

TESE

Emissões acústicas de baleia-de-Bryde (*Balaenoptera edeni*) e de golfinho-comum (*Delphinus* sp.) na região do Cabo Frio, RJ.

Luciana Duarte de Figueiredo

2014



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE BIOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA ANIMAL**

**EMISSÕES ACÚSTICAS DE BALEIA-DE-BRYDE (*Balaenoptera edeni*) E
DE GOLFINHO-COMUM (*Delphinus* sp.) NA REGIÃO DO CABO FRIO,
RJ.**

LUCIANA DUARTE DE FIGUEIREDO

Sob orientação da professora
Sheila Marino Simão

Tese submetida como requisito
parcial para obtenção do grau de
Doutor em Ciências, no Programa de
Pós-Graduação em Biologia Animal.

Seropédica, RJ
Junho de 2014

599.5098153

F475e Figueiredo, Luciana Duarte de, 1974-

T Emissões acústicas de baleia-de-Bryde (*Balaenoptera edeni*) e de golfinho-comum (*Delphinus* sp.) na região do Cabo Frio, RJ. / Luciana Duarte de Figueiredo - 2014.

71 f.: il.

Orientador: Sheila Marino Simão.

Tese (doutorado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Biologia Animal.

Bibliografia: f. 65-71.

1. Cetáceo - Vocalização - Cabo Frio (RJ) - Teses. 2. Baleia - Vocalização - Cabo Frio (RJ) - Teses. 3. Golfinho - Vocalização - Cabo Frio (RJ) - Teses. 4. Comunicação animal - Teses. 5. Biologia costeira - Teses. I. Simão, Sheila Marino, 1958-. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Biologia Animal. III. Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA ANIMAL**

LUCIANA DUARTE DE FIGUEIREDO

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal.

TESE APROVADA EM 09/06/2014

Prof.^a Dr.^a Sheila Marino Simão - UFRRJ
(Orientadora)

Dr. Flavio Maggessi Viola – UFRJ

Prof. Dr. Luiz Antonio Pedreira Gonzaga - UFRJ

Prof. Dr. Marcelo Amorim Savi - UFRJ

Dr^a Liliane Lodi – FAMATH

AGRADECIMENTOS

A prof.^a Dr.^a Sheila Marino Simão, pela orientação nestes quatro anos e em todos os anteriores ao doutorado. Obrigada pelo incentivo, por me deixar seguir meu próprio ritmo de trabalho e pelos “puxões de orelha” na hora certa.

Agradeço especialmente a três pessoas sem as quais esta tese não seria a mesma: Ao prof. Dr. Marcelo Amorim Savi por tão atenciosamente abrir as portas de seu laboratório a esta desconhecida. Ao Dr. Angelo Facchini pela enorme gentileza e interesse em me ajudar a compreender as análises de dinâmica caótica, seja por e-mail ou videoconferência. Ao pós-Doutorando Flávio Viola, pelas horas de trabalho juntos e por toda a paciência com que me ajudou nas análises.

A todos os amigos de trabalho no LBEC, a melhor equipe de trabalho que existe, Carine Gonçalves, Israel Maciel, Mariana Espécie e Sergio Moreira, pela amizade, incentivo e ajuda nas coletas de campo. Em especial a Rodrigo Tardin por dividir as angustias de trabalhar em Cabo Frio em ano de La Niña e ter que tirar dados para uma (melhor, duas) tese de doutorado. Ser parte da mesma equipe que você é mesmo muita sorte.

Ao nosso piloto, Marco Aurélio Crespo, por suas habilidades em achar e perseguir cetáceos, o que facilitou muito nosso trabalho.

Ao colega de magistério Artur Vilar pela ajuda rápida na hora mais necessária.

Aos amigos Adriano Facuri, Sergio Moreira e Thiago Camargo pelo preparo e/ou aperfeiçoamento de algumas das figuras presentes na tese.

Ao CNPq pelo financiamento do nosso projeto de pesquisa.

Aos meus pais, Felicidade e Manuel Figueiredo, e a minha madrinha Emília Loureiro, pela educação de base que me deram e pelo incentivo incondicional na escolha da carreira de Bióloga, tão pouco prestigiada em nosso país. Como toda boa família portuguesa, não somos amorosos na aparência, mas nosso amor se mostra na força como nos apoiamos mutuamente em qualquer situação.

Aos meus amigos pós-graduandos com quem discuti os percalços de viver a pós-graduação, Afonso Celso, Marcia Menezes, Juliana Almeida e Gisele Miranda. Força, amigos, a hora de escrever os agradecimentos chegará para vocês também!

Ao meu marido e amigo Gabriel Caetano, por toda a paciência durante esses quatro anos em que minha agenda foi definida pelas necessidades do doutorado. Que bom que você não desistiu de nós. Te amo.

RESUMO

FIGUEIREDO, Luciana Duarte de. **Emissões acústicas de baleia-de-Bryde (*Balaenoptera edeni*) e de golfinho-comum (*Delphinus* sp.) na região do Cabo Frio, RJ.** 2014. 66 p. Tese (Doutorado em Biologia Animal) Instituto de Biologia, Departamento de Zoologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2014

Quantificar o repertório acústico de uma espécie é etapa essencial para posterior definição de variação geográfica, funcionalidade e relevância comportamental de tais sinais. Para muitas espécies de cetáceos que frequentam a costa brasileira, essa é uma etapa ainda a ser cumprida. Tal é o caso da baleia-de-Bryde (*Balaenoptera edeni*) e do golfinho-comum (*Delphinus* sp.) cujas vocalizações são conhecidas apenas para algumas regiões dos oceanos Pacífico e Atlântico Norte. O presente estudo objetiva descrever qualitativa e quantitativamente as vocalizações dessas duas espécies, a partir de gravações sonoras obtidas durante 96 saídas de campo realizadas na região do Cabo Frio, RJ. Um total de 143 min de gravação sonoras foi obtido na presença de baleia-de-Bryde e cinco tipos de vocalizações foram encontrados, após análise espectrográfica das gravações. Um tipo composto por uma série de pulsos discretos foi registrado na presença de um par mãe-filhote e possivelmente está ligada ao comportamento de interação adulto-filhote. Outros quatro tipos de vocalizações tonais foram registrados na presença de baleias solitárias, incluindo tipos com possível bifonação. Todas as vocalizações registradas apresentaram frequências abaixo de 1 kHz e duração inferior a 2 s, exceto a série de pulsos, cuja duração máxima ultrapassou os 7 s. Um total de 67 min de gravação foram obtidos na presença de um grupo de *Delphinus* sp.. Desta gravação foram selecionados 473 assovios, através da análise espectrográfica. Esses assovios foram analisados e classificados em 10 categorias e 75 tipos, baseado na forma de seus contornos. Também foi quantificada a presença de feições não lineares, tais como pulos de frequência, sub-harmônico, bifonação e caos determinístico, nesses assovios. A duração média observada nos assovios foi de 0,71 s (de 0,04 a 3,67 s) e as frequências variaram entre 3,05 e 28,04 kHz, com a maioria dos assovios ocorrendo entre 4 e 19,3 kHz. Comparando-se com os repertórios anteriormente descritos para o golfinho-comum, os assovios estudados ocupam uma faixa de frequência mais ampla e apresentam maior modulação de frequência. As feições não lineares foram observadas em 38,4% dos assovios analisados. Todos os quatro tipos de feições foram observados, porém pulos de frequência foram a mais frequente, estando presente em 29,75% dos assovios. Os resultados do presente estudo são uma primeira amostra das vocalizações de baleia-de-Bryde e de golfinho-comum em águas brasileiras e sugerem que as vocalizações dessas populações apresentam variações geográficas em relação às outras populações já estudadas. Também fornece mais uma evidência de que as feições não lineares estão presentes nas vocalizações dos cetáceos, podendo, especialmente para os assovios, ser parte importante dessas vocalizações e possivelmente apresentar alguma significância na comunicação acústica desses animais.

Palavras-chaves: Bioacústica, Baleia-de-Bryde, golfinho-comum, não linearidades, Cabo Frio.

ABSTRACT

FIGUEIREDO, Luciana Duarte de. **Vocalizations of Bryde's whale (*Balaenoptera edeni*) and common-dolphin (*Delphinus* sp.) from Cabo Frio region, Rio de Janeiro state.** 2014. 66 p. Thesis (Doctor Science in Animal Biology) Instituto de Biologia, Departamento de Zoologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2014

Quantifying the vocal repertoire of a species is an essential step for subsequent analysis of signal functionality, geographic variation, and social relevance. For many cetacean species that are seen on Brazilian coast, this still has to be fulfilled. This is true for Bryde's whale (*Balaenoptera edeni*) and common-dolphin (*Delphinus* sp.), whose vocalizations are known only in some regions of Pacific and North Atlantic Oceans. The present study aim is to present a qualitative and quantitative analysis of these species vocalizations characteristics undertake on the Brazilian waters. Acoustics recordings were collected during 96 surveys in Cabo Frio region, Rio de Janeiro State. A total of 143 min of recordings taken during Bryde's whale observation was analyzed and five different call types were found. One call type consisted of a series of discrete pulses was detected during the observation of a mother-calf pair and is likely linked to calf-adult interactions. Other four types of tone calls were recorded from solitary whales, including possible biphonation call types. All recorded calls present frequency ranges below 1 kHz, and were short (<2 s), with the exception of the series of pulses (>7 s). A total of 67 min of recordings were taken during a common-dolphin group observation. From this recording, 473 whistles were selected, analyzed and classified in ten categories and 75 types, according their contour shape. In these whistles, the presence of nonlinear features, such as frequency jumps, subharmonics, biphonation, and deterministic chaos, also was quantified. The mean whistle duration was 0.71 s (from 0.04 to 3.67 s) and frequency spanned from 3.05 to 29.75 kHz, with most whistles occurring between 4 and 19.3 kHz. Overall, the whistles spread off for a wider frequency range and show more frequency modulation than the previous reported repertoires to the common-dolphin. Nonlinear features were noted in 38.4% of analyzed whistles. All four nonlinear features were present, however frequency jumps were the most common feature observed, been present in 29.75% of whistles. The results of this study offer a first insight into the vocalization characteristics of Bryde's whale and common-dolphin in Brazilian waters and suggest that there are geographic variations between these populations and the ones previous studied. Also provide another evidence that nonlinear features are common in the vocalizations of cetacean species, possibly being, especially for the whistles, an important part of them and likely having some significance on their acoustics communications.

Key-words: cetacean communication, Bryde's whale, common-dolphin, nonlinearities, Cabo Frio.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.1.** Espectrograma esquemático representando os fenômenos não lineares das emissões sonoras: I – ciclo limite; II – pulos de frequência; III – sub-harmônicos; IV – bifonação independente; V – bifonação banda-lateral; VI – caos determinístico. (adaptado de RIEDE; OWREN; ARCADI, 2004). 12
- Figura 2.1.** Baleia-de-Bryde avistada na região de Cabo Frio. Note a presença de quilhas na região da cabeça. 18
- Figura 2.2.** A região do Cabo Frio, RJ. A área demarcada compreende a área de estudo..... 19
- Figura 2.3.** Espectrogramas dos cinco tipos de vocalizações de *B. edeni* observados na região do Cabo Frio. 22
- Figura 3.1.** Espécimes de *Delphinus* sp. encontrados na região do Cabo Frio. Note o padrão característico de coloração de dorso e lateral do corpo 33
- Figura 3.2.** Espectrograma esquemático representando os fenômenos não lineares das emissões sonoras: I – ciclo limite; II – pulos de frequência; III – sub-harmônicos; IV – bifonação independente; V – bifonação banda-lateral; VI – caos determinístico. (adaptado de RIEDE; OWREN; ARCADI, 2004) 35
- Figura 3.3.** A região do Cabo Frio, RJ. A área demarcada compreende a área de estudo..... 38
- Figura 3.4.** Contornos idealizados dos tipos de assovios classificados nas categorias básicas (adaptado de Ansmann et al., 2007). Tipos marcados com * não foram observados nos assovios de *Delphinus* sp. em Cabo Frio 45
- Figura 3.5.** Contornos idealizados dos tipos de assovios classificados nas categorias propostas por Petrella et al. (2012). Subtipos marcados com * são iguais aos observados no estudo anteriormente referido 46
- Figura 3.6.** Espectrogramas de assovios representativos do repertório de *Delphinus* sp. mostrando feições não lineares (assinaladas por setas). Pulos de frequência (PF) podem ser vistos nos assovios (a) e (b); segmentos de caos determinístico (C) podem ser visto nos assovios (b) e (c); Sub-harmônicos (SH) estão presentes no assovio (b); e bandas laterais (BL) no assovio (c) 49
- Figura 3.7.** Espectrograma de um assovio do tipo L1 mostrando a presença de pulos de frequência, indicados por setas 50
- Figura 3.8.** Etapas da reconstrução do atrator para as séries testadas. (a) Análise da Informação Mútua Média para determinar o tempo de defasagem. (b) Análise dos Falsos Vizinhos Próximos para determinar a dimensão de imersão 51

Figura 3.9. Curvas do cálculo do Expoente Máximo de Lyapunov (EML) pelo método de Kantz, formadas para (a) o som harmônico gerado e para (b) a série sabidamente caótica. Observe em (b) a inclinação exponencial entre as iterações 0 e 20 que permite o cálculo do EML através da regressão linear. 52

Figura 3.10. Espectro dos expoentes de Lyapunov para os quatro segmentos de assovios testados. Observe a presença de um expoente positivo em todos os espectros. (a) ass225; (b) ass151; (c) ass94; (d) ass128 53

Figura 3.11. Curvas do cálculo do Expoente Máximo de Lyapunov (EML) pelo método de Kantz, formadas para cada segmento de assovio testado. Observe a o rápido crescimento exponencial nas duas primeiras iterações e a “planificação” da curva após esse ponto. (a) ass225; (b) ass151; (c) ass94; (d) ass128. 54

Figura 3.12. Curvas do cálculo do Expoente Máximo de Lyapunov (EML) pelo método de Kantz, formadas para cada segmento de assovio filtrado testado. Observe a o rápido crescimento exponencial nas duas primeiras iterações e a “planificação” da curva após esse ponto. (a) ass225filtrado; (b) ass151filtrado; (c) ass94filtrado; (d) ass128filtrado 55

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1. Caracterização quantitativa dos cinco tipos de vocalizações de baleia-de-Bryde na região de Cabo Frio.....	21
Tabela 2.2. Comparação dos parâmetros básicos das series de pulsos discretos emitidos por baleia-de-Bryde no Golfo da Califórnia (EDDS; ODELALN; TERSHY, 1993) e na região do Cabo Frio (dados do presente estudo; PS1). Valores médios entre parêntesis.	25
Tabela 2.3. Comparação dos parâmetros básicos da chamada tonal com harmônicos produzida por baleia-de-Bryde conforme estudos anteriores (Be3, Be5, Be7, Be8b, e Harmonic tone) e o presente estudo (LFT). Valores mínimos e máximos entre parêntesis.....	26
Tabela 3.1. Descrição dos parâmetros quantitativos mensurados em cada assovio.	40
Tabela 3.2. Caracterização quantitativa dos parâmetros analisados nos assovios de <i>Delphinus</i> sp. na região de Cabo Frio (N = 473).	44
Tabela 3.3. Parâmetros quantitativos dos assovios de <i>Delphinus</i> sp. de Cabo Frio comparados com os do Golfo Hauraki, Nova Zelândia (PETRELLA et al., 2012) e do Reino Unido (ANSMANN et al., 2007).	47
Tabela 3.4. Resultados das análises de dinâmica caótica para os segmentos selecionados nos assovios, os segmentos dos assovios filtrados, o tom harmônico gerado e a série caótica conhecida.....	51

SUMÁRIO

1- INTRODUÇÃO	11
2- CAPÍTULO I - EMISSÕES ACÚSTICAS DE BALEIA-DE-BRYDE (<i>Balaenoptera edeni</i>) NA REGIÃO DO CABO FRIO, RJ.	
RESUMO	15
ABSTRACT	16
2.1 INTRODUÇÃO	17
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	19
2.3 RESULTADOS	21
2.4 DISCUSSÃO	24
2.5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	29
3- CAPÍTULO II – CARACTERIZAÇÃO DOS ASSOVIOS DO GOLFINHO-COMUM (<i>Delphinus sp.</i>) NA REGIÃO DE CABO FRIO, RJ.	
RESUMO	31
ABSTRACT	32
3.1 INTRODUÇÃO	33
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	38
3.2.1 Área de estudos	38
3.2.2 Coleta de dados	39
3.2.3 Análises acústicas	39
3.2.4 Análises dos fenômenos não lineares	40
3.2.4.1 Métodos computacionais	41
3.3 RESULTADOS	44
3.4 DISCUSSÃO	56
3.5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	64
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

1. INTRODUÇÃO

As emissões bioacústicas podem ser usadas como ferramentas tanto em estudos evolutivos, quanto em estudos de ecologia aplicada ou de conservação de espécies (LAIOLO, 2010). A quantificação e caracterização do repertório vocal de uma espécie são as etapas iniciais e essenciais para análises subsequentes de funcionalidade da emissão, de variação geográfica, de relevância social e de transmissão (BOISSEAU, 2005).

Os sons desempenham um importante papel na vida de todos os cetáceos, visto que a visibilidade no ambiente subaquático é limitada a alguns metros em média (AU, 2000). Os sons produzidos por mysticetos (baleias-de-barbatanas) podem ser divididos em duas categorias gerais: canções e chamadas (AU, 2000). Enquanto as canções são formadas por notas que ocorrem em uma sequência regular, as chamadas são sons isolados que podem ser tonais ou pulsados. Acredita-se que canções e chamadas podem ser usadas para a comunicação em geral, mas o significado específico desses sons é ainda desconhecido.

Os sons produzidos por odontocetos (golfinhos, orcas e cachalotes) têm sido classificados em três categorias gerais: assovios, pulsos-explosão e cliques de ecolocalização (HERZING, 2000). Pulsos-explosão e cliques de ecolocalização são sons pulsantes diferindo entre si principalmente em relação ao intervalo entre os pulsos: pulsos-explosão apresentam intervalo entre pulsos muito baixo, menor que 3 ms, soando ao ouvido humano como grasnidos ou ganidos, enquanto que nos cliques de ecolocalização o intervalo entre pulsos é mais alto, maior que 3 ms, e cada pulso pode ser individualmente identificado pelo ouvido humano (AU, 2000). Os assovios – sons de frequência modulada, com estreita faixa de frequência – são vocalizações com função de comunicação entre indivíduos e tem sido mais extensivamente estudados (HERZING, 2000).

A partir da década de 1990, alguns estudos têm documentado a presença de “fenômenos não lineares” ou “não linearidades” (incluindo: sub-harmônico, pulso na frequência, bifonação e caos determinístico; Figura 1.1) nas emissões sonoras de animais, como pássaros (e.g. FEE et al., 1998; ZOLLINGER; RIEDE; SUTHERS, 2008), anuros (e.g. FENG et al., 2009; PETTITT; BOURNE; BEE, 2012), insetos (e.g. BENKO; PERC, 2007; EDOH; HUGHES; KATZ, 2013) e mamíferos (e.g. WILDEN et al, 1998; MATROSOVA et al., 2012)), incluindo-se algumas espécies de cetáceos (e.g. TYSON; NOWACEK; MILLER, 2007; MERCADO et al., 2010). Em mamíferos, as não linearidades seriam resultado da dessincronização das estruturas vibratórias vocalizadoras, como as pregas vocais presentes na

cartilagem da laringe; sua ampla ocorrência entre as espécies sugere que elas são parte integral do repertório vocal desse grupo (WILDEN et al., 1998).

