cetáceos por ano foram submetidos ao teste não-paramétrico de Spearman para verificar o nível de correlação entre estes. Resultados com $p \leq 0,05$ foram considerados estatisticamente significantes para todos os testes.

4.3. Resultados

Sísmicas marítimas

Ocorreu um total de 103 sísmicas marítimas durante o período analisado, das quais 21 programas utilizaram a tecnologia 2-dimensões (2D) e percorreram uma extensão de 300.388,7km da plataforma continental. As outras 82 sísmicas marítimas utilizaram a tecnologia 3-dimensões (3D), cobrindo uma área de 162.494,1km². O número de sísmicas marítimas em operação ao mês foi maior em 2000 com 43 programas (média=15,2 sísmica/mês; SD=3,4), seguido de 2001 (n=27; média=9,6; SD=7,1), 2002 (n=24; média=6,0; SD=1,1), 2003 (n=20; média=2,8; SD=1,4), 1999 (n=13; média=6,7; SD=5,9) e 2004 (n=13; média=2,1; SD=1,4). A figura 4.1 demonstra a distribuição das sísmicas marítimas ao longo dos anos.

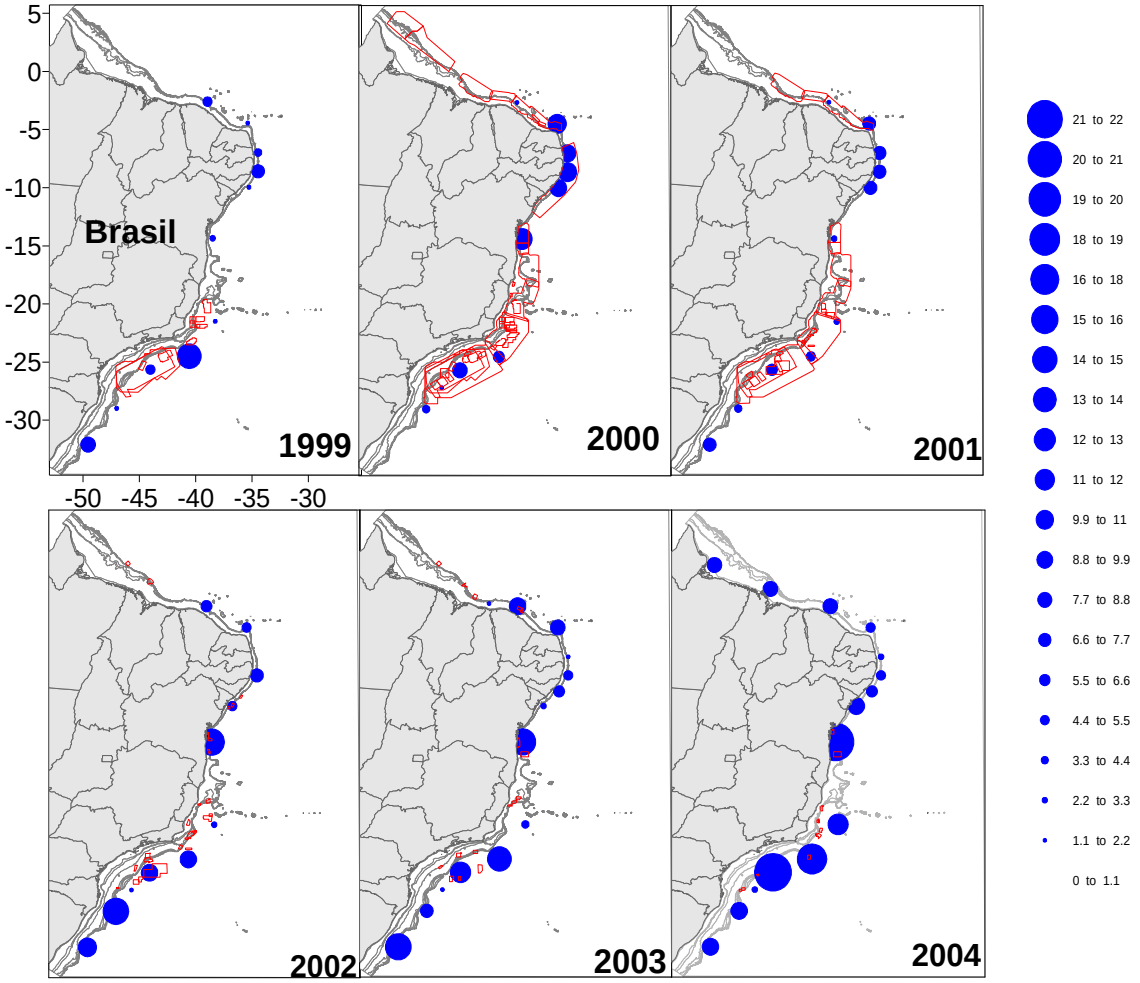


Figura 4.1: Áreas de ocorrência de sísmicas marítimas (vermelho) entre 1999 e 2004 e quantidade de espécies de cetáceos (azul).

A análise de agrupamento do número de sísmicas marítimas em progresso por mês de cada ano demonstrou uma grande similaridade entre os anos 2000 e 2001, quando comparado aos demais anos analisados (Figura 4.2), confirmando a intensificação das prospecções naqueles anos. A análise cofenética indicou um bom ajuste dos dados, explicando 90% das possíveis variações (λ =0,90372). O teste estatístico de Kruskal-Whallis mostrou uma alta diferença significante entre os anos 2000 e 2001 em relação aos demais anos (H=35,74; p=0,000000).

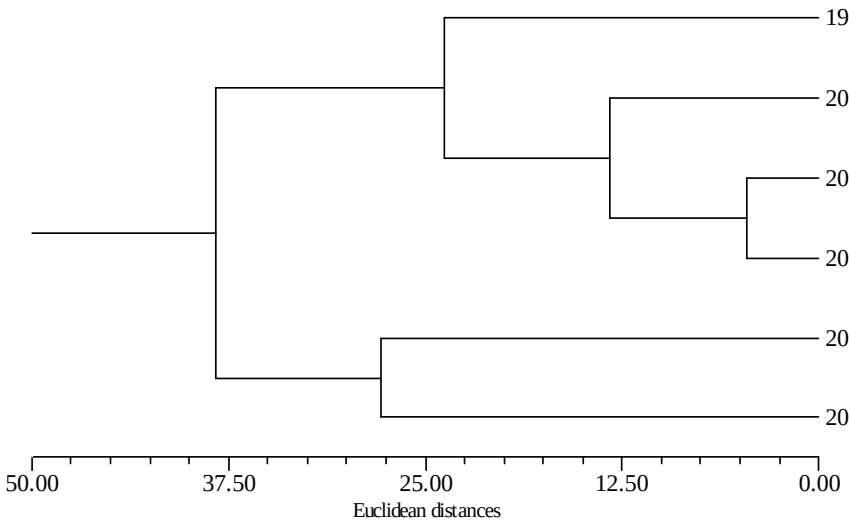


Figura 4.2: Dendrograma em modo Q do número de sísmicas marítimas realizadas simultaneamente por ano (λ = 0,90372).

Diversidade de cetáceos

Das 43 espécies de cetáceos ocorrentes no Brasil, 33 (76,7%) foram registradas entre os anos 1999 e 2004 (Tabela 4.1). Estas incluíram as seguintes famílias: Balaenidae, Balaenopteridae, Delphinidae, Kogiidae, Phocoenidae, Physeteridae, Pontoporiidae e Ziphiidae. Os cetáceos que não foram identificados ao nível taxonômico de espécie não foram considerados no estudo.

O número de espécies variou entre os anos e entre regiões como pode ser observado na figura 4.1. A família Delphinidae foi a principal responsável pela redução no número total de espécies registradas durante os anos 2000 e 2001. A análise de agrupamento das espécies (presentes e ausentes) por ano, incluindo aquelas identificadas no nível taxonômico de gênero, demonstrou uma forte similaridade entre os anos 2000 e 2001, quando comparados aos demais anos avaliados (Figura 4.3), semelhante ao dendrograma resultante das sísmicas marítimas. A análise cofenética demonstrou um bom ajuste dos dados (λ =0,83396) (ROHLF; FISHER, 1968).

Tabela 4.1: Lista de espécies de cetáceos registradas no Brasil entre 1999 e 2004.

