Fernanda Scarano Camargo

Estudo das vocalizações de golfinhos-
rotadores, *Stenella longirostris* (Cetacea,
Delphinidae), no arquipélago de Fernando de
Noronha

Tese apresentada ao Instituto de
Biociências da Universidade de São
Paulo, para a obtenção de Título de
Doutor em Ciências, na Área de
Zoologia.

Orientador: Mario de Vivo

São Paulo

2008

Camargo, Fernanda Scarano

“Estudo das vocalizações de golfinhos-rotadores, *Stenella longirostris* (Cetacea, Delphinidae), no arquipélago de Fernando de Noronha”. 148p.

Tese (Doutorado) - Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. Departamento de Zoologia.

1. *Stenella longirostris* 2. Bioacústica 3. Assobios 4. Grasnidos 5. Odontocete 6. Grupos de Corte
Universidade de São Paulo. Instituto de Biociências. Departamento de Zoologia.

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Mario de Vivo

Orientador

Dedico este trabalho a meus pais,
pelo amor incondicional,
pelo exemplo de garra e humildade,
e pelo carinho e paciência,
sem os quais nenhuma das minhas escolhas
teria sido possível.

“Só se vê bem com o coração. O essencial é invisível aos olhos...”

Antoine de Saint-Exupéry, *O Pequeno Príncipe*

Agradecimentos

Agradeço a meus pais, Neuza e Francisco, por serem as pessoas maravilhosas que são, sempre presentes, sempre afetuosos e prontos para ajudar, e a quem eu amo, acima de tudo! Ao meu “irmãozão” André, meu grande exemplo desde a infância. Obrigada por ser este grande homem, o exemplo de honestidade e de garra, que muitas vezes guiaram minhas escolhas. E ao mais novo membro da família Camargo, minha cunhadinha Paola.

Ao meu grande amor, meu grande amigo, Claudio Bellini, pelo apoio e incentivo incondicionais, mesmo nos momentos das maiores crises existenciais e de mau humor. Obrigada pela parceria, pela paciência e pela dedicação. Com você, meu querido, dividi todas as dores e os prazeres deste trabalho e estou certa de que só você (além de mim, é claro!) conhece a importância exata de vê-lo terminado. A você, toda a minha gratidão, o meu amor e minha admiração.

Ao meu amado filho João, por preencher todos os espaços com seu jeitinho singular, tornando minha vida infinitamente mais feliz!

À minha cunhada Lígia, por suas palavras de incentivo nos momentos difíceis da vida acadêmica...

A minhas irmãs de alma, Chris, Carina, Júlia, e Ale, por serem esses seres humanos tão maravilhosos, e por estarem sempre presentes (mesmo quando distantes), escutando com todo o carinho e paciência as minhas muitas reclamações ao longo de todo o percurso do doutorado.

A meus grandes amigos biólogos e seus respectivos amores, que entraram e fizeram mais alegre minha vida: Ale, Gi e Rafa; Mateus, Bia e Chico; Rosinha, Marina, Tati, Samanta, Re Sorriso, Martinha, Marcinho Stutzman, Marcinho, Gabão e Val, Zuppi e Dani, João e Noni, Gabi, Ronaldinho, Xaliba... e tantos outros que certamente esquecerei de mencionar.

Muito obrigada a você, querida Melina, por ser esta figura tão ímpar e doce, que em pouco tempo tornou-se uma amiga muito especial. Obrigada por toda a ajuda, no campo, nas leituras, revisões e especialmente nas longas conversas e desabafos.

Aos amigos do MZ: Sal, Paulinha, Gil, Carol, Gringo, Flavio, William, Tati, Ilana, Janice e em especial ao Prof. Luis Fábio, pela disponibilidade e por todas as sugestões.

A meus amigos cetólogos, perdidos pelo mundo, mas sempre muito queridos e lembrados com carinho: Ale Higa, Ale Zerbini, Ju Marigo, Claudinha, Guilian e Lizete.

Ao amigo Antônio Souto, por sua imensa dedicação ao estudo de comportamento animal e pela paciência e humildade com que ensina. Muito obrigada pelas frutíferas conversas e pelas inúmeras dicas.

Aos amigos de Noronha, Recife e Natal: Alice, Rafa, Tammy, Dani, Leo, Concita, Nina e Elisa, Ana Clara, Catarina, Rodolfo, Bernardo e Tomaz, Glorinha, Cabeça e Thor, Lola e Marenga, Fábio, Lizandro, Rubi e Flavinho, Cláudia, Cadinho, Gabriel e Mariana, Denise e Maité, Isabel, Manuela e Clovito, Silvana e Fernandinha, Patrícia, Luciano e Pedro Miguel, Cadinho, Ana, Riana e Renata.

A meu orientador, Mario de Vivo, por ser esta pessoa brilhante, capaz de inspirar idéias e indicar caminhos nas conversas mais informais. Obrigada pela paciência, pelo apoio e pelos ensinamentos.

Ao amigo Mario Rollo, pelos inúmeros momentos de dificuldade superados e pelas lições compartilhadas. Estou certa de que ambos somos imensamente mais maduros depois destes longos cinco anos!

Agradeço às amigas Viviane Giampaoli e Elisete Aubin, por compartilharem comigo sua imensa intimidade com os números, me ensinando estatística com muita paciência e carinho. Muito obrigada pela parceria.

À Canal Azul Produções e Lawrence Wabba pela enorme ajuda no início do trabalho, sem a qual, muito provavelmente, o trabalho não teria tido seqüência.

Agradeço imensamente à equipe do Projeto TAMAR por todo o apoio e carinho em Fernando de Noronha, sem os quais a realização dos trabalhos de campo não teria sido possível.

Ao PARNAMAR-FN e a todo o pessoal do ICMBio, especialmente aos senhores Marco Aurélio e Damião, pela concessão da licença de pesquisa e pelo apoio nos trabalhos de campo.

À pós-graduação do IBUSP, incluindo professores e funcionários e finalmente à Capes, pela concessão da bolsa que tornou possível estes anos de dedicação exclusiva ao estudo.

Índice

Capítulo 1. Considerações Gerais	01
1.1. Introdução Geral	02
1.2. Objetivo Geral	12
1.3. Objetivos Específicos	12
1.4. Material e Métodos Gerais	12
1.4.1. Área de Estudo	12
1.4.2. Coleta e Análise das Amostras de Sons	14
 Capítulo 2. Reavaliação por randomização da descrição do repertório de assobios dos golfinhos-rotadores de Fernando de Noronha feita por CAMARGO et al. (2006)	18
Resumo	19
Abstract	20
2.1. Introdução	21
2.2. Material e Métodos	26
2.3. Resultados e Discussão	28
2.4. Conclusão	37
 Capítulo 3. Descrição quantitativa dos grasnidos emitidos na faixa audível pelos golfinhos-rotadores de Fernando de Noronha.	39
Resumo	40
Abstract	41
3.1. Introdução	42
3.2. Material e Métodos	45
3.3. Resultados e Discussão	47
3.4. Conclusão	57

Capítulo 4. Evidências de um grasnido de curta duração usado por golfinhos-rotadores machos durante o comportamento de corte em Fernando de Noronha	58
Resumo	59
Abstract	60
4.1. Introdução	61
4.2. Material e Métodos	64
4.3. Resultados e Discussão	66
4.4. Conclusão	74
 Capítulo 5. Avaliação Metodológica	81
Resumo	82
Abstract	83
5.1. Introdução	84
5.2. Material e Métodos	86
5.2.1. Avaliação do erro de medida	88
5.2.2. Avaliação da diferença entre amostras de sons gravadas por diferentes sistemas de gravação ou analisadas por diferentes autores	88
5.3. Resultados e Discussão	91
5.4. Conclusão	110
 Apêndice 1	112
 Capítulo 6. Considerações Finais	121
Resumo	123
<i>Abstract</i>	124
Referencias Bibliográficas	125
ANEXO 1	139

Índice de Figuras

Capítulo 1.

- Figura 1.1. Morfologia externa e padrão de pigmentação de um golfinho-rotador *Stenella longirostris longirostris*. 11
- Figura 1.2. Mapa da localização da área de estudo. A Baía dos Golfinhos é situada no pequeno retângulo inserido na ilha principal de Fernando de Noronha. 16
- Figura 1.3. Foto aérea da Ilha de Fernando de Noronha. Em detalhe, a Baía dos Golfinhos, localizada na extremidade oeste da face noroeste. 16
- Figura 1.4. Baía dos Golfinhos 17
- Figura 1.5. Sequência de fotos ilustrativa de mergulhos em apnéia para gravações de áudio e vídeo subaquáticos. 17

Capítulo 2.

- Figura 2.1. Amostra da representação gráfica de um assobio (espectrograma) com destaque aos parâmetros extraídos para análise. 31
- Figura 2.2. Resultado do ACP, indicando a composição de cada componente e o quanto de variabilidade dos dados é alcançada. 31
- Figura 2.3. Resultado da análise Clara para todas as variáveis, com formação de 2 e 4 grupos. 32

Capítulo 3.

- Figura 3.1. Amostra da representação gráfica de um grasnido (espectrograma) com destaque ao parâmetro I1 extraídos para análise. 49
- Figura 3.2. Figura 3.2 - Amostra da representação gráfica de um grasnido (espectrograma) com destaque ao aumento do intervalo entre pulsos ao longo da emissão. 49
- Figura 3.3. Resultado da análise de Regressão Linear, mostrando em (a) os valores de Iultimo em função de I1, e em (b) os resíduos da distribuição de valores da variável Iultiimo. 53
- Figura 3.4. Resultado da análise de Regressão Linear, mostrando em (a) os valores de Iultimo em função de I1, e em (b) os resíduos da distribuição de valores da variável Iultiimo. 54
- Figura 3.5. Gráfico da frequência de ocorrência da variável IMe nos grasnidos da população de golfinhos-rotadores de Fernando de Noronha. 55
- Figura 3.6. Resultado do PCA, indicando a composição de cada componente e o quanto de variabilidade dos dados é alcançada. 56
- Figura 3.7. Resultado da análise Clara para todas as variáveis, com formação de 6 grupos. 56
- Figura 3.8. Resultado da análise Clara para todas as variáveis, com formação de 7 grupos. 56

Capítulo 4.

- Figura 4.1. Grupo de corte composto por 10 machos e uma fêmea, que gira o corpo evitando a cópula. 63

Figura 4.2. Resultado do <i>ACP</i> para os dados da Classe 1, indicando a composição de cada componente e o quanto de variabilidade dos dados é alcançada.	71
Figura 4.3. Resultado da análise <i>CLARA</i> para todas as variáveis dos dados da Classe 1, com formação de 6 grupos.	71
Figura 4.4. Resultado da análise <i>CLARA</i> para todas as variáveis dos dados da Classe 1, com formação de 7 grupos.	71
Figura 4.5. Gráficos de dispersão de pontos ilustrando a separação das categorias “corte” e “não-corte” para cada par de variáveis.	72
Figura 4.6. Resultado do <i>ACP</i> para os dados da Classe 2, indicando a composição de cada componente e o quanto de variabilidade dos dados é alcançada.	79
Figura 4.7. Resultado da análise <i>CLARA</i> para todas as variáveis dos dados da Classe 2, com formação de 2 grupos.	79
Figura 4.8. Gráficos de dispersão de pontos ilustrando a separação das categorias “corte” e “não-corte” para cada par de variáveis.	80

Capítulo 5.

Figura 5.1. Espectrogramas de um assobio selecionado gravado no Sistema 1 (a) e Sistema 2 (b).	89
Figura 5.2. Espectrogramas de um grasnido selecionado gravado no Sistema 1 (a) e Sistema 2 (b).	89
Figura 5.3. Gráfico de pontos mostrando a distribuição dos valores obtidos para as variáveis de frequência e tempo, para as três amostras de assobios gravada no Sistema 1, em cada uma das 15 extrações (chamadas aqui de tentativas).	94

Figura 5.4. Gráfico de pontos mostrando a distribuição dos valores obtidos para as variáveis de frequência e tempo, para as três amostras de assobios gravada no Sistema 2, em cada uma das 15 extrações (chamadas aqui de tentativas). 94

Figura 5.5. Gráfico de pontos mostrando a distribuição dos valores obtidos para todas as variáveis, para as três amostras de grasnidos gravada no Sistema 1, em cada uma das 15 extrações (chamadas aqui de tentativas). 95

Figura 5.6. Gráfico de pontos mostrando a distribuição dos valores obtidos para todas as variáveis, para as três amostras de grasnidos gravada no Sistema 2, em cada uma das 15 extrações (chamadas aqui de tentativas). 98

Índice de Tabelas

Capítulo 1.

Tabela 1.1. Sumário das distribuições, padrões de coloração e características diagnósticas das subespécies de <i>Stenella longirostris</i> .	11
--	----

Capítulo 2.

Tabela 2.1. Análise descritiva dos assobios (média, desvio padrão, valores mínimo e máximo, coeficiente de variação e mediana).	35
Tabela 2.2. Matriz de Correlação Amostral Observada entre as variáveis extraídas dos contornos dos assobios	35
Tabela 2.3. Comparação dos valores obtidos neste estudo com os resultados apresentados na literature, para cada uma das variáveis consideradas	35
Tabela 2.4. Análise descritiva dos assobios (média, desvio padrão, valores mínimo e máximo) apresentados nos estudos de assobios de populações de golfinhos-roradores e disponíveis na literatura.	38
Tabela 2.5. Classificação das observações segundo a distância.	38

Capítulo 3.

Tabela 3.1. Análise descritiva dos grasnidos (média, desvio padrão, valores mínimo e máximo, coeficiente de variação e mediana).	50
Tabela 3.2. Matriz de correlação amostral	50

Capítulo 4.

Tabela 4.1. Resultado do Teste de Homogeneidade de Variâncias para dados da Classe 1.	68
Tabela 4.2. Resultado do “Teste de Kolmogorov-Smirnov para normalidade” para os dados da Classe 1.	68
Tabela 4.3. Análise descritiva dos grasnidos da Classe 1 de dados (média, desvio padrão, valores mínimo e máximo, coeficiente de variação e mediana).	68
Tabela 4.4. Matriz de correlação amostral para os dados da Classe 1.	69
Tabela 4.5. Análise descritiva dos grasnidos pertencentes as categorias “Corte” e “Não-Corte” dos dados da Classe 1 (média, desvio padrão, valores mínimo e máximo, coeficiente de variação e mediana).	69
Tabela 4.6. Comparação de médias entre as categorias “Corte” e “Não_Corte”, utilizando os dados da Classe 1.	70
Tabela 4.7. Resultado do “Análise do intervalo de confiança em 95% utilizando o método de Sidak”.	70
Tabela 4.8. Resultado do “Teste t quadrado para diferenças nas médias dos grupos”.	70
Tabela 4.9. Tabela de Erro de Classificação Simples nas categorias dos dados da Classe 1.	70
Tabela 4.10. Resultado do Teste de Homogeneidade de Variâncias para dados da Classe 2.	76
Tabela 4.11. Resultado do “Teste de Kolmogorov-Smirnov para normalidade” para os dados da Classe 2.	76
Tabela 4.12. Análise descritiva dos grasnidos da Classe 2 de dados (média, desvio padrão, valores mínimo e máximo, coeficiente de variação e mediana).	76

Tabela 4.13. Matriz de correlação amostral para os dados da Classe 2.	77
Tabela 4.14. Análise descritiva dos grasnidos pertencentes as categorias “Corte” e “Não-Corte” dos dados da Classe 2 (média, desvio padrão, valores mínimo e máximo, coeficiente de variação e mediana).	77
Tabela 4.15. Comparação de médias entre as categorias “Corte” e “Não_Corte”, utilizando os dados da Classe 2.	78
Tabela 4.16. Resultado da “Análise do intervalo de confiança em 95% utilizando o método de Sidak”.	78
Tabela 4.17. Resultado do “Teste t quadrado para diferenças nas médias dos grupos”. Legenda: G1- “Corte”, G2- “Não-Corte”.	78
Tabela 4.18. Tabela de Erro de Classificação Simples nas categorias dos dados da Classe 2.	78

Capítulo 5.