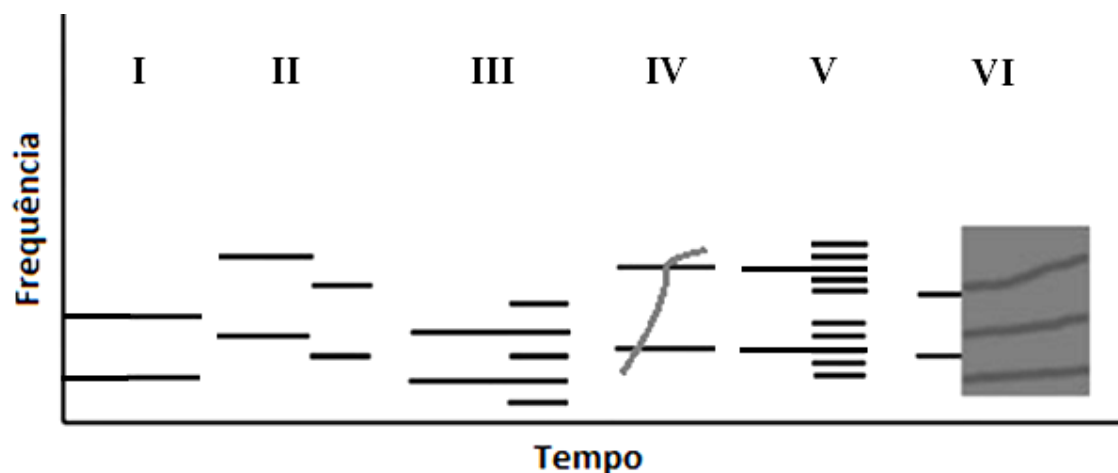


Figura 1.1. Espectrograma esquemático representando os fenômenos não lineares das emissões sonoras: I – ciclo limite; II – pulso de frequência; III – sub-harmônicos; IV – bifonação independente; V – bifonação banda-lateral; VI – caos determinístico. (adaptado de RIEDE; OWREN; ARCADI, 2004).

Pulsos de frequência (Figura 1.1-II) são mudanças repentinas na frequência fundamental (F_0), a qual se move para cima ou para baixo abruptamente e descontinuadamente (RIEDE; OWREN; ARCADI, 2004). Sub-harmônicos (Figura 1.1-III) são componentes espectrais adicionais que podem aparecer repentinamente em valores fracionários inteiros de uma F_0 ($F_0/2$, $F_0/3$, e sucessivamente) e de seus harmônicos (TYSON; NOWACEK; MILLER, 2007). Bifonação (Figura 1.1-IV) se refere à ocorrência de duas frequências simultâneas e independentes, que podem ser visíveis no espectrograma como dois contornos distintos e autônomos (WILDEN et al., 1998). A bifonação também pode ser percebida como bandas laterais (Figura 1.1-V) adjacentes aos harmônicos (RIEDE; OWREN; ARCADI, 2004) sem as relações fracionárias de F_0 presentes nos sub-harmônicos. O termo caos determinístico (Figura 1.1-VI) se refere a períodos em que a energia se dispersa por uma ampla faixa de frequências, porém mantendo resquícios do comportamento de bandas (FITCH; NEUBAUER; HERZEL, 2002). Entre as possíveis funções de tais características estruturais estão o reconhecimento individual e a informação de status como sexo, idade e condições físicas (WILDEN et al., 1998). Documentar a presença e estrutura de tais fenômenos pode ajudar a indicar o nível de importância que eles ocupam e suas funções (TYSON; NOWACEK; MILLER, 2007).

No presente estudo buscou-se responder algumas questões em relação ao repertório vocal de duas espécies de cetáceos pouco estudadas na costa brasileira e que podem ser regularmente encontradas na região do Cabo Frio, RJ (ZERBINI et al., 1997; FERNANDES, 2001). As seguintes hipóteses foram levantadas:

- 1) As vocalizações de baleia-de-Bryde, *Balaenoptera edeni*, na região do Cabo Frio apresentam características reconhecíveis da espécie, porém há variações específicas para esta população;
- 2) Os assovios de *Delphinus* sp. na região do Cabo Frio apresentam contornos similares aos já descritos para o gênero, porém apresentando variações específicas para esta população;
- 3) Os assovios de *Delphinus* sp. apresentam uma proporção significativa de não linearidades em seus contornos.

Com o objetivo de testar tais hipóteses, a tese foi dividida em dois capítulos:

CAPÍTULO I: Emissões acústicas de Baleia-de-Bryde (*Balaenoptera edeni*) na região do Cabo Frio.

CAPÍTULO II: Caracterização dos assovios do golfinho-comum (*Delphinus* sp.) na região do Cabo Frio.

2- CAPÍTULO I

EMISSÕES ACÚSTICAS DE BALEIA-DE-BRYDE (*Balaenoptera edeni*) NA REGIÃO DO CABO FRIO, RJ

RESUMO

FIGUEIREDO, Luciana Duarte de. **Emissões acústicas da baleia-de-Bryde (*Balaenoptera edeni*) na região do Cabo Frio, RJ.** 2014. 27 p. Tese (Doutorado em Biologia Animal) Instituto de Biologia, Departamento de Zoologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2014.

A baleia-de-Bryde (*Balaenoptera edeni*) é uma espécie comumente observada ao longo da costa sudeste do Brasil, mas nada se sabe sobre suas vocalizações nesta área. Gravações acústicas subaquáticas foram obtidas durante a observação da espécie na costa da região do Cabo Frio, estado do Rio de Janeiro. Um total de 143 min de gravações sonoras foi analisado e cinco diferentes tipos de emissões foram encontrados. O tipo mais frequente de emissão consiste em uma série de pulsos discretos que foram detectados durante a observação de um par mãe-filhote. Os outros quatro tipos foram gravados durante a observação de indivíduos solitários e incluem uma emissão tonal plana com harmônicos, uma emissão tonal descendente e dois tipos de emissões com múltiplos componentes. Todas as emissões gravadas foram curtas, menos de 2 s, exceto a série de pulsos discretos, cuja duração máxima foi superior a 7 s, e com faixa de frequências abaixo de 1 kHz. A emissão formada por uma série de pulsos discretos provavelmente está ligada a interação adulto-filhote, uma vez que esse tipo de emissão foi previamente gravada apenas na presença de filhotes no Golfo da Califórnia. Esta é a primeira descrição do repertório vocal de baleias-de-Bryde no Atlântico Sul. As vocalizações descritas no presente estudo apresentam as características identificáveis das emissões da espécie mostrando, porém, variações que podem ser específicas para esta área.

Palavras-chave: baleia-de-Bryde, *Balaenoptera edeni*, vocalizações, Cabo Frio.

ABSTRACT

FIGUEIREDO, Luciana Duarte de. **Bryde's Whale vocalizations from Cabo Frio region, Rio de Janeiro state.** 2014. 27 p. Thesis (Doctor Science in Animal Biology) Instituto de Biologia, Departamento de Zoologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2014.

The Bryde's whale (*Balaenoptera edeni*) is a species commonly documented along the southeast coast of Brazil, but nothing is known about their vocalizations in this area. Underwater recordings were gathered in an opportunistic manner when the species was present along the coast of the Rio de Janeiro State. A total of 143 min of recordings was analyzed, and five different call types were found. The most frequent call type consisted of a series of discrete pulses that was detected during the observation of a mother-calf pair. Other types of calls were recorded from solitary whales, including a flat tone with harmonics, a downswept tone and two types of calls with multiple components. All recorded calls were short (<2 s), with the exception of the series of pulses (>7 s), with frequency ranges below 1 kHz. The call composed of a series of discrete pulses is likely linked to calf-adult interactions given that this call was previously reported in the presence of calves in the Gulf of California. This is the first description of the Bryde's whale vocal repertoire in the South Atlantic. The vocalizations described here present generally identifiable characteristics of the species' calls; however, some variations may be specific to this area.

Key words: Bryde's whale, *Balaenoptera edeni*, whale call, Cabo Frio.

2.1 INTRODUÇÃO

A baleia-de-Bryde (*Balaenoptera edeni* Anderson, 1878) é uma espécie de baleia da família Balaenopteridae, facilmente distinguível das outras espécies desta família pela presença de três “quilhas” na parte superior do rostro, que se iniciam na ponta do focinho e terminam junto ao espiráculo (KATO; PERRIN, 2009) (Figura 2.1). Apesar de a ocorrência de baleia-de-Bryde ter sido relatada em águas tropicais e temperadas dos oceanos Pacífico, Atlântico e Índico, esta é uma das espécies menos conhecidas de mysticetos. Os indivíduos desta espécie não realizam longas migrações norte-sul, permanecendo em águas temperadas ou tropicais durante todo o ano. Apesar disso, existe muito pouca informação sobre seus períodos de reprodução e localização de grupos reprodutivos (KATO; PERRIN, 2009).

Cummings, Thompson e Ha (1986) foram os primeiros a relatar sons de baleia-de-Bryde, gravados no golfo da Califórnia. Esses sons eram chamadas tonais curtas (duração média de 0,42 s), ocorrendo a uma frequência média de 124 Hz e levemente modulada ($\Delta f = 15$ Hz) de forma ascendente ou descendente. Edds, Odell e Tershy (1993) analisaram gravações sonoras de um juvenil cativo, após ter encalhado na costa da Flórida, e de grupos de adultos e pares adulto-filhote, no ambiente natural, no Golfo da Califórnia. O juvenil cativo emitiu principalmente *moans* (lamentos) pulsados (duração entre 0,5 e 51 s) e raramente pulsos discretos isolados ou em série, com frequências entre 200 e 900 Hz. Grupos de adultos e pares adultos/filhote emitiram *moans* e *moans* pulsados com duração variando entre 0,1 a 1,4 s e faixa de frequência entre 90 e 500 Hz. Séries de pulsos discretos (4-11 pulsos/série) foram registradas apenas quando filhotes estavam presentes, na faixa de frequência entre 700 e 900 Hz. Dois estudos no oceano Pacífico tropical (OLESON et al., 2003; HEIMLICH et al., 2005) descreveram alguns tipos de vocalizações tonais mais longas (~3 s) e com frequências mais baixas (~60 Hz) do que aquelas previamente descritas para a espécie, sendo pela primeira vez relatada a presença de harmônicos. Chamadas tonais de baixa frequência (20-26 Hz), longa duração (~5 s) e sem harmônicos também foram associadas a *B. edeni* ao longo do nordeste da costa da Nova Zelândia (McDONALD, 2006).

No Brasil, baleias-de-Bryde são encontradas em áreas costeiras de praticamente toda a costa, com avistagens mais frequentes no sul e sudeste (ZERBINI et al., 1997). Também existem relatos da espécie em águas oceânicas (ANDRIOLO et al., 2010), porém nada se sabe sobre suas vocalizações.



Figura 2.1. Baleia-de-Bryde avistada na região de Cabo Frio. Note a presença de quilhas na região da cabeça. Foto: Rodrigo Tardin.

O presente estudo objetiva descrever as características dos sons observados em gravações feitas na presença de *B. edeni* na região do Cabo Frio, onde elas são frequentemente encontradas (CARNEIRO, 2005) e comparar tais vocalizações com o repertório previamente descrito para a espécie em outras regiões.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

A costa do Cabo Frio ($22^{\circ}50'21''\text{S}$; $41^{\circ}54'37''\text{W}$ - $23^{\circ}00'18''\text{S}$; $42^{\circ}05'53''\text{W}$; a propósito deste estudo inclui os municípios de Cabo Frio e Arraial do Cabo) é uma região marcada por uma mudança na direção da costa de norte-sul para sudeste-nordeste e com uma inclinação pronunciada (De LEO; PIRES-VANIN, 2006; Figura 2.2). Durante o ano ocorre a mistura de duas massas de água (a Corrente do Brasil e a Água Central do Atlântico Sul), fortemente influenciada pelo regime de ventos norte-nordeste e que produz o fenômeno de ressurgência, prevalentemente durante a primavera e o verão (CARBONEL, 1998). Neste fenômeno, as águas da corrente do Brasil são deslocadas para o oceano devido ao vento nordeste, enquanto a Água Central do Atlântico Sul emerge do fundo e banha a costa. A área amostrada compreende profundidades de 50-90 m, com frações de areia fina a muito fina (De LEO; PIRES-VANIN, 2006) e encontra-se parcialmente localizada dentro de uma reserva extrativista marinha, RESEX Arraial do Cabo (Figura 2.2).

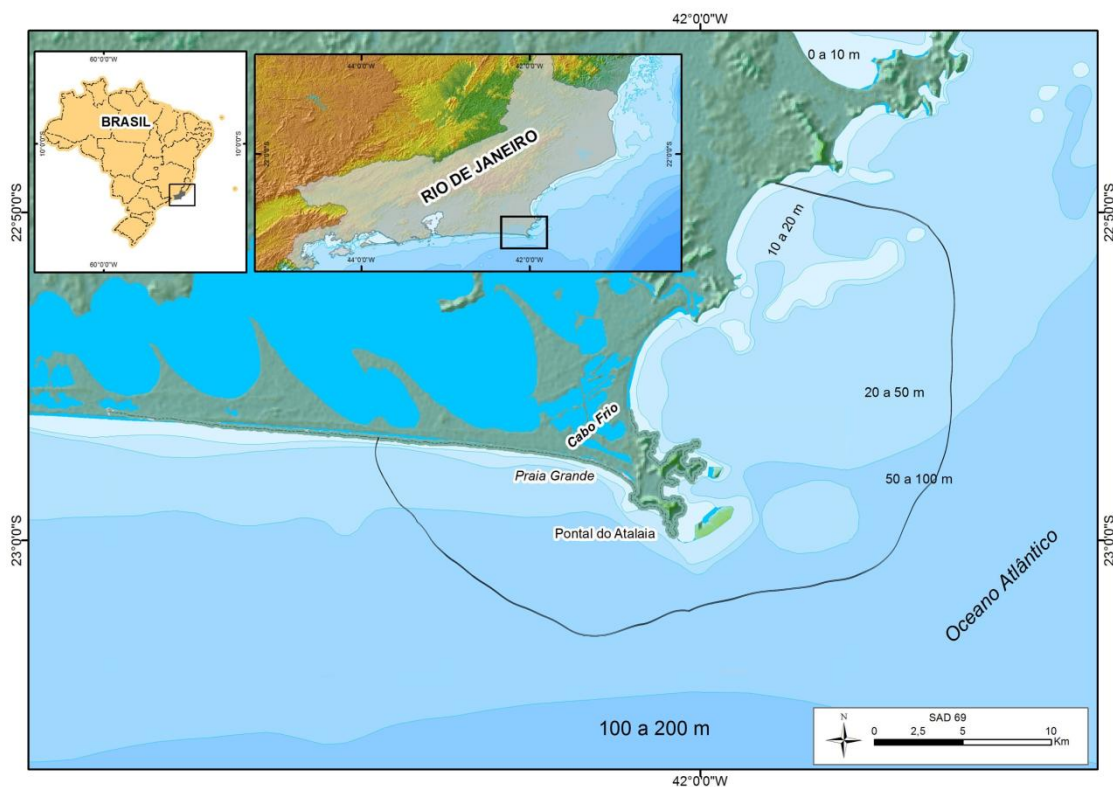


Figura 2.2. A região do Cabo Frio; a área demarcada compreende a área de estudo.

De dezembro de 2010 a novembro de 2012 quatro saídas de campo mensais (média = 5,8 h/saída, mínimo = 3,25 h/saída, máximo = 8,00 h/saída) foram conduzidas usando um bote inflável (6,5m) equipado com motor de popa (150 hp). Rotas randômicas foram

estabelecidas para maximizar a cobertura da área. Quando uma baleia era avistada, buscava-se uma aproximação de 50 m. Então o motor do barco era desligado para reduzir o ruído de fundo e se iniciava a gravação. Quando a baleia se afastava do barco ao ponto de apenas seu borrifo ser visível, a gravação era interrompida e buscava-se nova aproximação. Nenhuma gravação foi realizada na presença visual de outra espécie de cetáceo.

As emissões sonoras foram gravadas por meio de um hidrofone C54 (Cetacean Research Technology Inc.; 0,008 a 100 kHz; -165 dB re 1 V/ μ Pa), depositado à profundidade aproximada de 2 metros e acoplado à entrada de microfone de um gravador M-Audio MicroTrack 24/96 (taxa de amostragem de 96000 Hz, 2 canais, 24 bits). Paralelamente, fotografias eram tiradas com uma câmera CANON EOS D-40 equipada com lente zoom 75-300 mm, para a construção de um catálogo de foto-identificação. A posição geográfica da baleia era registrada em aparelho GPS (Garmin E-Trex Vista CX) e uma câmera de vídeo (SONY DCR-SX 40) foi usada para registros comportamentais.

Todas as análises e mensurações sonoras foram feitas usando o software *Raven Pro 1.4* (Cornell Laboratory of Ornithology; janela 32.768 FFT Hann, 70% sobreposição e filtro 3dB 4,59). Apenas vocalizações com alta relação sinal-ruído (i. e. claramente distinguíveis do ruído de fundo) foram mensuradas, apenas por análises dos espectrogramas. As gravações obtidas foram armazenadas em HD no banco de dados do Laboratório de Bioacústica e Ecologia de Cetáceos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

2.3 RESULTADOS

Do total de 96 saídas de campo, baleias-de-Bryde foram vistas em 22 diferentes dias (31,4 h de observação direta). Em dez diferentes dias de observação foi possível a realização de gravações sonoras subaquáticas e um total de 143 minutos foi obtido (média: 14,3 min; mínimo: 7 min; máximo: 30,3 min). Foram detectados cinco tipos diferentes de vocalizações (Tabela 2.1) nestas gravações.

Tabela 2.1. Caracterização quantitativa dos cinco tipos de vocalizações de baleia-de-Bryde na região de Cabo Frio.

Tipo de Emissão	N	Frequência mínima (Hz)	Frequência máxima (Hz)	Largura de banda (Hz)	Duração (s)
PS1	115	225 (\pm 50)	555 (\pm 119)	330 (\pm 133)	0,788 (\pm 0,698)
LFT	10	8,5 (\pm 0,93)	19 (\pm 1,39)	11 (\pm 0,95)	1,413 (\pm 0,461)
FMT	2	416 (\pm 114)	671 (\pm 342)	255 (\pm 228)	1,531 (\pm 0,797)
TM1	1	85,7	123,6	37,9	0,876
TM2	1	49,5	105,5	56	1,156

O tipo de vocalização mais comumente observada consistiu de uma sequência de pulsos discretos (PS1; Figura 2.3; Tabela 2.1), gravados repetidamente durante a observação de um par adulto/filhote, exclusivamente. O adulto foi foto-identificado e visto novamente 230 dias depois, ainda acompanhado de um filhote, na costa da cidade do Rio de Janeiro (FIGUEIREDO et al., no prelo). Portanto, inferiu-se que este adulto era uma fêmea. A taxa média de repetição foi de 5,4 pulsos/s e, em geral, o número de pulsos por série variou de dois a seis, mas duas sequencias longas (de 12 e 25 pulsos) foram observadas. Nas séries observadas, todos os pulsos ocupavam aproximadamente a mesma faixa ampla de frequência (142-798 Hz), porém há uma sensível diminuição da energia nas frequências superiores a 500 Hz.