Taxonomia
Mysticeti
Balaenopteridae
Balaenoptera acutorostrata Lacépède, 1804
Balaenoptera bonaerensis Burmeister, 1867
Balaenoptera borealis Lesson, 1828
Balaenoptera edeni Anderson, 1879
Balaenoptera physalus (Linnaeus, 1758)
Megaptera novaeangliae (Borowski, 1781)
Balaenidae
Eubalaena australis Desmoulins, 1822
Odontoceti
Delphinidae
*Delphinus capensi*s Gray, 1828
Delphinus delphis Linnaeus, 1758
Feresa attenuata Gray, 1874
Globicephala macrorhynchus Gray, 1846
Globicephala melas (Traill, 1809)
Grampus griseus (Cuvier, 1812)
Lagenodelphis hosei Fraser, 1956
Orcinus orca (Linnaeus, 1758)
Peponocephala electra (Gray, 1846)
Pseudorca crassidens (Owen, 1846)
Sotalia guianensis (van Bénéden, 1864)
Stenella attenuata (Gray, 1846)
Stenella clymene (Gray, 1850)
Stenella coeruleoalba (Meyer, 1833)
Stenella frontalis (Cuvier, 1829)
Stenella longirostris (Gray, 1828)
Steno bredanensis (Cuvier *in* Lesson, 1828)
Tursiops truncatus (Montagu, 1821)
Kogiidae
Kogia breviceps (Blainville, 1838)
Kogia sima (Owen, 1866)
Pontoporidae
Pontoporia blainvillei (Gervais e d'Orbigny, 1844)
Phocoenidae
Phocoena spinipinnis Burmeister, 1865
Physeteridae
Physeter macrocephalus Linnaeus, 1758
Ziphiidae
Berardius arnuxii Duvernoy, 1851
Mesoplodon europaeus (Gervais, 1855)
Ziphius cavirostris Cuvier, 1823

Os índices de diversidade de Shannon-Wiener para o período estudado foram os seguintes: H'=3,178 bits.ind.$^{-1}$ em 1999, H'=2,996 bits.ind.$^{-1}$ em 2000, H'=2,565 bits.ind.$^{-1}$ em 2001, H'=3,296 bits.ind.$^{-1}$ em 2002, H'=3,401 bits.ind.$^{-1}$ em 2003 e H'=3,497 bits.ind.$^{-1}$ em 2004. Estes índices demonstraram uma pequena variação na diversidade de espécies ao ano com uma redução nos anos 2000 e 2001. Quando esses índices de diversidade foram submetidos ao teste de Spearman, junto com as médias das sísmicas marítimas simultâneas por mês de cada ano estudado, o resultado foi significante (r_s = -0,9429; t=-5,9565; p=0,0048) e demonstrou uma correlação negativa.

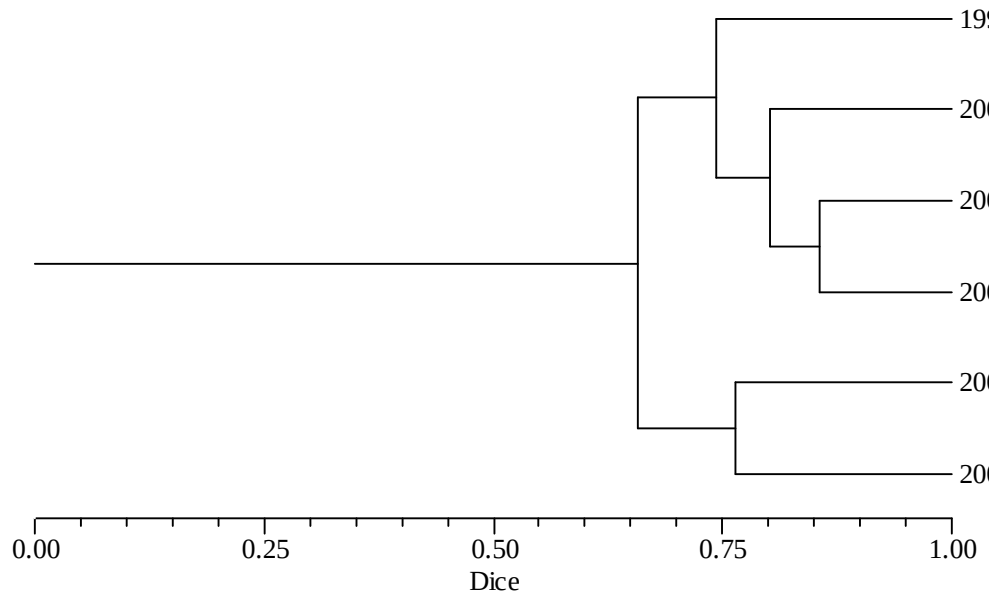


Figura 4.3: Dendrograma em modo Q da presença e ausência de espécies de cetáceos por ano (λ = 0,83396).

Parâmetros oceanográficos

As médias de temperatura, salinidade e densidade da água nos pontos analisados não demonstraram grandes variações ao longo dos anos (Figura 4.4). A temperatura variou de 23,13ºC a 27,35ºC, a salinidade de 36,0 a 36,6PSU e a densidade de 23,5 a 25,0kg/m³. O teste estatístico Anova demonstrou que as variações entre os anos não

foram significantes para os três parâmetros: temperatura (F = 0,1385; p = 0,9807), salinidade (F = 2,2347; p = 0,0604) e densidade (F = 0,3261; p = 0,8954). O agrupamento dos parâmetros oceanográficos é apresentado na figura 4.5. Assim como as demais informações analisadas neste estudo, as análises cofenéticas da densidade, salinidade e temperatura apresentaram bom ajuste dos dados, esclarecendo mais que 80% das possíveis variações (Densidade λ = 0,85788; Salinidade λ = 0,86262; Temperatura λ = 0,84486).

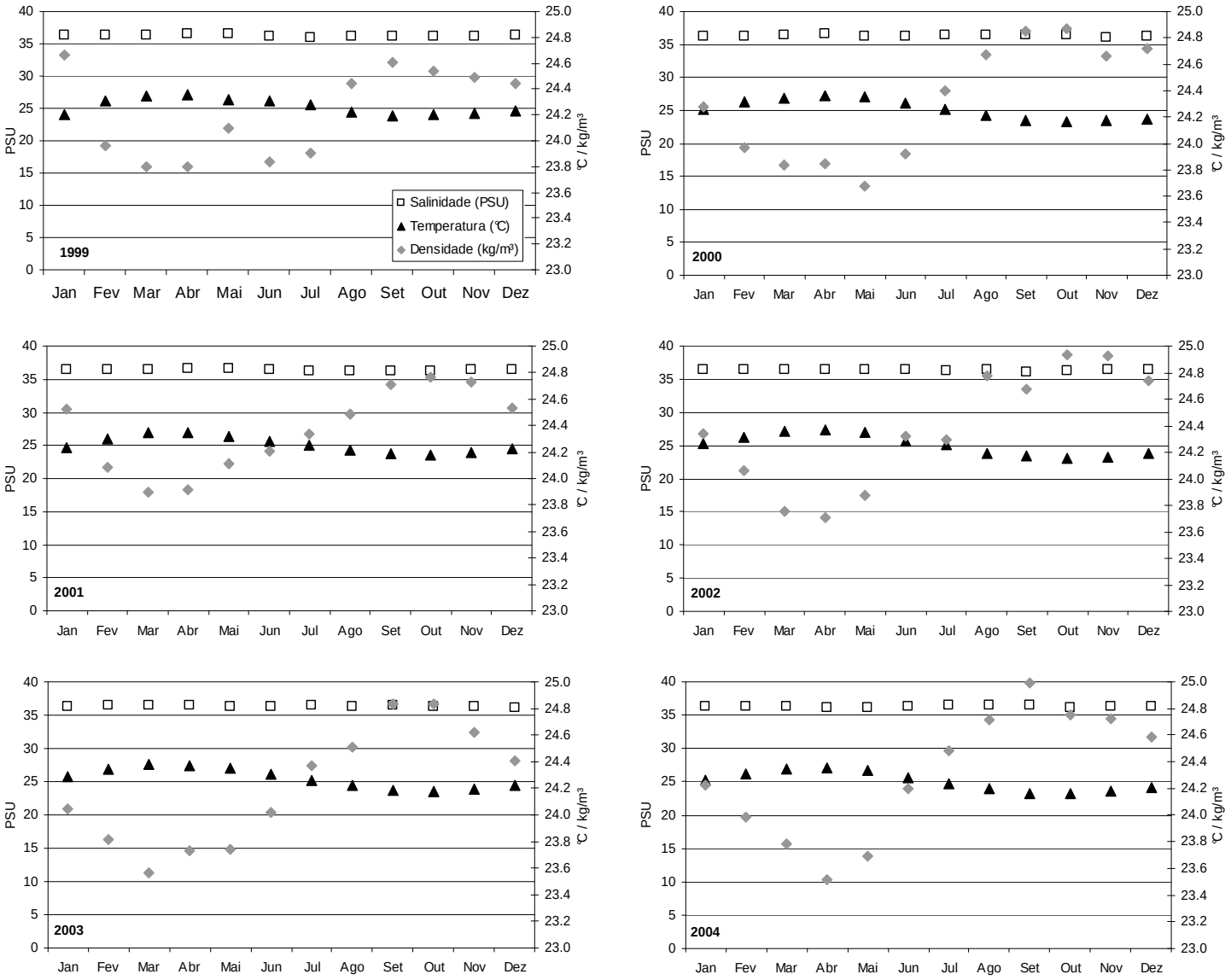


Figura 4.4: Média dos parâmetros oceanográficos durante as sísmicas marítimas e na margem oeste do Oceano Atlântico (10°S-10°W) entre 1999 e 2004 (Salinidade – valores à esquerda, Temperatura e Densidade – valores à direita).