Tabela 5.1. Análise descritiva das três amostras de assobios analisada 15 vezes cada (média, erro padrão, desvio padrão, coeficiente de variação e mediana).	92
Tabela 5.2. Análise descritiva das três amostras de grasnidos analisada 15 vezes cada (média, erro padrão, desvio padrão, coeficiente de variação e mediana).	93
Tabela 5.3. Análise descritiva dos assobios gravados em cada sistema de gravação e analisados por dois pesquisadores (média, erro padrão, desvio padrão, coeficiente de variação e mediana).	100
Tabela 5.4. Análise descritiva dos grasnidos gravados em cada sistema de gravação e analisados por dois pesquisadores (média, erro padrão, desvio padrão, coeficiente de variação e mediana).	101

Tabela 5.5. Resultado da análise Wilcoxon signed-rank test, para comparação entre assobios gravados em cada sistema de gravação.	102
Tabela 5.6. Resultado da análise Wilcoxon signed-rank test, para comparação entre assobios analisados por dois pesquisadores.	102
Tabela 5.7. Resultado da análise Wilcoxon signed-rank test, para comparação entre grasnidos gravados por cada sistema de gravação.	102
Tabela 5.8. Resultado da análise Wilcoxon signed-rank test, para comparação entre grasnidos analisadores por dois pesquisadores.	102
Tabela 5.9. Diferenças resultantes da análise de Bootstrap com 1000 replicações para comparação entre os assobios gravados por cada um dos sistemas de gravação, onde “Observada” representa a média da amostra original, “MédiaBoot” a média das médias reamostradas, “Desvio” a diferença entre “Observada” e “MédiaBoot” e “SE” o desvio padrão do Bootstrap.	103
Tabela 5.10. Diferenças resultantes da análise de Bootstrap com 1000 replicações para comparação entre os assobios analisados por diferentes autores, onde “Observada” representa a média da amostra original, “MédiaBoot” a média das médias reamostradas, “Desvio” a diferença entre “Observada” e “MédiaBoot” e “SE” o desvio padrão do Bootstrap.	105
Tabela 5.11. Resultado da análise de Bootstrap com 1000 replicações, para comparação entre sistemas, para cada uma das variáveis analisadas, onde “Observada” representa a média da amostra original, “MédiaBoot” a média das médias reamostradas, “Desvio” a diferença entre “Observada” e “MédiaBoot” e “SE” o desvio padrão do Bootstrap.	106

Tabela 5.12. Diferenças resultantes da análise de Bootstrap com 1000 replicações para comparação entre os grasnidos analisados por diferentes autores, onde “Observada” representa a média da amostra original, “MédiaBoot” a média das médias reamostradas, “Desvio” a diferença entre “Observada” e “MédiaBoot” e “SE” o desvio padrão do Bootstrap.

Capítulo 1

Considerações Gerais

1.1- Introdução Geral

A fauna atual de cetáceos (baleias, botos e golfinhos) consiste em mais de 80 espécies, divididas em duas subordens: Odontoceti, com 10 famílias, 40 gêneros e pelo menos 70 espécies; e Mysticeti, com 4 famílias, seis gêneros e pelo menos 13 espécies (REEVES *et al.* 2002). A maioria dos pesquisadores acredita que estes grupos compartilhem uma origem comum com uma terceira subordem extinta, Archaeoceti, que desapareceu há cerca de 30 milhões de anos. Quanto ao grupo vivente filogeneticamente mais próximo dos cetáceos, existe uma grande discussão entre aqueles que estudam dados morfológicos e os que estudam dados moleculares. Até recentemente, os morfologistas apontavam um grupo extinto de ungulados comedores de peixe e carniça, os mesoniquídeos, como grupo irmão dos cetáceos e colocavam os artiodáctilos como sendo os mamíferos vivos mais proximamente relacionados (THEWISSEN 1994, LUO 2000). Com o surgimento das técnicas moleculares, as filogenias começaram a apontar um grupo ou outro dentro do clado Artiodactyla (em especial os hipopotamídeos), como sendo o grupo irmão dos cetáceos (o que colocou em xeque o monofiletismo dos próprios Artiodactyla) (SHIMAMURA *et al.* 1997). Em 2001, foi descoberto um fóssil pertencente à família dos paquicetídeos que mudou o ponto de vista dos paleontólogos sobre as relações filogenéticas das baleias. Este fóssil, considerado como sendo de uma baleia, era claramente terrestre e corredor. A inclusão destes novos dados nas análises filogenéticas levou os morfologistas a excluírem os mesoniquídeos das relações de proximidade com os cetáceos e assumirem os artiodáctilos neste lugar, formando o clado Cetartiodactyla (MUIZON 2001, THEWISSEN *et al.* 2001). As divergências entre as duas correntes de estudo, entretanto, ainda continuam.

As duas subordens atuais de cetáceos podem ser facilmente distinguidas por duas características morfológicas: os odontocetos geralmente possuem dentes e apresentam apenas um orifício respiratório, enquanto os misticetos apresentam vestígios de dentes na fase embrionária, posteriormente substituídos por barbatanas córneas na maxila superior; além disso, possuem dois orifícios respiratórios (RIDGWAY 1997). Todavia, todos os cetáceos modernos compartilham um conjunto de características morfológicas, tais como: formato hidrodinâmico, fusiforme e alongado; membros anteriores sem dedos

individualizados e modificados em nadadeiras e ausência de pescoço (THEWISSEN & WILLIAMS 2002). Os membros posteriores são ausentes e a cauda é modificada em um hidrofólio plano, que é movido na água verticalmente e constitui o principal órgão de propulsão (THEWISSEN & WILLIAMS 2002). A pele dos cetáceos é geralmente lisa e sem pêlos, com exceção de alguns pêlos sensoriais esparsos, encontrados na cabeça de algumas espécies. Não existem orelhas externas e as glândulas mamárias, órgãos excretórios e genitais estão confinados no interior do corpo para reduzir o arrasto e evitar perda de calor (REEVES *et al.* 2002). Além disso, os cetáceos apresentam uma capa de gordura embaixo da pele, que serve para isolar os órgãos internos e economizar energia (REEVES *et al.* 2002).

As características físicas do ambiente marinho também modificaram enormemente a utilidade de diferentes modalidades sensoriais nos cetáceos e sentidos importantes para os mamíferos terrestres perderam sua função no meio aquático. A visão, muito utilizada para observações de longa distância no ambiente terrestre, ficou restrita a alguns metros em ambientes de água limpa e perdeu completamente a função em águas turvas (TYACK 1999a). O sentido de olfação, por sua vez, também muito utilizado pelos mamíferos terrestres, foi praticamente perdido nos cetáceos, estando os bulbos olfativos e os respectivos nervos muito reduzidos em misticetos e ausentes em odontocetos (BREATHNACH 1960; MORGANE & JACOBS 1972 *apud* TYACK 1999a). Por outro lado, o som viaja rapidamente no ambiente aquático (cerca de cinco vezes mais rápido que no ar), sofre menor atenuação, pode ser altamente direcional e não é significativamente afetado pela turbidez. Deste modo, não é surpreendente que durante a evolução dos cetáceos o som tenha se tornado o canal primário para comunicação (POPPER & EDDS-WALTON 1997).

O mecanismo básico de produção de sons dos cetáceos é similar ao dos mamíferos terrestres: em ambos, o ar passa sob pressão através de membranas, fazendo-as vibrar (TYACK 1999a). Nos odontocetos, o sistema de produção de sons consiste em sacos nasais e tampões musculares associados e o som é produzido pela passagem de ar dentro destes sacos, não envolvendo, portanto, a passagem de ar pela laringe como nos mamíferos terrestres (POPPER & EDDS-WALTON 1997). Os misticetos, por sua vez, não possuem sacos nasais, tampouco um sistema de plugues musculares associados.

Muitos pesquisadores acreditam que laringe e cavidades cranianas estejam envolvidos no processo de produção de sons, mas o real mecanismo ainda não foi completamente compreendido (FRANKEL 2002).

A audição nos cetáceos também ocorre de forma distinta, apesar da anatomia auditiva destes animais seguir o padrão básico dos mamíferos. Nestes animais, o canal auditivo, que nos mamíferos terrestres é preenchido de ar, é muito estreito e obstruído por cera, perdendo portanto sua função condutiva primária (TYACK 1999a). A transmissão do som, então, é canalizada do ambiente para o ouvido médio através da maxila inferior. O canal central da maxila é preenchido por gordura que, juntamente com uma camada óssea, conduz o som para uma fina área do osso timpânico, chamada de “placa timpânica” (presumida como análoga à membrana timpânica dos mamíferos terrestres) (NUMMELA *et al.* 1999, NUMMELA *et al.* 2007). O complexo ouvido médio/interno dos cetáceos consiste de duas bulas ósseas conectadas, completamente isoladas do resto do crânio e suspensas por uma série de ligamentos (NUMMELA *et al.* 1999; KETTEN 2000). Os detalhes do funcionamento do ouvido médio em cetáceos ainda estão sendo estudados mas, pelo menos em odontocetos, os três ossículos articulam-se entre si assim como em mamíferos terrestres (NUMMELA *et al.* 2007). Já o ouvido interno funciona da mesma forma que o dos mamíferos terrestres (TYACK 1999a). As principais diferenças estão nas características deste ouvido, tais como: o número de células nervosas, o tamanho da membrana basilar e o suporte da membrana basilar. A espessura e largura desta membrana estão intimamente relacionadas com a capacidade auditiva dos misticetos e dos odontocetos. Quanto mais espessa, dura e estreita for a membrana, maior a habilidade do animal para ouvir altas frequências, como é o caso dos odontocetos. Os misticetos, por outro lado, possuem membranas extremamente amplas, finas e elásticas, que contribuem para a sua habilidade de ouvir baixas frequências (TYACK 1999a, THEWISSEN & WILLIAMS 2002).

Entre os cetáceos, os sons são utilizados para execução de três tarefas básicas: alimentação, navegação e comunicação. Os odontocetos possuem um sistema semelhante a um sonar, o sistema de ecolocalização, que os possibilita produzir pulsos sonoros de alta frequência (estalidos) e detectar ecos que refletem em objetos distantes (TYACK 1999b). Este sistema permite que os animais naveguem e se alimentem à noite, ou em

águas turvas, onde não podem ver, auxiliando na identificação da forma e composição de seus alvos, bem como a distância do objeto ou do fundo (TYACK 1999b). Existem vários tipos diferentes de estalidos de ecolocalização nas diferentes espécies de odontocetos e sabe-se que estes sinais podem variar em frequência e em amplitude, dependendo do contexto comportamental, bem como do ruído ambiente e da distância do alvo (POPPER & EDDS-WALTON 1997). Entretanto, como a maior parte dos estudos sobre a ecolocalização tem sido realizada com animais treinados em cativeiro, o grau com que esta habilidade é utilizada em ambiente natural, especialmente na captura de presas, ainda não é muito conhecido (AU 1993). Quanto aos mysticetos, acredita-se que sejam capazes de utilizar o som do ambiente para se orientar e encontrar suas presas, mas muitos pesquisadores sugerem que as baleias sejam capazes também de utilizar informações da batimetria e do formato do fundo provenientes do eco de suas vocalizações de baixas frequências (TYACK 1999b). Uma espécie de baleia endêmica da região ártica, *Balaena mysticetus*, por exemplo, é conhecida por evitar blocos de gelo profundos em áreas muito mais distantes do que os limites de visibilidade, e pesquisadores acreditam que elas utilizam os fortes ecos das suas vocalizações de baixa frequência produzidos pelo gelo para se orientar (ELLISON *et al.* 1987; CLARK 1989).

No processo de comunicação, os cetáceos produzem sinais não só para trocar informações, mas também para manipular, de diversas formas, o comportamento daquele que recebe o sinal (KREBS & DAWKINS 1984). A comunicação a longas distâncias está usualmente associada com reprodução, territorialidade e manutenção da estrutura dos grupos. Algumas baleias e golfinhos viajam em grupos grandes, percorrendo longas distâncias e, portanto, o uso dos sons nestas circunstâncias é muito importante para manter a coordenação dos grupos. A comunicação em curtas distâncias, por sua vez, é usada em interações sociais envolvendo agressão, identificação individual e manutenção do contato. A maioria dos cetáceos usa sons para se reunir, quando membros de um mesmo grupo estão separados (TYACK 1999a).

Um dos sinais mais comuns de aviso ou notificação produzidos pelos cetáceos ocorre durante o comportamento reprodutivo, onde o animal que sinaliza está buscando aumentar suas chances de acasalamento. Estes sinais podem exercer uma entre três funções: intermediar a competição entre indivíduos de um mesmo sexo, influenciar a

escolha do parceiro e coagir o parceiro (TYACK 1999a). Neste sentido, as canções emitidas pelas baleias jubarte, *Megaptera novaeangliae*, estão entre os eventos comportamentais mais conhecidos. Estas canções possuem estruturas complexas, são executadas por machos adultos e são ouvidas predominantemente durante o inverno, nas áreas reprodutivas (por exemplo, BROWN & CORKERON 1995, DARLING *et al.* 2001). Tendem a mudar ao longo do tempo, ainda que os machos de uma mesma população apresentem versões similares em um mesmo espaço de tempo (PAYNE *et al.* 1983, PAYNE & PAYNE 1985, ARRAUT & VIELLIARD 2004). As canções duram normalmente entre 5 e 25 minutos e são repetidas em sessões que podem ter horas de duração (PAYNE *et al.* 1983). Quanto à função, as canções das jubartes parecem ter um papel importante na competição entre os machos. Entretanto, a hipótese de as fêmeas utilizarem estes sinais para selecionar seus parceiros ainda não foi totalmente descartada (DARLING *et al.* 2001).

Outro exemplo importante de como o som pode ser usado durante o comportamento reprodutivo tem sido observado em *Shark Bay*, na Austrália, onde grupos de dois ou três machos de golfinhos-nariz-de-garrafa, *Tursiops truncatus*, costumam seqüestrar fêmeas adultas de seus grupos e mantê-las com eles de forma coerciva. Enquanto estão em companhia da fêmea, os machos a escoltam e frequentemente emitem um tipo particular de som pulsado, denominado “pop”. Observou-se que estes sons são muitas vezes acompanhados de posturas agressivas, perseguições e contato físico e que existe uma forte tendência de a fêmea se virar na direção do macho, logo após a emissão deste tipo de vocalização (CONNOR & SMOLKER 1996).

Um bom exemplo de como o som pode ser utilizado na coordenação de grupos é o das orcas (*Orcinus orca*), que vivem em agrupamentos estáveis (linhagens matriarcais proximamente relacionadas, onde os filhotes de ambos os sexos acompanham suas mães por toda a vida), chamados “pods” (BIGG *et al.* 1990). Durante o forrageio, estes “pods” se dividem em pequenos subgrupos e é muito freqüente observar “pods” diferentes se alimentando em uma mesma área (FORD 1989). Para que os indivíduos de um mesmo grupo possam manter contato, as orcas emitem sons pulsados grupo-específicos, que servem para indicar a filiação ao “pod”, manter a coesão do grupo e coordenar as atividades dos membros deste grupo. Estes repertórios grupo-específicos são estáveis

durante muitos anos (DEECKE *et al.* 2000) e cumprem a função de manter o espaçamento e a coordenação entre as baleias, enquanto estas estão se deslocando ou forrageando (FORD 1989, 1991). Além disso, estudos recentes sugerem que as orcas apresentam sons específicos também para a comunicação entre grupos distintos (WEIB *et al.* 2007) e que tipos de assobios específicos são compartilhados por grupos matriarcais distintos, mesmo quando estes não apresentam nenhuma sobreposição quanto ao repertório dos sinais pulsados grupo-específicos, o que facilitaria a associação e afiliação de membros de diferentes grupos (RIESCH *et al.* 2006).

A produção de sons pode também estar relacionada a interações agonísticas, que ocorrem em distâncias curtas e longas. Estes sinais sonoros podem conter informações relevantes como a disponibilidade para a luta, a idade, a condição física e o tamanho do animal, bem como pode consistir em uma resposta de submissão, caso um oponente venha a desistir do confronto (TYACK 1999a). As vocalizações predominantes durante interações agonísticas ou agressivas fazem parte de um variado repertório de sinais pulsados, chamados “burst-pulsed sounds”, que em português pode ser traduzido como grasnidos. Estes sinais são frequentemente acompanhados por outros tipos de comportamentos agressivos, como confrontos de cabeça contra cabeça, batidas com a cauda na superfície, posturas e ataques corporais, batidas com as maxilas e boca aberta (HERZING 2000).

Os cachalotes, *Physeter macrocephalus*, são conhecidos por possuírem um órgão chamado espermacete, que forma a sua “testa” e está associado à produção de estalidos, podendo chegar a ocupar 40% de seu volume corpóreo (TYACK 1999b). Os estalidos produzidos por estes animais possuem intervalos muito regulares (GOOLD & JONES 1995) e acredita-se que sejam diretamente proporcionais ao tamanho do espermacete e consequentemente, ao tamanho do animal. Se esta hipótese estiver correta, os intervalos entre os pulsos seriam exemplos importantes de como os sons poderiam fornecer, às fêmeas e aos outros machos, informações precisas sobre o tamanho do animal que está vocalizando (GORDON 1991).