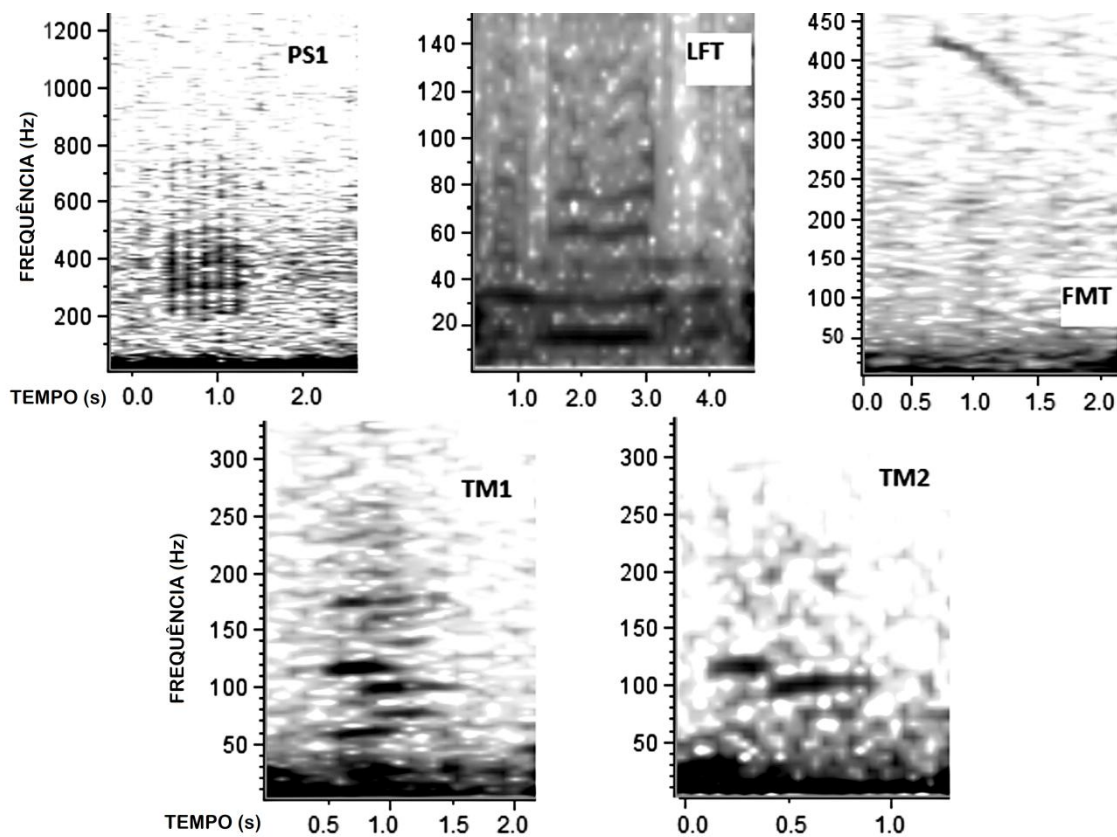


Figura 2.3. Espectrogramas dos cinco tipos de vocalizações de *B. edeni* observados na região do Cabo Frio.

Uma vocalização tonal de baixa frequência (LFT; Figura 2.3; Tabela 2.1) contendo harmônicos e uma vocalização descendente (FMT; Figura 2.3; Tabela 2.1) foram gravadas durante a observação de uma baleia-de-Bryde solitária. Este indivíduo foi foto-identificado e visto novamente 43 dias depois, acompanhado por um filhote. Nesta segunda observação, estes foram os únicos indivíduos observados durante 3,15 h de avistagem e o tamanho corporal do filhote era menor do que a metade do corpo do adulto, inferindo-se então, que se tratava de um par mãe/filhote. Infelizmente, não foi possível obter gravações sonoras durante a observação deste par mãe/filhote devido às condições ruins do mar. Porém, esse segundo encontro levou a se concluir que o indivíduo solitário da seção de gravação acústica tratava-se de uma fêmea grávida. Apenas dois exemplares da vocalização tipo FMT foram registrados; a faixa de frequência e a duração são bastante diferentes entre o primeiro e o segundo exemplares (430-336 Hz por 0,9 s e 915-500 Hz por 2,1 s, respectivamente). Entretanto essas emissões são bastante similares na forma de seus contornos e estão separadas por apenas 70 s.

Em uma ocasião em que uma baleia solitária espontaneamente se aproximou e nadou ao redor do barco, a uma distância de três a dez metros durante cerca de oito minutos, duas vocalizações compostas por múltiplos componentes foram encontradas, apenas uma vez cada. A primeira (TM1; Figura 2.3) é formada por uma componente principal plana a 55 Hz e seus dois harmônicos, e dois componentes secundários entre a fundamental e seu primeiro harmônico. Ao todo, esta vocalização dura 1,14 s e foi produzida quando o animal estava bem próximo (~3 m) ao barco. A segunda vocalização (TM2; Figura 2.3) inicia-se com uma componente tonal plana superior a aproximadamente 112 Hz. Próximo do final da tonal superior, uma segunda componente tonal, levemente ascendente, inicia-se a aproximadamente 96 Hz. Ao todo a vocalização dura 0,9 s e foi produzida quando a baleia já se distanciava do barco. Nenhum outro animal foi visto na área antes, durante e imediatamente após essa gravação.

2.4 DISCUSSÃO

Baleias-de-Bryde vocalizam relativamente pouco e produzem sons curtos (menos de 3s) em uma faixa de frequência baixa (menos de 1 kHz) e com pouca energia em relação ao barulho de fundo (HEIMLICH et al., 2005), o que pode tornar a detecção dessas vocalizações um tanto difícil. Portanto, não surpreende o pequeno número de tipos de vocalizações e de repetições observados no presente estudo. Entretanto, essas são as primeiras gravações de vocalizações da espécie no Atlântico Sul e características importantes podem ser destacadas.

Dos cinco tipos de vocalizações de baleia-de-Bryde observados na região de Cabo Frio, três (LFT, TM1 e TM2) apresentam as características universais identificáveis da espécie, como um tom predominante com muito pouca variação de frequência, duração entre 1-3 s e frequência abaixo de aproximadamente 120 Hz (HEIMLICH et al., 2005). A série de pulsos discretos observada no presente estudo (PS1) apresenta frequências bem mais altas, similar aos pulsos discretos descritos por Edds, Odell e Tershy (1993); porém, esta vocalização parece ser exclusiva dos filhotes. A vocalização descendente observada (FMT) diferencia-se bastante do padrão de frequências baixas da espécie, porém, como nada foi descrito para esta espécie no oceano Atlântico Sul, estas características universais de vocalizações podem não se aplicar totalmente para a população estudada.

Vocalizações pulsadas já foram observadas no repertório de outros balenopterideos como baleia-fin (*Balaenoptera physalus*; CLARK; BORSANI; NOTARBARTOLO-DI-SCIARA, 2002), baleia azul (*Balaenoptera musculus*; RIVERS, 1997) e minke-anã (*Balaenoptera acutorostrata*; MELLINGER; CARSON; CLARK, 2000). No repertório de baleia-de-Bryde, vocalizações pulsadas foram descritas por Edds, Odell e Tershy (1993), no Golfo da Califórnia, e por Oleson et al. (2003) no Pacífico nordeste, próximo à costa do Japão. Edds, Odell e Tershy (1993) também relatam a produção de séries de pulsos discretos, mas que diferem dos observados no presente estudo (PS1) em alguns aspectos (Tabela 2.2): apresentam duração de cada pulso e do intervalo entre pulsos menores, ocupam uma faixa de frequência mais estreita e o último pulso apresentou-se em frequências mais baixas que o pulso inicial em todas as séries. Os pulsos discretos observados por Edds, Odell e Tershy (1993) foram gravados repetidamente em duas ocasiões quando um filhote foi observado sozinho na superfície enquanto o adulto acompanhante estava mergulhando. Os pulsos apresentaram maior amplitude quando o filhote estava mais próximo do hidrofone, indicando

que o indivíduo emissor era o filhote. Os autores sugerem que a baixa taxa de repetição observada nos pulsos discretos seja devida ao contexto de interação filhotes/adulto, ou resultado de um aparelho fonador ainda imaturo. Este tipo de vocalização não foi detectado em estudos posteriores das vocalizações de *B. edeni*, mas é possível que isso se deva a uma estreita faixa de gravação - 0 a 110 Hz, para Heimlich et al. (2005) - ou ao fato de que não terem sido detectadas vocalizações na presença de filhotes e juvenis (OLESON et al., 2003). Em nosso estudo, as séries de pulsos discretos foram registradas uma única vez quando um par mãe/filhote estava sendo visualizado, o que concorda com o contexto de interação adulto/filhote proposto por Edds, Odell e Tershy (1993).

Tabela 2.2: Comparação dos parâmetros básicos das series de pulsos discretos emitidos por baleia-de-Bryde no Golfo da Califórnia (EDDS; ODELL; TERSHY, 1993) e na região do Cabo Frio (dados do presente estudo; PS1). Valores médios entre parêntesis.

Parâmetros	Cabo Frio (N=115)	California (N não dado)
Faixa de frequência (Hz)	142-798	700-900
Duração dos pulsos (ms)	75-136 (90)	25-40
Intervalo entre pulsos (ms)	95-218 (130)	50-100
Pulsos por série	2-25 (4,2)	4-11
Duração da série (s)	0,29-7,3 (0,79)	não dado
Intervalo entre chamadas (s)	0,43-8,1 (4,4)	1-64
Largura de banda (Hz)	158-616 (320)	100

Emissões tonais com harmônicos, semelhantes ao tipo LFT, também já foram descritas no repertório de baleia-de-Bryde das populações do Pacífico leste tropical (OLESON et al., 2003 e HEIMLICH et al., 2005), do sul do Caribe e da costa do Japão (OLESON et al., 2003). Apesar de LFT apresentar frequência média menor do que as emissões com harmônicos anteriormente descritas, este tipo de emissão é bastante similar aos tipos Be3 e Be5, descritos por Oleson et al. (2003) e ao “Harmonic tone”, descrito por Heimlich et al. (2005), uma vez que esses quatro tipos de emissões possuem frequência abaixo de 30 Hz (Tabela 2.3).

Tabela 2.3. Comparação dos parâmetros básicos da chamada tonal com harmônicos produzida por baleia-de-Bryde conforme estudos anteriores (Be3, Be5, Be7, Be8b, e Harmonic tone) e o presente estudo (LFT). Valores mínimos e máximos entre parênteses.

Tipo de chamada	N	Frequência (Hz)	Duração (s)	Número de harmônicos	Intervalo entre chamadas (s)	Referência
LFT	10	11 (10-14)	1,45 (0,81-2,24)	1-4	15,3 (0,27-96)	Presente estudo
Be3	18	25,6 (24,4-26,9)	1,7 (1,0-4,0)	2-4	2,28 (0,45-8,65)	Oleson <i>et al.</i> , 2003
Be5	6	26,2 (26-26,8)	1,7 (1,3-2,2)	4-8	5,5 (1,5-15,88)	Oleson <i>et al.</i> , 2003
Be7	51	44,3 (43,7-48,7)	1,6 (0,8-2,5)	2-4	2,83 (0,4-7,08)	Oleson <i>et al.</i> , 2003
Be8b	4	46 (137-192)	0,37 (0,3-0,41)	vários	0,29 (0,25-0,33)	Oleson <i>et al.</i> , 2003
Harmonic tone	114	25,4 (20,7-25,8)	2,1 (0,5-3,2)	3	6,3 (2-44,3)	Heimlich <i>et al.</i> , 2005

Um tipo de emissão tonal descendente (denominada Be6) foi descrito no repertório da população de baleia-de-Bryde do Pacífico leste tropical por Oleson et al. (2003). Nesse tipo de emissão, os tonais descendentes formavam sequências com até quatro componentes, separadas por cerca de 0,5 s, em uma faixa de frequência (57,1 - 232,7 Hz) abaixo daquela observada nos dois exemplares do tipo FMT do presente estudo (416 – 671 Hz). Emissões isoladas como essas também são atribuídas a minke-anã (*B. acutorostrata*) por alguns estudos, como Gedamke, Costa e Dustan (2001) para a população da Austrália, também em uma faixa de frequência mais baixa (50 - 250 Hz). Apesar de ambas as formas de minke (*B. acutorostrata* e *B. bonaerensis*) ocorrerem na costa do estado do Rio de Janeiro (ZERBINI et al., 1997), não se acredita que alguma delas tenha produzido as chamadas FMT observadas aqui, pois nenhum exemplar de minke foi observado na região do Cabo Frio durante os dois anos de surveys e, no momento da gravação das vocalizações, um exemplar de *B. edeni* estava sendo ativamente avistando. Portanto, esse parece ser um novo tipo de vocalização do repertório da espécie.

Emissões com duas componentes simultâneas sem relação de harmônico foram descritas no repertório da população de baleia-de-Bryde do Pacífico leste tropical (OLESON et al., 2003; HEIMLICH et al., 2005). Os primeiro autores sugerem que esse tipo de vocalização é uma evidência da possível existência de duas estruturas vibratórias independentes, ainda que simultâneas, responsáveis pela produção de sons nesta espécie. A produção simultânea de dois sons independentes, fenômeno conhecido como bifonação, foi estabelecida para pássaros (FEE et al., 1998, p. ex.) e mamíferos (VOLODINA et al., 2006, p. ex.). Para os cetáceos, a bifonação foi sugerida para golfinho-fliper, *Tursiops truncatus*, (CRANFORD, 2000), orca, *Orcinus orca*, (TYSON; NOWACEK; MILLER, 2007), minke-anã, *B. acutorostrata*, (GEDAMKE; COSTA; DUSTAN, 2001), baleia-franca-do-atlântico-norte, *Eubalaena glacialis*, (TYSON; NOWACEK; MILLER, 2007) e baleia-da-groelândia, *Balaena mysticetus*, (TERVO et al., 2011). No presente estudo, dois tipos de vocalização com caráter de bifonação (TM1 e TM2) foram observados, apenas uma vez cada. Elas foram gravadas quando uma baleia solitária estava bem próxima ao barco e nenhuma outra baleia podia ser vista na área descartando, portanto, a possibilidade de que tais vocalizações de múltiplas componentes fossem compostas por vocalizações simultâneas de dois diferentes indivíduos. Entretanto, o tamanho reduzido da amostra impossibilita análises mais detalhadas. Mesmo assim, a presença dessas vocalizações reforça a possibilidade levantada por Oleson et

al. (2003) de que a bifonação também ocorra na espécie e de que seu repertório seja mais complexo do que anteriormente pensado.

2.5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

- Baleias-de-Bryde da região de Cabo-Frio produzem tipos de vocalizações em frequências abaixo de 120 Hz, com pouca modulação e curta duração, conforme as características universais identificáveis da espécie (HEIMLICH et al., 2005).
- O tipo FMT não apresenta tais características, sendo possivelmente uma vocalização específica das populações da costa do Brasil e possivelmente do Atlântico Sul.
- As séries de pulsos discretos são vocalizações produzidas pelos filhotes durante o contexto de interação adulto/filhote, conforme já observado no Golfo da Califórnia (EDDS; ODELL; TERSHY, 1993).
- Baleias-de-Bryde possivelmente são capazes de bifonação, como observado nos tipos de vocalização TM1 e TM2 e já aventado para populações do oceano Pacífico (OLESON et al., 2003).
- Os resultados do presente estudo reforçam a necessidade de estudos futuros longos e detalhados das vocalizações e do comportamento de *B. edeni* na costa brasileira, visto que elas podem ser importante instrumento para avaliação de estrutura populacional, especialmente quando combinados com dados genéticos (MELLINGER; BARLOW, 2003).

3 - CAPÍTULO II

CARACTERIZAÇÃO DOS ASSOVIOS DO GOLFINHO-COMUM (*Delphinus* sp.) NA REGIÃO DO CABO FRIO, RJ.

RESUMO

FIGUEIREDO, Luciana Duarte de. **Caracterização dos assovios do golfinho-comum (*Delphinus* sp.) na região do Cabo Frio, RJ.** 2014. 39 p. Tese (Doutorado em Biologia Animal) Instituto de Biologia, Departamento de Zoologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2014.

O golfinho-comum, gênero *Delphinus*, apresenta ampla distribuição em águas marinhas temperadas quentes e tropicais, porém, até o presente momento, nenhuma informação sobre suas vocalizações é conhecida para o oceano Atlântico Sul. Fenômenos não lineares ou não linearidades podem estar presentes nas vocalizações dos animais e compreendem feições como subharmônicos, pulos de frequência, bifonação e caos determinístico. O presente estudo objetiva descrever o repertório de assovios emitidos por um grupo de golfinhos-comuns observado na costa do Brasil, assim como quantificar a presença de não linearidades nestes assovios. Grupos de golfinhos-comuns foram observados em três das 96 saídas de campo realizadas na costa da região do Cabo Frio, RJ e 67 minutos de gravação acústica foram obtidos em um desses encontros. Um total de 473 assovios foram selecionados, analisados e classificados em dez categorias e 75 tipos, conforme a forma de seus contornos, através da observação de seus espectrogramas. Dos 75 tipos observados, 45 não haviam sido previamente relatados para o gênero. Os assovios apresentaram duração entre 0,04 e 3,67 s (média: $0,71 \pm 0,46$) e frequências entre 3,05 e 28,04 kHz. De forma geral os assovios estudados ocupam uma faixa de frequência mais ampla e apresentam maior modulação de frequência do que os assovios dos repertórios anteriormente estudados para o gênero *Delphinus*. Todos os quatro tipos de feições não lineares forma observadas nos assovios analisados e 38,4% deles apresentam ao menos uma dessas feições. Pulos de frequência foram a feição observada mais frequentemente, estando presentes em 29,75% dos assovios. Para diferenciar quantitativamente o caos determinístico do ruído Gaussiano, foram aplicadas análises de dinâmica caótica. Contudo, os resultados destas análises mostraram-se inconclusivos, possivelmente devido à taxa de amostragem insuficiente e contaminação por ruído dos segmentos sonoros analisados. Os resultados do presente estudo sugerem que os assovios do golfinho-comum apresentam variação geográfica e que as feições não lineares são uma característica importante desses assovios, possivelmente desempenhando algum papel na comunicação acústica desses animais.

Palavras-chave: *Delphinus*, golfinho-comum, assovios de golfinhos, não linearidades.

ABSTRACT

FIGUEIREDO, Luciana Duarte de. **Characterization of the common-dolphin (*Delphinus* sp.) whistles on Cabo Frio region, Rio de Janeiro state.** 2014. 39 p. Thesis (Doctor Science in Animal Biology) Instituto de Biologia, Departamento de Zoologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2014.

The common-dolphin, genus *Delphinus*, occurs in warm-temperate and tropical waters worldwide; nevertheless there is no information about their vocalizations in the South Atlantic Ocean. Nonlinear phenomena or nonlinearities could be present in animal vocalizations and include features such as subharmonics, frequency jumps, biphonation, and deterministic chaos. This study aims to describe the whistles repertoire from a common-dolphin group, watching at Brazilian coast, and quantify the amount of nonlinearities on these whistles. Groups of common-dolphin were watching during three of 96 surveys made in Cabo Frio coast, Rio de Janeiro State, and in one of these encounters, 67 min of recordings were made. From this recording, 473 whistles were selected, analyzed and classified in ten categories and 75 types, according to their contour shape, and by using their spectrograms. Of these 75 types, 45 had not been previously reported for the genus. Whistle duration ranged from 0.04 to 3.67 s (mean: 0.71 ± 0.46) and frequency spanned from 3.05 to 29.75 kHz. Overall, the whistles spread over a wider frequency range and show more frequency modulation than the repertoires previously reported to the genus *Delphinus*. All four nonlinear features were present, with at least one feature occurring in 38.4% of analyzed whistles. Frequency jump was the most common feature observed, being present in 29.75% of whistles. To quantitatively distinguish deterministic chaos from Gaussian noise, chaotic dynamic analyzes were applied. However, the results were inconclusive, probably because of the insufficient sampling rate and noise contamination of analyzed sound segments. The results presented here suggest that the common-dolphin whistles show geographic variation and that the nonlinearities are a relevant characteristic of these whistles, probably having a function in acoustic communication in these animals.

Key-words: *Delphinus*, common-dolphin, dolphin whistle, nonlinearities.

3.1 INTRODUÇÃO

O golfinho-comum (gênero *Delphinus*) apresenta ampla distribuição em águas marinhas temperadas quentes e tropicais, sendo facilmente reconhecido por um padrão único de cores em seu dorso e lateral (PERRIN, 2009) (Figura 3.1). A existência de duas espécies deste gênero foi definida por Heyning e Perrin (1994): *Delphinus delphis* (golfinho-comum-de-bico-curto) e *Delphinus capensis* (golfinho-comum-de-bico-longo), classificação que é suportada somente por proporções esqueléticas e não por características corpóreas de fácil visualização. Entretanto esse padrão de tamanho diferencial é baseado em espécimes das águas da Califórnia e podem não ser válidas globalmente (PERRIN, 2009). De acordo com Tavares et al. (2010), o conhecimento das evidências esqueléticas/morfológicas de ambas as espécies do gênero *Delphinus* nas águas do Atlântico Sul ocidental ainda não está completo, o que torna impossível separar as duas espécies até o presente momento. Portanto, preferiu-se utilizar apenas a classificação de gênero para o presente estudo.