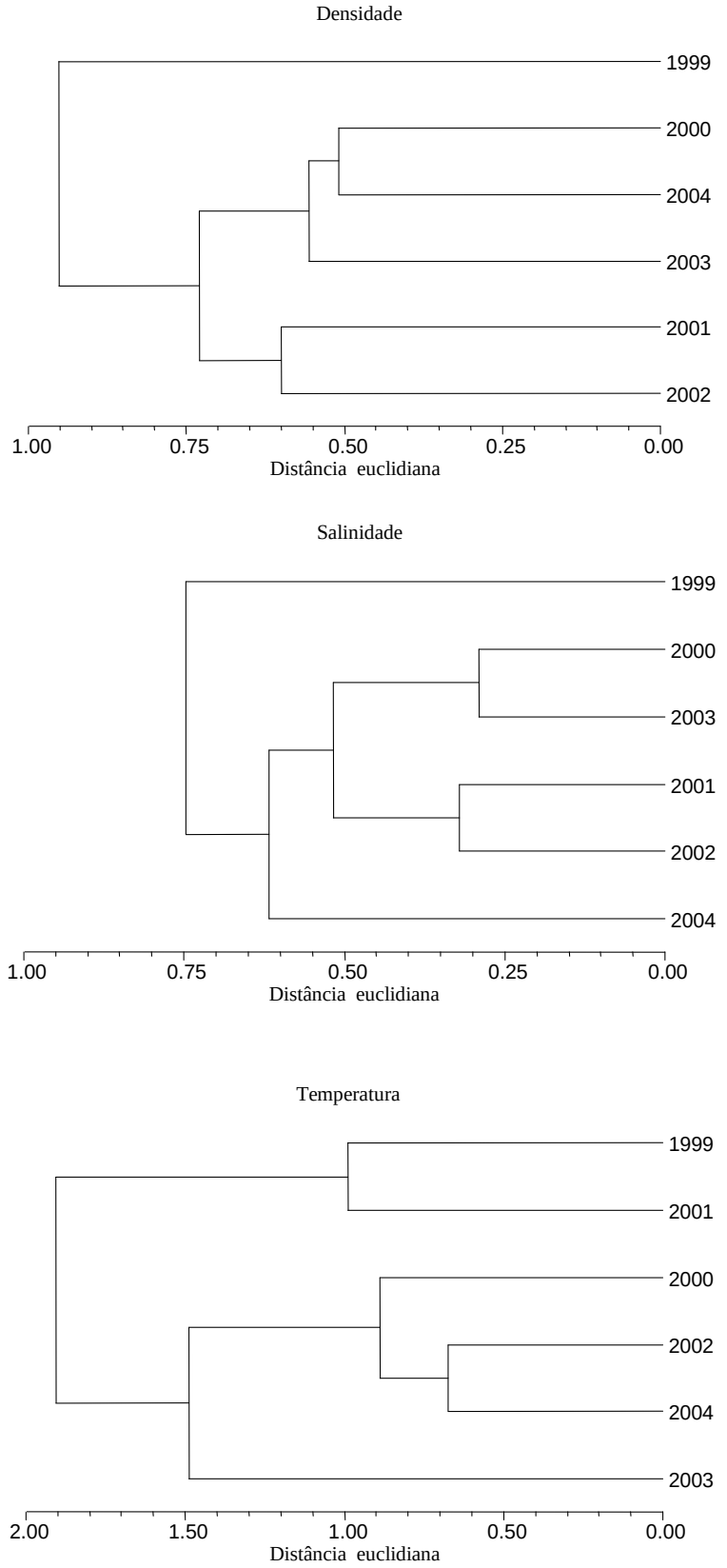


Figura 4.5: Dendrograma em modo Q dos parâmetros oceanográficos por ano (Densidade, Salinidade e Temperatura, de cima para baixo).

4.4. Discussão

O padrão das sísmicas marítimas ocorridas no Brasil está de acordo com a análise realizada por Parente e Araújo (2005), quando foi identificado um rápido crescimento até 2001, com decréscimo da atividade nos anos seguintes. As sísmicas marítimas realizadas em 2004 foram similares àquelas dos anos 2002 e 2003 em termos quantitativos e de tecnologia utilizada. Os programas estenderam-se amplamente ao longo da costa brasileira durante os anos 2000 e 2001. Houve predominância do uso da tecnologia 2-Dimensões naquele período percorrendo grandes extensões, enquanto as sísmicas 3-Dimensões tornaram-se predominantes após 2002 em áreas mais restritas. A introdução de medidas ambientalmente mais restritivas por parte do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama) e o final de longos períodos de pesquisas utilizando a tecnologia 2-Dimensões foram responsáveis pela redução do volume de sísmicas marítimas nos anos recentes.

O controle ambiental exercido pelo governo brasileiro inclui a definição de períodos e zonas de exclusão, bem como a necessidade de realização de estudos ambientais específicos para cada área conforme sua sensibilidade ambiental (VILARDO *et al.*, 2003). O primeiro conceito de área/período de exclusão definido pelo Ibama foi no Banco dos Abrolhos, durante o inverno, devido à importância desta região para a conservação das baleias-jubarte (ENGEL *et al.*, 2004). Esta decisão vem sendo amplamente criticada pelas empresas de geofísica as quais acreditam que tal medida pode reduzir o desenvolvimento da indústria de óleo e gás no Brasil. Como o petróleo acumula-se em bacias sedimentares, as áreas próximas ao Banco dos Abrolhos podem se constituir em uma grande reserva deste recurso. Esta situação requererá do Ibama e da indústria de óleo e gás o desenvolvimento de ferramentas de gestão ambiental que permitam a exploração da área sem interferir no habitat das baleias-jubarte.

Até o momento, o Ibama exige que sejam realizadas observações de mamíferos aquáticos durante as sísmicas marítimas com uso de *airguns*, desligando-os quando as espécies estão próximas em um raio de 500m do navio sísmico (INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS, 2003). Estas observações pouco têm contribuído para o conhecimento da biologia dos cetáceos ou sua conservação (p. ex., GURJÃO *et al.*, 2004). Embora esforços tenham sido investidos na padronização dos procedimentos de observação, os resultados sobre a ocorrência, distribuição e comportamento das espécies identificadas durante as sísmicas marítimas realizadas no Brasil não vêm sendo amplamente disponibilizados para a comunidade científica, como discutido por Parente e Araújo (2005). A disponibilidade destas informações, através de convênios ou editais, poderia acelerar o conhecimento sobre as interfaces da atividade perante as espécies identificadas e resultar na ampliação do conhecimento sobre os reais impactos da atividade e medidas efetivas de amenização.

Sobre o registro de espécies durante o período deste estudo, a consistência das informações foi incrementada com o uso de dados originados das observações de cetáceos realizadas durante as sísmicas marítimas, além daquelas obtidas dos relatórios de progresso em pesquisa enviados para a Comissão Internacional Baleeira (CIB). Esta junção de dados proveu boas informações sobre a ocorrência de cetáceos em águas brasileiras.

A análise de agrupamento referente à diversidade de cetáceos juntou os anos de estudo em dois blocos distintos quanto à similarmente com as sísmicas marítimas. O primeiro destes blocos agrupou os anos 2000 e 2001 como os mais semelhantes, apresentando menor diversidade de cetáceos que os demais anos, quando foram registrados maiores números de espécies.