Alguns tipos de sinais sonoros são emitidos com a finalidade de manter contato ou permitir o reconhecimento entre indivíduos (TYACK 1999a). Os golfinhos frequentemente produzem sinais sonoros tonais, de frequência modulada, chamados

assobios, durante uma série de interações comportamentais (HERZING 2000). Uma hipótese, proposta por CALDWELL & CALDWELL (1965), sugere que assobios repetitivos, denominados “assobios assinatura”, são indivíduo-específicos e devem funcionar como indicadores individuais (HERZING 2000). Esta hipótese foi testada em golfinhos-nariz-de-garrafa de vida livre (SAYIGH *et al.* 1990) e de cativeiro (CALDWELL *ET AL.* 1990) e, em ambos os estudos, os resultados apontaram para uma alta produção de assobios assinatura distintos e estáveis ao longo do tempo. Como as gravações dos assobios eram realizadas quando os animais estavam isolados, os autores sugeriram que estes assobios assinatura sejam usados para que o indivíduo mantenha contato com os outros indivíduos de seu grupo (TYACK 1999a). Recentemente, uma teoria denominada “repertório de assobios” foi proposta por MCCOWAN & REISS (1995). Esta teoria padroniza todos os assobios com respeito às suas características comuns e reconhece o uso dos assobios associado ao contexto social apropriado. Apesar dos assobios assinatura terem sido descritos para várias espécies, por exemplo, *Delphinus delphis* (CALDWELL & CALDWELL 1968), *Stenella plagiodon* (*S. frontalis*) (CALDWELL *et al.* 1973) e *Stenella frontalis* (HERZING 1996), a possibilidade da existência de outros usos sociais para os assobios ainda não foi descartada (HERZING 2000). Alguns exemplos conhecidos do uso de assobios para comunicação entre indivíduos específicos são os sinais emitidos frequentemente entre fêmeas e filhotes (SAYIGH *et al.* 1993; SMOLKER *et al.* 1993) e entre fêmeas e machos durante a corte (HERZING 1996).

O golfinho-rotador, *Stenella longirostris* (GRAY, 1828) (Figura 1.1), é um cetáceo cosmopolita, ocorrendo em águas tropicais, subtropicais e, menos frequentemente, em áreas temperadas quentes (LEATHERWOOD & REEVES 1983; NORRIS *et al.* 1994; SECCHI & SICILIANO 1995). Os registros meridionais da espécie para o Atlântico Sul correspondem ao estado do Rio Grande do Sul, no Brasil e a costa da Namíbia, na África (JEFFERSON *et al.* 1994; ZERBINI & KOTAS 1998). Apesar de ser geralmente considerada uma espécie pelágica que ocorre em águas profundas (PERRIN *et al.* 1999), seus registros em regiões tropicais estão frequentemente associados a ilhas, bancos ou recifes. Como exemplos, podem ser citados o Havaí (NORRIS 1991; NORRIS *et al.* 1994), Fernando de Noronha (CASTELLO & BARCELLOS 1986; LODI & FIORI

1987; SILVA JR. & SILVA 1992), o Pacífico Oriental (PERRIN *et al.* 1991) e o sudoeste da Ásia (PERRIN *et al.* 1999).

Essa ampla distribuição é acompanhada de notável variação geográfica em diversas características morfológicas (PERRIN & GILPATRICK 1994), incluindo a morfologia externa, o padrão de coloração, a morfologia do crânio, o número de dentes e o número de vértebras (por exemplo, AKIN 1988; DOUGLAS *et al.* 1986, 1992; PERRIN & DOLAR 1996; PERRIN *et al.* 1999; VAN WAEREBEEK *et al.* 1999). A variação geográfica se estende também à genética (OREMUS *et al.* 2007) e a parâmetros ecológicos, como sazonalidade reprodutiva (PERRIN *et al.* 1977; BARLOW 1984; PERRYMAN & WESTLAKE 1998), hábito alimentar (PERRIN *et al.* 1999) e estrutura da população (KARCZMARSKI *et al.* 2005). Quatro subespécies são atualmente reconhecidas (PERRIN 1990, PERRIN *et al.* 1991, 1999): *Stenella longirostris longirostris* (a subespécie reconhecida para a costa brasileira, Figura 1.1), *S. l. orientalis*, *S. l. centroamericana* e *S. l. roseiventris*. A distribuição geográfica, padrão de coloração e demais características diagnósticas das subespécies estão resumidas na Tabela 1.1.

Além destas subespécies formalmente nomeadas, algumas populações distintas têm sido reconhecidas, ainda que não taxonomicamente. DOUGLAS *et al.* (1992) e PERRYMAN & WESTLAKE (1999) sugerem que a população encontrada ao longo da costa ao norte de Cabo Corrientes, México, seja morfológicamente distinta das demais populações do Pacífico Tropical Oriental. Na costa de Omã, no Oceano Índico, são encontradas duas outras formas, que apresentam uma combinação de características morfológicas únicas (VAN WAEREBEEK *et al.* 1999). Por fim, existe ainda uma população dos “golfinhos-rotadores-de-barriga-branca” (PERRIN 1990), cuja distribuição se sobrepõe amplamente à de *S. l. orientalis* (PERRIN *et al.* 1985; PERRIN *et al.* 1991). As características diferenciais dos “golfinhos-rotadores-de-barriga-branca” estão relacionadas ao padrão de coloração (NORRIS *et al.* 1994; PERRIN & GILPATRICK 1994), havendo uma hipótese de que esta população possa representar uma hibridação entre as subespécies *S. l. orientalis* e *S. l. longirostris* (PERRIN 1990, DOUGLAS *et al.* 1992).

Dentre todas as características variáveis exibidas pelos cetáceos, a comunicação acústica e o comportamento social estão entre as mais importantes, pois abrangem

diversos níveis de variação, de indivíduos a populações (TYACK 1999a). Sabe-se que a variabilidade do repertório acústico de uma espécie reflete o estado comportamental, as relações sociais, a estrutura da população e a heterogeneidade ambiental dentro de sua área de distribuição (por exemplo, TARUSKI 1979; FORD 1989; WEILGART & WHITEHEAD 1990; NORRIS *et al.* 1994). Estudos sobre a variabilidade das emissões sonoras produzidas por *Stenella longirostris* se intensificaram nos últimos anos, mas a grande maioria dos esforços está concentrada nas populações do Oceano Pacífico (por exemplo, NORRIS *et al.* 1994, BAZÚA-DURÁN & AU 2002, LAMMERS *et al.* 2003, 2004).

Com o presente projeto, descrevi parte do repertório acústico dos golfinhos-rotadores que vivem ao redor do arquipélago de Fernando de Noronha, buscando compará-lo com os de outras populações descritos na literatura, e também demonstrando possíveis funções para algumas destas vocalizações. Acredito que o conhecimento gerado aqui contribuirá para uma melhor compreensão dos padrões de variação nas vocalizações da espécie, tanto numa escala individual, uma vez que apresenta indicações claras do uso de um tipo específico de som pulsado em atividades reprodutivas, quanto numa escala geográfica, uma vez que não existia, até o presente momento, nenhum registro das vocalizações desta espécie para o Oceano Atlântico Sul. Esse tipo de informação pode ajudar a compor um quadro mais aperfeiçoado do entendimento da variação que ocorre na espécie, uma vez que sua taxonomia apresenta problemas (ver Tabela 1.1). Além disso, os resultados aqui apresentados servirão como base para uma série de estudos comparativos das emissões sonoras da espécie, tanto dentro da mesma população, levando em conta inúmeros outros possíveis fatores geradores de variabilidades, como comportamento, estrutura de grupos e sazonalidade, quanto com outras populações e espécies.

Figura 1.1: Morfologia externa e padrão de pigmentação de um golfinho-rotador *Stenella longirostris longirostris*. Adaptado da ilustração original de P. A. FOLKENS em JEFFERSON *et al.* 1995.

Tabela 1.1. Sumário das distribuições, padrões de coloração e características diagnósticas das subespécies de *Stenella longirostris*. Legenda: [1] PERRIN & GILPATRICK 1994; [2] PERRIN 1990; [3] NORRIS *et al.* 1994; [4] PERRIN 1991; [5] DOUGLAS *et al.* 1992; [6] PERRIN *et al.* 1999.

SUBESPÉCIE	DISTRIBUIÇÃO	COLORAÇÃO	OUTROS CARACTERES DIAGNÓSTICOS
<i>Stenella l. longirostris</i> (GRAY, 1828)	Oceanos tropicais de todo o mundo ^[1]	Padrão tripartido, com uma faixa dorsal cinza escuro, uma faixa lateral cinza claro e um faixa ventral branca ou cinza claro ^[2]	Dimorfismo sexual pouco evidente, expresso apenas por uma pequena diferença de tamanho (machos maiores) e por uma leve protuberância pós-anal nos machos. Nadadeira dorsal de falcada a ereta em ambos os sexos. Alimenta-se de organismos mesopelágicos ^[3, 1]
<i>Stenella l. orientalis</i> PERRIN, 1990	Pacífico Oriental, em águas tropicais oceânicas e costeiras do México ^[1]	Capa dorsal escura se estende ventralmente, encobrindo o padrão tripartido. Faixa ventral branca reduzida a manchas nas regiões genital e axilar ^[2]	Dimorfismo sexual evidente; protuberância pós-anal relativa// grande nos machos. Nadadeira dorsal de ereta a inclinada para frente, parecendo “invertida”. Alimenta-se de organismos mesopelágicos ^[2, 1]
<i>Stenella l. centroamericana</i> PERRIN, 1990	Águas costeiras do Pacífico da América Central ^[1]	Capa dorsal escura se estende ventralmente, encobrindo o padrão tripartido e fragmentando a faixa ventral branca ^[4, 1]	Dimorfismo sexual evidente; protuberância pós-anal relativa// grande nos machos. Nadadeira dorsal de ereta a inclinada para frente, parecendo estar “invertida”. Difere de <i>Stenella l. orientalis</i> por ser maior, possuir rostro mais longo, maior número de dentes e apresentar crânio relativamente mais longo e estreito nos parietais. ^[2, 5]
<i>Stenella l. roseiventris</i> PERRIN, 1999	Águas costeiras do sudeste da Ásia, do Golfo da Tailândia ao norte da Austrália ^[6]	Coloração tripartida, semelhante à de <i>Stenella l. longirostris</i> ^[6]	Dimorfismo sexual pouco evidente. Nadadeira dorsal de falcada a ereta em ambos os sexos. Difere de <i>Stenella l. longirostris</i> por apresentar menor tamanho, nadadeiras peitorais relativa// grandes, dorsal relativamente pequena, crânio estreito, menor número de dentes e vértebras. Além disso, distingue-se das outras subespécies por se alimentar principalmente de peixes e invertebrados bentônicos e de recifes de coral ^[6]

Nota: A tabela 1.1 mostra claramente que existe diferenciação morfológica entre conjuntos de populações de *S. longirostris*. Os autores citados entendem que essa diferenciação permite o reconhecimento de subespécies distintas, como indicado na Tabela. Não é um objetivo deste estudo modificar esquemas de classificação existentes, mas é evidente pela leitura das áreas de distribuição reconhecidas para as diferentes subespécies que existe algum erro importante, pois as subespécies são simpátricas, o que é impossível. Ou as chamadas subespécies são, de fato, espécies reprodutivamente isoladas, ou a distribuição geográfica fornecida é errônea.

1.2- Objetivo Geral

- Reconhecer e descrever quantitativamente os sons associados à comunicação emitidos por golfinhos-rotadores de Fernando de Noronha.

1.3- Objetivos Específicos

- Descrever quantitativamente o repertório de assobios emitidos pela população de golfinhos-rotadores de Fernando de Noronha e comparar os resultados obtidos com estudos anteriores descritos na literatura, realizados com outras populações.
- Descrever quantitativamente os grasnidos emitidos na faixa audível por *Stenella longirostris* em Fernando de Noronha.
- Identificar e descrever quantitativamente grasnidos emitidos especificamente durante os eventos de corte.
- Testar a influência de diferentes sistemas de gravação, bem como da análise por diferentes investigadores sobre a variabilidade de assobios e grasnidos de golfinhos-rotadores.

1.4- Materiais e Métodos Gerais

1.4.1- Área de Estudo

O Arquipélago de Fernando de Noronha localiza-se a 360 km da costa do Rio Grande do Norte, na intersecção das coordenadas 3° 51' S e 32° 25' W (Figura 1.2). Suas ilhas foram originadas por processos vulcânicos relativamente modernos, que ocorreram entre 2 e 12 milhões de anos, e representam o topo de um dos cones vulcânicos da Dorsal Mediana do Atlântico, cuja base está localizada a cerca de 4000 m de profundidade e

possui um diâmetro de aproximadamente 75 km (FERREIRA *et al.* 1990, ALMEIDA 2006).

Constituído por 21 ilhas, ilhotas e rochedos, o arquipélago têm área total de 26 km². A ilha principal, Fernando de Noronha, está orientada na direção nordeste sudoeste (FERREIRA *et al.* 1990), formando duas faces com 11 km de extensão. A face noroeste, chamada Mar de Dentro, é protegida dos ventos predominantes. Já na face sudeste, conhecida como Mar de Fora, o mar é mais agitado. Quase todo o litoral da Ilha é rochoso e escarpado, principalmente na face sudeste e na extremidade oeste da face noroeste, onde se localiza a Baía dos Golfinhos (Figura 1.3) (FERREIRA *et al.* 1990).

O arquipélago sofre, possivelmente, influência de duas importantes correntes marinhas. A corrente Sul Equatorial é responsável pelas águas claras, quentes (26-27°C) e com salinidade em torno de 36 ppm. A corrente Equatorial Atlântica, por sua vez, flui por baixo no sentido oposto à corrente Sul Equatorial (ESTON *et al.* 1986).

Fernando de Noronha apresenta clima tropical, com duas estações bem definidas, abrangendo um período seco (de agosto a janeiro) e um período chuvoso (de fevereiro a julho). A pluviosidade média anual é de 1.300 mm, com os maiores índices entre março e junho. Não existem cursos d'água perenes no arquipélago e os riachos, lagoas e cachoeiras, formados na estação chuvosa, secam completamente durante o período de estiagem. A temperatura média anual é de 25°C, com amplitude média em torno de quatro graus, sendo janeiro, fevereiro e março os meses mais quentes. A umidade relativa do ar é constante, com média anual de 81% e insolação média anual é de 3215 h, com máxima em novembro e mínima em abril (FERREIRA *et al.* 1990, <http://www.noronha.com.br>, dezembro de 2007).

O arquipélago é comumente dividido em duas faces: a face sudeste (barlavento), conhecida como Mar de Fora, atingida pelos ventos alísios de SE, que predominam durante a maior parte do ano, gerando ondas com forte arrebentação e condições de mar agitadas; e a face noroeste, denominada Mar de Dentro, atingida entre novembro e março pelos ventos que passam a soprar predominantemente na direção de SO. Durante esta época são freqüentes os períodos de fortes ondulações na face sotavento do arquipélago (Mar de Dentro) e de calmaria no Mar de Fora (ESTON *et al.* 1986; MAIDA & FERREIRA 1997).

A Baía dos Golfinhos (Figuras 1.3 e 1.4) possui o fundo coberto por areias vulcânicas com rochas dispersas. Sua profundidade varia de 0 a 25 metros, apresentando cerca de 15 metros no centro. As encostas são íngremes e a linha de encosta é formada por praias de seixos ou costões, não apresentando praias de areia (ALMEIDA 1958). A Baía dos Golfinhos é a enseada de águas mais calmas e profundas do Arquipélago e sua face externa é delimitada por cinco bóias, localizadas próximas da isóbata de 25 metros, que impedem o acesso regular de pessoas e barcos.

A Baía dos Golfinhos recebe este nome por ser visitada por grupos de golfinhos-rotadores em cerca de 90% dos dias do ano (SILVA JR *et al.* 2000). Os animais buscam as águas calmas da enseada para descansar e socializar, tal como os animais observados por NORRIS *et al.* (1994) no Havaí. Assim como os golfinhos-rotadores do Havaí, os animais de Fernando de Noronha entram na enseada pela manhã e permanecem algumas horas do dia. A frequência, o número de animais e seu tempo de permanência no interior da enseada são maiores na estação seca, caracterizando uma ocupação sazonal (SILVA JR. *et al.* 1996).

1.4.2- Coleta e análise das amostras de sons

A metodologia descrita a seguir se refere ao modo de gravação dos sons analisados nos Capítulos 2, 3 e 4. O Capítulo 5, relativo à avaliação metodológica, possui uma metodologia particular de amostragem, descrita em detalhe no próprio capítulo.

As amostras de sons foram coletadas através de mergulhos em apnéia realizados no interior da Baía dos Golfinhos, de 04 de outubro a 27 de dezembro de 2002 (ver Figura 2.4). O comportamento subaquático e dados bioacústicos foram gravados usando um sistema composto por uma filmadora digital SONY® PD150, acomodada em uma caixa estanque AMPHIBICO® VHPD150 equipada com hidrofone do tipo dual (duas cápsulas). Todas as gravações foram feitas usando uma taxa de amostragem de 48 kHz, isto é, o limite superior de frequência do equipamento de gravação foi 24 kHz.