Figura 3.1. *Delphinus* sp. avistados na região do Cabo Frio. Note o padrão característico de coloração de dorso e lateral do corpo. Foto: Rodrigo Tardin.

As primeiras descrições do repertório acústico do golfinho-comum foram realizadas na década de 1960, tanto para animais cativos da Califórnia quanto para grupos livres do mar Mediterrâneo, porém dados quantitativos de frequência ou tempo não foram fornecidos,

exceto por aqueles apresentados nos exemplos de espectrograma (CALDWELL; CALDWELL, 1968). Moore e Ridgway (1995) descreveram oito tipos de assovios e a presença de clicks de ecolocalização e sons pulsantes, gravados tanto na presença de duas fêmeas mantidas em cativeiro quanto de um grupo de 4-5 indivíduos livres da costa da Califórnia. Estes assovios apresentaram duração entre 0,026 e 1,622 s e faixa de frequência entre 4,8 e 19,8 kHz. Oswald, Barlow e Norris (2003), em um estudo comparando assovios de nove espécies de delfínídeos no oceano Pacífico tropical leste, descreveu parâmetros quantitativos para os assovios das duas espécies de golfinho-comum. Esses assovios apresentam duração média entre 0,7 e 0,8 s (*D. capensis* e *D. delphis*, respectivamente) e faixa de frequência média entre 7,4 e 15,5 kHz, porém as frequências máximas podem ter sido subestimadas devido ao alcance do equipamento de gravação ser limitado a 22 kHz. Também quantificaram a presença de pontos de inflexão, média 1,2 para *D. delphis* e 1,3 para *D. capensis*, e de patamares, média 1,0 para *D. delphis* e 1,5 para *D. capensis* (OSWALD; BARLOW; NORRIS, 2003).

Até o momento, estudos dedicados a análises quali-quantitativas do repertório de assovios de populações de golfinho-comum foram realizados apenas no Reino Unido (ANSMANN et al., 2007) e no Golfo Hauraki, na Nova Zelândia, (PETRELLA et al., 2012). No geral, o golfinho-comum apresenta um repertório variado de assovios e alguns são emitidos com características de possíveis assovios-assinatura (ANSMANN et al., 2007; PETRELLA et al., 2012).

Apesar da ampla distribuição do gênero nos oceanos tropicais e temperados (PERRY, 2008), nenhuma informação sobre suas vocalizações é conhecida para o Oceano Atlântico Sul. No Brasil, os poucos estudos com o gênero *Delphinus* focaram-se em outros aspectos que não acústicos, como distribuição (p. ex., TAVARES et al., 2010), hábitos alimentares (MELO et al., 2010) e idade e crescimento (SICILIANO et al., 2007).

Alguns estudos bioacústicos nos últimos vinte anos têm documentado a presença de “fenômenos não lineares” ou “não linearidades” nas emissões sonoras de diferentes espécies de animais (e.g. FEE et al., 1998; FENG et al., 2009; BENKO; PERC, 2007; WILDEN et al., 1998), incluindo-se algumas espécies de cetáceos (e.g. TYSON; NOWACEK; MILLER, 2007; MERCADO et al., 2010). Possivelmente tais características estruturais podem facilitar/permitir o reconhecimento individual e a transmissão de informação de status como sexo, idade e condições físicas (WILDEN et al., 1998).

Fenômenos não lineares são formados por um conjunto de variáveis onde uma mudança inicial de uma variável qualquer não produz uma mudança proporcional no comportamento desta ou de outras variáveis, ou seja, a razão causa/efeito não é constante (JACKSON, 1991). Uma vez que a fonação em mamíferos é produzida por estruturas vibratórias acopladas (como pregas vocais, lábios vocais, sacos aéreos e a própria laringe) sua dinâmica é naturalmente não linear (FITCH; NEUBAUER; HERZEL, 2002). A fonação normal de humanos e primatas não humanos, por exemplo, é caracteristicamente uma dinâmica não linear do tipo *ciclo limite estável*, onde o acoplamento dinâmico entre as pregas vocais irão sincronizar suas vibrações, levando a oscilações regulares e periódicas (FITCH; NEUBAUER; HERZEL, 2002).

Uma representação espectrográfica dos fenômenos não lineares vocalmente relevantes é mostrada na Figura 3.2. As vocalizações puramente harmônicas (Figura 3.2-I), com uma frequência fundamental, F_0 , e harmônicos que são múltiplos inteiros dessa frequência, são causadas pela dinâmica *ciclo limite*.

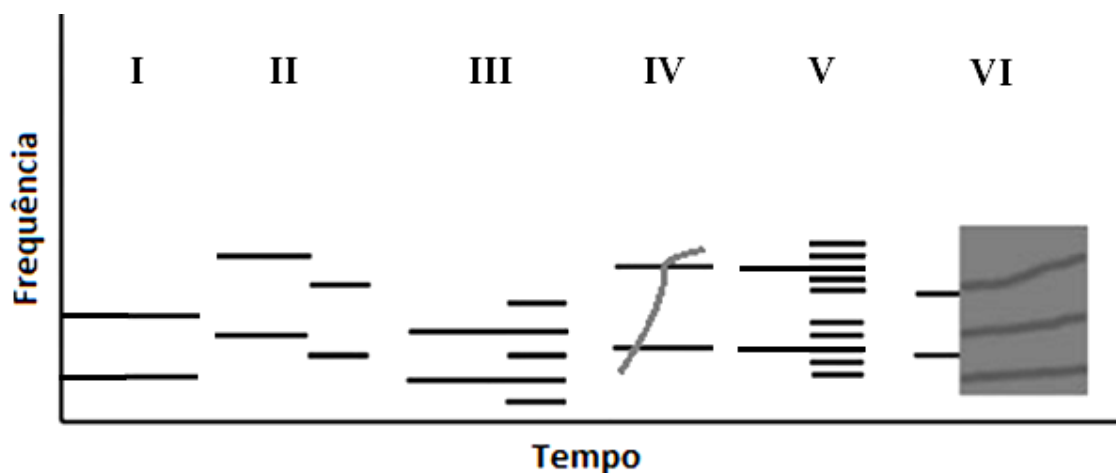


Figura 3.2. Espectrograma esquemático representando os fenômenos não lineares vocais: I – ciclo limite; II – pulso de frequência; III – sub-harmônicos; IV – bifonação independente; V – bifonação banda-lateral; VI – caos determinístico. (adaptado de RIEDE; OWREN; ARCADI, 2004).

Pulos de frequência (Figura 3.2-II) referem-se a mudanças súbitas na frequência fundamental devido ao ritmo da vibração aumentar ou diminuir abrupta e descontinuamente, o que é qualitativamente diferente da modulação contínua e suave (RIEDE; OWREN;

ARCADI, 2004). Pulos de frequência representam um regime de instabilidade na oscilação das pregas vocais (BROWN et al., 2003).

Sub-harmônicos (Figura 3.2-III) ocorrem quando a frequência de vibração de cada prega vocal é diferente, estando elas ainda acopladas e sincronizadas, o que pode ocorrer, por exemplo, se existe mais tensão em uma das pregas do que na outra (FITCH; NEUBAUER; HERZEL, 2002). Espectralmente aparecem como componentes que são frações de uma F_0 identificável ($F_0/2$, $F_0/3$, e em diante) a intervalos uniformemente espaçados abaixo da F_0 e entre harmônicos adjacentes (RIEDE; OWREN; ARCADI, 2004).

Quando o acoplamento entre as estruturas oscilatórias é muito fraco, elas podem vibrar livremente em frequências independentes, formando dois contornos distintos e independentes no espectrograma, F_0 e G_0 , fenômeno chamado de *bifonação* (WILDEN et al., 1998; FITCH; NEUBAUER; HERZEL, 2002) (Figura 3.2-IV). A bifonação pode ser causada, por exemplo, por pequenas assimetrias nas pregas vocais ou pela interação de outras estruturas osciladoras (MERGELL; HERZEL, 1997). Ela também pode ser vista na forma de *bandas laterais* a F_0 e seus harmônicos (Figura 3.2-V), pois tais vibrações em frequências levemente diferentes causam flutuações regulares de amplitude na onda sonora e produzem bandas laterais no espectrograma (RIEDE; OWREN; ARCADI, 2004).

Osciladores acoplados dessincronizados podem vibrar em uma dinâmica não periódica e irregular denominada *caos determinístico* (Figura 3.2-VI). Este se caracteriza por apresentar energia espalhada em uma banda relativamente larga de frequência, com alguns períodos residuais de energia relacionados ao componente harmônico anterior (TYSON; NOWACEK; MILLER, 2007). Um jeito de se pensar caos é que ele representa a combinação de muitas órbitas periódicas. O sistema erraticamente pula de uma órbita instável para a outra quando em um sistema vibratório caótico (WILDEN et al., 1998; RIEDE; OWREN; ARCADI, 2004; MANN; O'SHEA; NOWACEK, 2006; TYSON; NOWACEK; MILLER, 2007). O termo “caos determinístico” tem sido usado em estudos bioacústicos para designar vocalizações ou trechos de vocalizações que apresentem espectralmente a energia espalhada continuamente por uma faixa ampla de frequências, mesmo sem a aplicação de análises quantitativas para determinar qual a dinâmica envolvida nesta emissão (WILDEN et al., 1998; FITCH; NEUBAUER; HERZEL, 2002; RIEDE; OWREN; ARCADI, 2004). No presente estudo, este termo será usado com este mesmo significado.

O objetivo deste estudo é descrever o repertório de assovios de um grupo de *Delphinus* sp. observado na região do Cabo Frio e quantificar a proporção em que características não lineares são encontradas nesses assovios.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Área de estudo

A costa do Cabo Frio ($22^{\circ}50'21''\text{S}$; $41^{\circ}54'37''\text{W}$ - $23^{\circ}00'18''\text{S}$; $42^{\circ}05'53''\text{W}$ - a propósito deste estudo inclui os municípios de Cabo Frio e Arraial do Cabo) é uma região marcada por uma mudança na direção da costa de norte-sul para sudeste-nordeste e com uma inclinação pronunciada (DE LEO; PIRES-VANIN, 2006). Durante o ano ocorre a mistura de duas massas de água (a Corrente do Brasil e a Água Central do Atlântico Sul), fortemente influenciada pelo regime de ventos norte-nordeste e que produz o fenômeno de ressurgência, prevalentemente durante a primavera e o verão (CARBONEL, 1998). Neste fenômeno, as águas da corrente do Brasil são deslocadas para o oceano devido ao vento nordeste, enquanto a Água Central do Atlântico Sul emerge do fundo e banha a costa. A área amostrada compreende profundidades de 50-90 m, com frações de areia fina a muito fina (DE LEO; PIRES-VANIN, 2006) e encontra-se parcialmente localizada dentro de uma reserva extrativista marinha, RESEX Arraial do Cabo (Figura 3.2).

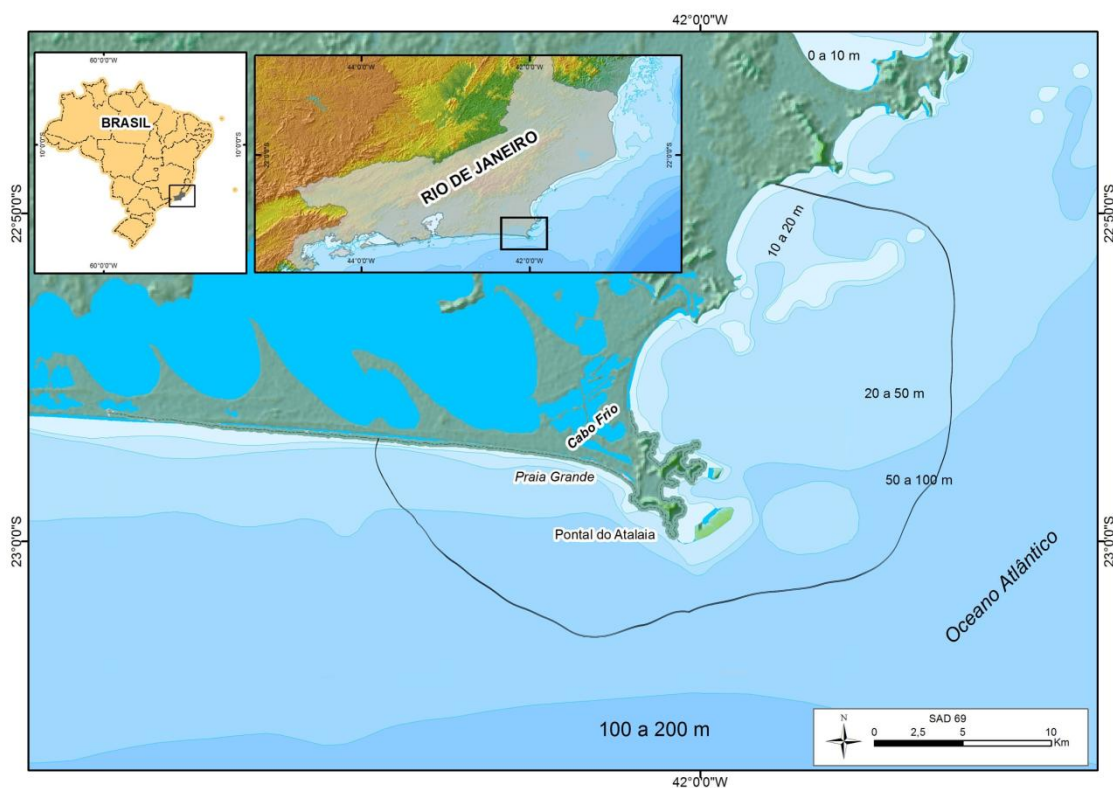


Figura 3.3. A região do Cabo Frio, RJ. A área demarcada compreende a área de estudo.

3.2.2 Coleta de dados

De dezembro de 2010 a novembro de 2012 quatro saídas de campo mensais (média = 5,8 h/saída, mínimo = 3,25 h/saída, máximo = 8,00 h/saída) foram conduzidas usando um bote inflável (6,5m) equipado com motor de popa (150 hp). Rotas randômicas foram estabelecidas para maximizar a cobertura da área. Quando um grupo de golfinhos era avistado, buscava-se uma aproximação de 50 m para que os dados iniciais fossem obtidos: identificação da espécie, tamanho e composição do grupo, temperatura superficial e visibilidade da água e posição geografia do grupo (registrada em aparelho GPS-Garmin E-Trex Vista CX). Após os golfinhos terem aparentemente se aclimatado à presença do barco, este se posicionava à frente do grupo, desligava o motor para redução de ruídos e iniciavam-se as gravações sonoras subaquáticas. Uma vez que o grupo tivesse passado pelo barco, a gravação era interrompida e esse processo era repetido continuamente até que um bom número de gravações houvesse sido obtido ou o grupo houvesse se afastado da área de amostragem.

As emissões sonoras foram gravadas por meio de um hidrofone C54 (Cetacean Research Technology Inc.; 0,008 a 100 kHz; -168 dB re: 1 V/ μ Pa), depositado à profundidade aproximada de 2 metros e acoplado à entrada de microfone de um gravador M-Audio MicroTrack 24/96 (taxa de amostragem de 96.000 Hz, 2 canais, 24 bits). Paralelamente, fotografias eram tiradas com uma câmera CANON EOS D-40 equipada com lente 75-300 mm, para a construção de um catálogo de foto-identificação e uma câmera de vídeo (SONY DCR-SX 40) era usada para registros comportamentais. As gravações sonoras obtidas foram armazenadas em HD no banco de dados do Laboratório de Bioacústica e Ecologia de Cetáceos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

3.2.3 Análises acústicas

Todas as análises acústicas e mensurações sonoras foram feitas usando o software *Raven Pro 1.4* (Cornell Laboratory of Ornithology; janela Hann 5,33 ms, 50% sobreposição, filtro 3dB 270 Hz, DFT 512 amostras). Todos os assovios encontrados em que não houve dúvidas quanto aos seus contornos foram analisados. Um total de 11 parâmetros foi mensurado do espectrograma de cada assovio para caracterizá-los quantitativamente (Tabela 3.1).

Tabela 3.1. Descrição dos parâmetros quantitativos mensurados em cada assovio.

Parâmetro	Descrição
Duração	Tempo de duração do assovio
Frequência inicial (Fi)	Frequência (kHz) no ponto inicial do assovio
Frequência final (Ff)	Frequência (kHz) no ponto final do assovio
Frequência mínima (Fmn)	Frequência mais baixa do assovio
Frequência máxima (Fmx)	Frequência mais alta do assovio
Frequência média	Média de todos os pontos de frequência marcados ao longo do assovio
Gradiente de frequência	Calculado por $(Ff - Fi)/\text{duração}$
Faixa de frequência	Calculado por $Fmx - Fmn$
Nº de Inflexões	Pontos onde a modulação da frequência muda de ascendente para descendente ou vice-versa
Nº de Patamares	Pontos de frequência constante entre dois períodos de mesma modulação de frequência, ou seja, dois períodos de frequências ascendentes ou descendentes.
Nº de Harmônicos	Numero de harmônicos presentes no espectro

Os assovios foram então subjetivamente separados em tipos esquemáticos, baseado na forma geral de seus contornos nos espectrogramas, segundo as categorias gerais e tipos já descritos para o gênero: frequência constante (FC), ascendentes, descendentes, convexos, côncavos, sinodais (ASMANN et al., 2007). Também foram usadas as categorias alternativas descritas por Petrella et al. (2012): FC prevalecente, ascendente prevalecente, descendente prevalecente, convexo prevalecente, côncavo prevalecente e senoidal prevalecente.

3.2.4 Análises dos fenômenos não lineares

Para quantificar a proporção dos fenômenos não lineares no repertório acústico do golfinho-comum, seguiu-se uma metodologia previamente aplicada (WILDEN et al., 1998; RIEDE; OWREN; ARCADI, 2004; MANN; O'SHEA; NOWACEK, 2006; TYSON; NOWACEK; MILLER, 2007). Para cada assovio analisado, foi anotada a presença ou ausência de cada um dos tipos de não linearidade: pulos de frequência, sub-harmônico, bifonação e caos determinístico. Apesar de as vocalizações harmônicas, causadas pela dinâmica ciclo limite, serem também um fenômeno não linear, elas serão usadas no presente estudo apenas para contraste com os outros fenômenos.

Quando havia alguma dúvida se a característica espectral era uma não linearidade ou causada por efeitos da gravação, a decisão mais conservadora era tomada e a ausência de não

linearidade era considerada. Uma vez que a metodologia utilizada não permitiu gravação individualizada das vocalizações, apenas a bifonação tipo banda lateral foi estabelecida, pois a bifonação independente poderia ser confundida com a vocalização simultânea de dois golfinhos.

Para aqueles segmentos de caos determinístico em que não havia emissão simultânea de qualquer outro tipo de vocalização (outro assovio ou sons pulsantes), séries temporais, representativas da dinâmica, foram montadas. As quatro maiores séries foram então selecionadas e usadas para determinar se estas emissões eram devidos a dinâmicas caóticas ou ruído Gaussiano não determinístico, seguindo a técnica descrita por Facchini et al. (2003), usando o programa TISEAN[®] (HEGGER; KANTZ; SCHREIBER, 1999). Usaram-se as séries temporais geradas pelos segmentos de caos determinístico dos seguintes assovios: ass94, ass128, ass151 e ass225. Uma vez que a contaminação das séries temporais por ruído é um fator limitante das análises de dinâmica caótica (KANTZ; SCHREIBER, 2004), estes segmentos foram passados por um filtro *bandstop* de 0 a 300 Hz, através do software *Raven pro 1.4*, para diminuir o ruído de fundo. As séries temporais desses segmentos filtrados também foram analisadas para detecção de dinâmica caótica. Dessa forma pode-se determinar se a retirada do ruído de fundo é suficiente para diminuir a contaminação das séries temporais.