Considerando que não ocorreram eventos antropogênicos ou ambientais de proporção nacional que justificasse a redução de amostragem no período avaliado e que as informações das observações de cetáceos durante as sísmicas marítimas contribuiu para o conhecimento atual sobre a ocorrência de cetáceos, a variação na diversidade de espécies parece ter sido influenciada principalmente pelo número de espécies consideradas não residentes como: *Globicephala melas*, *Grampus griseus* e *Peponocephala electra*. A maioria das espécies registradas neste estudo são descritas na literatura especializada como espécies cosmopolitas e pan-tropicais (REEVES *et al.*, 2002). O número de espécies costeiras e residentes ao longo da costa brasileira é pequeno. *Sotalia guianensis* e *Tursiops truncatus* são exemplos de espécies com populações residentes com grande diferença nos tamanhos de grupos de acordo com a latitude. Ambas as espécies são encontradas em pequenos grupos nas menores latitudes. Conseqüentemente, o uso de índices de diversidade pode não ser efetivo para verificar a influência das sísmicas marítimas nas espécies de cetáceos presentes em águas rasas entre profundidades de 0 a 100 metros.

O principal grupo de cetáceos que influenciou a diferença na diversidade avaliada neste estudo foi a família Delphinidae. Existem apenas duas fontes de informações publicadas sobre este grupo e sua reação às sísmicas marítimas, envolvendo duas espécies: *Delphinus delphis* (GOOLD, 1996) e *Tursiops truncatus* (EVANS *et al.*, 1993) as quais informam que uma porção das populações se moveu para outras áreas durante as sísmicas marítimas. Outra revisão sugere que estes movimentos podem não ser resultantes exclusivamente de um efeito direto nessas espécies, e sim potencialmente indireto como resultado da redução de presas na área explorada (SIMMONDS *et al.*, 2003). Afastamento e alteração nas rotas migratórias também têm sido observado em outras espécies de cetáceos como *Physeter macrocephalus* (MATE

et al., 1994), *Eschritius robustus* (MALME *et al.*, 1983, 1984 apud RICHARDSON *et al.*, 1995), *Balaena mysticetus* (KOSKI; JOHNSON, 1987 apud RICHARDSON *et al.*, 1995), e *Megaptera novaeangliae* (McCAULEY *et al*., 2000). O possível deslocamento de baleia-fin (*Balaenoptera physalus*) e baleia-sei (*Balaenoptera borealis*) é discutido por MacLeod *et al.* (2006).

Muitos outros fatores biológicos e oceanográficos são conhecidos por afetar a diversidade de espécies nos oceanos. Neste estudo apenas foram considerados dados relacionados às sísmicas marítimas e aos parâmetros oceanográficos. As análises de agrupamento dos parâmetros oceanográficos não foram semelhantes àquelas das duas outras variáveis estudadas. As análises estatísticas dos dados oceanográficos não apresentaram diferenças significativas na comparação entre os anos para os padrões de temperatura, salinidade e densidade, sugerindo que os mesmos não influenciaram na diversidade de cetáceos registrada para a plataforma continental brasileira durante o período estudado. A possibilidade de outros fatores ambientais ou antrópicos terem afetado a diversidade não pode ser inteiramente descartada, apesar de se acreditar que as sísmicas marítimas foram as principais atividades antrópicas incomuns realizadas no período.

Consideráveis variações na presença e ausência de algumas espécies de cetáceos ao longo de um período no Brasil eram esperadas, mas é curioso e potencialmente importante constatar que a análise de agrupamento para cetáceos tenha demonstrado tanta similaridade com a mesma análise para as sísmicas marítimas. Considerando a pouca informação disponível sobre o efeito dos pulsos sonoros emitidos pelos canhões de ar utilizados nas sísmicas marítimas na grande maioria das espécies de cetáceos e a possibilidade desses pulsos causarem afastamento e alterações nas rotas migratórias de algumas espécies de cetáceos, é possível que a redução observada na diversidade de

cetáceos durante os anos 2000 e 2001, tenha sido conseqüência da intensificação das sísmicas marítimas entre os mesmos anos.

Nas áreas próximas à latitude 22ºS foi possível verificar um considerável aumento no número de espécies durante os períodos em que ocorreu pouca ou nenhuma sísmica marítima, enquanto o mesmo não foi observado em latitudes menores, próximas ao equador. Um estudo conduzido nas cadeias meso-oceânicas do Atlântico Norte entre os anos 1999 e 2000 detectou claramente, com uso de hidrofones, pulsos sonoros provenientes de sísmicas marítimas conduzidas no nordeste do Brasil, a uma distância de cerca de 3000km (NIEUKIRK *et al*., 2004). Com base nesta informação e nas análises deste estudo, é possível supor que as sísmicas marítimas que ocorreram ao longo de toda a costa brasileira durante os anos 2000 e 2001 tenham induzido as espécies não residentes a evitarem as águas da plataforma continental brasileira. Esta proposição é suportada pelo resultado do teste de Spearman aplicado neste estudo, o qual demonstrou correlação negativa significante entre a diversidade de cetáceos e as sísmicas marítimas.

Todavia, não é possível estabelecer conclusivamente que as sísmicas marítimas possam diretamente resultar em redução da diversidade. O monitoramento de cetáceos realizado na região nordeste do Brasil entre os anos 2000 e 2001 contribuiu para o aumento de informações sobre a diversidade de cetáceos naquela área. Estudos acústicos e bioacústicos, bem como programas de observações de cetáceos devem ser realizados na plataforma continental brasileira para aprofundar o conhecimento sobre a dispersão dos sons emitidos durante as sísmicas marítimas e sobre a ocorrência de cetáceos nas áreas adjacentes.

Com exceção de um estudo realizado por Parente e Araújo (2005), não existem pesquisas anteriores focando o relacionamento entre as sísmicas marítimas e a

diversidade de cetáceos. A ausência de informações prévias sobre as variações na diversidade de cetáceos impossibilitou a realização de comparações dos resultados encontrados no presente estudo e reforça a necessidade de estender este tipo de análise para outras regiões do planeta. Estes resultados indicam que a diversidade de cetáceos tem potencial como uma boa ferramenta para avaliar a influência das sísmicas marítimas sobre grandes áreas e por longos períodos nas espécies. Por esta razão, recomenda-se que um banco de dados nacional seja desenvolvido no Brasil visando agrupar as informações sobre observações de mamíferos marinhos durante as sísmicas marítimas como forma de prover informações acuradas sobre diversidade, abundância e distribuição das espécies. Este banco de dados poderá auxiliar os pesquisadores e gestores na elaboração de propostas para a gestão ambiental das sísmicas marítimas de forma a reduzir os impactos da atividade sobre os mamíferos aquáticos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise histórica da realização de sísmica marítima no Brasil demonstrou que a atividade não é uma nova ameaça aos cetáceos ocorrentes no país. A atividade está presente desde a década de cinqüenta, tendo oferecido riscos maiores para as espécies costeiras no início das explorações no mar e atualmente para as espécies registradas em águas profundas. Por outro lado, o interesse pelos impactos da atividade nas diversas espécies marinhas é bastante recentes no Brasil, apresentando resultados ainda incipientes quanto aos riscos da sua realização.

O confronto do histórico das sísmicas marítimas com os efeitos identificados para os cetáceos mostrou que, com o avanço da atividade para águas mais profundas nos anos recentes, espécies oceânicas como *Tursiops truncatus*, aquelas do gênero *Stenella* e da subordem Mysticeti tornaram-se mais expostas aos riscos oferecidos pela atividade. A grande concentração de sísmicas marítimas realizadas na região sudeste do Brasil nos anos recentes pode significar um risco maior para as espécies que utilizam aquela região como área de alimentação, descanso, cuidado com filhotes, migração entre outros, devendo a área ser prioritariamente investigada.

As baleias-jubarte, que migram para o Brasil durante o inverno antártico, estiveram submetidas aos efeitos oriundos da realização de sísmicas marítimas. Apesar dessa exposição, não foi possível identificar relação entre a realização da atividade e os encalhes dos espécimes registrados na área estudada. Mesmo sem a identificação destas evidências, as pesquisas devem continuar visando avaliar informações de longo prazo sobre o tema.

Vários aspectos devem ser considerados na utilização dos cetáceos como indicadores dos efeitos das sísmicas marítimas: (1) os efeitos causadores de estresse

estão presentes em vários ambientes e, em muitos casos, estes efeitos não são determinantes para a total extinção das espécies; (2) certos efeitos nocivos, como os sons antropogênicos, agem de maneira lenta e gradativa nos organismos afetados podendo não gerar respostas comportamentais imediatas; e (3) os cetáceos possuem importância ecológica na manutenção dos elos das teias tróficas. Portanto, com base nesses aspectos, verificou-se que os cetáceos podem ser utilizados como indicadores biológicos dos efeitos dos pulsos sonoros gerados nas aquisições sísmicas na vida marinha, desde que os estudos sejam realizados com uma abordagem em níveis de populações ou comunidades e não somente no âmbito comportamental.