As gravações foram importadas para um computador APPLE® Machintosh, através de uma conexão digital firewire, usando o programa iMovie (APPLE, Inc.). Este programa fragmentou o arquivo de áudio e vídeo em clipes de curta duração de acordo

com o registro da fita digital, resultando em um clipe por tomada de gravação subaquática. Isto é muito importante, pois cada tomada de gravação deve corresponder a um contexto ou situação diferentes. O áudio foi então extraído dos arquivos de vídeo, através do programa FINALCUT® PRO 3.0 (Apple Computer, Inc.) com a mesma taxa de amostragem original, e armazenado como arquivos no formato AIFF.

Figura 1.2: Mapa da localização da área de estudo. A Baía dos Golfinhos é situada no pequeno retângulo inserido na ilha principal de Fernando de Noronha.

Figura 1.3: Foto aérea da Ilha de Fernando de Noronha. Em detalhe, a Baía dos Golfinhos, localizada na extremidade oeste da face noroeste.

Figura 1.4: Baía dos Golfinhos.

Figura 1.5: Sequência de fotos ilustrativa de mergulhos em apnéia para gravações de áudio e vídeo subaquáticos.

Capítulo 2

Reavaliação por randomização da descrição do repertório de assobios dos golfinhos-rotadores de Fernando de Noronha feita por CAMARGO *et al.* (2006)

Resumo

Uma série de análises quantitativas foram conduzidas para avaliar a variabilidade dos assobios dos golfinhos-rotadores do Arquipélago de Fernando de Noronha, Brasil. Nove variáveis foram extraídas de cada contorno de assobio selecionado aleatoriamente, e as análises mostraram valores médios de frequências inicial e final de 10,603 (DP= 3,739) e 12,975 kHz (DP= 3,477), respectivamente. Em média, a duração foi relativamente curta, com valores médios em torno de 0,532 s (DP= 0,417) (N= 195). Análises comparativas foram também conduzidas para investigar a relação entre os resultados obtidos e aqueles apresentados em estudos anteriores. Ao comparar médias, os resultados do estudo de OSWALD *et al.* (2003) no Oceano Pacífico Tropical Oriental apresentaram menos diferenças significativas em relação a este; apenas a frequência máxima dos assobios diferiu significativamente entre os estudos. Esta similaridade entre populações tão disjuntas geograficamente poderia ser atribuída a um evento mais recente de isolamento (o fechamento do Istmo do Panamá) do que a divergência que separou as populações dos Oceanos Atlântico Norte e Sul. Os resultados do teste multivariado de classificação por distância, por sua vez, apontaram a população do Oceano Atlântico Norte como mais proximamente relacionada a população estudada aqui. As similaridades entre tais populações poderia estar associada a algum grau de troca de informações através de grupos intermediários, como já fora observado para outras populações da mesma espécie, bem como para outras espécies de golfinhos.

Abstract

A series of quantitative analyses were conducted to evaluate the variability of spinner dolphin whistles from the Fernando de Noronha Archipelago, off Brasil. Nine variables were extracted from each randomly selected whistle contour, and the analyses showed mean beginning and ending frequencies values of 10,603 (SD= 3,739) and 12,975 kHz (SD= 3,477), respectively. On average, whistle duration was relatively short, with mean values around 0,532 s (SD= 0,417) (N= 195). Comparative analyses were also conducted to investigate the relationship between the obtained results and those presented in previous studies. When comparing averages, the results of the study of OSWALD *et al.* (2003) in the Tropical Eastern Pacific presented less significant differences in relation to this study; only whistle maximum frequency differed significantly between both studies. This similarity between such disjunct populations might be attributed to a more recente isolation event (the closing of the Panama Isthmus) than the divergence that has driven North and South Atlantic populations apart. The results of multivariate classification tests, however, pointed the population from the North Atlantic Ocean as the closest related to the one studied here. The similarities between these populations could be associated to some degree of information exchange through intermediate groups, as it has already been observed for other populations of the same species, as well as for other dolphin species.

2.1- Introdução

Os golfinhos-rotadores, assim como a maioria das espécies de golfinhos, emitem estalidos e assobios de tons puros, além de um repertório diversificado de sinais pulsados (HERMAN & TAVOLGA 1980, NORRIS *et al.* 1994, RICHARDSON *et al.* 1995). As funções dos assobios no processo de comunicação dos odontocetos têm sido extensivamente discutidas (por exemplo, TYACK 1998, MCCOWAN & REISS 1995, 2001, JANIK *et al.* 2006) e parecem ter um papel importante na manutenção da coesão social, na organização dos agrupamentos (por exemplo, NORRIS *et al.* 1994, JANIK 2000, JANIK & SLATER 1998, LAMMERS *et al.* 2003) e, possivelmente, na manutenção da distância entre indivíduos, como é o caso de *Inia geoffrensis*, uma espécie solitária (MAY-COLLADO & WARTZOK 2007). Além disso, inúmeros estudos têm apontado os assobios como possíveis identificadores individuais, isto é, acredita-se que tipos específicos de assobios produzidos em repetição possam carregar informações sobre a identidade do indivíduo que os emite (por exemplo, CALDWELL & CALDWELL 1965, CALDWELL *et al.* 1973, TYACK 1986, SMOLKER *et al.* 1993, JANIK & SLATER 1998, SAYIGH *et al.* 1999, WATWOOD *et al.* 2004, 2005, JANIK *et al.* 2006, SAYIGH *et al.* 2007). Para uma mesma população ou espécie, uma grande variedade de assobios é produzida e compartilhada por golfinhos e estes sinais, juntos, compõem o que se chama de repertório desta dada espécie e/ou população (MACCOWAN & REISS 1995, BAZÚA-DURÁN & AU 2002).

Os assobios são geralmente analisados através da leitura de determinados parâmetros acústicos a partir de representações gráficas de sua frequência instantânea em função do tempo, e que são conhecidas como espectrogramas. Estes parâmetros podem ser componentes de frequência e duração, variáveis discretas como o número de pontos de inflexão, número de quebras de contorno e número de passos, e variáveis qualitativas, como presença ou ausência de harmônicos (por exemplo, WANG *et al.* 1995a, OSWALD *et al.* 2003, AZEVEDO *et al.* 2007). Alternativamente, alguns autores têm estudado estas emissões sonoras através da classificação visual subjetiva dos contornos dos assobios em categorias qualitativas (por exemplo CALDWELL & CALDWELL 1990, DRISCOLL 1995, JANIK 1999).

O repertório de assobios dos odontocetos mostra uma grande variabilidade entre diferentes espécies, bem como entre populações geograficamente distintas, entre diferentes grupos de uma mesma população e até mesmo entre indivíduos (ANSMANN *et al.* 2007). Os padrões de variação interespecífica dessas emissões tonais refletem, em linhas gerais, relações filogenéticas (STEINER 1981, WANG *et al.* 1995b, MAY-COLLADO & WARTZOK 2007), habitats (WANG *ET AL.* 1995b) e limitações morfológicas (STEINER 1981, WANG 1995b, MATTHEWS *et al.* 1999, PODOS *et al.* 2002). Acreditava-se que o tamanho corporal seja o fator morfológico mais importante a influenciar as emissões tonais, mas discussões recentes restringem a influência deste fator a apenas alguns parâmetros de frequência (MAY-COLLADO *et al.* 2007a). Além disso, pressões seletivas associadas às funções destas emissões poderiam contribuir para a variação entre espécies, levando a desvios do padrão esperado, como o encontrado por RENDELL *et al.* (1999) para duas espécies de baleias-piloto, *Globicephala melas* e *G. macrorhynchus*. Estas espécies, apesar da afinidade taxonômica, tamanho similar e sobreposição da área de distribuição, exibem um repertório de assobios altamente divergente. Neste caso, pressões seletivas podem ter atuado sobre estas emissões, de forma a manter a separação das duas espécies na ausência de características visuais óbvias que as distingam. O mesmo parece ocorrer com outras espécies simpátricas, de maneira que características espécie-específicas atuem como uma forma de isolamento reprodutivo de origem comportamental, evitando a hibridização (por exemplo, STEINER 1981, RENDELL *et al.* 1999). Diferenças na estrutura e organização social das diferentes espécies também parecem explicar em parte a variação dos assobios, em especial o tamanho e a fluidez dos agrupamentos (BAZÚA-DURÁN 2004, MAY-COLLADO *et al.* 2007b).

A variação intraespecífica do repertório de assobios, por sua vez, pode expressar-se em diversos graus como resultado da adaptação a condições ecológicas locais ou isolamento geográfico e divergências genéticas entre grupos ou populações (por exemplo, WANG *et al.* 1995b, BAZÚA-DURÁN & AU 2004, AZEVEDO & VAN SLUYS 2005, MORISAKA *et al.* 2005a, ROSSI-SANTOS & PODOS 2006, ANSMANN *et al.* 2007). Os parâmetros de frequência parecem ser as variáveis mais importantes na discriminação entre espécies e populações (por exemplo, MORISAKA *et al.* 2005b, AZEVEDO &

VAN SLUYS 2005). Por outro lado, dentro de uma mesma população, parâmetros como duração e número de pontos de inflexão ou passos são usualmente mais variáveis e estas variações podem carregar informações sobre identidade individual ou comportamento (RENDELL *et al.* 1999, MORISAKA *et al.* 2005b, ANSMANN *et al.* 2007, AZEVEDO *et al.* 2007).

Variações quali e quantitativas nas vocalizações foram reconhecidas e descritas para *S. longirostris* mas, até recentemente, todos os estudos sobre esta variabilidade haviam sido realizados com populações do Oceano Pacífico (por exemplo, NORRIS *et al.* 1994, DRISCOLL 1995, BAZÚA-DURÁN & AU, 2002). Um único trabalho, conduzido por STEINER (1981), avaliou as emissões sonoras de uma população de golfinhos-rotadores do Oceano Atlântico Norte e teve como objetivo a comparação entre espécies, mas excluiu quaisquer análises de variação intraespecífica. Neste estudo, apresento uma nova avaliação dos assobios desta mesma população, onde busco discutir criticamente os resultados apresentados em 2006 (CAMARGO *et al.* 2006 – ANEXO 1).

NORRIS *et al.* (1994), ao estudarem uma população de golfinhos-rotadores do Havaí, mostraram que a taxa de assobios é cerca de cinco a dez vezes maior no período noturno, podendo este aumento estar associado à necessidade de maior coesão social enquanto os animais não podem se ver. WANG *et al.* (1995a), DRISCOLL (1995) e BAZÚA-DURÁN & AU (2002) também gravaram assobios da população de golfinhos-rotadores do Havaí, mas os resultados por eles obtidos em cada um dos estudos mostraram diferenças estatísticas significativas (BAZÚA-DURÁN & AU 2002). Algumas razões possíveis para estas diferenças poderiam ser: diferentes limites superiores de frequência dos equipamentos de gravação; diferentes grupos sendo gravados e diferenças na interpretação dos espectrogramas por observadores distintos (BAZÚA-DURÁN & AU 2002). O limite superior do sistema de gravação usado por WANG *et al.* (1995a) era de 16 kHz, enquanto os equipamentos usados por DRISCOLL (1995) e BAZÚA-DURÁN & AU (2002) amostraram sons de até 24 kHz. Uma vez que assobios com frequências fundamentais estendendo-se até a faixa ultra-sônica foram reportados para golfinhos-rotadores (LAMMERS *et al.* 2003), o limite superior das gravações e análises deve ser elevado o suficiente em frequência para fornecer representações completas do repertório vocal. É sabido que parâmetros descritivos de

assobios, como frequências máxima e final, mostram diferenças significativas entre estudos conduzidos com diferentes limites superiores de frequência (OSWALD *et al.* 2004).

LAMMERS *et al.* (2003) analisaram o comportamento acústico dos golfinhos-rotadores do Havaí numa perspectiva mais ampla do espectro de frequência. O sistema de gravação empregado permitiu que sons de até 130 kHz fossem amostrados e que a importância da porção ultra-sônica das emissões sonoras fosse avaliada. Os autores relataram que a maior parte da energia na frequência fundamental dos assobios encontra-se abaixo de 24 kHz, como notaram BAZÚA-DURÁN & AU (2002). Baseada nestas conclusões, pude especular, portanto, que a maior parte das frequências fundamentais dos assobios produzidos por esta espécie está sendo levada em conta no presente estudo, uma vez que meu limite superior de gravação também foi de 24 kHz.

Sabe-se também que os assobios de golfinhos-rotadores podem variar geograficamente (BAZÚA-DURÁN & AU 2001, BAZÚA-DURÁN *et al.* 2003, BAZÚA-DURÁN & AU 2004), como já fora observado em golfinhos-nariz-de-garrafa, *Tursiops truncatus* (WANG *et al.* 1995b, JANES & SAYIGH 2002) e *Tursiops aduncus* (MORISAKA *et al.* 2005b), em botos cinza, *Sotalia guianensis* (AZEVEDO & VAN SLUYS 2005, ROSSI-SANTOS & PODOS 2006) e em golfinhos comuns, *Delphinus delphis* (ANSMANN *et al.* 2007). Entretanto, os fatores que influenciam essa variação geográfica são ainda incertos, uma vez que o padrão encontrado para golfinhos-rotadores não segue exatamente aquele encontrado nas outras espécies. WANG *et al.* (1995b) notaram que as diferenças na estrutura dos assobios foram maiores entre áreas distantes do que entre áreas mais próximas. Similarmente, AZEVEDO & VAN SLUYS (2005), quando estudaram *Sotalia guianensis*, concluíram que a magnitude de variação das características dos assobios foi comparativamente menor entre áreas adjacentes do que entre não adjacentes, embora em algumas comparações pareadas os resultados tenham sido o oposto.

Ao comparar assobios de golfinhos-rotadores das ilhas havaianas (Midway Atol, Kaua'i, O'ahu, Lâna'i, Maui e Hawaii) e de Mo'orea, Polinésia Francesa, BAZÚA-DURÁN & AU (2002) observaram que a variação macrogeográfica (entre Midway e Mo'orea, e as principais ilhas havaianas) foi maior do que a microgeográfica (entre as

principais ilhas havaianas). Os autores também encontraram que a variação dentro de cada ilha principal do Havaí foi maior do que a variação entre elas, sugerindo a existência de subgrupos assobio-específicos (BAZÚA-DURÁN & AU 2001, 2004). Por outro lado, quando os assobios de golfinhos-rotadores das ilhas havaianas e Mo'orea foram comparados com assobios produzidos por golfinhos-rotadores do Oceano Pacífico Tropical Ocidental (ETP), maiores diferenças foram encontradas entre os grupos "Midway" e "ETP e Mo'orea". Os grupos de O'ahu foram muito similares aos grupos do ETP e Mo'orea, sugerindo que não existem diferenças entre assobios de golfinhos-rotadores oceânicos e costeiros (BAZÚA-DURÁN *ET AL.* 2003). BAZÚA-DURÁN & AU (2002) afirmaram que a distinção dos assobios da população de Midway ocorreria devido à estabilidade da estrutura da população naquela área, e que as diferenças geográficas encontradas poderiam não ocorrer somente devido à distância, mas serem influenciadas por outros fatores, como a fluidez dos agrupamentos (BAZÚA-DURÁN *et al.* 2003).

Apesar de termos apresentado uma avaliação dos assobios de golfinhos-rotadores do Arquipélago de Fernando de Noronha em 2006 (CAMARGO *et al.* 2006), não levamos em conta, naquele momento, a natureza não-independente dos assobios. Isso ocorre frequentemente em estudos acústicos com golfinhos de vida livre, pois ainda é muito difícil determinar qual indivíduo em um grupo está emitindo um determinado sinal e, portanto, as gravações frequentemente incluem mais de um assobio de cada indivíduo (OSWALD *et al.* 2003, ANSMANN *et al.* 2007). Para reavaliar a variabilidade das emissões tonais emitidas pela população de golfinhos-rotadores de Fernando de Noronha, procurando minimizar os efeitos da pseudoreplicação (HURLBERT 1984, 2004), refiz as análises quali e quantitativas anteriormente realizadas utilizando dados randômicos. Em seguida, discuti as comparações dos resultados obtidos com os resultados do primeiro trabalho e também com os dados apresentados em estudos anteriores e disponíveis na literatura.

2.2- Material e Métodos

As gravações foram feitas na Baía dos Golfinhos, através de mergulhos livres, como descrito no item 1.4.2.

O programa de análise CANARY v.1.2.4 (Bioacoustics Research Program, Cornell Lab of Ornithology) foi usado para gerar os espectrogramas com FFT de 1024 pontos, sobreposição de 50%, janela Hamming. A resolução utilizada foi de 512 pontos (*frame length*), resultando em um valor de largura de banda de 380.62 Hz e uma resolução de tempo de 5.33 ms. Foram selecionados para análise apenas assobios com boa relação sinal-ruído, para os quais os parâmetros espectrais foram distintamente medidos e que não foram cortados pelo limite superior do sistema de gravação (BAZÚA-DURÁN & AU 2002, AZEVEDO & VAN SLUYS 2005) (ver Figura 2.1).