3.2.4.1. Métodos computacionais

Uma série temporal é um conjunto discreto numerável de valores de uma variável de estado de um sistema dinâmico (SAVI, 2006). Para se analisar este sistema é necessária a reconstrução de espaço de estado a partir da série temporal. Este espaço reconstruído apresenta pequenas variações em relação ao espaço original preservando, porém, os invariantes geométricos do sistema, como a dimensão do atrator, ponto para o qual o sistema evolui na medida em que o tempo também evolui, e os expoentes de Lyapunov (SAVI, 2006), sendo os últimos uma forma de quantificar a robustez do caos (KANTZ; SCHREIBER, 2004).

A reconstrução do espaço de fase é baseada no *teorema de imersão de Takens-Mañé*, usando-se o *método das coordenadas defasadas*. Iniciando-se com uma série temporal $s(t)=[s_1, \dots, s_n]$, uma trajetória reconstruída pode ser expressa como uma matriz, onde cada linha é um vetor do espaço de fase (FACCHINI et al., 2003):

$$\mathbf{X}=[\mathbf{X}_1, \mathbf{X}_2, \dots, \mathbf{X}_M]^T,$$

onde

$$X_i = [s_i, s_{i+\tau}, \dots, s_{i-(D_e-1)\tau}] \text{ e}$$

$$M = N - (D_e - 1)\tau.$$

A matriz é caracterizada por dois parâmetros principais: a dimensão de imersão (D_e) e o tempo de defasagem (τ). O tempo de defasagem representa a medida de correlação existente entre dois componentes consecutivos de vetores D_e -dimensionais usados na reconstrução da trajetória e esse valor corresponde ao primeiro mínimo da função de *informação mútua média* (FACCHINI et al., 2003). Esse tempo é então usado para análises da dimensão de imersão, a dimensão mínima na qual o atrator reconstruído pode ser considerado totalmente revelado sem sobreposição nas trajetórias reconstruídas (KANTZ; SCHREIBER, 2004). As dimensões de imersão foram encontradas usando o *método dos falsos vizinhos próximos* (KENNEL; BROWN; ABARBANEL, 1992). Quando um atrator é fracamente reconstruído, falsos vizinhos podem ocorrer no ponto de interseção das trajetórias. Conforme a dimensão aumenta, o atrator é revelado com alta fidelidade e o número de falsos vizinhos diminui a zero. A primeira dimensão sem pontos de sobreposição é a dimensão de imersão (FACCHINI et al., 2003).

O tempo de defasagem e a dimensão de imersão são usados nas análises dos expoentes de Lyapunov. Sistemas caóticos mostram uma sensível dependência das condições iniciais de uma trajetória e os expoentes de Lyapunov são uma medida dessa dependência. Se a trajetória envolve um estado de espaço N -dimensional, existem N expoentes arranjados em ordem decrescente, referidos como *espectro dos expoentes de Lyapunov* (EEL). Uma trajetória é caótica se há pelo menos um expoente positivo; o valor desse expoente, chamado de *expoente máximo de Lyapunov* (EML), representa uma medida local de divergência de trajetórias infinitesimalmente próximas e de imprevisibilidade do sistema e permite uma boa caracterização da dinâmica (FACCHINI et al., 2003). Segmentos caóticos são identificados por terem EML maior que zero (KANTZ; SCHREIBER, 2004).

Todas as análises foram feitas com o uso das funções do programa TISEAN[®]. A função *mutual* foi usada para determinar o tempo apropriado de defasagem de cada segmento. A dimensão de imersão de cada segmento foi encontrada através da função *false_nearest*. O EEL foi calculado usando-se o método de Sano e Sawada (SANO; SAWADA, 1985) através da função *lyap_spec* do programa TISEAN[®]. O EML foi calculado usando-se o método de Kantz (KANTZ, 1994) através da função *lyap_k* do programa TISEAN[®]. O valor exato do

EML é encontrado pela regressão linear máxima tomada na região de crescimento exponencial da curva gerada pela análise (KANTZ; SCHREIBER, 2004).

Para testar a eficiência do programa TISEAN[®] em identificar a dinâmica caótica, também foram submetidos as análises um segmento de som harmônico gerado eletronicamente (taxa de amostragem a 96 kHz) e uma série temporal sabidamente caótica (DE PAULA; SAVI; PEREIRA-PINTO, 2006).

3.3 RESULTADOS

Um total de 96 saídas de campo foi realizado, perfazendo 525,4 horas de esforço amostral. Grupos de *Delphinus* sp. foram observados em apenas três saídas (6%), totalizando 10,5 h de observação direta. Em apenas uma delas foi possível a realização de gravações sonoras, devido as condições de mar severas, totalizando 67 minutos.

Desta gravação, 473 assovios foram selecionados e analisados (Tabela 3.2). Deste total, 71,88% apresentaram inflexões, 49,05% apresentaram patamares e 81,13% apresentaram harmônicos.

Tabela 3.2. Caracterização quantitativa dos parâmetros analisados nos assovios de *Delphinus* sp. na região de Cabo Frio (N = 473).

Parâmetro	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão
Frequência inicial (kHz)	13,11	3,05	27,80	4,55
Frequência final (kHz)	12,82	4,80	23,03	3,95
Frequência mínima (kHz)	8,73	3,05	16,76	1,75
Frequência máxima (kHz)	16,45	4,91	28,04	3,72
Frequência média (kHz)	12,78	3,98	19,28	2,39
Gradiente de frequência (kHz/s)	2,34	-39,09	84,75	15,94
Faixa de frequência (kHz)	7,74	0	23,45	3,93
Duração (s)	0,714	0,041	3,669	0,459
Pontos de inflexão	1,1	0	8	1,07
Patamares	0,7	0	4	0,86
Harmônicos	1,4	0	5	1,01

Todas as seis categorias básicas de assovios descritas por Ansmann et al. (2007) para as águas do Reino Unido foram observadas, porém alguns dos tipos descritos por estes autores não foram encontrados no repertório do grupo estudado (Figura 3.4). Contornos classificáveis nas seis novas categorias descritas por Petrella et al. (2012), para as águas da Nova Zelândia, também foram observados no repertório estudado, porém, dos 45 tipos descritos por eles, apenas 9 foram observados (Figura 3.5). Um total de 54 novos contornos de assovios foram observados e classificados nas categorias propostas por Petrella et al. (2012) (Figura 3.5).

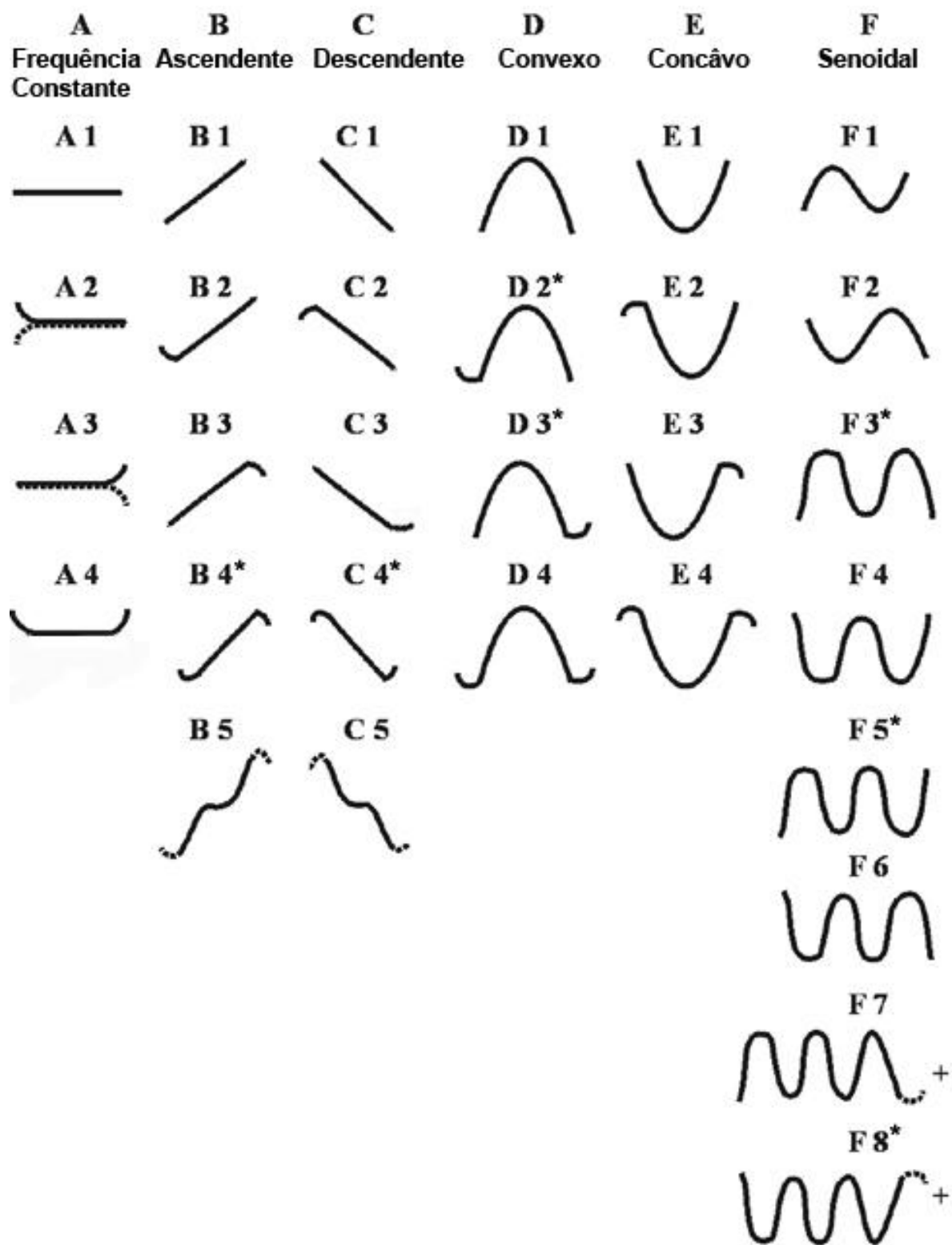


Figura 3.4. Contornos idealizados dos tipos de assovios classificados nas categorias básicas (adaptado de Ansmann et al, 2007). Tipos marcados com * não foram observados nos assovios de *Delphinus* sp. em Cabo Frio.

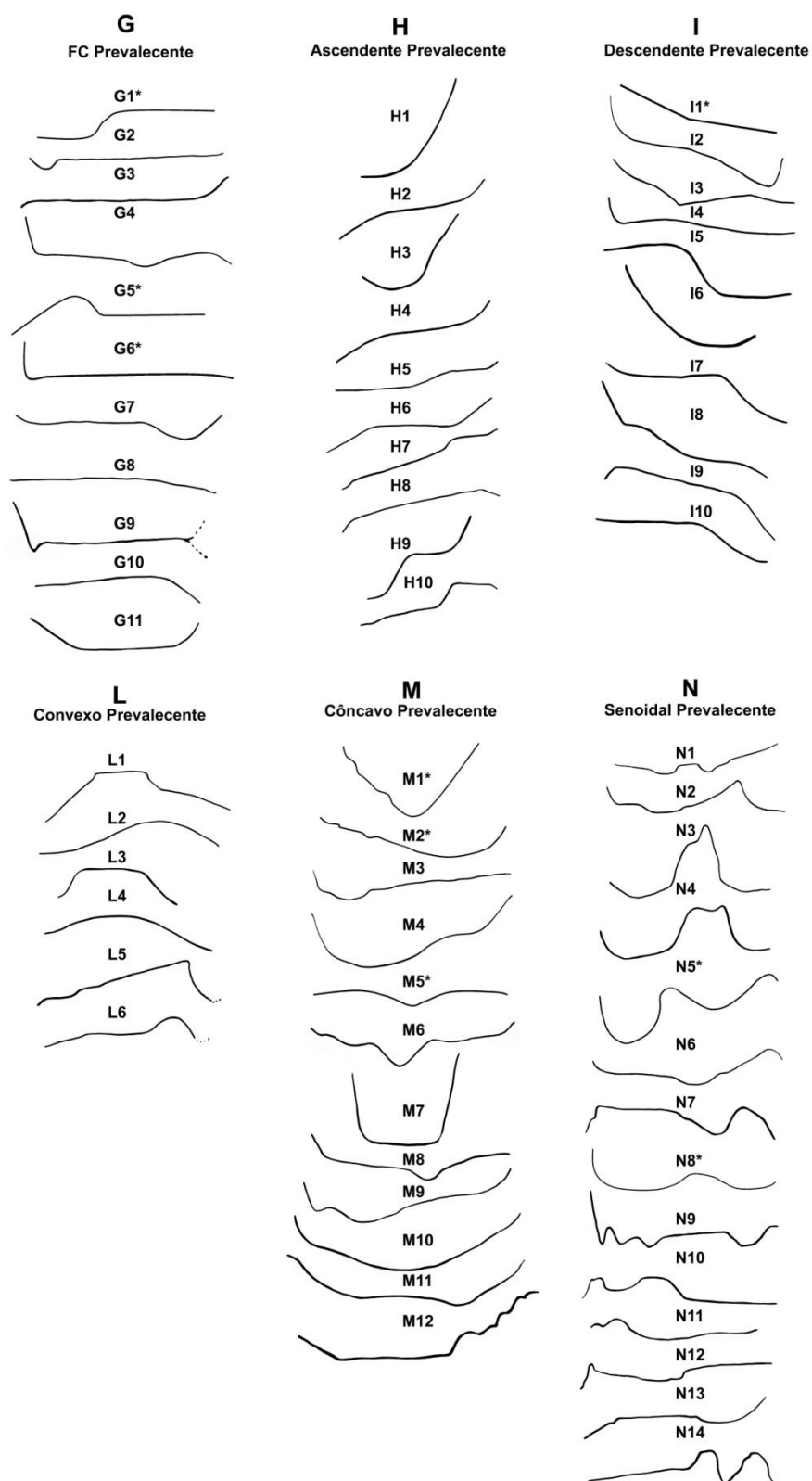


Figura 3.5. Contornos idealizados dos tipos de assovios classificados nas categorias propostas por Petrella et al. (2012). Tipos marcados com * são iguais aos observados no estudo anteriormente referido.

De forma geral, os parâmetros quantitativos dos assovios do grupo de Cabo Frio assemelham-se àqueles observados nas populações do Canal Inglês e do Mar Celta, Reino Unido (ANSMANN et al. 2007) e do Golfo Hauraki, Nova Zelândia (PETRELLA et al, 2012) (Tabela 3.3), apresentando porém algumas diferenças. Os assovios do grupo de Cabo Frio apresentam frequência mínima mais baixa, frequência máxima mais alta e maior faixa de frequência do que os assovios da população das águas da Nova Zelândia (PETRELLA, et al., 2012) e da população do Reino Unido (ANSMANN, et al., 2007). A duração média também se mostrou nitidamente maior (mais que o dobro) em relação à população da Nova Zelândia, assim como o número médio de pontos de inflexão também se mostrou maior em relação às outras três populações. O número médio de patamares presentes nos assovios do grupo de Cabo Frio mostrou-se várias vezes maior do que o valor observado na população da Nova Zelândia e do Mar Celta, porém foi um pouco menor do que o observado para o Canal Inglês (ANSMANN, et al., 2007; PETRELLA, et al., 2012).

Tabela 3.3. Parâmetros quantitativos dos assovios de *Delphinus* sp. de Cabo Frio comparados com os do Golfo Hauraki, Nova Zelândia (PETRELLA et al., 2012) e do Reino Unido (ANSMANN et al., 2007).

Parâmetros	Cabo Frio (n= 473)	Golfo Hauraki (n=2663)	Mar Celta (n=1835)	Canal Inglês (n=435)
Frequência inicial (kHz)	13,11 ± 4,55	12,59 ± 4,07	12,03± 3,47	12,64 ± 3,95
Frequência final (kHz)	12,82 ± 3,95	12,29 ± 4,07	11,97± 3,25	12,48 ± 3,97
Frequência mínima (kHz)	8,73 ± 1,75	11,39 ±3,89	9,45 ± 2,06	9,80 ± 2,46
Frequência máxima (kHz)	16,44 ± 3,73	13,60 ± 4,13	14,69± 3,13	15,84 ± 3,28
Frequência média (kHz)	12,77 ± 2,39	12,46 ± 3,81	11,89± 2.05	12,67 ± 2,37
Gradiente de frequência (kHz/s)	2,34 ± 15,94	-0.89 ± 14,39	0.38 ± 9,73	0,51 ± 11,63
Faixa de frequência (kHz)	7,74 ± 3,93	2,21 ± 2,60	5,24 ± 3,25	6,03 ± 3,42
Duração (s)	0,71 ± 0,46	0,27 ± 0,32	0,65 ± 0,33	0,64 ± 0,32
Pontos de inflexão	1,1 ± 1,07	0,56 ± 0,86	0,64 ± 0,98	0,56 ± 0,91
Patamares	0,7 ± 0,86	0,06 ± 0,35	0,13 ± 0,39	1,10 ± 0,34

Dos 473 assovios de *Delphinus* sp. de Cabo Frio analisados, os contornos côncavos e ascendentes foram os mais frequentes (24,62% e 22,20%, respectivamente), seguidos pelos contornos descendentes (17,76%) e FC (15,64%). Contornos convexos (9,94%) e sinodais (9,94%) foram observados menos frequentemente. Em todas as categorias de assovios

identificadas no presente estudo, os tipos com menor modulação de frequência (menor número de pontos de inflexão e de patamares) foram os mais frequentes.

As não linearidades foram encontradas em 38,4% dos 473 assovios analisados. Todos os quatro tipos de feições não lineares foram observados nos assovios analisados (Figura 3.6), sendo que 9,94% deles apresentaram mais de uma feição. A não linearidade mais frequentemente observada foi o pulo de frequência, presente em 29,75% dos assovios, tendo sido observados tanto pulos para frequências superiores quanto inferiores. Múltiplos pulos podem ser observados em um mesmo assovio. A bifonação tipo banda lateral foi observada em 11,06% dos assovios e o caos determinístico em 4,64%. Sub-harmônicos foram observados em apenas 3,16% dos assovios analisados.