Apesar das abordagens populacionais e comunitárias fornecerem respostas lentas, quando comparadas às respostas comportamentais, as primeiras apresentam grande relevância ecológica. Sendo assim, os órgãos reguladores da atividade deveriam atuar de maneira conjunta com as instituições de fomento, incentivando a realização de estudos de longa duração, com metodologia unificada, na plataforma continental brasileira visando identificar efeitos de longo prazo nas populações de cetáceos. Atualmente estes estudos são financiados pelas empresas de exploração e produção de hidrocarbonetos, as quais realizam os monitoramentos e repassam os resultados para o Ibama. Portanto, a escolha dos profissionais que desenvolvem o estudo fica a critério das empresas contratantes, dificultando a padronização das informações e integração dos dados. Estes profissionais deveriam passar por um processo de formação com posterior avaliação que permitiria atestar a capacidade de realização das observações e uniformizar a metodologia de coleta de dados.

Mesmo com a realização de estudos recentes na plataforma continental brasileira, muitas informações ainda continuam ocultas. Por este motivo, os órgãos reguladores da atividade devem programar ou incentivar o desenvolvimento de

ferramentas para a divulgação dos resultados dos monitoramentos realizados, a exemplo do Sistema Integrado de Monitoramento de Mamíferos Aquáticos (SIMMAM). Desta forma será possível a implementação de melhorias na gestão do tema, resultando em avanços no conhecimento sobre os reais impactos da atividade sobre às espécies e oferecendo maior transparência nos processos decisórios relativos às questões ambientais envolvidas no processo de licenciamento.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO E GÁS NATURAL. **Dados não-exclusivos**. 2005. Disponível em: <www.anp.gov.br>. Acesso em: 15 jan. 2005.

ALAVA, J. J.; BARRAGAN, M. J.; CASTRO, C.; CARVAJAL, R. A note on stranding and entanglement of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) in Ecuador. **Journal of Cetacean Research Management**, v. 7, n. 2, p. 163-168, 2005.

ALZUETA, J. C.; FLÓREZ-GONZÁLEZ, L.; FERNÁNDEZ, P. F. Mortality and antropogenic harassment of Humpback whales along the Pacific coast of Colombia. **Memoirs of the Queensland Museum**, v. 47, n. 2, p.547-553, 2001.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE. **Acoustical terminology (ANSI S1.1-1994)**. Acoustical Society of America, Nova York, 1994. Disponível em: <www.ansi.org>. Acesso em: 17 fev. 2005.

ANDREW, R. K.; HOWE, B. M.; MERCER, J. A. Ocean ambient sound: Comparing the 1960s with the 1990s for a receiver off the California coast. **Acoustics Research Letters Online,** v. 3, n. 2, p. 65-70, 2002. Disponível em: <http://scitation.aip.org/getabs/servlet>. Acesso em: 21 jan. 2007.

ANDRIOLO, A.; KINAS, P. G.; ENGEL, M. H.; MARTINS, C. C. A. Monitoring humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) population in the Brazilian breeding ground, 2002-2005. **58ª Comissão Internacional Baleeira**. Ilhas de São Cristóvão e Névis. 2006. Disponível em: <www.iwcoffice.org>. Acesso em: 20 ago. 2006.

ANDRIOLO, A.; MARTINS, C. C. A.; ENGEL, M.; PIZZORNO, J. L.; MÁS-ROSA, S.; FREITAS, A.; MORETE, M. E., PETTA, C. B. ; KINAS, P. G. Aerial survey of humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) to estimate abundance in the breeding ground, Brazil: preliminary results. **54ª Comissão Internacional Baleeira**. Shimonoseki, Japão. 2002. Disponível em: <www.iwcoffice.org>. Acesso em: 01 out. 2002.

AU, W. W. L. **The sonar of dolphins**. Springer, 1993. Disponível em: <books.google.com.br>. Acesso em: 13 dez. 2007.

AU, W. W. L.; NACHTIGALL, P. E.; PAWLOSKI, J. L. Acoustic effects of the ATOC signal (75 Hz, 195 dB) on dolphins and whales. **Journal of the Acoustical Society of America**, v.101, n.5, p. 2973-2977, 1997.

BAKER, C. S.; CLAPHAM, P. J. Modelling the past and future of whales and whaling. **Trends in Ecology and Evolution**, v.19, n.7, p. 365-371, 2004.

BOWLES, A. E.; SMULTEA, M.; WÜRSIG, B.; DEMASTER, D.; PALKA, D. Relative abundance and behavior of marine mammals exposed to transmissions from the Heard Island Feasibility Test. **Journal of the Acoustical Society of America**, v. 96, n.4, p. 2469-2484, 1994.

BRANDÃO, J. A. S.; GUARDADO, L. R. A. A exploração de petróleo no Brasil. In: SCHLUMBERGER. **Searching for oil and gas in the land of giants**. Buenos Aires:Schlumberger, 1998. cap. 1, p. 2-14.

BUTMAN, C. A.; CARLTON, J. T.; PALUMBI, S. R. Whaling effects on deep-sea biodiversity. **Conservation Biology**, v. 9, p. 462-464, 1995.

CLAPHAM, P. J.; MEAD, J. G. *Megaptera novaeangliae*. **Mammalian Species**. v. 604, p. 1-9, 1999.

CROLL, D. A; CLARK, C. P.; CALAMBOKIDIS, J.; ELLISON, W. T.; TERSHY, B. R. Effect of anthropogenic low-frequency noise on the foraging ecology of *Balaenoptera* whales. **Animal Conservation,** v.4, p.13-17, 2001.

DICE, L. R. Measures of the amount of ecologic association between species. **Ecology**, v. 26, p.297-302, 1945.

DOLMAN, S.; SIMMONDS, M. P. Update on the impacts of acoustic pollution: with particular regard to research developments. **55ª Comissão Internacional Baleeira**. Berlim, Alemanha. 2003. Disponível em:<www.iwcoffice.org>. Acesso em: 01 set. 2003.

DOTINGA, H. M.; ELFERINK, A. G. O. Acoustic pollution in the oceans: the search for legal standards. **Ocean Development & International Law**, 31: 151-182, 2000.

ENGEL, M. H. Comportamento reprodutivo da baleia jubarte (*Megaptera novaeangliae*) em Abrolhos. ***Anais de Etologia***, v. 14, p. 275-284, 1996.

ENGEL, M. H.; MARCONDES, M. C. C.; MARTINS, C. C. A.; LUNA, F. O.; LIMA, R. P.; CAMPOS, A. Are seismic surveys responsible for cetacean strandings? An

unusual mortality of adult Humpback whales in Abrolhos Bank, Northeastern coast of Brazil. **56ª Comissão Internacional Baleeira**. Sorento, Itália. 2004. Disponível em: <http://www.marineconnection.org/docs/>. Acesso em: 16 set. 2007.

EVANS, P. G. H.; LEWIS, E. J.; FISHER, P. A study of the possible effects of seismic testing upon cetaceans in the Irish Sea. 35 p. **Report to Marathon Oil United Kingdom**. Sea Watch Foundation, Oxford, UK., UK Ltd, 1993.

FAINSTEIN, R.; SOUZA-FILHO, R. G. **Offshore Brazil 2005** - Regional Update and Future Exploration. SEG/Houston 2005 Annual Meeting. Houston, p. 829-832, 2005.

FINDLAY, K. P. A review of humpback whale catches by modern whaling operations in the Southern Hemisphere. **Memoriam of the Queensland Museum**, v. 47, n. 2, p. 411-420, 2001.

FINNERAN, J. J.; SCHLUNDT, C. E.; DEAR, R.; CARDER, D. A.; RIDGWAY, S. H. Temporary shift in masked hearing thresholds in odontocetes after exposure to single underwater impulses from a seismic watergun. **Journal of the Acoustical Society of America**, v.111, n.6 p. 2929-2940, 2002.

FORD, J. K. B.; ELLIS, G. M.; MATKIN, D. R.; BALCOMB, K. C.; BRIGGS, D.; MORTON, A. B. Killer whale attacks on minke whales: prey capture and antipredator tactics. **Marine Mammal Science**, v. 21, n. 4, p. 603–618, 2005.

GAILEY, G.; WÜRSIG, B.; MCDONALD, T. L. Abundance, behavior, and movement patterns of western gray whales in relation to a 3-D seismic survey, Northeast Sakhalin Island, Russia. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 134, n. 1-3, p. 75-91, 2007.