Para que amostras de assobios fossem escolhidas de forma aleatória, minimizando os efeitos da pseudoreplicação gerada pela natureza dependente dos assobios (OSWALD *et al.* 2003, ANSMANN *et al.* 2007), foi gerada uma planilha contendo todos os assobios selecionados pelos critérios descritos. Nesta planilha constavam apenas duas colunas: a primeira com um número seqüencial e a segunda com as informações para localização das emissões selecionadas (número do clipe, número da fita digital onde a emissão fora gravada e o tempo de início de cada assobio). Posteriormente, 25% das amostras selecionadas (N= 780) foram sorteadas, o que resultou num total de 195 assobios. As seguintes variáveis foram extraídas de cada um destes assobios: 1) frequência inicial (FI); 2) frequência final (FF); 3) frequência mínima (FMi), 4) frequência máxima (Fma), 5) duração (Dur), 6) número de pontos de inflexão (pontos onde ocorrem mudanças na inclinação do contorno de positiva para zero ou para negativa, ou vice-versa) (NI), 7) número de quebras no contorno (pontos onde ocorrem variações bruscas e perceptíveis de frequência em um mesmo instante de tempo) (NQ), 8) número de alças (uma alça foi definida como uma região do contorno do assobio que assume a forma de uma parábola) (NA), 9) número de harmônicos (NH). A escolha desta variáveis se deve ao fato de estas serem facilmente medidas dos espectrogramas e porque a maioria delas é consistente com a maior parte dos estudos prévios realizados com a espécie, sendo portanto úteis para comparações.

Uma vez que os parâmetros analisados apresentaram correlação (através do teste de *Pearson*) (ZAR 1998), uma análise de componentes principais (*ACP*) foi usada para tentar encontrar variáveis menos importantes que explicassem a variabilidade dos dados ou mesmo variáveis sintéticas que substituíssem variáveis altamente correlacionadas, auxiliando na compreensão dos fatores geradores de variabilidade. No próximo passo, ainda de forma exploratória, uma análise de agrupamento denominada *CLARA* (Clustering Large Applications) (KAUFMAN & ROUSSEEW 2005) foi utilizada para determinar a existência de algum padrão de agrupamento dos dados de acordo com sua similaridade. Os grupos formados foram então testados com o “*Silhouette width test*” (KAUFMAN & ROUSSEEW 2005), teste não-paramétrico que mede a dissimilaridade média entre o ponto i e todos os outros pontos do grupo ao qual i pertence.

Para comparar os resultados médios obtidos para os parâmetros de frequência e tempo com os resultados apresentados em estudos anteriores, apliquei uma série de testes univariados e multivariados, usando o programa “R” (R DEVELOPMENT CORE TEAM 2007). Em primeiro lugar, usei o teste F de Levene (LEVENE 1960) para avaliar a homogeneidade de variâncias. Posteriormente, utilizei o teste t (Student 1908) para variâncias homogêneas e o teste t de Welch (WELCH 1947) no caso de variâncias não homogêneas, para comparar as médias (a média de cada variável observada neste estudo e a média correspondente encontrada em outros estudos, descritos na literatura).

Utilizei também um método de classificação através de um teste estatístico multivariado, a distância de Mahalanobis (MITCHELL & KRZANOWSKI 1985), para identificar qual dos resultados apresentados em estudos anteriores poderia ser mais próximo dos resultados encontrados aqui. Considerei, como critério de classificação, a distância mínima entre cada valor observado neste estudo e a média de cada uma das variáveis obtidas em cada um dos estudos incluídos na comparação, ponderada pelo inverso da Matriz de Covariâncias. Essa distância é definida como:

$$D_j^2 = (\mathbf{y} - \bar{\mathbf{y}}_j) \mathbf{S}_j^{-1} (\mathbf{y} - \bar{\mathbf{y}}_j)$$

onde D_j^2 é a distância mínima, y representa cada valor para a variável j encontrado neste estudo e $\bar{y}_j$ é o valor médio apresentado nos trabalhos anteriores para a variável j . Este método é complementar ao teste t na comparação entre diferentes populações, e me

permitiu não apenas comparar médias, mas também melhor visualizar qual população estaria mais próxima à população de Fernando de Noronha, com relação ao repertório de assobios.

2.3- Resultados e Discussão

Uma síntese das estatísticas descritivas (média, desvio padrão, coeficiente de variação, valores mínimo e máximo, e mediana) para todos os parâmetros dos 195 assobios aleatórios incluídos nas análises é apresentado na Tabela 2.1. As análises mostraram que a média da FI foi menor do que a média da FF, como já havia sido observado por todos os estudos anteriores com *Stenella longirostris* (BAZÚA-DURÁN & AU 2002). A duração dos assobios foi relativamente curta, com valor médio de 0,532 s (DP= 0,415).

A Tabela 2.2 mostra a Matriz de Correlação entre as todas as variáveis. Uma associação significativa foi observada entre todas as variáveis contínuas, excluindo FF e Dur, que se apresentaram independentes. Neste caso, o resultado aqui obtido diferiu daquele obtido em 2006 (CAMARGO *et al.* 2006), onde apenas as variáveis independentes foram FI e Dur. Entretanto, assim como em 2006, os maiores valores de correlação aqui obtidos foram entre a FI e FMi ($r = 0,855$, $p = 0,05$; *Pearson correlation* $t = 23.408$, $df = 191$, $p = 0$), e FF e FMa ($r = 0,715$, $p = 0,05$; *Pearson correlation* $t = 13.960$, $df = 191$, $p = 0$). Ambas foram positivamente correlacionadas, indicando que quando uma destas variáveis aumenta em valor, a outra também aumenta. Também observei uma pequena correlação negativa entre FI e Dur ($r = -0,197$, $p = 0,05$; *Pearson correlation* $t = -2.978$, $df = 191$, $p = 0.003$), indicando que quando a frequência inicial aumenta, a duração do assobio diminui. Com relação às variáveis discretas, a maior correlação observada foi negativa, entre as variáveis FMi e NH ($r = -0,684$, $p = 0,05$; *Pearson correlation* $t = -13.3195$, $df = 191$, $p\text{-value} = 0$), mas isso se deve ao fato de estar trabalhando com um sistema limitado em termos de frequência máxima de gravação e só poder observar parte da estrutura harmônica dos assobios. Com isso, torna-se obvio imaginar que quanto menor a frequência mínima do assobio, maior a quantidade de harmônicos visíveis no interior da janela de amostragem.

Ao observar os resultados da análise de *ACP*, notei que os dois primeiros componentes desta análise explicaram apenas 58,1% da variabilidade e apenas na sexta componente, 90% da variabilidade foi alcançada, e todas as variáveis escolhidas já haviam sido incluídas nas componentes anteriores (Figura 2.2). Isto implica que nenhuma das variáveis poderia ser excluída da análise sem perda de variabilidade.

A análise CLARA revelou que o total de amostras de assobios de golfinhos-rotadores poderia ser dividido em dois ou quatro grupos, com o *Silhouette width test* resultando em 0,23 em ambos os casos (Figura 2.3). Nenhum destes resultados pode ser considerado um bom agrupamento, de acordo com o método (KAUFMAN & ROUSSEEUW 2005). Além disso, uma vez que as duas primeiras componentes da *ACP* não representaram variáveis sintéticas significativas, estes agrupamentos não parecem ter nenhum significado biológico.

Quanto aos coeficientes de variação, as variáveis de frequência tiveram os menores valores, enquanto as outras variáveis apresentaram variabilidade intrapopulacional relativamente alta (Tabela 2.1). Ao considerar as variáveis contínuas (parâmetros de frequência e tempo) e o número de pontos de inflexão, pode-se observar que o padrão de variação observado neste estudo é consistente com o de STEINER (1981), BAZÚA-DURÁN & AU (2004) e CAMARGO *et al.* (2006) e também com estudos sobre a variabilidade de assobios de golfinhos-nariz-de-garrafa e de botos cinza (RENDELL *et al.* 1999, AZEVEDO & VAN SLUYS 2005, MORISAKA *et al.* 2005b). Acredita-se que a alta variabilidade intraespecífica da duração e do número de pontos de inflexão pode resultar de uma modulação individual, de forma que a informação pode ser transmitida de diferentes contextos ou diferentes indivíduos (AZEVEDO & VAN SLUYS 2005, STEINER 1981, WANG *et al.* 1995b, RENDELL *et al.* 1999, BAZÚA-DURÁN & AU 2004, ANSMANN *et al.* 2007).

Ao observar os resultados obtidos neste estudo e naquele realizado anteriormente para a mesma população, onde foram analisadas amostras de assobios não-independentes (CAMARGO *et al.* 2006), nota-se que, neste estudo, o conjunto de dados apresentou menor dispersão, isto é, menor desvio padrão para todas as variáveis. Pode-se dizer, então, que trabalhar com dados aleatórios nos permitiu obter um melhor resultado, com um número menor de amostras.

As variáveis contínuas foram utilizadas em uma série de comparações, pois apresentaram os menores coeficientes de variação intraespecífica (mesmo que o coeficiente de variação do parâmetro duração tenha sido relativamente maior do que os dos parâmetros de frequência) e estiveram presentes em todos os estudos anteriores realizados com a espécie.

Como um primeiro esforço de inserir meus resultados no contexto da literatura, conduzi um teste *t* para comparação entre as médias e o resultado é mostrado na Tabela 2.3. A Tabela 2.4 mostra um sumário dos resultados de literatura usados nas comparações. Ao comparar este estudo com aquele feito anteriormente com a mesma população (CAMARGO *et al.* 2006), os resultados foram os seguintes: não houve diferença significativa nas médias obtidas entre o presente estudo e o estudo anterior para as variáveis contínuas de frequência, apenas para a variável duração. Além disso, o estudo de OSWALD *et al.* (2003) apresentou diferença significativa em relação ao este apenas quanto a variável FMa. No estudo de 2006, o trabalho destes autores também foi o que apresentou menor diferença em relação ao de Fernando de Noronha, diferindo entretanto quanto ao parâmetro duração.

Posteriormente, para identificar qual dos estudos anteriores com populações de golfinhos-rotadores poderia ter resultados mais próximos àqueles obtidos em Fernando de Noronha, conduzi um teste de classificação (de acordo com o critério de distância mínima descrito acima). É importante considerar que, como eu não tenho as matrizes de variância e covariância observadas em cada um dos estudos anteriores, realizei o teste de classificação assumindo quatro possibilidades: 1) independência de todas as variáveis (isto é, correlação igual a zero), 2) variâncias e covariâncias iguais às observadas neste estudo, 3) combinação das variâncias apresentadas nos estudos com a correlação que eu encontrei, 4) matriz igual a 1 (distância euclidiana).

Figura 2.1: Amostra da representação gráfica de um assobio (espectrograma) com destaque aos parâmetros extraídos para análise.

Figura 2.2 – Resultado do ACP, indicando a composição de cada componente e o quanto de variabilidade dos dados é alcançada.

Figura 2.3 – Resultado da análise *CLARA* para todas as variáveis, com formação de 2 e 4 grupos

O resultado desta classificação pode ser observado na Tabela 2.5. Os resultados mostram uma concentração de menores distâncias no estudo de OSWALD *et al.* (2003), como aconteceu nas análises univariadas, em três situações: quando as variáveis foram consideradas independentes, quando usei a matriz de covariância igual à obtida neste estudo e quando considerei as distâncias euclidianas. Entretanto, quando considerei as variâncias reais, apresentadas em cada estudo, com as correlações obtidas aqui, a concentração de menores distancias migrou para STEINER (1981). Este resultado difere do obtido no estudo de 2006 (CAMARGO *et al.* 2006), onde os resultados de menores distancias se concentraram no estudo de OSWALD *et al.* (2003) em todas as possibilidades de matriz, exceto quando usou-se a matriz exatamente igual à obtida naquele estudo, quando os valores migraram para STEINER (1981).

Existem vários problemas em se comparar trabalhos tão díspares, como os que tentei incluir neste estudo. Em primeiro lugar, os métodos e equipamentos de gravação são distintos. Neste trabalho, gravei os animais mergulhando, o que apesar de aparentemente não alterar o comportamento natural dos animais, pode interferir em seu processo de comunicação. Nos estudos anteriores, por sua vez, os registros eram feitos na presença de uma embarcação, que também pode causar alterações, porém estas pode ser diferentes. Além disso, os equipamentos usados nas gravações foram similares, porém não iguais e variaram quanto com relação ao limite superior dos sistemas de gravação. Estes, na maioria dos trabalhos, eram superiores à 22 KHz (com taxas de amostragem de 44 ou 48 kHz), com exceção do trabalhos de WANG *et al.* (1995b), que usou um sistema com limite superior em torno de 16 kHz. Diferenças na seleção dos assobios e no tamanho das amostras também poderiam conduzir a diferentes resultados.

Adicionalmente, deve-se considerar que a possibilidade de os animais estarem em atividades comportamentais diferentes no momento da gravação, assim como em agrupamentos de tamanho diferentes, pode ter uma influência significativa no envelope de emissões sonoras do grupo (por exemplo, NORRIS *et al.* 1994; HERZING 2000). BAZÚA-DURÁN & AU (2002), por exemplo, compararam seu trabalho com os trabalhos de WANG *et al.* (1995b) e de DRISCOLL (1995), todos realizados com golfinhos rotadores da mesma localidade (“Island of Hawaii”), e encontraram diferenças significativas entre eles ao compararem a duração e as mesmas variáveis de frequência

analisadas neste estudo. Entretanto, em seu estudo sobre variação geográfica de assobios de golfinhos-rotadores entre as ilhas do Havaí, BAZÚA-DURÁN & AU (2004) não encontraram nenhuma diferença significativa nos assobios emitidos por golfinhos em diferentes estados comportamentais e em grupos de tamanhos distintos.

Apesar de todas estas dificuldades, o que tentei fazer neste estudo, além de apresentar o repertório de assobios da população de golfinhos-rotadores de Fernando de Noronha, foi testar se existia uma proximidade entre os resultados obtidos para a população aqui estudada e algum dos estudos realizados anteriormente, numa tentativa de clarificar algum padrão de variação geográfica. Julgo muito interessante o resultado encontrado aqui, uma vez que meus dados indicam uma maior proximidade da população de Fernando de Noronha em relação àquela do Oceano Pacífico Oriental (OPO), estudada por OSWALD *et al.* (2003) ou em relação à população do Oceano Atlântico Norte, estudada por STEINER (1981), do que em relação à do Havaí. Ao comparar médias, os golfinhos da população noronhense diferiram significativamente dos do OPO apenas quanto à frequência máxima dos assobios e esta foi a variável que apresentou menor variabilidade intrapopulacional, o que pode ser notado pelo valor do coeficiente de variação. Se esta diferença for mesmo verdadeira (e não artefato dos problemas descritos), poderia ser atribuída à diferenças no ruído ambiente, como sugerido por WANG *et al.* 1995a para *Tursiops truncatus*, e MORISAKA *et al.* 2005a,b para *Tursiops aduncus*.

Por outro lado, a similaridade entre populações tão distantes geograficamente poderia estar ligada a uma semelhança na estrutura e dinâmica das populações, como sugerem BAZÚA-DURÁN *et al.* (2003). Por outro lado, esta similaridade poderia ter origem geográfica, refletindo o fato das duas populações terem sido mais recentemente isoladas pela formação do Istmo do Panamá (há cerca de 3 milhões de anos, ZIMMER 2004) do que foram as populações do Atlântico Norte e Sul. Outros estudos também abordaram esta questão, apesar de usarem peixes teleósteos costeiros, como os estudos de TRINGALI *et al.* (1999), CRAIG *et al.* (2004) e CRAIG *et al.* (2006). No caso de golfinhos-rotadores, esta questão está começando a ser abordada (FARRO *et al.* 2005).

Tabela 2.1 – Análise descritiva dos assobios (média, desvio padrão, valores mínimo e máximo, coeficiente de variação e mediana). Legenda: Coef. De Variação – coeficiente de variação; N – número de amostras; FI- frequência inicial; FF – frequência final; Fmi- frequência mínima; Fmax- frequência máxima; Dur- duração; NP- número de pontos de inflexão; NQ- número de quebras no contorno; NA- número de alças, NH, número de harmônicos.

Estatística	N	FI (kHz)	FF (kHz)	FMi (kHz)	FMa (kHz)	Dur (ms)	NP	NQ	NA	NH
Média	195	10,603	12,975	9,425	14,612	532,461	1,328	0,564	0,579	0,703
Desvio Padrão	195	3,739	3,477	2,881	3,351	415,757	1,095	1,201	0,731	0,699
Valor mínimo	195	2,433	4,334	2,433	4,334	59,000	0	0	0	0
Valor máximo	195	22,287	22,287	16,485	23,146	1656,000	5	7	4	4
Coef. de Variação	195	35,260	26,800	30,570	22,940	78,080	82,510	212,95	126,060	99,470
Mediana	195	10,186	13,007	9,163	14,887	393,000	1	0	0	1

Tabela 2.2. Matriz de Correlação Amostral Observada entre as variáveis extraídas dos contornos dos assobios.