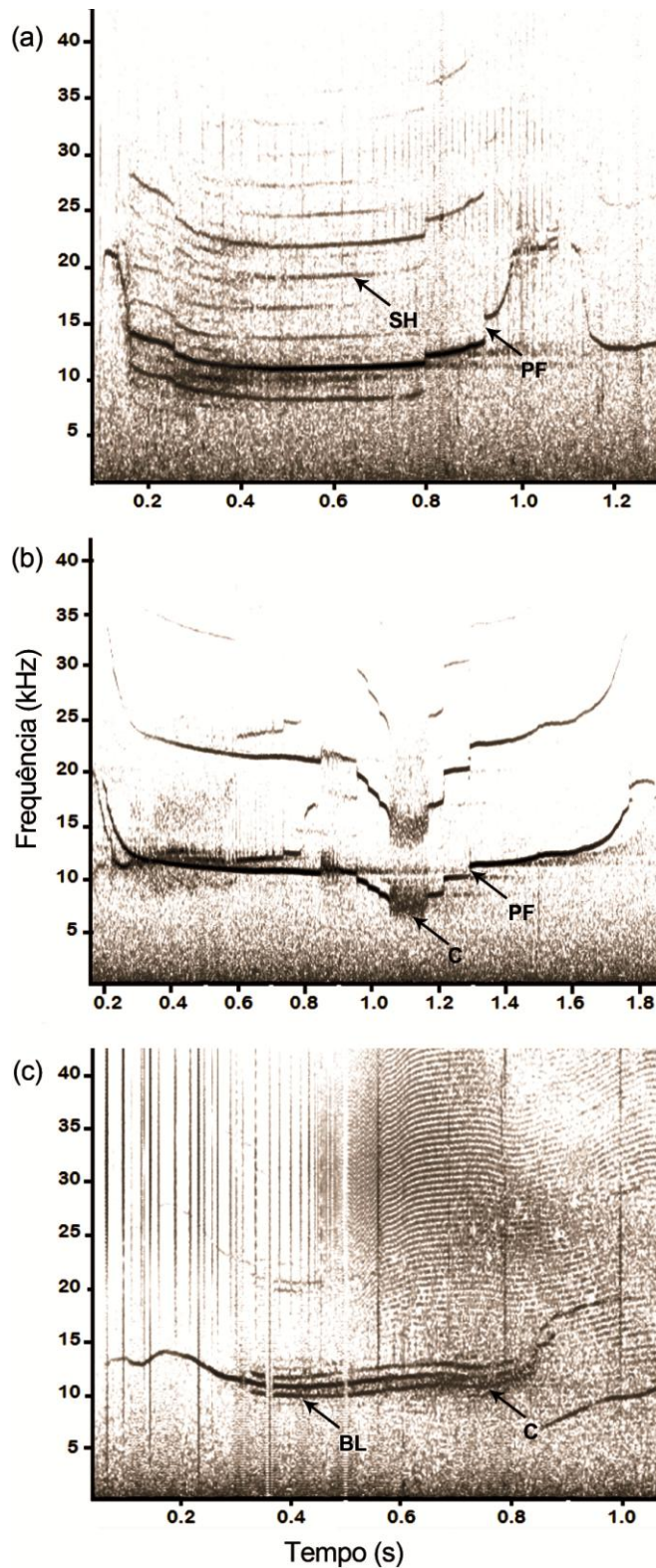


Figura 3.6. Espectrogramas de assovios representativos do repertório de *Delphinus* sp. mostrando feições não lineares (assinaladas por setas). Pulos de frequência (PF) podem ser vistos nos assovios (a) e (b); segmentos de caos determinístico (C) podem ser visto nos assovios (b) e (c); Sub-harmônicos (SH) estão presentes no assovio (b); e bandas laterais (BL) no assovio (c).

De forma geral, as não linearidades apresentaram-se largamente distribuídas pelos tipos de assovios classificados. Destaca-se o tipo L1, o qual apresentou pulos de frequência em todos os 10 exemplares analisados (Figura 3.7). Portanto, esta parece ser uma característica definidora desse tipo de assvio.

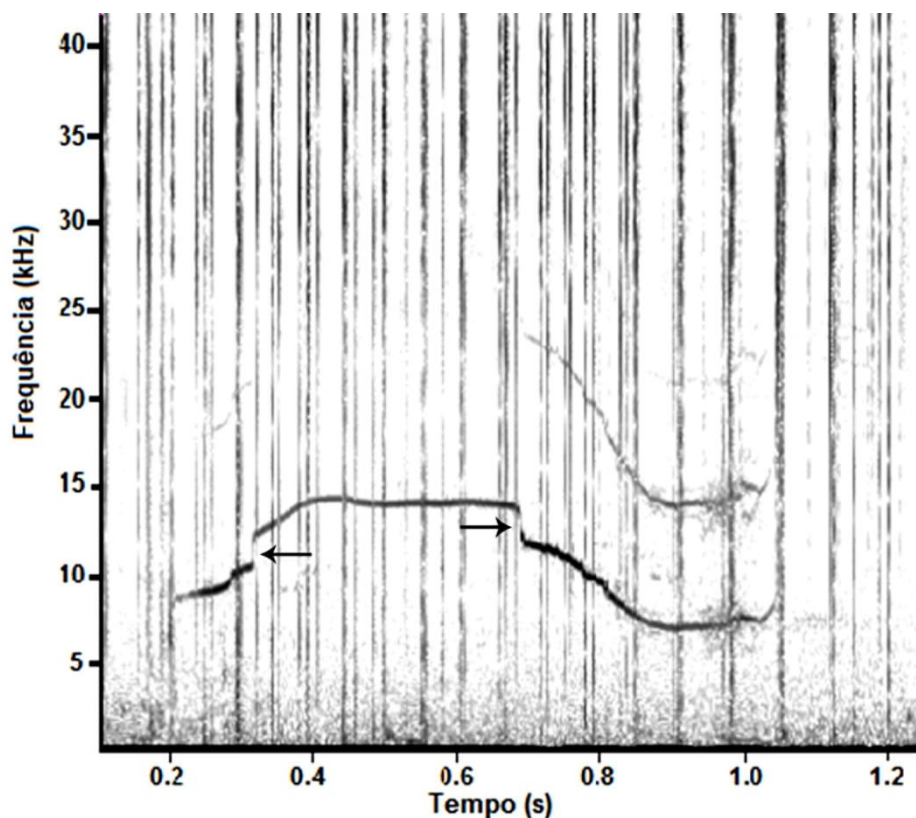


Figura 3.7. Espectrograma de um assvio do tipo L1 mostrando a presença de pulos de frequência, indicados por setas.

As análises de dinâmica caótica feitas para o som harmônico gerado e para a série sabidamente caótica, apresentaram os resultados esperados (Tabela 3.4; Figura 3.8 e Figura 3.9), demonstrando que o programa TISEAN[®] é capaz de identificar corretamente dinâmicas periódicas de dinâmicas caóticas.

Tabela 3.4. Resultados das análises de dinâmica caótica para os segmentos selecionados nos assovios, os segmentos dos assovios filtrados, o tom harmônico gerado e a série caótica conhecida.

Segmento analisado	Tempo de defasagem	Dimensão de imersão	Valor do expoente positivo (EEL)	Expoente Máximo de Lyapunov (EML)	Número de pontos amostrados
ass94	6	6	0,048	não obtido	12.833
ass94 filtrado	7	6	0,086	não obtido	12.833
ass128	5	6	0,030	não obtido	11.594
ass128 filtrado	5	8	1,081	não obtido	11.594
ass151	4	6	0,061	não obtido	10.537
ass151 filtrado	4	9	1,281	não obtido	10.537
ass225	6	6	0,033	não obtido	16.102
ass225 filtrado	4	10	1,292	não obtido	16.102
Harmônico	2	2	0,249	0	96.000
Caótico	32	3	0,056	0,185	576.001

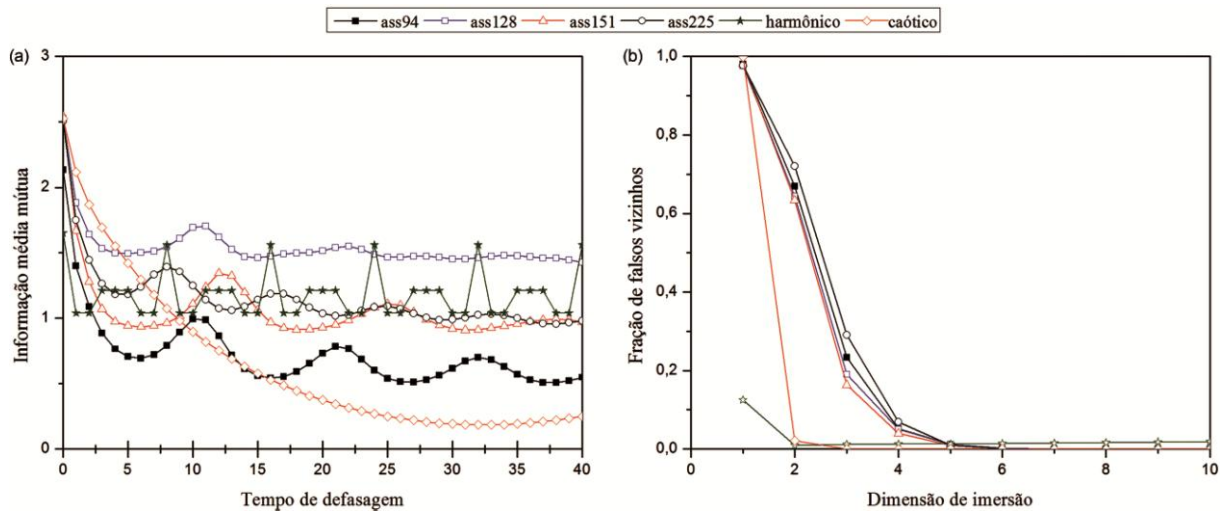


Figura 3.8. Etapas da reconstrução do atrator para as séries testadas. (a) Análise da Informação Mútua Média para determinar o tempo de defasagem. (b) Análise dos Falsos Vizinhos Próximos para determinar a dimensão de imersão.

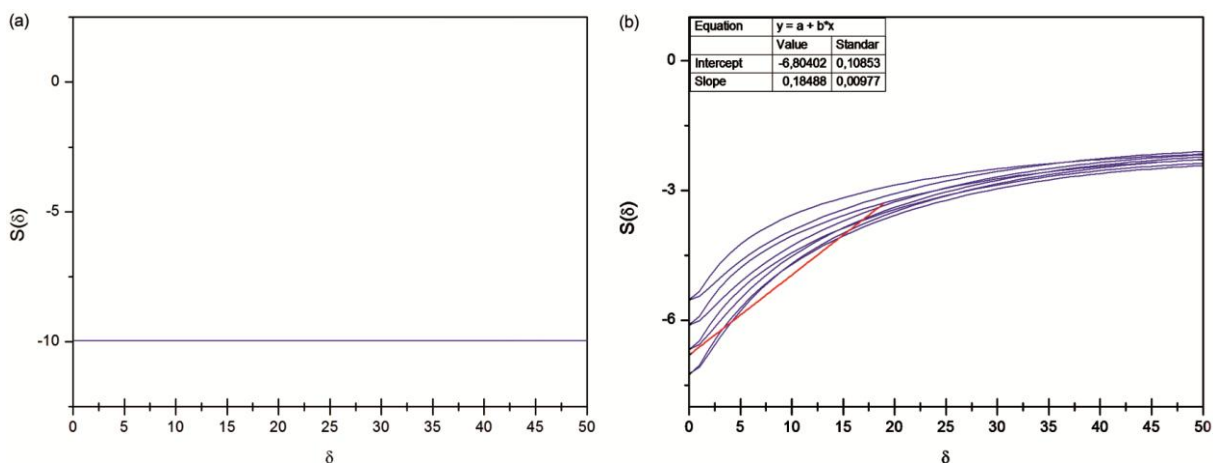


Figura 3.9. Curvas do cálculo do Expoente Máximo de Lyapunov (EML) pelo método de Kantz, formadas para (a) o som harmônico gerado e para (b) a série sabidamente caótica. Observe em (b) a inclinação exponencial entre as iterações 0 e 20 que permite o cálculo do EML através da regressão linear.

Porém, tais análises mostraram resultados inconclusivos para os segmentos de assovios testados. Para todos os quatro segmentos testados, o valor seis foi encontrado para a dimensão de imersão (Tabela 3.4; Figura 3.8). Tal fato demonstra que esses segmentos não são puramente ruído Gaussiano, o qual apresenta dimensão de imersão muito alta, por exemplo, 10^2 , 10^3 (TYSON; NOWACEK; MILLER, 2007). Os EELs dos quatro segmentos de assovios analisados mostraram um expoente positivo (Figura 3.10), porém as curvas resultantes do método de Kantz, para estes mesmos segmentos, não permitiram o cálculo do EML, pois a área de crescimento exponencial formada é muito curta, terminando na segunda iteração (Figura 3.11).

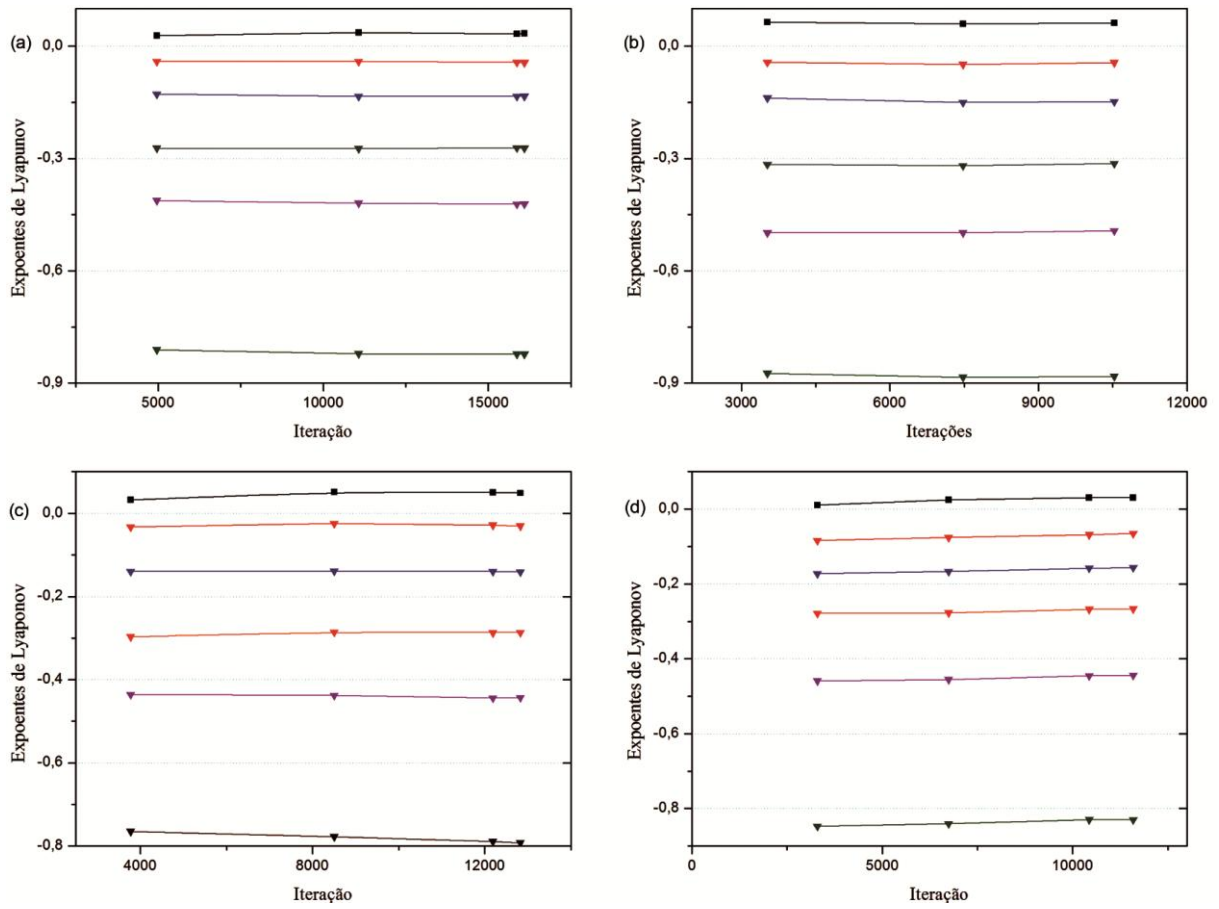


Figura 3.10. Espectro dos expoentes de Lyapunov para os quatro segmentos de assovios testados. Observe a presença de um expoente positivo em todos os espectros. (a) ass225; (b) ass151; (c) ass94; (d) ass128.

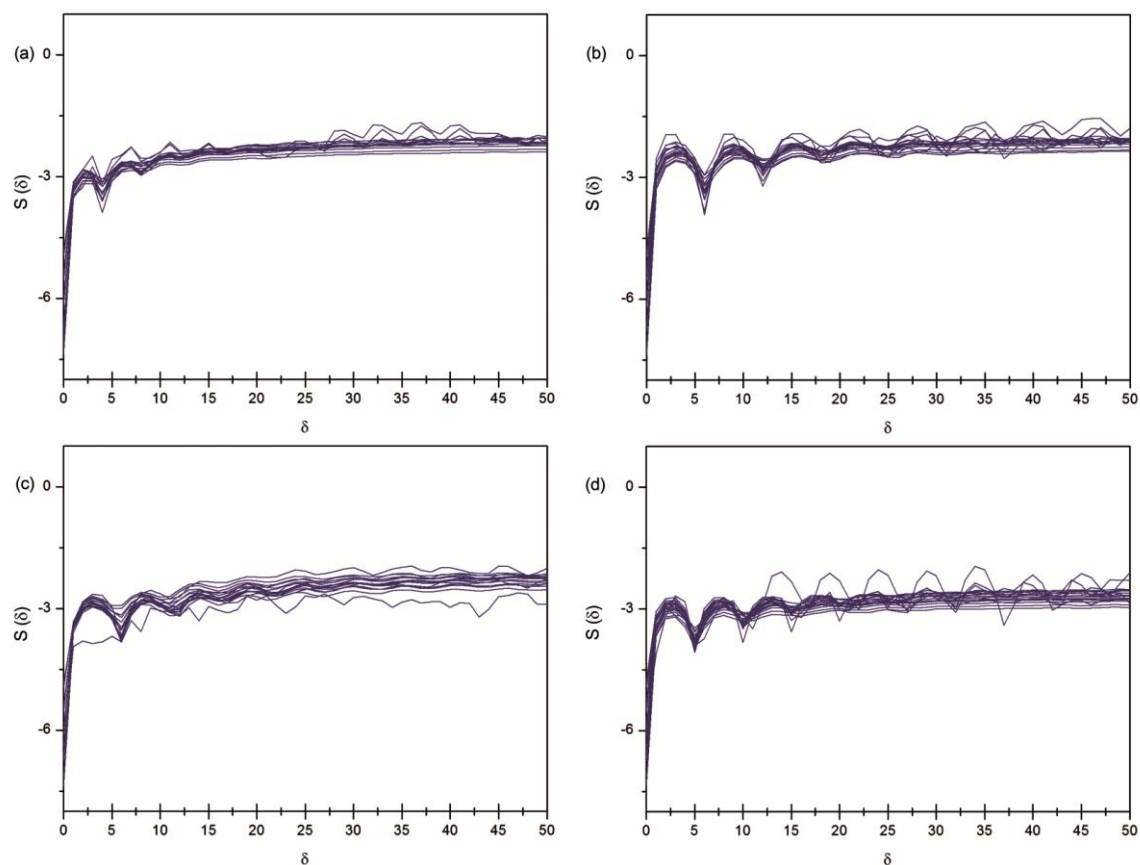


Figura 3.11. Curvas do cálculo do Expoente Maximo de Lyapunov (EML) pelo método de Kantz, formadas para cada segmento de assovio testado. Observe o rápido crescimento exponencial nas duas primeiras iterações e a “planificação” da curva após esse ponto. (a) ass225; (b) ass151; (c) ass94; (d) ass128.

As análises usando os segmentos filtrados mostraram resultados semelhantes aos obtidos com os segmentos não filtrados (Tabela 3.4; Figura 3.12), demonstrando que a retirada do ruído de fundo não interfere nos resultados.