GASTON, K. J. Global patterns in biodiversity, **Nature**. v.405, p.220-227, 2000.

GERACI, J. R.; ANDERSON, D. M.; TIMPERI, R. J.; St. AUBIN, D. J.; EARLY, G. A.; PRESCOTT, J. H. ; MAYO, C. A. Humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) fatally poisoned by dinoflagellate toxin. **Canadian Journal of Fishery and Aquatic Sciences**, Canadá, v. 46, p. 1895-1898, 1989.

GERACI, J. R.; LOUNSBURY, V. J. **Marine mammals ashore: a field guide for strandings**. Texas: A&M Sea Grant Publication, Galveston, 1993. 305p.

GISINER, R. C. **Proceedings of the Workshop on the Effects of Anthropogenic Noise in the Marine Environment**. 10-12 de fevereiro de 1998, Marine Mammal Science Program, Office of Naval Research, USA, Disponível em: <http://www.onr.navy.mil/sci_tech/engineering/onrpgank.htm>. 1998. Acesso em: 30 set. 1999.

GOOLD, J. C. Acoustic assessment of populations of common dolphin *Delphinus delphis* in conjunction with seismic surveying. **Journal of Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 76, p. 811-820, 1996.

GOOLD, J. C.; WHITEHEAD, H.; REID, R. J. North Atlantic sperm whale, *Physeter macrocephalus*, strandings on the coastlines of the British Isles and Eastern Canada. **Cananadian Field-Naturalist**, v.116, p.371-388, 2002.

GORDON, J.; GILLESPIE, D.; POTTER, J.; FRANTZIS, A.; SIMMONDS, A. P., SWIFT, R.; THOMPSON, D. A review of the effects of seismic surveys on marine mammals. **Marine Technology Society Journal**, v. 37, p.16-34, 2004.

GREEN, D. M.; DeFERRARI, H. A.; McFADDEN, D.; PEARSE, J. S.; POPPER, A. X., RICHARDSON, W. J.; RIDGWAY, S. H.; TYACK, P. L. Low frequency sound and marine mammals: current knowledge and research needs. **National Research Council Washington DC Report**. Washington, D.C., USA: National Academy Press, 88p.1994.

GUARDADO, L. R.; SCHMIDT, J.; TASSINI, J. Reflections on geophysics in Brazil. **The Leading Edge**, v.18, n.7, p. 812-817, 1999.

GURJÃO, L. M.; FREITAS, J. E. P.; ARAÚJO, D. S. Sightings of dolphins during seismic surveys on the coast of Bahia State, Brazil. **Latin American Journal of Aquatic Mammals**, v. 3, n. 2, p. 171-175, 2004.

HILTON-TAYLOR, C. (Org.) **2000 IUCN Red List of Threatened Species**. IUCN, Gland, Swizerland and Cambridge, UK. 61 pp+xviii. 2000. Disponível em: <http://www.iucnredlist.org/search/details.php/19488/all>. Acesso em: 08 mar. 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Mamíferos Aquáticos do Brasil**: Plano de Ação. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – Brasília: Edições Ibama, 80 p. 1997.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Mamíferos Aquáticos do Brasil**: Plano de Ação, versão II. 2ª Ed. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – Brasília, Brasil. 102 p. 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Impactos da atividade de prospecção sísmica marítima**. Informação ELPN/IBAMA Nº 012/03. Rio de Janeiro, Brasil, 2003. 66p. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br>. Acesso em: 12 de mar de 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Protocolo de conduta para encalhes de mamíferos aquáticos**. Rede de Encalhes de Mamíferos Aquáticos do Nordeste. Recife: Ibama. 2005. 298 p. Disponível em: < http://www.ibama.gov.br/cma>. Acesso em: 14 de set de 2007.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF GEOPHYSICAL CONTRACTORS. **Further analysis of 2002 Abrolhos Bank, Brazil Humpback whale strandings coincident with seismic surveys**. 2004. Houston, Texas, USA. 7pp+II. Disponível em: <http://www.iagc.org.>. Acesso em: 12 mar. 2006.

INTERNATIONAL WHALE COMMISSION. 2005. **Documents to download**. Disponível em: <http://www.iwcoffice.org/_documents/docmain.htm>. Acesso em: 24 mai. 2005.

JEFFERSON, T. A.; LEATHERWOOD, S.; WEBBER, M. A. **Marine mammals of the World**: FAO species identification guide. FAO/UNEP. 1994. Disponível em: <www.fao.org/documents.html>. Acesso em: 25 abr. 2004.

JEPSON, P. D.; ARBELO, M.; DEAVILLE, R.; PATTERSON, I. A. P.; CASTRO, P.; BAKER, J. R.; DEGOLLADA, E.; ROSS, H. M.; HERRÁEZ, P.; POCKNELL, A. M.; RODRÍGUEZ, F.; HOWIE, F. E.; ESPINOSA, A.; REID, R. J.; JABER, J. R.; MARTIN, V.; CUNNINGHAM, A. A.; FERNÁNDEZ, A. Gas-bubble lesions in stranded cetaceans: Was sonar responsible for a spate of whale deaths after an Atlantic military exercise? **Nature**, v.425, p. 575, 2003.

JOHNSON, S. R.; RICHARDSON, W. J.; YAZVENKO, S. B.; BLOKHIN, S. A.; GAILEY, G.; JENKERSON, M. R.; MEIER, S. K.; MELTON, H. R.; NEWCOMER, M. W.; PERLOV, A. S.; RUTENKO, S. A.; WÜRSIG, B.; MARTIN, C. R.; EGGING, D. E. A western gray whale mitigation and monitoring program for a 3-D seismic survey, Sakhalin Island, Russia. **Environmental Monitoring and Assessment,** v.134, n.1-3, p. 1-19, 2007.

JONES, E. J. W. **Marine geophysics.** John Wiley & Sons Ltd. Chichester. England: West Sussex, 464p, 1999.

KASTELEIN, R. A.; HAGEDOOM, M.; AU, W. W. L.; HAAN, D. Audiogram of a striped dolphin (*Stenella coeruleoalba*). **Journal of the Acoustical Society of America**, v. 113, n. 2, p. 1130-1137, 2003.

KEEVIN, T. M.; HEMPEN, G. L. **The environmental effects of underwater explosions with methods to mitigate impacts.** U.S. Army Corps of Engineers, St. Louis, Missoury, August 1997. Disponível em: < http://www.catseyeservices.com/ Handbooks/cd/references/061.html>. Acesso em 18 dez. 2006.

KLINOWSKA, M. Cetacean 'navigation' and the geomagnetic field. **Journal of Navigation**, v. 41, p.52-71, 1988.

LAIST, D. W.; KNOWLTON, A. R.; MEAD, J. G.; COLLET, A. S.; PODESTA, M. Collisions between ships and whales. **Marine Mammal Science**, v. 17, n. 1, p. 35-75, 2001.

LAMBERTSEN, R. H. Natural disease problems of the sperm whales. **Biologie**, v. 67, Suplemento, p. 105-112, 1997.

LEGENDRE, P.; LEGENDRE, L. **Numerical ecology.** 2 ed. English edition. 853p. Developments in Environmental Modelling, 20, New York: Elsevier, 1998.

LEITE, A. D. **A energia do Brasil**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira. 1997. 528 p.

LJUNGBLAD, D. K.; WÜRSIG, B.; SWARTZ, S. L.; KEENE, J. M. Observations on the behavioral responses of bowhead whales (*Balaena mysticetus*) to active geophysical vessel in the Alaskan Beaufort Sea. **Artic**, v.41, n. 3, p.183-194, 1988.

LODI, L.; SICILIANO, S.; BELLINI, C. Ocorrência e conservação da baleia-franca-do-sul, *Eubalaena australis*, no litoral do Brasil. **Papéis Avulsos de Zoologia do Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo**, v. 39, n.17, p. 307-328, 1996.

MACLEOD, K.; SIMMONDS, M. P.; MURRAY, E. Abundance of fin (*Balaenoptera physalus*) and sei whales (*Balaenoptera borealis*) amid oil exploration and development off northwest Scotland. **Journal of Cetacean Research and Management**, v. 8, n.3 p. 247-254, 2006.

MADSEN, P. T.; JOHNSON, M.; MILLER, P. J. O.; SOTO, N. A.; LYNCH, J.; TYACK, P. Quantitative measures of air-gun pulses recorded on sperm whales (*Physeter macrocephalus*) using acoustic tags during controlled exposure experiments. **Journal of the Acoustical Society of America**, v.120, n. 4, p. 2366-2379, 2006.