	FI	FF	FMi	FMa	Dur	NI	NQ	NA	NH
FI	1,000								
FF	0,385	1,000							
FMi	0,855	0,456	1,000						
FMa	0,502	0,715	0,413	1,000					
Dur	-0,197	0,010	-0,407	0,266	1,000				
NI	0,009	-0,072	-0,022	0,063	0,397	1,000			
NQ	-0,199	0,016	-0,207	0,156	0,319	0,011	1,000		
NA	0,136	-0,077	-0,028	0,123	0,315	0,450	0,078	1,000	
NH	-0,567	-0,407	-0,684	-0,459	0,280	0,014	0,035	0,006	1,000

Tabela 2.3: Comparação dos valores obtidos neste estudo com os resultados apresentados na literature, para cada uma das variáveis consideradas

		Wang	Bazúa-Duran	Oswald	Steiner	Driscoll	Lammers	Camargo
FI	Estatística t	-0,020	-4,910*	0,474	3,191*	-4,149*	-	-0,544
	Graus de liberdade	464,000	1154,000	305,000	2281,000	1158,000	-	895,000
	p-valor	0,984	<0,001	0,636	0,001	<0,001	-	0,586
FF	Estatística t	-3,736*	-6,572*	1,378	-754	-5,321*	-	0,808
	Graus de liberdade	319,727	1154,000	305,000	223,760	301,855	-	351,417
	p-valor	<0,001	<0,001	0,169	0,452	<0,001	-	0,420
FMi	Estatística t	1,600	-5,884*	0,998	3,362*	-3,471*	-2,359*	1,738
	Graus de liberdade	351,637	1154,000	305,000	2281,000	251,215	360,000	895,000
	p-valor	0,111	<0,001	0,319	0,001	<0,001	<0,001	0,083
FMa	Estatística t	-2,258*	-6,850*	2,258*	1,180	-8,705*	-8,278*	0,470
	Graus de liberdade	262,659	1154,000	305,000	219,272	1158,000	360,000	351,001
	p-valor	0,025	<0,001	0,025	0,239	<0,001	<0,001	0,639
Dur	Estatística t	-10,875*	6,917*	-1,799	14,124*	-11,998*	-5,012*	2,482*
	Graus de liberdade	270,000	960,000	111,000	2087,000	964,000	166,000	701,000
	p-valor	<0,001	<0,001	0,075	<0,001	<0,001	<0,001	0,013

*a diferença de média é significativa estatisticamente a nível 0.05.

Apresentei aqui meus resultados da forma que julguei mais completa, para que, futuramente, comparações entre populações possam ser feitas com maior precisão e um menor número de fontes de erros. Portanto, uma resposta mais sólida sobre a relação entre as populações anteriormente estudadas no Havaí (por exemplo, DRISCOLL 1995; WANG *et al.* 1995b; BAZÚA-DURÁN & AU 2002; LAMMERS *et al.* 2003), no Oceano Pacífico Oriental (OSWALD *et al.* 2003), no Oceano Atlântico Norte (STEINER 1981) e no Oceano Atlântico Sul (presente estudo) dependerá de estudos futuros, uma vez que, neste momento, além de todas as possibilidades de erros mencionadas anteriormente, eu não possuía informações sobre as Matrizes de Variância e Covariância que me permitiriam a realização de uma análise discriminante.

Levando em conta o teste de classificação por distância, pude considerar dois tipos distintos de resultados. Se suponho que a população de Fernando de Noronha poderia ser mais similar à população do Oceano Atlântico Norte, estudada por STEINER (1981), ao escolher a matriz de variâncias amostrais e correlações iguais às observadas aqui, os resultados poderiam estar associados a algum grau de troca de informações através de grupos intermediários, como já foi observado por BAZÚA-DURÁN & AU (2002) para golfinhos-rotadores havaianos, por WANG *et al.* (1995a) para *Tursiops truncatus*, e por AZEVEDO & VAN SLUYS (2005) para *Sotalia guianensis*. Além disso, a diferença entre a população de Fernando de Noronha e a do Oceano Pacífico poderia estar ligada ao isolamento geográfico. Acredito que esta matriz de variância-covariância seja mais próxima da real, uma vez que os valores de variância que compõem a matriz são fornecidos pelos próprios autores de cada um dos estudos. Por outro lado, se usar as outras três opções de matriz de variância-covariância, a maior concentração de mínimas distâncias migra para o estudo de OSWALD *et al.* (2003), o que confirma o resultado obtido nas análises univariadas e reforça a idéia de proximidade entre estas duas populações. Estes resultados são exatamente o oposto do obtido em nosso estudo de 2006 (CAMARGO *et al.* 2006), onde, ao utilizar a matriz com as variâncias amostrais, a concentração de mínimas distâncias apontou a população do OPO como mais próxima a de Noronha.

Apesar da diferença observada entre os resultados do presente estudo e aquele publicado em 2006 (CAMARGO *et al.* 2006), e considerando que ambos os resultados colocam as mesmas populações (do Oceano Pacífico Oriental e do Oceano Atlântico Norte) como mais próximas da população de golfinhos-rotadores de Fernando de Noronha do que a do Havaí, considero as análises realizadas importantes para enriquecer as discussões acerca das emissões sonoras de *Stenella longirostris*, bem como sugerir a obtenção de mais informações que corroborem a busca por padrões de variação geográficas destas emissões.

2.4- Conclusão

As características acústicas dos assobios emitidos por golfinhos têm sido descritas e quantificadas em um número relativamente grande de estudos e têm demonstrado ser úteis durante comparações entre grupos e populações, assim como durante a categorização de diferentes espécies (por exemplo STEINER 1981, WANG *et al.* 1995a, b, BAZÚA-DURÁN & AU 2002, OSWALD *et al.* 2004, 2007). Neste contexto, a descrição apresentada aqui, assim como as comparações conduzidas com os resultados disponíveis na literatura para outras populações, contribuem para este esforço maior de se conhecer como as populações são organizadas geograficamente, e quais características dos assobios são importantes para diferenciar populações e/ou espécies. O aumento do esforço em estudos bioacústicos para outras populações conhecidas de golfinhos-rotadores permitiria reconhecer melhor a existência de qualquer padrão de variação geográfica e sua correlação com características biológicas, e isso, por sua vez, ajudaria que se atribuisse, numa melhor resolução, o status taxonômico de cada população e subespécie.

Tabela 2.4: Análise descritiva dos assobios (média, desvio padrão, valores mínimo e máximo) apresentados nos estudos de assobios de populações de golfinhos-roradores e disponíveis na literatura. Legenda: N – número de amostras; FI- frequência inicial; FF – frequência final; FMi- frequência mínima; FMax- frequência máxima; Dur- duração.

Estudo	Estatística	N	FI (kHz)	FF (kHz)	FMi (kHz)	FMax (kHz)	Dur (ms)
Camargo <i>et al.</i> 2006	Média	705	10,78	12,74	9,06	14,45	498
	Mínimo	705	2,06	2,03	2,06	2,03	1
	Máximo	705	23,08	22,52	21,68	23,08	2413
	Desvio Padrão	705	4,09	4,02	2,84	3,87	400,58
Wang <i>et al.</i> (1995a)	Média	271	10,61	14,05	9,03	15,20	750
	Mínimo	271	3,91	7,19	3,91	8,75	100
	Máximo	271	18,92	22,46	14,38	22,46	1820
	Desvio Padrão	271	3,44	2,37	2,24	1,66	330
Bazúa-Durán <i>et al.</i> (2002)	Média	961	12,02	14,91	10,68	16,50	449
	Mínimo	961	2,58	2,29	1,99	2,66	28
	Máximo	961	22,90	24,00	18,34	24,00	2256
	Desvio Padrão	961	3,66	3,80	2,68	3,54	372
Oswald <i>et al.</i> (2003)	Média	112	10,40	12,40	9,10	13,70	600
	Mínimo	112	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>
	Máximo	112	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>
	Desvio Padrão	112	3,40	3,60	2,50	3,50	400
Steiner (1981)	Média	2088	9,76	13,17	8,76	14,32	430
	Mínimo	2088	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>
	Máximo	2088	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>
	Desvio Padrão	2088	3,51	3,10	2,62	2,76	330
Driscoll (1995)	Média	965	11,80	14,46	10,19	16,80	661
	Mínimo	965	4,64	4,00	4,00	5,60	40
	Máximo	965	21,44	23,04	21,22	23,04	1870
	Desvio Padrão	965	3,66	3,91	2,40	3,17	334
Lamers <i>et al.</i> (2003)	Média	167	<i>nd</i>	<i>nd</i>	10,10	17,40	660
	Mínimo	167	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>
	Máximo	167	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>
	Desvio Padrão	167	<i>nd</i>	<i>nd</i>	2,50	3,0	330

Tabela 2.5. Classificação das observações segundo a distância. Em azul o estudo onde se concentrou o maior número de menores distâncias.

Matrizes	Wang	Bazúa-Duran	Oswald	Steiner	Driscoll	Total
Matriz de variância-covariância / Independência	0	67	82	23	23	195
Matriz de variância-covariância iguais às observadas	9	47	50	47	42	195
Matriz de variâncias amostrais e correlações iguais às observadas	0	8	19	158	10	195
Distância Euclidiana	12	62	68	38	15	195

Capítulo 3

Descrição quantitativa dos grasnidos emitidos na faixa audível pelos golfinhos-rotadores de Fernando de Noronha.

Resumo

Poucos estudos em bioacústica de cetáceos abordaram sons pulsados, exceto aqueles associados à ecolocalização. Sons pulsados com altas taxas de repetição têm sido classificados como grasnidos (“burst-pulsed signals”), e são frequentemente implicados na comunicação. Contudo, estudos que detalhem sua função, bem como que os diferenciem mais precisamente das seqüências de pulsos usadas na ecolocalização são ainda necessários. Neste estudo, os grasnidos emitidos na faixa audível pela população de golfinhos-rotadores do Arquipélago de Fernando de Noronha, Brasil, foram gravados ao longo de 2 meses. Um total de 139 amostras foram selecionadas aleatoriamente e destas foram extraídas oito variáveis. Uma série de análises quantitativas foram então conduzidas para avaliar a variabilidade destas emissões. As análises mostraram valor médio de intervalo entre pulsos de 2,439 ms (DP= 0,742). Os valores mínimo e o máximo de intervalo entre pulsos foram de 1,010 e 20,900 ms, respectivamente. As análises mostraram que a média do intervalo entre o primeiro e o segundo pulsos foi menor que a média do intervalo entre o penúltimo e o último pulsos, indicando que os intervalos variam ao longo das emissões. A duração dos grasnidos teve valor médio em torno de 97,310 ms (DP= 37.410) e o número de pulsos por grasnido variou entre 3 e 92. Estes valores diferiram dos valores previamente reportados para a espécie, mas as razões para esta variação são ainda desconhecidas.

Abstract

Few studies in the bioacoustics of cetaceans have been done taking pulsed sounds into account, except those used in echolocation. Pulsed sounds with high repetition rate have been classified as burst-pulsed signals, and have been frequently implied in social contexts. However, studies on their function, as on the differences in structure between them and echolocation click trains are still needed. In this study, I recorded the burst-pulses emitted on the aural range by the population of spinner dolphins from Fernando de Noronha Archipelago, Brasil, for two months. A total of 139 samples were randomly selected and from these, I extracted eight variables. A series of quantitative analysis were conducted to evaluate the variability of these emissions. The analysis showed a mean interval between pulses value of 2,439 ms (SD= 0,742), and the minimum and maximum values for these intervals were 1,010 and 20,900 ms, respectively. The analysis also showed that the mean interval between the first and the second pulses were less than the one between the penultimate and the last pulses, indicating that the intervals vary through the emissions. The burst-pulse duration presented mean value of 97,310 ms (SD= 37.410) e the number of pulses per burst varied between 3 and 92. These values differed from those described previously to the species, but the reasons for this variation are still unknown.

3.1- Introdução

As vocalizações dos odontocetos podem ser agrupadas, de maneira geral, em duas categorias: assobios e sons pulsados. Os assobios são emissões tonais de banda estreita, geralmente caracterizados em termos de sua frequência instantânea em função do tempo (BAZÚA-DURÁN & AU 2002). Os sons pulsados, por sua vez, são sinais de banda larga e variam amplamente quanto à duração dos pulsos, ao intervalo entre pulsos e à composição espectral (apresentando frequentemente parte ou toda a energia na faixa ultrasônica, i.e, acima de 20 kHz). Estes são funcionalmente divididos em duas classes: séries de pulsos usados na orientação e na localização de presas e obstáculos, denominados sons de ecolocalização (RICHARDSON *et al.* 1995) e “*burst-pulsed signals*” (aqui denominados grasnidos) (LAMMERS *et al.* 2004).

Em se tratando das séries de pulsos de ecolocalização, estudos com animais de cativeiro têm fornecido informações importantes sobre os mecanismos de produção, transmissão e recepção destes sinais. Contudo, informações sobre como os odontocetos usam estes sinais para detectar e capturar suas presas em ambiente natural são ainda necessárias (MADSEN *et al.* 2005). Sabe-se que para otimizar a capacidade de detecção e inspeção de alvos, os animais controlam tanto os intervalos entre pulsos quanto a faixa de frequência e intensidade com que estes são produzidos (MOORE & PAWLOSKI 1990, AU 1993). Já os grasnidos são sons pulsados que, embora tenham estrutura semelhante às séries de estalidos de ecolocalização, soam aos ouvidos humanos de forma muito particular. Por conta disso, têm recebido inúmeras designações subjetivas: gritos, guinchos, gemidos, entre outros (por exemplo, CALDWELL & CALDWELL 1967, CORKERON & VAN PARIJS 2001, DAWSON & THORPE 1990). É importante salientar, portanto, que as características acústicas que distinguem os grasnidos e os pulsos de ecolocalização ainda não são bem compreendidas. Sugere-se que o intervalo entre os pulsos possa ser a chave desta questão, sendo que os grasnidos representariam seqüências com altas taxas de repetição e os pulsos de ecolocalização representariam seqüências com intervalos entre pulsos relativamente maiores. Entretanto, uma vez que

estes sinais compartilham uma série de outras características, estudos experimentais são ainda requeridos necessários para distinguir claramente as duas categorias de sinais (LAMMERS *et al.* 2004).

De qualquer forma, os grasnidos (assim definidos por suas características aurais), da mesma maneira que os assobios, têm sido fortemente implicados no processo de comunicação (CALDWELL & CALDWELL 1967, DAWSON 1991, NORRIS *et al.* 1994, LAMMERS *et al.* 2006). Entretanto, até o momento, a grande maioria dos estudos em comunicação considerou apenas os assobios, uma vez que estes possuem a maior parte de sua porção fundamental na faixa audível de frequência e são mais fáceis de gravar e de analisar (AU 2000, ANSMANN *et al.* 2007).

Alguns autores sugeriram que os grasnidos desempenham um importante papel em situações agonísticas, aflitivas ou de alarme (por exemplo, HERZING 1996, AMUNDIN 1991, BLONQVIST & AMUNDIN 2004, BLONQVIST *et al.* 2005). Alguns exemplos existem para golfinhos-nariz-de-garrafa (*Tursiops truncatus*): grasnidos de alta intensidade são produzidos quando os animais são removidos da água (CALDWELL & CALDWELL 1967); sons pulsados de banda larga, chamados de “squawks”, são produzidos quando os animais se encontram posicionados cabeça-a-cabeça e de boca aberta (OVERSTROM 1983, HERZING 1996); sons de baixa frequência e banda larga, chamado “thunks”, são produzidos durante interações entre fêmeas e filhotes (MCCOWAN & REISS 1995); e, finalmente, pulsos de baixa frequência e banda estreita, chamados “pops”, são produzidos por machos durante a corte, em *Shark Bay*, Austrália (CONNOR & SMOLKER 1996).

A maioria dos estudos que abordam grasnidos em outras espécies de odontocetos são descrições gerais de parte do repertório vocal (CALDWELL & CALDWELL 1971; WATKINS & SCHEVILL, 1977; NORRIS *et al.* 1994). Entretanto, estudos mais recentes têm contribuído para aumentar o conhecimento destas emissões. Um exemplo é o estudo de WEIR *et al.* (2007), que descrevem um tipo de grasnido emitido por cachalotes (*Physeter macrocephalus*), chamado de “squeal”. Este som particular apresenta altas taxas de repetição (até 1622 pulsos/s) e os autores acreditam que estas emissões possuam

um papel na comunicação entre os animais, uma vez que foram observados apenas durante interações sociais. Além disso, RANKIN *et al.* (2007), ao gravarem grupos de golfinhos *Lissodelphis borealis*, descreveram oito séries estereotipadas de grasnidos produzidas em repetição, e especularam que estas poderiam desempenhar um papel comunicativo semelhante ao dos assobios em outras espécies de delfínídeos.