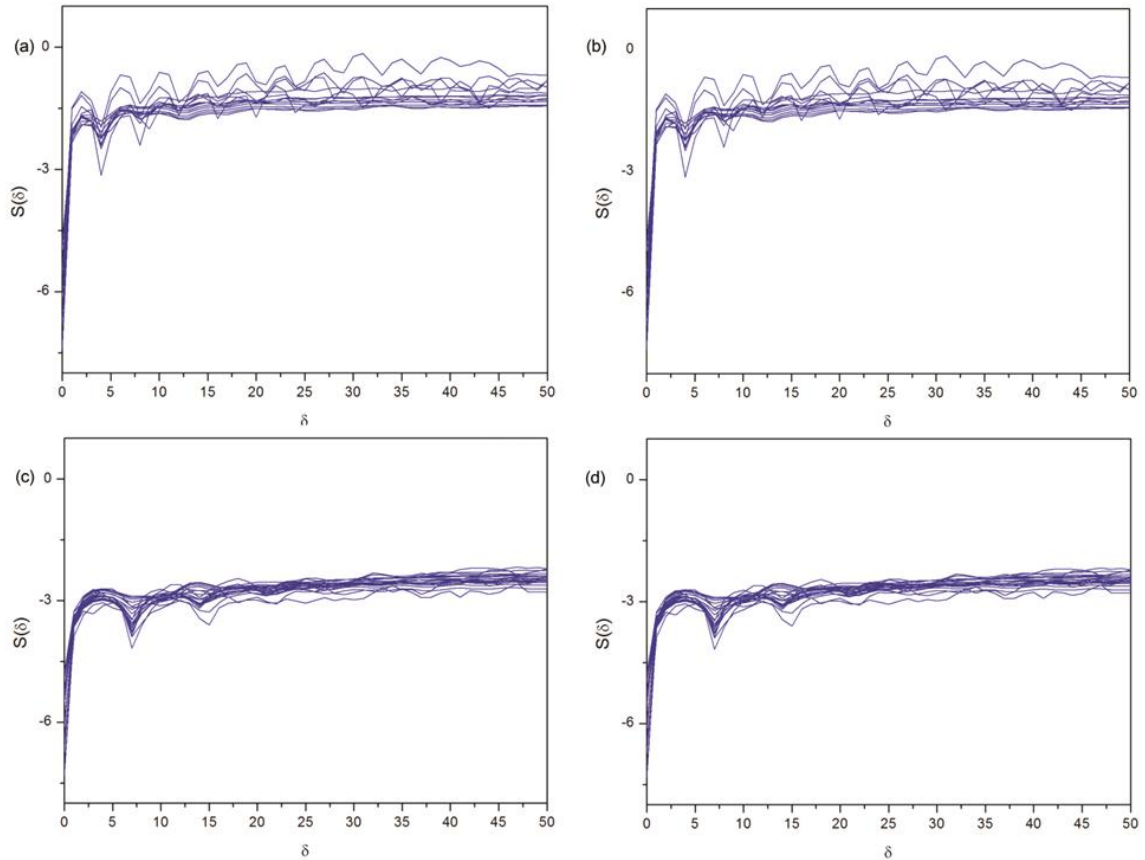


Figura 3.12. Curvas do cálculo do Expoente Máximo de Lyapunov (EML) pelo método de Kantz, formadas para cada segmento de assvio filtrado testado. Observe o rápido crescimento exponencial nas duas primeiras iterações e a “planificação” da curva após esse ponto. (a) ass225filtrado; (b) ass151filtrado; (c) ass94filtrado; (d) ass128filtrado.

3.4 DISCUSSÃO

Os odontocetos são um grupo de mamíferos extremamente vocais, emitindo uma ampla variedade de sons (HERZING, 2000 para uma revisão). Porém, mesmos para as espécies mais estudadas como *Tursiops truncatus* e *Orcinus orca*, várias questões acerca do mecanismo de geração de sons, audição, significância e função social desses sons permanecem em aberto (AU, 2000). Conhecer e quantificar o repertório vocal de uma espécie é o primeiro passo para acessar a função social de tais vocalizações (BOISSEAU, 2005) e para *Delphinus* sp. esta ainda é uma ação em andamento, especialmente para as populações do Atlântico Sul.

Apesar de os assovios analisados terem sido obtidos em uma única seção de gravação, o que provavelmente não permite a completa representação do repertório de uma espécie (OSWALD; BARLOW; NORRIS, 2003), os dados apresentados aqui representam a primeira descrição do repertório deste gênero em águas do Atlântico Sul. Os resultados mostram que o repertório de assovios do golfinho-comum é bastante variado, apresentando características que os diferenciam dos assovios de populações já estudadas e que as feições não lineares estão presentes em uma parte significativa deste repertório.

Quando comparando os assovios do grupo de Cabo Frio com os dados publicados para o Mar Celta e o Canal Inglês (ANSMANN, et al., 2007) e para o Golfo Hauraki (PETRELLA, et al., 2012), claras diferenças são notadas em quase todos os parâmetros (Tabela 3.3). De forma geral, dois pontos principais podem ser destacados nessa comparação. Primeiro, os assovios do grupo de Cabo Frio ocupam uma largura de banda de frequência mais ampla, pois apresentam frequência mínima mais baixa e frequência máxima mais alta. Dos 473 assovios analisados do grupo de Cabo Frio, a maioria ocorre entre 4 kHz e 19,3 kHz, faixa que é mais ampla do que as observadas para a população do Mar Celta, onde dos 1.835 assovios analisados a maioria ocorre entre 9 kHz e 15 kHz (ANSMANN, et al., 2007), e para a população do Golfo Hauraki, onde a maioria dos 2.663 assovios analisados ocorrem entre 10 kHz e 14 kHz (PETRELLA, et al., 2012). Porém, como o número de assovios analisados em Cabo Frio é bastante inferior aos dos estudos anteriores, essa comparação deve ser feita com cautela.

Segundo, os assovios do grupo de Cabo Frio apresentam maior modulação de frequência, pois possuem maior número médio de pontos de inflexão, em relação às outras

três populações estudadas e maior número médio de patamares do que as populações do Mar Celta e do Golfo Hauraki (ANSMANN, et al., 2007; PETRELLA, et al., 2012). Outro dado que demonstra maior modulação de frequência nos assovios do grupo de Cabo Frio é a comparação dos tipos de contornos mais frequentemente observados entre estes três estudos. Em Cabo Frio, os contornos côncavos, convexos e sinodais, que obrigatoriamente apresentam pontos de inflexão (Figura 3.4 e Figura 3.5), compõem 44,4% do repertório, enquanto que esses tipos de contorno formam apenas *ca.* 18,5% do repertório nas águas do Reino Unido (ANSMANN et al., 2007) e 19,2% no Golfo Hauraki (PETRELLA et al. 2012).

Um problema da comparação entre os resultados destes três estudos refere-se à problemática da classificação específica deste gênero. O estudo de Ansmann et al. (2007) no Reino Unido foi conduzido com grupos de *Delphinus delphis*. Petrella et al. (2012) não definiram a espécie encontrada em seu estudo na Nova Zelândia, assim como também ainda não é possível definir a(s) espécie(s) que ocorre(m) da costa brasileira. Porém, uma vez que Oswald, Barlow e Norris (2003) observaram que os assovios de *Delphinus delphis* e *Delphinus capensis* do Pacífico leste tropical não puderam ser separados com o uso de análise discriminante multivariada, acredita-se que comparações entre esses repertórios são possíveis e possam ser um ganho de informação sobre o repertório do gênero.

A principal hipótese levantada por nós é que o isolamento geográfico entre estas três populações, sudoeste do Brasil, costa do Reino Unido e costa da Nova Zelândia, seja o principal responsável pelas diferenças observadas nos parâmetros do assovio. Populações não adjacentes podem permanecer isoladas geograficamente umas das outras e desenvolver características acústicas próprias (WANG; WÜRSIG; EVANS, 1995). Variação geográfica pode resultar de vários fatores como adaptação evolutiva a condições ambientais específicas de cada região (WANG; WÜRSIG; EVANS, 1995), variações intraespecíficas em grupos fluidos (BARZUÁ-DURÁN; AU, 2004), aprendizagem e características genéticas (ROSSI-SANTOS; PODOS, 2006). Porém, estudo comparando as características dos assovios de *Delphinus* sp. dessas três regiões, com o uso de ferramentas estatísticas próprias, como as aplicadas por Morisaka et al. (2005), são necessários para definir o quão diferentes são os repertórios destas população.

O tamanho de cada grupo de golfinho e o estado comportamental em que se encontravam durante as amostragens também pode ser um dos responsáveis pelas diferenças observadas. Ansmann et al. (2007) relatam que na população do Mar Celta, algumas

características dos assovios estão significativamente correlacionados ao comportamento e ao tamanho do grupo, mas nenhum padrão geral pode ser percebido. Nas águas da Nova Zelândia, Petrella et al. (2012) compararam assovios gravados durante forrageamento e deslocamento em diferentes grupos com tamanhos similares e observou que a densidade de assovios (nº de assovios/tempo) é marcadamente maior durante forrageamento do que durante deslocamento. Os parâmetros de duração, frequência mínima e faixa de frequência também são significativamente diferentes entre esses dois estados comportamentais (PETRELLA et al., 2012). Em Cabo Frio, o grupo de golfinhos amostrado alternou os comportamentos de forrageamento e deslocamento durante todo o período de coleta de gravações acústicas. Porém, uma vez que apenas um grupo foi encontrado, comparações nos parâmetros dos assovios entre os estado comportamentais não puderam ser realizadas.

As gravações sonoras do golfo Hauraki analisadas por Petrella et al. (2013) e as do Mar Celta, analisadas por Ansmann et al. (2007) foram obtidas com equipamento de largura de banda de frequência limitada a 22 kHz, enquanto que o presente estudo apresenta largura de banda de frequência limitada a 48 kHz. Este fato também deve ser levado em conta como um dos possíveis fatores responsáveis pelas diferenças observadas, especificamente em relação à frequência máxima, uma vez que no presente estudo 4,9% dos assovios apresentaram frequência máxima acima de 22 kHz. É possível que este parâmetro tenha sido subestimado nas análises de Ansmann et al. (2007) e de Petrella et al. (2013).

Este é primeiro estudo a analisar a presença de não linearidades no repertório de assovios de *Delphinus* sp. e os resultados aqui apresentados mostram que tais feições são comuns nos assovios do grupo estudado em Cabo Frio. Nos estudos das vocalizações de mamíferos, entende-se que tais feições são resultados da dinâmica funcional das cordas/pregas vocais, as quais funcionam como um sistema de estruturas vibratórias acopladas (WILDEN et al., 1998; FITCH; NEUBAUER; HERZEL, 2002). Tais sistemas, mesmo os mais simples com apenas duas estruturas vibratórias, podem gerar padrões complexos de movimentos, que originam feições harmônicas, sub-harmônicas, bifonação e caos determinístico (FITCH; NEUBAUER; HERZEL, 2002). Porém, diferentemente dos outros mamíferos, os cetáceos não apresentam pregas/cordas vocais. O centro gerador de sons nesse grupo é ainda incerto, especialmente para misticetos (AU, 2000). Para os odontocetos, fortes evidências tem demonstrado que o centro gerador de sons seja um complexo formado por duas estruturas, os lábios-de-macaco e as bursas dorsais, chamado de complexo MLDB

(CRANFORD, 2000). Cada complexo é formado por um par de lábios-de-macaco contendo um par de bursas dorsais e todos os odontocetos, exceto a cachalote (*Physeter catodon*), possuem dois complexos MLBD posicionados no início das passagens nasais esquerda e direita. Para a geração de clicks, a hipótese é que o fluxo de ar é forçado entre os lábios-de-macaco, pondo o complexo MLBD em vibração e o rápido abrir e fechar dos lábios interrompendo o fluxo de ar criaria a estrutura de pulsos (CRANFORD, 2000; CRANFORD, et al., 2011). Os complexos MLBD seriam funcionalmente separados e podem operar independentemente ou sincronicamente. A produção de assovios também ocorreria através da passagem de ar pelos complexos MLDB, aparentemente em apenas um deles (CRANFORD, et al., 2011). Portanto a geração dos assovios dos golfinhos também seria por vibração de estruturas osciladoras acopladas, o que, similar às pregas vocais, apresentaria uma dinâmica não linear inerente ao seu funcionamento.

Não linearidades foram encontradas em mais de um terço dos assovios do repertório aqui estudado, sendo o pulso de frequência a feição mais frequentemente observada. Presença significativa de tais feições já foi quantificada no repertório de outras espécies de mamíferos. Riede, Owren e Arcadi (2004) observaram que 52% das emissões clímax da vocalização “buzina arfante” de chimpanzés (*Pan troglodytes*) selvagens de Uganda, apresentam alguma feição não linear, sendo bifonação a mais comum. As emissões de contato e emissões de mãe-filhote de peixe-boi-marinho (*Trichechus manatus*) apresentaram não linearidades na proporção de 72%, para amostras de populações da Flórida, EUA, e 36,2% para amostras de populações de Belize, sendo o caos determinístico a feição mais comum nas duas regiões amostradas (MANN; O’SHEA; NOWACEK, 2006). Em cetáceos, Tyson, Nowacek e Miller (2007) amostraram vocalizações de orca (*Orcinus orca*) na costa da Nova Escócia, Canadá e de baleia-franca-do-Atlântico-norte (*Eubalaena glacialis*) na costa da Columbia Britânica, Canadá, em busca de não linearidades. Em 92,4% das vocalizações de orca e em 65% das vocalizações de baleia-franca foram observadas a presença de tais feições, sendo a bifonação e o sub-harmônico as feições mais comuns, respectivamente (TYSON; NOWACEK; MILLER, 2007). Porém, os autores ressaltam que a alta proporção de não linearidades nas vocalizações de orca podem não representar a realidade, pois eles analisaram apenas vocalizações com alta energia, nas quais a bifonação aparece com mais frequência.

Por serem fenômenos inerentes da própria dinâmica vocalizadora, as feições não lineares podem não apresentar um papel adaptativo (FITCH; NEUBAUER; HERZEL, 2002),

contudo, entre as possíveis funções adaptativas de tais feições destacam-se: permitir/facilitar o reconhecimento individual; informar tamanho do corpo e condições de saúde, fatores que podem influenciar na escolha para acasalamento ou nas disputas por dominância; imitar o tom de voz mais grave dos adultos, de forma a enganar os potenciais predadores; informar urgência do vocalizador, por tornarem os sons mais difíceis de serem ignorados (WILDEN et al. 1998; FITCH; NEUBAUER; HERZEL, 2002; BLUMSTEIN et al., 2008).

No entanto, estudos que buscam esclarecer a função das não linearidades são ainda raros. Volodina et al. (2006) relatam que emissões bifônicas aumentam a discriminação individual no cão-selvagem-asiático (*Cuon alpinus*). Nas emissões de alarme da marmota-de-barriga-amarela (*Marmota flaviventris*), Blumstein e Récapet (2009) relatam que a mudança de um regime harmônico para um regime ruidoso, similar ao caos determinístico, leva à rápida interrupção do forrageamento e início de algum comportamento anti-predação por parte dos animais. Em orcas, supõe-se que as emissões bifônicas sejam empregadas como marcadores de cada *pod* e da afiliação matrilinear, servindo principalmente como emissões de coesão (FILATOVA et al., 2009). Em aves, Aubin, Jouventin e Hildebrand (2000) propuseram que a bifonação nas emissões de pinguim-imperador (*Aptenodytes forsteri*) servem como feições adicionais para reconhecimento entre filhote-progenitor e entre parceiros reprodutivos. Em anfíbios, FENG et al. (2009) defendem que a presença de não linearidade nas vocalizações do sapo *Odorrana tormota* é uma importante feição de reconhecimento vocal individual.

Visto que as vocalizações de orca analisadas por Tyson, Nowacek e Miller (2007) são basicamente do tipo emissões pulsantes (MILLER; SAMARRA; PERTHUISSON, 2007), o presente estudo é o primeiro a analisar a proporção de feições não lineares nos assovios de uma espécie de delfínido. A presença significativa de tais feições sugere que elas são importantes, podendo desempenhar algum papel na comunicação dessa espécie. Nos assovios do presente estudo, a não linearidade mais comumente observada foi o pulso de frequência, diferentemente do que foi observado para orca e baleia-franca-do-Atlântico-norte (TYSON, NOWACEK; MILLER, 2007) e outras espécies de mamíferos (p. ex., RIEDE; OWREN; ARCADI, 2004; MANN; O'SHEA; NOWACEK, 2006), onde esse tipo de feição é encontrado em pequena proporção. Possivelmente essa seja uma feição característica dos assovios de golfinhos, visto que é a não linearidade notada com mais frequência nos espectrogramas de assovios publicados em estudos anteriores de outras espécies de golfinhos.

Por exemplo, na figura 2 de Oswald, Rankin e Barlow (2004) para *Stenela coeruleoalba*; na figura 2 de Rossi-Santos e Podos (2006) para *Sotalia guianensis*; nas figuras 2 e 3 de Lima et al. (2012) para *Steno bredanensis*. Para *Tursiops truncatus*, a espécie de golfinho mais estudada de todas, pulos de frequência são observados em espectrogramas de alguns estudos, p. ex. figura 2 de Cook et al. (2004). Destaca-se que Wang, Würsig e Evans (1995) utilizaram um parâmetro de caracterização dos assovios de *T. truncatus* denominado “quebra do contorno” que pode ser na verdade um pulo de frequência, pela aparência da figura 2 de Morisaka, et al. (2005), que utilizaram este mesmo parâmetro para assovios de *Tursiops aduncus*. Para o próprio gênero *Delphinus*, a presença de pulos de frequência pode ser notada no espectrograma B da figura 1 de Caldwell e Caldwell (1968). Infelizmente, imagens de espectrogramas não foram fornecidos nos trabalhos mais recentes sobre repertório de assovios do gênero, como Ansmann et al. (2007) e Petrella et al. (2012). Segundo Brown et al. (2003), pulos de frequência representam um regime de instabilidade na oscilação das estruturas fonadoras. A grande ocorrência de pulos de frequência nos assovios de golfinhos pode estar relacionada ao fato de esse tipo de vocalização ser caracteristicamente um sinal contínuo, de banda estreita e frequência modulada, cuja faixa de emissão pode ultrapassar a faixa do ultrassom em muitas espécies (AU; HASTINGS, 2008). Manter uma modulação suave em tais condições de vibração das estruturas fonadoras deve exigir maior controle por parte do animal, o que aumentaria a possibilidade de ocorrência de instabilidades.

A presença de outros tipos de feições não lineares também pode ser notada nos espectrogramas de assovios presentes na literatura especializada. Por exemplo, bandas laterais podem ser vistas na figura 3 de Dos Santos et al. (2005), em assovio de *T. truncatus*. Sub-harmônicos podem ser notados na figura 2 de Corkeron e Van Parijs (2001) em assovio de *Grampus griseus*, na figura 1 de Kershenbaum, Sayigh e Janik (2013) em assovio de *T. truncatus* e na figura 2 de Figueiredo e Simão (2009) em assovio de *S. guianensis*. É provável, portanto, que tais feições sejam parte significativa da estrutura dos assovios dos delphinídeos como um todo. Estudos dedicados a detectar e quantificar a proporção das características não lineares nos assovios de outras espécies de golfinhos são necessários para melhor compreensão do possível papel que elas desempenham nesse tipo de vocalização.

As análises da dinâmica caótica nos segmentos de caos determinístico testados mostraram que esses sons não são devido a ruído Gaussiano, pois apresentaram dimensões de imersão baixas (Tabela 3.4), porém a característica de caos não foi comprovada, uma vez que

o não foi possível calcular o expoente máximo de Lyapunov. As causas desse resultado inconclusivo devem estar na qualidade dos sons analisados. Os segmentos analisados apresentam, em média, frequência fundamental em torno de 9,22 kHz. Como todos os sons foram gravados com taxa de amostragem de 96 kHz, esses segmentos apresentam em torno de dez pontos amostrais por ciclo de vibração (SMITH, 1997 para uma revisão sobre amostragem digital de sinais), amostragem esta que pode ser insuficiente para permitir a detecção da dinâmica caótica por algoritmos que trabalham com diferenças infinitesimais (KANTZ; SCHREIBER, 2004). De fato, a aplicação inicial das análises de dinâmica caótica em segmentos de vocalização animal foi realizada em um som cuja frequência fundamental era de 70 Hz e a taxa de amostragem era de 22 kHz (FACCHINI et al., 2003), o que leva a cerca de 31 pontos amostrais por ciclo de vibração. Outro fator refere-se à contaminação das séries temporais. Gravações acústicas de animais em liberdade são geralmente contaminadas por ruídos naturais do meio ambiente e o oceano não é uma exceção. De fato, Au e Hastings (2008) ressaltam que o oceano e outros corpos de água são ambientes bastante ruidosos, com sons sendo gerados por uma variedade de fontes diferentes. Portanto, as séries temporais formadas a partir de segmentos sonoros são também contaminadas por forte ruído. Kantz e Schreiber (2004) ressaltam que o ruído é um dos mais significantes fatores limitantes da previsibilidade dos sistemas determinísticos. O uso de segmentos que tiveram o ruído de fundo de baixa frequência filtrado não se mostrou eficiente para eliminar essa contaminação (Tabela 3.4 e Figura 3.11). Filtragens de frequências superiores não foram tentadas, pois poderiam filtrar componentes da vocalização, uma vez que os segmentos caóticos apresentam as frequências espalhadas em uma ampla faixa (FITCH; NEUBAUER; HERZEL, 2002). Acredita-se que a ação combinada destes dois fatores, baixa resolução de amostragem e forte contaminação por ruído, tenha limitado a capacidade de determinação dos algoritmos usados nas análises, criando um expoente positivo espúrio no espectro de expoentes de Lyapunov, que não pode ser determinado pelo método de Kantz.