MADSEN, P. T.; MØHL, B.; NIELSEN, B. K.; WAHLBERG, M. Male sperm whale behaviour during exposures to distant seismic survey pulses. **Aquatic Mammals**, v.28, n.3, p. 231-240, 2002.

MALAKOFF, D. Seismology: suit ties whale deaths to research cruise. **Science**, v. 298, n. 25, p. 722-723, 2002.

MALME, C. I.; WÜRSIG, B.; BIRD, J. E.; TYACK, P. **Behavioral responses of gray whales to industrial noise: feeding observations and predictive modeling**. BBN Labs., Cambridge, Massachusetts, EUA. Relatório Técnico n. 6265, 1986. 206 p.

MARTINS, C. C. A.; ADRIOLO, A.; ENGEL, M. H.; KINAS, P. G. ; SAITO, C. H. The use of aerial surveys to investigate the humpback whale distribution in the Brazilian breeding ground. **56ª Comissão Internacional Baleeira**. Sorento, Itália. 2004. Disponível em: <www.iwcoffice.org>. Acesso em: 12 dez. 2004.

MARTINS, C. C. A.; MORETE, M. E.; ENGEL, M. H.; FREITAS, A., SECCHI, E. R.; KINAS, P. G. Aspects of habitat use patterns of humpback whales in the Abrolhos bank, Brazil, breeding ground. ***Memoirs of the Queensland Museum***, v. 47, n. 2, p. 563-570, 2001.

MATE, B. R.; STAFFORD, K. M.; LJUNGBLAD, D. K. A change in sperm whale (*Physeter macrocephalus*) distribution correlated to seismic surveys in the Gulf of Mexico. **Journal of the Acoustical Society of America,** v. 96, n.5, p.3268-3269, 1994.

McCAULEY, R. D.; FEWTRELL, J.; DUNCAN, A. J.; JENNER, C.; JENNER, M-N.; PENROSE, J. D.; PRINCE, R. I. T.; ADHITYA, A.; MURDOCH, J.; McCABE, C. Marine Seismic Surveys: a study of environmental implications. **Australian Petroleum Production and Exploration Association Journal**, v. 40, p.692-708, 2000.

McCAULEY, R. D.; JENNER, M-N.; JENNER, C.; McCABE, C.; MURDOCH, J. The response of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) to offshore seismic survey noise: preliminary results of observations about a working seismic vessel and experimental exposures. **Australian Petroleum Production and Exploration Association Journal**, p. 692-706, 1998.

McDONALD, M. A.; HILDEBRAND, J. A.; WEBB, S. C. Blue and fin whales observed on a seafloor array in the Northeast Pacific. **Journal of the Acoustical Society of America**, v. 98, p. 712-721, 1995.

MENDONÇA, P. M. M.; SPADINI, A. R.; MILANI, E. J. Exploração na Petrobras: 50 anos de sucesso. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v.12, n.1, p. 9-58, 2004.

MILANI, E. J.; BRANDÃO, J. A. S. L.; ZALÁN, P. V.; GAMBOA, L. A. P. Petróleo na margem continental brasileira: geologia, exploração, resultados e perspectivas. **Revista Brasileira de Geofísica,** v.18, n.3, p. 352-396, 2000.

MONTEIRO-NETO, C., ALVES-JUNIOR, T. T., ÁVILA, F. J. C., CAMPOS, A. A., COSTA, A. F., SILVA, C. P. N.; FURTADO-NETO, M. A. A. Impact of fisheries on the tucuxi (*Sotalia fluviatilis*) and rough-toothed dolphin (*Steno bredanensis*) populations off Ceará State, northeastern Brazil. **Aquatic Mammals**, v.26, n.1, p. 49-56, 2000.

MORETE, M. E.; PACE, R.; MARTINS, C.; FREITAS, A. ; ENGEL, M. Indexing seasonal abundance of humpback whales around Arquipélago dos Abrolhos, Bahia, Brazil. **The Latin American Journal of Aquatic Mammals**, v. 2, n.1, p. 21-28, 2003.

MYERS, N. Loss of biological diversity and its potential impact on agriculture and food production. In: PIMENTEL, D.; HALL, C.W. (Eds.) **Food and Natural Resources.** San Diego: Academic Press. 1989, p.49-68.

NACHTIGALL, P. E.; LEMONDS, D. W.; ROITBLAT, H. L. Psychoacoustic studies of dolphin and whale hearing. In: W. W. L. AU; POPPER, A.N.; FAY, R.R. (Eds.). **Hearing by Whales and Dolphins**, Nova Iorque: Springer-Verlag, 2000, p. 330-364.

NATIONAL RESEARCH CONCIL. **Low-frequency sound and marine mammals: current knowledge and research needs**. Academic Press. Washington, DC. 146 p., 1994.

NATIONAL RESEARCH CONCIL. **Ocean noise and marine mammals**. Academic Press. Washington, DC. 208 p. 2003. Disponível em: <http://books.nap.edu>. Acesso em: 5 maio 2004.

NIEUKIRK, S. L.; STAFFORD, K. M.; MELLINGER, D. K.; DZIAK, R. P.; FOX, C. G. Low-frequency whale and seismic airgun sounds recorded in the mid-Atlantic Ocean. **Journal of the Acoustical Society of America**, v. 115, n.4, p.1832-1843, 2004.

NOWACEK, D. P.; THORNE, L. H.; JOHNSTON, D. W.; TYACK, P. L. Responses of cetaceans to anthropogenic noise. **Mammal Review**, v. 37, n. 2 p. 81-115, 2007.

PARENTE, C. L. **Monitoramento de mamíferos marinhos durante estudos sísmicos no nordeste do Brasil.** 2005. 71f.Dissertação (Mestrado em Oceanografia) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil. 2005.

PARENTE, C. L.; ARAÚJO, J. P.; ARAÚJO, M. E. Diversity of cetaceans as tool in monitoring environmental impacts of seismic surveys. **Biota Neotropica**, v. 7, n.1, bn0050701 007. 2007. Disponível em: <http://www.biotaneotropica.org.br>. Acesso em 15 jun. 2007.

PARENTE, C. L.; ARAÚJO, M. E. Is the diversity of cetaceans in Brazil reduced by the intensification of the seismic surveys? **56ª Comissão Internacional Baleeira**. Ulsan, Coréia, 2005. Disponível em:<www.iwcoffice.org>. Acesso em: 23 jul. 2005.

PARENTE, C. L.; FURTADO-NETO, M. A. A.; ALVES, M. I. M.; MONTEIRO-NETO, C. Estudo da morfologia dos ossos tímpano-peróticos de cetáceos da sub-ordem Odontoceti (Mammalia, Cetacea). **Arquivo de Ciências do Mar**, v. 32, p. 103-110, 1999.

PINEDO, M. C. A note on a stranding of the Humpback Whale on the southern coast of Brazil. **Scientific Report of Whales Research Institute**, v. 36, p.165-168, 1985.

PINEDO, M. C.; BARRETO, A. S.; LAMMARDO, M. P.; ANDRADE, A. L. V.; GERACITANO, L. Northernmost records of the spectacled porpoise, Layard's beaked whale, Commerson's dolphin, and Peale's dolphin in the southwestern Atlantic Ocean. **Aquatic Mammals**, v. 28, n.1, p.32-37, 2002.

PIZZORNO, J. L. A.; BRITO-JR., J. L.; DORNELES, P. R.; AZEVEDO, A. F.; GURGEL, I. M. G. N. Review of strandings and additional information on Humpback Whales, *Megaptera novaeangliae*, in Rio de Janeiro, Southeastern Brazilian coast (1981-1997). **Reports of International Whaling Commission**, v. 48, p. 443-446, 1998.

PIZZORNO, J. L. A.; DORNELES, P. R.; LAILSON-BRITO-JR, J.; AZEVEDO, A. F.; GURGEL, I. M. G. N. Additional information on humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) in the southeastern Brazilian coast. **Report of the International Whaling Commission**, v. 48, p. 443-446, 1998.

POPPER, A. X.; DeFERRARI, H. A.; DOLPHIN, W. F.; EDDS-WALTON, P. L.; GREVE, G. M.; MCFADDEN, D.; RHINES, P. B.; RIDGWAY, S. H.; SEYFARTH, R. M.; SMITH, S. L.; TYACK, P. L. **Marine mammals and low frequency sound**. (NRC report), Washington, D.C.: National Academy Press, USA. 146p. 2000.

POSSATO, S.; MARROQUIM, M. ANP: a new age for geophysics in Brazil. **The Leading Edge**, v.18, n.7, p.798-799, 1999.