LAMMERS *et al.* (2003) estudaram os grasnidos emitidos por golfinhos-rotadores do Havaí considerando todo seu espectro de emissão. Eles mostraram que apenas 17% dos pulsos de golfinhos-rotadores tinham pico de frequência abaixo de 20 kHz, e que 39,2% tinham menos de 10% da sua energia total abaixo de 20 kHz. É, portanto, muito importante saber que todos os estudos que têm sido feitos dentro da faixa sônica (incluindo o presente estudo, no qual apenas sons de até 24 kHz estão sendo considerados) estão excluindo uma quantidade enorme de grasnidos produzidos e portanto, são representativos de parte do repertório da espécie. Ainda no estudo de LAMMERS *et al.* (2003), os autores afirmaram que a prática de descrever os grasnidos quanto às suas qualidades aurais deveria ser substituída por abordagens quantitativas e constataram que algumas medidas espectrais têm propriedades direcionais, como a energia contida em cada porção da emissão. É também muito importante, então, considerar que apenas algumas características destes sons deveriam ser analisadas para evitar resultados equivocados. Neste sentido, as características temporais são mais conservadoras e, portanto, menos afetadas pela direcionalidade e faixas de frequência de gravação e análise (LAMMERS *et al.* 2003).

LAMMERS *et al.* (2004) ao comparar as emissões pulsadas emitidas por golfinhos-rotadores do Havaí, relataram a existência de um padrão bimodal na distribuição dos intervalos médios entre pulsos, revelando dois modos distintos de produção destas emissões: seqüências que se iniciam e se mantêm com intervalos entre pulsos relativamente curtos (que corresponderiam aos grasnidos), e seqüências com intervalos entre pulsos mais longos e variáveis (que corresponderiam às seqüências de pulsos de ecolocalização). Os autores relataram ainda que a baixa ocorrência de emissões com intervalo entre pulsos entre 10 e 20 ms, sugere que este pode ser o ponto de transição funcional e cognitivo entre estas duas categorias de sinais.

Apresento aqui a primeira avaliação quantitativa dos grasnidos emitidos pela população de golfinhos-rotadores de Fernando de Noronha dentro da faixa audível de frequência. Extraí destes sinais apenas informações temporais (como duração ou intervalo entre pulsos) ou que variam em função do tempo (como número de pulsos). Os grasnidos frequentemente mostram-se nos espectrogramas com uma estrutura aparentemente harmônica. Entretanto, a estrutura de bandas observada é, na verdade, um artefato de representação espectrográfica da alta taxa de repetição dos pulsos e não é proveniente de uma estrutura harmônica verdadeira (WATKINS 1967). Por conta disso, procurei analisar os espectrogramas a partir de características de resolução que permitissem visualizar estas emissões de acordo com sua natureza pulsada.

3.2- Material e Métodos

As amostras de sons foram coletadas durante mergulhos em apnéia na Baía dos Golfinhos, segundo a descrição do item 1.4.2.

Para gerar os espectrogramas que possibilitaram a extração dos parâmetros acústicos dos grasnidos, utilizei o programa CANARY v.1.2.4 (Bioacoustics Research Program, Cornell Lab of Ornithology). Cada espectrograma foi gerado com base nos seguintes parâmetros: Fast Fourier Transform (FFT) de 4096 pontos, sobreposição de 96,88%, janela Hamming. A resolução utilizada foi de 32 pontos (*frame length*), resultando em um valor de largura de banda de 6090 Hz e uma resolução de tempo de 0.02083 ms (baseado em BLONQVIST & AMUNDIN 2004). Os critérios para seleção dos grasnidos foram: clareza na leitura dos pulsos iniciais e finais, bem como no intervalo entre os pulsos (ver Figura 3.2.1).

Uma vez que não foi possível identificar os animais emissores de cada sinal selecionado, supõe-se que, provavelmente, mais de um grasnido de cada indivíduo tenha sido selecionado e portanto, que as amostras não sejam independentes. Visando minimizar o efeito de uma possível pseudoreplicação (HURLBERT 1984, 2004), oriunda desta natureza dependente, amostras de grasnidos foram sorteadas aleatoriamente. Para

isso, foi gerada uma planilha contendo uma coluna constituída de números ordenados e uma segunda coluna constituída por informações para localizar as emissões selecionadas (número do clipe, número da fita digital onde a emissão fora gravada e tempo de início de cada grasnido). Posteriormente, 25% do total de amostras selecionadas (N= 556) foram sorteadas por número, resultando em 139 amostras aleatórias. Destas, foram extraídas as seguintes variáveis: 1) intervalo inicial (I1- intervalo entre o primeiro e o segundo pulsos); 2) intervalo final (Iúltimo- intervalo entre o último e o penúltimo pulsos); 3) intervalo máximo (Imax- intervalo de maior duração), 4) intervalo médio (IME- definido pela razão entre a duração e o número de intervalos (número de pulsos – 1)), 5) duração (Dur), 6) número de pulsos (NP), 7) taxa média de repetição (TR- dada pela razão entre o número de pulsos e a duração). Estas variáveis foram escolhidas por serem facilmente medidas dos espectrogramas e por constituírem apenas componentes temporais ou ligados ao eixo do tempo (como número de pulsos).

Assim como nos assobios, os parâmetros dos grasnidos apresentaram correlação (através do teste de *Pearson*) (ZAR 1998) e, por conta disso, realizei análise de componentes principais (ACP) na tentativa de encontrar variáveis menos importantes para explicar a variabilidade dos dados ou até mesmo para encontrar variáveis sintéticas que substituíssem variáveis altamente correlacionadas, auxiliando na compreensão dos fatores geradores desta variabilidade. No próximo passo, ainda de forma exploratória, uma análise de agrupamento chamada *CLARA* (Clustering Large Applications) (KAUFMAN & ROUSSEEW 2005) foi utilizada para determinar a existência de algum padrão de agrupamento dos dados de acordo com sua similaridade. Os grupos formados foram então testados com o “*Silhouette width test*” (KAUFMAN & ROUSSEEW 2005), teste não-paramétrico que mede a dissimilaridade média entre o ponto *i* e todos os outros pontos do grupo ao qual *i* pertence.

A seguir, plotei os parâmetros Iultimo e IMax em função de I1 e testei esta relação através de uma análise de Regressão Linear (ZAR 1998), objetivando comparar os resultados obtidos com aqueles apresentados por LAMMERS *ET AL.* (2004), para a população de golfinhos-rotadores do Havaí.

3.3- Resultados e Discussão

Um sumário das estatísticas descritivas (média, desvio padrão, coeficiente de variação, valores mínimo e máximo, e mediana) para todos os parâmetros dos 139 grasnidos aleatórios incluídos nas análises é apresentado na Tabela 3.1. As análises mostraram que a média de I1 foi menor que a de Iultimo, sugerindo que, diferentemente dos resultados obtidos por LAMMERS *et al.* (2004), os grasnidos produzidos pelos golfinhos-rotadores de Fernando de Noronha apresentam variação no intervalo entre pulsos ao longo da emissão (Figura 3.2). O resultado da análise de regressão linear mostra esta inconsistência ($r^2 = 0,08$), mas pode não ser confiável, uma vez os dados não obedecem às premissas de normalidade e homogeneidade de variâncias do teste de regressão linear simples, como se pode ver na Figura 3.3. As variáveis Iultimo e IMax, por sua vez, parecem ser altamente correlacionadas ($r = 0,972$), o que indica uma tendência de aumento no intervalo entre pulsos do início para o fim de cada emissão. Este resultado seria corroborado pela análise de regressão linear ($r^2 = 0,94$), mas novamente os dados não obedeceram às premissas do teste (Figura 3.4).

Dada a similaridade que existe entre grasnidos e seqüências de pulsos de ecolocalização, LAMMERS *et al.* 2003 e LAMMERS *et al.* (2004) relataram um hiato nas emissões pulsadas de golfinhos-rotadores entre 10 e 20 ms, e sugerem que este possa ser o ponto de transição funcional e cognitiva entre estas duas categorias de sinais. Aqui, os intervalos mínimo e máximo observados entre dois pulsos foram de 1,010 e 20,900 ms, respectivamente. Este números diferem daqueles observados para a espécie por aqueles autores, que reportaram intervalo mínimo de 1,5 ms e máximo de aproximadamente 10 ms. Entretanto, apenas 11 dos 139 grasnidos analisados apresentaram intervalos máximos maiores do que 10 ms, e destes, apenas 3 tiveram intervalos maiores do que 15 ms.

Quanto ao IMe, os grasnidos apresentaram média de 2,439 ms (DP= 2,198), valor inferior ao relatado por LAMMERS *et al.* (2004) para a espécie, sendo que mais de 80% das amostras apresentaram valores inferiores a 3 ms (Figura 3.5). Entretanto, dentre os parâmetros analisados, o IMe foi o que apresentou um dos menores coeficientes de variação, juntamente com a TR e o I1 (Tabela 3.1). As variáveis Iultimo e IMax, por sua

vez, apresentaram os maiores valores de coeficientes de variação. A baixa variabilidade intraespecífica dos valores de IMe poderia indicar que as diferenças observadas entre este estudo e o de LAMMERS *et al.* (2004) se devem a diferenças entre as populações. Por outro lado, que a alta variabilidade intraespecífica de Iultimo e IMax poderia estar relacionada à modulação individual na transmissão de informações, uma vez que estes sinais têm sido frequentemente implicados na comunicação (por exemplo, OVERSTROM 1983, MACCOWAN & REISS 1995, HERZING 1996, BLOMQVIST & AMUNDIN 2004). Entretanto, novos estudos, com metodologia adequada, serão necessários para descobrir se existe algum padrão de variação geográfica para os grasnidos emitidos por diferentes populações de golfinhos-rotadores, assim como para determinar qualquer tipo de modulação individual e relação com diferentes classes de comportamento.

Para o número de pulsos, os grasnidos emitidos pelos golfinhos-rotadores de Fernando de Noronha apresentaram valor médio (Média= 44,580 pulsos/s; DP= 18,990) maior do que o descrito para a espécie por LAMMERS *et al.* 2003 (Média 29 pulsos/s; DP= 29) e também daquele descrito para *Lissodelphis borealis* (Média= 24,600; DP= 24,600) por RANKIN *et al.* (2007). Quanto à duração média dos grasnidos, o único valor que encontrei na literatura também diz respeito à *Lissodelphis borealis*, e assim como o NP, o valor médio obtido aqui (Média= 97,300; DP= 37,410) excedeu o citado para aquela espécie (Média= 26,980, DP= 25,680). Estas diferenças, entretanto, podem estar relacionadas à diferenças no espectro de frequência gravado pelos equipamentos utilizados nos diferentes estudos.

A Tabela 3.2 mostra a Matriz de Correlação entre as todas as variáveis. A maioria das variáveis apresentou uma associação significativa, excluindo **Dur** e **I1** ($r= 0,155$, $p= 0,05$; *Pearson correlation* $t= 0,98$, $df= 152$, $p= 0,328$), **Dur** e **IMe** ($r= 0,055$, $p= 0,05$; *Pearson correlation* $t= -0,454$, $df= 152$, $p= 0,651$), **Iultimo** e **NP** ($r= 0,101$, $p= 0,05$; *Pearson correlation* $t= 1,460$, $df= 152$, $p= 0,147$), **IMax** e **NP** ($r= 0,077$, $p= 0,05$; *Pearson correlation* $t= 1,010$, $df= 152$, $p= 0,314$) e **NP** e **IMe** ($r= -0,468$, $p= 0,05$; *Pearson correlation* $t= -0,453$, $df= 152$, $p= 0,651$).

Figura 3.1- Amostra da representação gráfica de um grasnido (espectrograma) com destaque ao parâmetro I1 extraídos para análise.

Figura 3.2 - Amostra da representação gráfica de um grasnido (espectrograma) com destaque ao aumento do intervalo entre pulsos ao longo da emissão.

Tabela 3.1 – Análise descritiva dos grasnidos (média, desvio padrão, valores mínimo e máximo, coeficiente de variação e mediana). Legenda: Coef. De Variação – coeficiente de variação; N – número de amostras; I1- intervalo entre o primeiro e o segundo pulsos; Iúltimo – intervalo entre o penúltimo e o último pulsos; IMe- intervalo médio; IMax- intervalo de maior duração; Dur- duração; NP- número de pulsos; TR- taxa de repetição

Estudo	Estatística	N	I1 (ms)	Iúltimo (ms)	IMe (ms)	IMax (ms)	Dur (ms)	NP	TR
	Média	139	2,218	4,554	2,439	4,749	97,310	43,580	461,900
	Desvio Padrão	139	0,712	3,330	0,742	3,400	37,410	18,990	121,700
	Valor mínimo	139	1,160	1,010	1,320	1,380	3,280	3,000	208,300
	Valor máximo	139	4,710	20,900	4,978	20,900	185,600	92,000	914,600
	Coef. de Variação	139	32,080	73,120	30,440	71,590	38,440	43,580	26,340
	Mediana	139	2,080	3,270	2,198	3,360	94,020	43,000	4,695

Tabela 3.2: Matriz de correlação amostral

	Dur	I1	Iultimo	IMax	TR	NP	IMe
Dur	1,000						
I1	0,155	1,000					
Iultimo	0,463	0,296	1,000				
IMax	0,455	0,323	0,972	1,000			
TR	-0,199	-0,658	-0,482	-0,473	1,000		
NP	0,825	-0,250	0,101	0,077	0,296	1,000	
IMe	0,055	0,722	0,483	0,510	-0,869	-0,468	1,000

Apesar das correlações observadas, quando se observam os resultados da *ACP*, nota-se que os dois primeiros componentes desta análise explicaram 80,7% da variabilidade, e já na terceira componente, 90% da variabilidade foi alcançada. Entretanto, todas as variáveis escolhidas já haviam sido incluídas nestes componentes (Figura 3.6), o que implica que nenhuma delas poderia ser excluída da análise sem perda de variabilidade. Além disso, os dois primeiros componentes não representam variáveis sintéticas significativas, ao menos em um primeiro momento.

A análise CLARA revelou que o total de amostras de grasnidos de golfinhos-rotadores poderia ser dividido em seis ou sete grupos, com o *Silhouette width test* resultando em 0,31 e 0,32, respectivamente (Figuras 3.7 e 3.8). Estes resultados poderiam ser considerados bons agrupamentos, de acordo com o método (KAUFMAN & ROUSSEEUW 2005), mas não parecem ter nenhum significado biológico com as informações disponíveis até o momento. Estudos que relacionem estas emissões com variáveis biológicas como tamanho corporal, sexo ou idade do emissor, ou mesmo ecológico-comportamentais, como tamanho de grupo ou comportamento, serão necessários para que se possa visualizar qualquer significado em agrupamentos como este. Além disso, no caso destes grupos representarem categorias distintas de sons, estudos mais detalhados em amplo espectro de frequência também se fazem necessários para que estas categorias, se reais, possam se tornar mais evidentes.

Os resultados apresentados aqui são importantes por representarem a primeira descrição quantitativa dos grasnidos emitidos por golfinhos-rotadores do Oceano Atlântico. Entretanto, uma série de questões sobre estas emissões sonoras ainda persiste:

- 1- Quanto da variabilidade de grasnidos emitidos pela espécie pode ser acessada através de estudos realizados dentro da faixa audível de frequência? Sabe-se que a maior parte da energia destas emissões se concentra na faixa de alta frequência e que os estudos sobre estas vocalizações, na faixa audível, devem abordar características conservativas dos sinais, expressas em função do tempo (LAMMERS *et al.* 2003, LAMMERS *et al.* 2004). Entretanto, mesmo trabalhando com essas características, não se tem como saber quanto da variabilidade destes sinais está sendo avaliada ao trabalhar dentro do espectro aural e este conhecimento é de enorme importância, tanto para evitar este tipo de

abordagem, se esta for pouco informativa, quanto para recomendá-la por sua facilidade, caso a quantidade de informação acessada se mostre satisfatória. Esforços futuros serão necessários para responder esta questão e estes deverão empregar métodos de gravação e análise que permitam acessar altas frequências nas emissões.