Apesar de não se ter podido confirmar a dinâmica caótica nos segmentos de caos determinístico analisados, acredita-se ainda na presença de tal feição não linear nos assovios de *Delphinus* sp. da região do Cabo Frio, por dois motivos principais. Primeiro, a dimensão de imersão encontrada para cada segmento demonstra que a ampla distribuição das frequências observada não é devido a ruído Guasiano; segundo, os segmentos de caos determinístico observados apresentam as características que, segundo Wilden et al. (1998) e

Fitch, Neubauer e Herzel (2002) diferenciam esta feição do ruído turbulento, quais sejam: (a) a mudança extremamente repentina tanto no início quanto no final do segmento caótico; (b) a existência de alguma estrutura harmônica residual dentro do episódio caótico; (c) a ocorrência de janelas periódicas, ou seja estruturas harmônicas inseridas; e (d) a ocorrência adjacente de outras feições não lineares. Algumas dessas características podem ser observadas nos espectrogramas da Figura 3.6.

3.5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

- Os assovios de *Delphinus* sp. da região do Cabo Frio ocupam uma largura de banda de frequência mais ampla e apresentam maior modulação dos que os assovios das populações estudadas anteriormente (ANSMANN, et al., 2007; PETRELLA, et al., 2012), provavelmente como resultado do isolamento geográfico entre elas.
- Comparações com ferramentas estatísticas adequadas são necessárias para esclarecer quão diferente são os repertórios de assovios do golfinho-comum entre populações geograficamente isoladas.
- Os novos contornos de assovios encontrados no repertório desse grupo demonstram a grande variabilidade no repertório acústico do gênero *Delphinus*.
- As feições não lineares são encontradas em proporção elevada nos assovios de *Delphinus* sp. podendo, portanto, desempenhar alguma função na comunicação acústica desses animais.
- As feições não lineares podem ser uma característica comum nos assovios de delfínídeos, necessitando de estudos dedicados a quantificar a proporção de tais características nas diversas espécies assobiadoras desta família.
- Recomendam-se duas possibilidades para confirmar a presença de dinâmica caótica nos assovios de golfinho-comum: a) a aplicação de outras técnicas de análise, como a *seção de Poincaré* ou o *gráfico de recorrência*. A seção de Poincaré é um procedimento para reduzir um sistema dinâmico contínuo no tempo em um discreto, um *mapa*. Uma vez que certos algoritmos de análise da dinâmica caótica funcionam melhor para mapas do que para sistemas contínuos (SAVI, 2006), essa transformação poderia aperfeiçoar os resultados obtidos. Os gráficos de recorrência são amplamente utilizados na busca por dinâmicas determinísticas em séries temporais altamente irregulares e não-estacionárias, e são eficientes em séries com altos níveis de ruído (FACCHINI; KANTZ; TIEZZI, 2005); b) Proceder novas gravações acústicas usando uma maior taxa de amostragem, por exemplo 192 kHz, que permitiriam uma resolução de ~20 pontos por ciclo de vibração na frequência alvo média de 9 kHz.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRIOLLO, A. et al. Distribution and relative abundance of large whales in a former whaling ground off eastern South America. **Zoologia**, v. 27, p. 741-750. 2010.
- ANSMANN, I. C. et al. Variation in the whistle characteristics of short-beaked common dolphins, *Delphinus delphis*, at two locations around the British Isles. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 87, p. 19–26. 2007.
- AU, W. W. L. Hearing in whales and dolphins: An overview. In: AU, W. L. A.; POPPER, A. N.; FAY, R. R. (Eds.). **Hearing by Whales and Dolphins**. New York: Springer, 2000, p. 1-42.
- AU, W. W. L.; HASTINGS, M. C. **Principles of Marine Bioacoustics**. New York: Springer. 2008. 679 p.
- AUBIN, T.; JOUVENTIN, P.; HILDEBRAND, C. Penguins use the two-voice system to recognize each other. **Proceedings of the Royal Society B**, v. 267, p. 1081-1087. 2000.
- BAZÚA-DURÁN, M. C.; AU, W. W. L. Geographic variations in the whistles of spinner dolphins (*Stenella longirostris*) of the main Hawaiian Islands. **The Journal of Acoustical Society of America**, v. 116, n.6, p. 3757–3769. 2004.
- BENKO, T. P.; PERC, M. Singing of *Neoconocephalus robustus* as an example of deterministic chaos in insects. **Journal of Biosciences**, v. 32, n. 4, p. 797–804, 2007.
- BLUMSTEIN, D. T. et al. The structure, meaning and function of yellow-bellied marmot pup screams. **Animal Behaviour**, v. 76, p. 1055-1064. 2008.
- BLUMSTEIN, D.T.; RÉCAPET, C. The sound of arousal: the addition of novel nonlinearities increases responsiveness in marmot alarm calls. **Ethology**, v. 115, p. 1074–1081. 2009.
- BOISSEAU, O. Quantifying the acoustic repertoire of a population: The vocalizations of free-ranging bottlenose dolphins in Fiordland, New Zealand. **The Journal of Acoustical Society of America**, v. 117, n. 4, p. 2318–2329. 2005.
- BROWN, C. et al. Laryngeal biomechanics and vocal communication in the squirrel monkey (*Saimiri boliviensis*). **The Journal of Acoustical Society of America**, v. 113, n. 4, p. 2114–2126. 2003.
- CALDWELL, M. C.; CALDWELL, D. K. Vocalization of naïve captive dolphins in small groups. **Science**, v. 159, p. 1121-1123. 1968.
- CARBONEL, C. Modelling of upwelling in the coastal area of Cabo Frio (Rio de Janeiro – Brazil). **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 46, n. 1, p. 1-17. 1998.

- CARNEIRO, A. D. V. N. **Ocorrência e uso de habitat da baleia-de-Bryde (*Balaenoptera edeni* Anderson, 1878) (Mammalia: Cetacea, Balaenopteridae) na região de ressurgência de Cabo Frio, RJ.** Dissertação (Mestrado em Zoologia)- Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005, 68p.
- CLARK, C. W.; BORSANI, J. F.; NOTARBARTOLO-DI-SCIARA, G. Vocal activity of fin whales, *Balaenoptera physalus*, in the Ligurian Sea. **Marine Mammal Science**, v. 18, n.1, p. 286-295. 2002.
- COOK, M. L. H. et al. Signature-whistle production in undisturbed free-ranging bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). **Proceedings of the Royal Society B**, v. 271, p. 1043–1049. 2004.
- CORKERON, P. J.; VAN PARIJS, S. M. Vocalizations of eastern Australian Risso's dolphins, *Grampus griseus*. **Canadian Journal of Zoology**, v. 79, p. 160–164. 2001.
- CRANFORD, T. W. In search of impulse sound sources in odontocetes. In: AU, W. W. L.; POPPER, A. N.; FAY, R. R. (Eds.). **Hearing by Whales and Dolphins**. New York: Springer, 2000, p. 109–155.
- CRANFORD, T. W. et al. Observation and analysis of sonar signal generation in the bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*): Evidence for two sonar sources. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 407, p. 81–96. 2011.
- CUMMINGS, W. C.; THOMPSON, P. O.; HA, S. J. Sounds from Bryde, *Balaenoptera edeni*, and finback, *B. physalus*, whales in the Gulf of California. **Fishery Bulletin**, v. 84, p. 359–370. 1986.
- DE LEO, F. C.; PIRES-VANIN, A. M. S. Benthic megafauna communities under influence of the SACW (South Atlantic Central Water) intrusion onto the Brazilian Southeastern shelf: a comparison between an upwelling and a non-upwelling ecosystem. **Journal of Marine Systems**, v. 60, p. 268-284. 2006.
- DE PAULA, A.; SAVI, M. A.; PEREIRA-PINTO, F. H. I. Chaos and transient chaos in an experimental nonlinear pendulum. **Journal of Sound and Vibration**, v. 294, n.3, p. 585-595. 2006.
- DOS SANTOS, M. E. et al. Whistles of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in the Sado Estuary, Portugal: characteristics, production rates, and long-term contour stability. **Aquatic Mammals**, v. 31, n. 4, p. 453–462. 2005.
- EDDS, P.; ODELL, P. K.; TERSHY, D. B. R. Calls of a captive juvenile and ree-ranging adult-calf pairs of Bryde's whales, *Balaenoptera edeni*. **Marine Mammal Science**, v. 9, n. 3, p. 269-284. 1993.
- EDOH, K.; HUGHES, D.; KATZ. R.. Nonlinearity in cicada sound signals. **Journal of Biological Systems**, v. 21, n. 1, p.1350004. 2013.

- FACCHINI, A.; S. et al. Characterization of chaotic dynamics in the vocalization of *Cervus elaphus corsicanus*. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 114, n.6, p. 3040–3043. 2003.
- FACCHINI, A.; KANTZ, H.; TIEZZI, E. Recurrence plot analysis of nonstationary data: The understanding of curved patterns. **Physical Review E**, v. 72, p. 021915. 2005.
- FEE, M. S. et al. The role of nonlinear dynamics of the syrinx in the vocalizations of a songbird. **Nature**, v. 395, p. 67–71. 1998.
- FENG, A. S. et al. Diversity of the vocal signals of concave-eared torrent frogs (*Odorrana tormota*): evidence for individual signatures. **Ethology**, v. 115, p. 1015–1028. 2009.
- FERNANDES, T. **Ocorrência e monitoramento de cetáceos na região de Arraial do Cabo, RJ**. Monografia (Bacharelado em Zoologia)- Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001. 46 f.
- FIGUEIREDO, L. D.; SIMÃO, S. M. Possible occurrence of signature whistles in a population of *Sotalia guianensis* (Cetacea, Delphinidae) living in Sepetiba Bay, Brazil. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 126, n. 3, p.1563–1569. 2009.
- FIGUEIREDO, L. D., et al. (no prelo). Site fidelity of Bryde’s whales (*Balaenoptera edeni*) in Cabo Frio region, southeastern Brazil, through photoidentification technique. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**.
- FILATOVA, O. A. et al. Usage of monophonic and biphonic calls by free-ranging resident killer whales (*Orcinus orca*) in Kamchatka, Russian Far East. **Acta Ethologica**, v. 12, p. 37- 44. 2009.
- FITCH, W. T., NEUBAUER, J.; HERZEL, H. Calls out of chaos: The adaptive significance of nonlinear phenomena in mammalian vocal production. **Animal Behaviour**, v. 63, p. 407-418. 2002.
- GEDAMKE, J.; COSTA, D. P.; DUSTAN, A. Localization and visual verification of a complex minke whale vocalization. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 109, n. 6, p. 3038-3047. 2001.
- HEGGER, R.; KANTZ, H.; SCHREIBER, T. Practical implementation of nonlinear time series methods: The TISEAN package. **Chaos**, v. 9, p. 413–435. 1999.
- HEIMLICH, S. L. et al. Types, distribution, and seasonal occurrence of sounds attributed to Bryde’s whales (*Balaenoptera edeni*) recorded in the eastern tropical Pacific, 1999–2001. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 118, n. 3, p. 1830-1837. 2005.
- HERZING, D. L. Acoustics and social behavior of wild dolphins: Implications for a sound society. In: AU, W. L. A.; POPPER, A. N.; FAY, R.R. (Eds.) **Hearing by Whales and Dolphins**. New York: Springer, 2000, p. 225-272.

- HEYNING, J. E.; PERRIN, W. F. Evidence for two species of common dolphins (genus *Delphinus*) from the eastern North Pacific. **Contributions in Science**, v. 442, p. 1-35. 1994.
- JACKSON, E. A. **Perspectives of nonlinear dynamics**. Vol.1, Cambridge: University Press, 1991, 496 p.
- KANTZ, H. A robust method to estimate the maximal Lyapunov exponent of a time series. **Physics Letters A**, v. 185, p. 77-87. 1994.
- KANTZ, H.; SCHREIBER, T. **Nonlinear Time Series Analysis**, 2. ed., Cambridge: Cambridge University Press, 2004, p. 369.
- KATO, H.; PERRIN, W. F. Bryde's Whale. In: PERRIN, W. F.; WÜRSIG, B.; THEWISSEN, J. G. M. (Eds.). **Encyclopedia of Marine Mammals**. 2. ed., San Diego: Academic Press, 2009, p. 158-162.
- KENNEL, M. B.; BROWN, R.; ABARBANEL, H. D. I. Determining embedding dimension for phase-space reconstruction using a geometrical construction. **Physical Review A**, v. 45, 3403-3411. 1992.
- KERSHENBAUM, A.; SAYIGH, L. S.; JANIK, V. M. The encoding of individual identity in dolphin signature whistles: how much information is needed? **Plos One**, v. 8, n. 10, p. e77671. 2013.
- LIMA, I. M. S. et al. Characteristics of whistles from rough-toothed dolphins (*Steno bredanensis*) in Rio de Janeiro coast, southeastern Brazil. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 131, n. 5, p. 4173-4181. 2012.
- LAIOLO, P. The emerging significance of bioacoustics in animal species conservation. **Biological Conservation**, v. 143, n. 7, p. 1635-1645. 2010.
- MANN, D. A.; O'SHEA, T. J.; NOWACEK, D. P. Nonlinear dynamics in manatee vocalizations. **Marine Mammal Science**, v. 22, n. 3, p. 548-555. 2006.
- MATROSOVA, V. A. et al. Species-specific and shared features in vocal repertoires of three Eurasian ground squirrels (genus *Spermophilus*). **Acta Theriologica**, v. 57, n. 1, p. 65-78, 2012.
- MCDONALD, M. A. An acoustic survey of baleen whales off Great Barrier Island, New Zealand. **New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research**, v. 40, p. 519-529. 2006.
- MELLINGER, D. K.; CARSON, C. D.; CLARK, C. W. Characteristics of minke whale *Balaenoptera acutorostrata*, pulse trains recorded near Puerto Rico. **Marine Mammal Science**, v. 16, n. 4, p. 739-756. 2000.

- MELLINGER, D. K.; BARLOW, J. Future directions for acoustic marine mammal surveys: Stock assessment and habitat use. **NOAA OAR, NOAA/PMEL Contribution 2557**, p. 1–37. 2003.
- MELO, C. L. C. et al. Feeding habits of delphinids (Mammalia: Cetacea) from Rio de Janeiro State, Brazil. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 90, n. 8, p. 1509-1515. 2010.
- MERCADO, E. et al. Sound production by singing humpback whales. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 127, n. 4, p. 2678–2691, 2010.
- MERGELL, P.; HERZEL, H. Modelling biphonation: the role of the vocal tract. **Speech Communication**, v. 22, p. 141–154. 1997.
- MILLER, P. J. O.; SAMARRA, F. I. P.; PERTHUISON, D. A. Caller sex and orientation influence spectral characteristics of “two-voice” stereotyped calls produced by free-ranging killer whales. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 121, n. 6, p. 3932-3937. 2007.
- MOORE, S. E.; RIDGWAY, S. H. Whistles produced by common dolphins from the Southern California bight. **Aquatic Mammals**, v. 21, n. 1, p. 55–63. 1995.
- MORISAKA, T. et al. Geographic variation in the whistles among three Indo Pacific bottlenose dolphin *Tursiops aduncus* populations in Japan. **Fisheries Science**, v. 71, p. 568–576. 2005.
- OLESON, E. M. et al. Low frequency calls of Bryde's whales. **Marine Mammal Science**, v. 19, n. 2, p. 407-419. 2003.
- OSWALD, J. N.; BARLOW, J.; NORRIS, T. F. Acoustic identification of nine delphinid species in the eastern tropical Pacific ocean. **Marine Mammal Science**, v. 19, n. 1, p. 20–37. 2003.
- OSWALD, J. N.; RANKIN, S.; BARLOW, J. The effect of the recording and analysis bandwidth on acoustic identification of delphinid whistles. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 116, p. 3178-3185. 2004.
- PERRIN, W. F. Common dolphins. In: PERRIN, W. F.; WÜRSIG, B.; THEWISSEN, J. G. M. (Eds.). **Encyclopedia of Marine Mammals**, 2. ed., San Diego: Academic Press, 2009, p. 255–259.
- PETTITT, B.A.; BOURNE, G. R.; BEE, M. A. Quantitative acoustic analysis of the vocal repertoire of the golden rocket frog (*Anomaloglossus beebei*). **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 131, n. 6, p. 4811-4820. 2012.
- PETRELLA, V. et al. Whistle characteristics of common dolphins (*Delphinus* sp.) in the Hauraki Gulf, New Zealand. **Marine Mammal Science**, v. 28, n. 3, p. 479–496. 2012.

- RIEDE, T.; OWREN, M. J.; ARCADI, A. C. Nonlinear acoustics in pant hoots of common chimpanzees *Pan troglodytes*: Frequency jumps, subharmonics, biphonation, and deterministic chaos. **American Journal of Primatology**, v. 64, p. 277–291. 2004.
- RIVERS, J. A. Blue whale, *Balaenoptera musculus*, vocalization from waters off central California. **Marine Mammal Science**, v. 13, n.2, p. 186-195. 1997.
- ROSSI-SANTOS, M. R.; PODOS, J. Latitudinal variation in whistle structure of the estuarine dolphin *Sotalia fluviatilis*. **Behaviour**, v. 143, p. 347–364. 2006.
- SANO, M.; SAWADA, Y. Measurement of the Lyapunov spectrum from a chaotic time series. **Physical Review Letters**, v. 55, p. 1082–1085, 1985.
- SAVI, M. A. **Dinâmica não-linear e caos**. Rio de Janeiro: E-papers, 2006, 304 p.
- SICILIANO, S. et al. Age and growth of some delphinids in south-eastern Brazil. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 87, p. 293–303. 2007.
- SMITH, S. W. **The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing**. San Diego: California Technical Publishing, 1997, 629 p.
- TAVARES, et al. Biogeography of common dolphins (genus *Delphinus*) in the Southwestern Atlantic Ocean. **Mammal Review**. v. 40, n. 1, p. 40–64. 2010.
- TERVO, O. M., et al. Evidence for simultaneous sound production in the bowhead whale (*Balaena mysticetus*). **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 130, p. 2257-2262. 2011.
- TOKUDA, I. et al. Nonlinear analysis of irregular animal vocalizations. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 111, n. 6, p. 2908–2919. 2002.
- TYSON, R. B.; NOWACEK, D. P.; MILLER, P. J. O. Nonlinear phenomena in the vocalizations of North Atlantic right whales (*Eubalaena glacialis*) and killer whales (*Orcinus orca*). **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 122, p. 1367–1373. 2007.
- VOLODINA, E. V. et al. Biphonation may function to enhance individual recognition in the dhole, *Cuon alpinus*. **Ethology**, v. 112, p. 815–825. 2006.
- WANG, D.; WÜRSIG, B.; EVANS, W. E. Whistles of bottlenose dolphins: comparisons among populations. **Aquatic Mammals**, v. 21, p. 65–77. 1995.
- WILDEN, I. et al. Subharmonics, biphonation, and deterministic chaos in mammal vocalization. **Bioacoustics**, v. 9, p. 171–196. 1998.
- ZERBINI, A. N. et al. A review of the occurrence and distribution of whales of the Genus *Balaenoptera* along the Brazilian coast. **Reports of the International Whaling Commission**, v. 47, p. 407-417. 1997.

ZOLLINGER, S. A.; RIEDE, T.; SUTHERS; R. A. Two-voice complexity from a single side of the northern mockingbird *Mimus polyglottos* vocalizations. **The Journal of Experimental Biology**, v. 211, p. 1978–1991. 2008.