POTTER, J. R. A possible mechanism for acoustic triggering of decompression sickness symptoms in deep-diving marine mammals. **Underwater Technology 2004**, 19-23 de abril de 2004, Taipei, Taiwan. 2004. Disponível em: <www.arl.nus.edu.sg/web/pub>. Acesso em: 15 jun. 2005.

RABIN, L. A.; McCOWAN, B.; HOOPER, S. L.; OWINGS, D. H. Anthropogenic noise and its effect on animal communication: an interface between comparative psychology and conservation biology. **International Journal of Comparative Psychology**, v.16, p. 172-192, 2003.

REEVES, R. R.; STEWART, B. S.; CLAPHAM, P. J.; POWELL, J. A. **Guide to marine mammals of the world**. New York: Chanticleer press. 527p. 2002.

RICHARDSON, W. J.; GREENE-JR., C. R.; MALME, C. I.; THOMSON, D. H. (Eds.) 1995. **Marine mammals and noise**. San Diego, California: Academic press, USA. 576p.

RICHARDSON, W. J.; WÜRSIG, B. E. Influences of man-made noise and other human actions on cetacean behavior. **Marine and Freshwater Behavior and Physiology**, v. 29, n. 1-4, p. 183-209, 1997.

RICHARDSON, W. J.; WÜRSIG, B.; GREENE-JR., C. R. Reactions of bowhead whales, *Balaena mysticetus*, to seismic exploration in the Canadian Beaufort Sea. **Journal of the Acoustical Society of America**, v.79, n. 4, p.1117-1128, 1986.

ROHLF, F. J.; FISHER, D. L., Test for hierarchical structure in random data sets. **Systematic Zoology**, v.17, p.407-412, 1968.

ROMANO, T. A.; KEOGH, M. J.; KELLY, C.; FENG, P.; BERK, L.; SCHLUNDT, C. E.; CARDER, D. A.; FINNERAN, J. J. Anthropogenic sound and marine mammal health: measures of the nervous and immune systems before and after intense sound exposure. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 61, n.7, p. 1124-1134, 2004.

ROSAS, F. C. W.; MONTEIRO-FILHO, E. L. A.; OLIVEIRA, M. R. Incidental catches of franciscana (*Pontoporia blainvillei*) on the southern coast of São Paulo state and the coast of Paraná state, Brazil. **The Latin American Journal of Aquatic Mammals**. v. 1, n. 1, p. 153-160. 2002.

ROSS, C. P.; ALTAN, M. S. Time-lapse seismic monitoring: some shortcomings in nonuniform processing. **The Leading Edge**, v.16, n.6, 931-937, 1997.

ROSS, P. S.; ELLIS, G. M.; IKONOMOU, M. G.; BARRETT-LENNARD, L. G.; ADDISON, R. F. High PCB concentrations in free-ranging Pacific killer whales, *Orcinus orca*: affects of age, sex and dietary preference. **Marine Pollution Bulletin**, v. 40, p. 504-515, 2000.

ROSSI-SANTOS, M. R.; NETO, E. S.; BARACHO, C. G.; CIPOLOTTI, S. R.; MARCOVALDI, E.; ENGEL, M. H. Occurrence and distribution of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) on the north coast of the State of Bahia, Brazil, 2000-2006. **ICES Journal of Marine Science**, v. 65, p. 667-673, 2008.

ROUSSEL, E. Disturbance to Mediterranean cetaceans caused by noise. In: NOTARBARTOLO DI SCIARA, G. (Ed.), **Cetaceans of the Mediterranean and Black Seas:** state of knowledge and conservation strategies. ACCOBAMS Secretariat. Monaco. s. 13, 2002. 18p.

SEVERO, M. M.; BARRAGANA, M.; COSTA, A. F.; MARINHO, A. C. C.; TANNÚS, R. M. Encalhe de uma baleia Jubarte (*Megaptera novaeangliae*) na Praia da Pedra do Sal em Parnaíba-Pi.In: Encontro Nacional sobre Conservação e Pesquisa de Mamíferos Aquáticos– ENCOPEMAQ, 3., 2004.Itaparica. **Anais**... Itaparica, 2004.

SHANNON, C.E. A mathematical theory of communication. **Bell System Technical Journa**l, v. 27, p.379-423, 1948.

SICILIANO, S. **Características da população de Baleias-Jubarte (*Megaptera novaeangliae*) na costa brasileira, com especial referência aos Bancos de Abrolhos**. 1997. 113f. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, Brazil. 113 p. 1997.

SICILIANO, S. Review of small cetaceans and fishery interactions in coastal waters of Brazil. **Report of the International Whaling Commission**, v. 15, p. 241-250, 1994.

SILVA-JÚNIOR, J. M. **Aspectos do comportamento do golfinho-rotador*, Stenella longirostris* (Gray, 1828), no Arquipélago de Fernando de Noronha**. 1996. 131f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco, 1996.

SIMMONDS, M. P. The meaning of cetacean strandings. **Bulletin Institut Royal de Sciences Naturelles de Belgique Biologie**, v. 67(Suplemento), p. 29-34, 1997.

SIMMONDS, M. P.; DOLMAN, S. J.; WEILGART, L. S. (Eds) **Oceans of noise**: A WDCS scientific report. 2003. A report of the Whale and Dolphin Conservation Society. 164p. Disponível em: <http://www.wdcs.org>. Acesso em: 29 fev. 2004.

SOUTHALL, B. L.; BOWLES, A. E.; ELLISON, W. T.; FINNERAN, J. J.; GENTRY, R. L.; GREENE-JR., C. R.; KASTAK, D.; KETTEN, D. R.; MILLER, J. H.; NACHTIGALL, P. E.; RICHARDSON, W. J.; THOMAS, J. A.; TYACK, P. L. Marine mammal noise exposure criteria: initial scientific recommendations. **Aquatic Mammals**, v. 33, n. 4, p. 411-521, 2007.

SOUZA, J. M. Mar territorial, zona econômica exclusiva ou plataforma continental? **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 17, n.1, p. 79-82, 1999.

STONE, C. J; TASKER, M. L. The effects of seismic airguns on cetaceans in UK waters. **Journal of Cetacean Research and Management**, v. 8, n.3, p. 255-263, 2006.

SUPIN, A. Y.; POPOV, V. V.; MASS, A. M. **The sensory physiology of aquatic mammals**. Kluwer, Boston. Springer, 344p. 2001.

TODD, S.; STEVICK, P.; LIEN, J.; MARQUES, F.; KETTEN, D. Behavioural effects of exposure to underwater explosions in humpback whales (*Megaptera novaeangliae*). **Canadian Journal of Zoology**, v. 74, p.1661-1672, 1996.

VILARDO, C.; FONTANA, A.; SERRÃO, M.; BRAVO, L.; BARBOZA-FILHO, J. C.; CAMPOS, A. N. Impactos ambientais da atividade de sísmica marítima e o licenciamento ambiental federal.In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 6, Capítulo III: Ecossistemas aquáticos, costeiros e continentais, Fortaleza, Ceará, **Anais...** Fortaleza. 2003. p. 240-241.

WEINRICH, M. Behaviour of a humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) upon entanglement in a gill net. **Marine Mammal Science**, v. 15, n. 2, p. 559-563, 1999.

WEITZMAN, M. What to preserve? An application of diversity theory to crane conservation. **Quaterly Journal of Economics**, v.108, p.155-183, 1993.

WILEY, D. N.; ASMUTIS, R. A.; PITCHFORD, T. D.; GANNON, D. P. Stranding and mortality of humpback whales, *Megaptera novaeangliae*, in the mid-Atlantic and southeast United States, 1985-1992. **Fishery Bulletin**, v. 93, p.196-205, 1994.

YAZVENKO, S. B.; McDONALD, T. L.; BLOKHIN, S. A.; JOHNSON, S. R.; MEIER, S. K.; MELTON, H. R.; NEWCOMER, M. W.; NIELSON, R. M.; VLADIMIROV, V. L.; WAINWRIGHT, P. W. Distribution and abundance of western gray whales during a seismic survey near Sakhalin Island, Russia. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 134, n.1-3, p. 45-73, 2007a.

YAZVENKO, S. B.; McDONALD, T. L.; BLOKHIN, S. A.; JOHNSON, S. R.; MELTON, H. R.; NEWCOMER, M. W.; NIELSON, R.; WAINWRIGHT, P. W. Feeding of western gray whales during a seismic survey near Sakhalin Island, Russia. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 134, n.1-3, p. 93-106, 2007b.

ZERBINI, A. N.; ANDRIOLO, A.; ROCHA, J. M.; 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 Managements**, v. 6, n.1, p.101-107, 2004.