- 2- Qual a função destas emissões e de que forma os animais as modulam para transmitir informações? Os grasnidos têm sido frequentemente associados a contextos sociais, especialmente em situações agonísticas (por exemplo, AMUNDIN 1991, BLONQVIST & AMUNDIN 2004, BLONQVIST *et al.* 2005). Entretanto, não se sabe ainda de que forma isso ocorre. Aqui, vi que alguns parâmetros dos sinais tendem a ser mais variáveis do que outros para a população de golfinhos-rotadores de Fernando de Noronha, como é o caso dos parâmetros Iultimo e Imax, os quais especulei estarem sendo modulados pelos animais. Contudo, para que estas afirmações possam ser comprovadas, esforços futuros deverão possibilitar o reconhecimento tanto do animal emissor de cada sinal, como dos prováveis receptores.
- 3- Existe a possibilidade destas emissões pulsadas serem também utilizadas para explorar características do meio, assim como os trens de ecolocalização? Sabe-se que existe uma sobreposição das características dos sons pulsados usados na ecolocalização com aquelas presentes nas emissões de contextos sociais (LAMMERS *et al.* 2004). Animais que estão perseguindo presas em distâncias muito curtas tendem a reduzir o intervalo entre os pulsos, de forma que a taxa de repetição dos pulsos se torna muito semelhante à dos grasnidos (AU 1993). Por outro lado, observei aqui que o intervalo entre pulsos dos grasnidos tende a aumentar ao final de cada emissão e a compreensão do porque isso ocorre nos permitiria concluir se estes sinais são usados apenas na comunicação ou também, de alguma forma, participam da exploração do ambiente. Para isso, entretanto, seria novamente muito importante a identificação do animal emissor de cada sinal e de seu contexto.

Figura 3.3- Resultado da análise de Regressão Linear, mostrando em (a) os valores de I_{ultimo} em função de I_1 , e em (b) os resíduos da distribuição de valores da variável I_{ultimo} .

Figura 3.4- Resultado da análise de Regressão Linear, mostrando em (a) os valores de I_{ultimo} em função de I , e em (b) os resíduos da distribuição de valores da variável I_{ultimo} .

Figura 3.5 – Gráfico da frequência de ocorrência da variável IMe nos grasnidos da população de golfinhos-rotadores de Fernando de Noronha.

Figura 3.6– Resultado do *PCA*, indicando a composição de cada componente e o quanto de variabilidade dos dados é alcançada.

Figura 3.7– Resultado da análise *Clara* para todas as variáveis, com formação de 6 grupos.

Figura 3.8: Resultado da análise *Clara* para todas as variáveis, com formação de 7 grupos.

3.4- Conclusão

Poucos estudos sobre o repertório de sons pulsados de odontocetos foram realizados até o momento, com exceção daqueles que são utilizados na ecolocalização. Os resultados apresentados aqui são importantes por representarem a primeira descrição quantitativa dos grasnidos emitidos na faixa audível por golfinhos-rotadores do Oceano Atlântico. A descrição do repertório de grasnidos de outras populações permitirá que se compreenda a existência de algum padrão de variação geográfica para estas emissões e de que forma esta variação se relaciona com a ampla variabilidade morfológica e ecológica da espécie. Além disso, o quanto do espectro total destas emissões pode ser acessado em estudos na faixa aural e qual é a função biológica dos grasnidos são questões que deverão ser investigadas futuramente e que dependerão da utilização de metodologias que permitam acessar todo o espectro de frequência dos grasnidos, bem como identificar o emissor de cada sinal.

Capítulo 4

Evidências de um grasnido de curta duração usado por golfinhos-rotadores machos durante o comportamento de corte em Fernando de Noronha

Resumo

Poucos estudos em bioacústica de cetáceos têm sido conduzidos com sons pulsados, exceto aqueles que são usados na ecolocalização. Sons pulsados com alta taxa de repetição têm sido classificados como grasnidos e têm sido frequentemente implicados em contextos sociais, especialmente em situações agonísticas, aflitivas ou de alarme. Neste estudo, gravei grasnidos emitidos na faixa audível por golfinhos-rotadores de Fernando de Noronha e os dividi em duas categorias: corte e não-corte. Grasnidos de corte foram aqueles sons gravados na presença de grupos de golfinhos compostos por uma ou duas fêmeas e por vários machos, engajados em comportamento de corte. Estes grupos eram muito ruidosos e nadavam em alta velocidade, e provavelmente coincidem com os “wuzzles” descritos por NORRIS *et al.* (1994). Grasnidos de não-corte eram todos aqueles gravados em outros comportamentos ou situações. Para realizar as análises, formei dois tipos de dados agrupados: tipo 1 – composto por 139 grasnidos randômicos, onde 10 eram de corte e 129 de não-corte; tipo 2- composto por 154 grasnidos, sendo 129 randômicos de não-corte, somados ao total de grasnidos de corte gravados (N= 25). Os resultados obtidos em ambos os grupos de dados mostraram diferenças significativas entre as duas categorias tanto nas análises univariadas, quanto na Análise Discriminante (AD). Quando comparei médias, os dados do tipo 1 mostraram diferenças significativas entre os grasnidos de corte e de não-corte considerando a duração (Dur), a taxa de repetição (TR), o intervalo entre o primeiro e o último pulsos (I1), o intervalo entre o penúltimo e o último pulsos (Iultimo), o máximo intervalo (IMax), e o número de pulsos (NP). Ainda considerando os dados do tipo 1, a AD mostrou que existiam diferenças significativas nos valores das médias para todas as variáveis e que 98% das amostras foram corretamente classificadas nas categorias, o que é muito superior ao esperado por acaso. Os dados do tipo 2, por sua vez, mostraram diferenças significativas nos valores médios obtidos para cada categoria apenas para Dur, Iultimo e NP. Adicionalmente, ao observar os resultados de DA, encontra-se diferenças apenas na Dur e no NP, e nota-se que 98% das amostras foram também corretamente classificadas nas duas categorias. Apesar de ter encontrado diferenças nos dois tipos de dados, atribuí este fato ao número diferente de amostras de grasnidos de não-corte e não ao aumento de similaridade entre as duas categorias. Finalmente, os resultados aqui obtidos reforçam a idéia de que grasnidos são usados em contextos sociais, especialmente em situações aflitivas e exaltam a importância da identificação do emissor dos sinais, assim como o uso de equipamentos de gravação de amplo espectro de frequência.

Abstract

Few studies in the bioacoustics of cetaceans have been done taking pulsed sounds into account, except those used in echolocation. Pulsed sounds with high repetition rate have been classified as burst-pulsed signals, and have been frequently implied in social contexts, especially in agonistic, distress and alarm situations. In this study, I recorded the burst-pulses emitted on the aural range by the population of spinner dolphins from Fernando de Noronha Archipelago, Brasil, and classified them in two categories: court bursts and no-court bursts. Court bursts were those sounds recorded in the presence of groups of dolphins composed by one or two females and a couple of males engaged in court behavior. These groups were very noisy and fast swimming, and are probably coincident with the “wuzzles” described by Norris *et al.* (1994). No-court bursts were all those recorded in any other behavior or situation. To perform the analysis, I composed two kinds of data sets: type 1 – compound of 139 randomized bursts pulsed sounds, where 10 were court burst and 129 no-court bursts; type 2 – compound of 154 burst pulses, being 129 random no-court bursts and the total amount of court bursts recorded (N= 25). The results obtained from both data sets showed significant differences between the two categories in the univariate analysis as in the Discriminant Function Analysis (*DFA*). When comparing means, the dataset type 1 showed significant differences between court and no-court bursts considering the duration (Dur), the repetition rate (RR), the interval between the first and the second pulses (IF), the interval between the last and the penultimate pulses (IL), the maximum interval (MI), and the number of pulses (NP). Still considering dataset type 1, the *DFA* showed significant differences in the mean values for all variables and the 98% of the samples were correctly classified, which is much superior than the percentage expected by chance alone. The dataset type 2, however, showed significant statistic differences in the mean values between the two categories only regarding Dur, IL and NP. Additionally, looking to the *DFA* results, one will find differences only in Dur and NP, and the 98% of the samples were also correctly classified in the two categories. Although I have found differences in the two types of datasets, I attribute this to the different number of court burst samples, rather than to the increasing of similarities between the two categories. Finally, my results reinforce the idea that burst-pulsed sounds are used in social contexts, specially during distressing situations, and stand out the importance of identifying the signaler, as well as the use of a wideband recording equipment in future efforts.

4.1- Introdução

As vocalizações dos odontocetos podem ser agrupadas, de maneira geral, em duas categorias: assobios e sons pulsados. Os assobios são emissões tonais de banda estreita, geralmente caracterizados em termos de sua frequência instantânea em função do tempo (BAZÚA-DURÁN & AU 2002). Os sons pulsados, por sua vez, são sinais de banda larga e variam amplamente quanto à duração dos pulsos, ao intervalo entre pulsos e à composição espectral (apresentando frequentemente parte ou toda a energia na faixa ultrasônica, i.e, acima de 20 kHz). Estes são funcionalmente divididos em duas classes: séries de pulsos usados na orientação e na localização de presas e obstáculos, denominados sons de ecolocalização (RICHARDSON *et al.* 1995) e “burst-pulsed signals” (aqui chamados de grasnidos) (LAMMERS *et al.* 2004).

Os grasnidos são sons pulsados que, embora tenham estrutura semelhante às séries de estalidos de ecolocalização, soam aos ouvidos humanos de forma muito particular. Por conta disso, têm recebido inúmeras designações subjetivas: gritos, guinchos, gemidos, entre outros (por exemplo, CALDWELL & CALDWELL 1967, CORKERON & VAN PARIJS 2001, DAWSON & THORPE 1990). Estes têm sido fortemente implicados no processo de comunicação (CALDWELL & CALDWELL 1967, DAWSON 1991, NORRIS *et al.* 1994, LAMMERS *et al.* 2006).

Alguns autores sugeriram que os grasnidos desempenham um importante papel em situações agonísticas, aflitivas ou de alarme (por exemplo, HERZING 1996, AMUNDIN 1991, BLONQVIST & AMUNDIN 2004, BLONQVIST *et al.* 2005). Alguns exemplos existem para golfinhos-nariz-de-garrafa (*Tursiops truncatus*): grasnidos de alta intensidade são produzidos quando os animais são removidos da água (CALDWELL & CALDWELL 1967); sons pulsados de banda larga, chamados de “squawks”, são produzidos quando os animais se encontram posicionados cabeça-a-cabeça e de boca aberta (OVERSTROM 1983, HERZING 1996); sons de baixa frequência e banda larga, denominados “thunk”, são produzidos durante interações entre fêmeas e filhotes (MCCOWAN & REISS 1995); e, finalmente, pulsos de baixa frequência e banda estreita,

chamados “pops”, são produzidos por machos durante a corte, em *Shark Bay*, Austrália (CONNOR & SMOLKER 1996).

Para golfinhos-rotadores, NORRIS *et al.* (1994) relataram que o número de grasnidos por unidade de tempo aumenta drasticamente quando os animais iniciam seus deslocamentos em direção a alto mar e que estes sons são ainda mais abundantes durante a noite. Os autores ainda sugeriram que os grasnidos são emotivos e vocativos em contexto, uma vez que são muito mais abundantes em períodos de socialização, quando os animais estão em contato físico ativo e fizeram menção ao uso de grasnidos por machos durante o cortejo.

PERRIN & MESNICK (2003) estudaram a variação geográfica no sistema de acasalamento dos golfinhos-rotadores do Oceano Pacífico Oriental com base na morfologia. Ao comparar a subespécie *Stenella longirostris orientalis* com a população de híbridos denominados golfinhos-rotadores-de-barriga-branca (PERRIN 1990, PERRIN *et al.* 1991), os autores relataram que os primeiros apresentaram um número relativamente menor de machos participantes das atividades reprodutivas e um maior dimorfismo sexual. Com isso, os autores concluíram que o sistema de acasalamento varia geograficamente dentro da espécie, num gradiente de um sistema mais poligínico no caso da forma oriental, para um sistema poliginândrico mais aberto na forma de “barriga-branca”. Para os golfinhos-rotadores do Havaí, Norris *et al.* (1994) sugeriram também um sistema de acasalamento poliginândrico ou promíscuo, sem seleção óbvia de parceiros.

Em Fernando de Noronha, os grupos de acasalamento de golfinhos-rotadores parecem seguir também um padrão poliginândrico, variando muito em tamanho e podendo tanto ser formado por poucos machos e apenas uma fêmea, como também por dezenas de indivíduos (SILVA JR. *et al.* 2005). NORRIS *et al.* (1994) notou a existência de dois tipos de grupos de acasalamento: um formado por poucos indivíduos, onde as cópulas de uma mesma fêmea com diferentes machos parecem acontecer de forma sequencial, sem grande agitação e ruído; e um segundo tipo extremamente ruidoso e veloz, formado por vários indivíduos, onde uma massa densa de animais interagia fisicamente. Este segundo tipo foi nomeado “wuzzles” por NORRIS *et al.* (1994). Para Fernando do Noronha, SILVA JR (2005) descreve um comportamento similar ao descrito

por NORRIS *et al.* (1994) para os golfinhos-rotadores havaianos, afirmando a existência de dois tipos distintos de grupos de acasalamento.

Entretanto, ao observar estes grupos de acasalamento durante os mergulhos para gravação de sons, pude notar a existência de dois momentos extremamente distintos: um primeiro momento em que a fêmea, sendo seguida pelos machos em velocidade, nada rapidamente e gira o corpo, evitando a cópula (Figura 4.1), aqui chamado de corte; e um segundo momento onde acontecem as cópulas propriamente ditas e os machos se revezam sequencialmente. Estes dois momentos acontecem tanto em grupos pequenos, formados por uma única fêmea e apenas alguns machos, quanto em grupos enormes de dezenas de indivíduos e se diferenciam enormemente também quanto à emissão de sons, sendo a corte extremamente ruidosa, com a emissão de intensos assobios e grasnidos, enquanto que o momento de cópula mostra-se muito mais silencioso (*observação pessoal*). Acredito que estes grupos de acasalamento descritos para o momento de corte possam coincidir com os “wuzzles” descritos por NORRIS *et al.* (1994).

Ainda durante os trabalhos de campo, dentre sons emitidos nos grupos de cópula me chamou atenção um grasnido intenso e curto que, auralmente, parece ser muito distinto dos demais emitidos em outros tipos de atividades. Aqui, meu objetivo foi então testar quantitativamente se estes grasnidos se distinguem dos demais em suas características espectrais.

Figura 4.1: Grupo de corte composto por 10 machos e uma fêmea, que gira o corpo evitando a cópula.

4.2- Material e Métodos

As amostras de sons foram coletadas durante mergulhos em apnéia na Baía dos Golfinhos, segundo a descrição do item 1.4.2.

Assim como no Capítulo 3, os espectrogramas, de onde extraí os parâmetros acústicos dos grasnidos, foram gerados através do programa de análise CANARY v.1.2.4 (Bioacoustics Research Program, Cornell Lab of Ornithology), com a mesma configuração descrita no capítulo anterior.

Para selecionar os grasnidos utilizados na análise, acrescentei à planilha descrita no Capítulo 3, uma terceira coluna. Esta nova planilha então continha: uma coluna constituída de números ordenados, uma segunda coluna constituída por informações para localizar as emissões selecionadas (número do clipe, número da fita digital onde a emissão fora gravada e tempo de início de cada grasnido) e uma terceira coluna que categorizava o grupo filmado como sendo um grupo de “Corte” ou de “Não-Corte” (usada para qualquer comportamento, exceto o de corte). Vale salientar aqui que não foi possível garantir que os sons gravados fossem provenientes dos grupos filmados, ou pelo menos, que fossem produzidos apenas por estes grupos. Entretanto, usei o fato de os grupos filmados estarem sempre muito mais próximos ao equipamento de gravação do que os outros animais presentes simultaneamente na área de estudo para assumir que suas vocalizações deveriam se sobrepor às demais.

Posteriormente, realizei as comparações entre as categorias “Corte” e “Não-Corte” com duas classes distintas de dados. A Classe 1 coincide com o conjunto de dados da descrição do repertório de grasnidos apresentado no Capítulo 3, onde 25% do total de amostras de grasnidos com qualidade para análise (N= 556) foram sorteadas por número, resultando em 139 amostras aleatórias. Destas, 129 correspondiam a amostras de grupos de “Não-corte” e 10 de grupos de “Corte”. A Classe 2 era composta das mesmas 129 amostras aleatórias de grupos de “Não-Corte” descritas para a classe anterior somadas ao total de amostras de grupos de “Corte” gravados, que correspondem a 25 amostras.

De ambas as classes de dados foram extraídas as seguintes variáveis: 1) intervalo inicial (I1- intervalo entre o primeiro e o segundo pulsos); 2) intervalo final (Iúltimo- intervalo entre o último e o penúltimo pulsos); 3) intervalo máximo (Imax- intervalo de

maior duração), 4) intervalo médio (IMe- definido pela razão entre a duração e o número de intervalos (número de pulsos – 1)), 5) duração (Dur), 6) número de pulsos (NP), 7) taxa média de repetição (TR- dada pela razão entre o número de pulsos e a duração), como já havia sido descrito no Capítulo 3.

Aqui, também os parâmetros dos grasnidos apresentaram correlação (através do teste de *Pearson*) (ZAR 1998) em cada uma das classes de dados e, por conta disso, realizei análise de componentes principais (*ACP*) na tentativa de encontrar variáveis menos importantes para explicar a variabilidade dos dados ou até mesmo para encontrar variáveis sintéticas que substituíssem variáveis altamente correlacionadas, auxiliando na compreensão dos fatores geradores desta variabilidade. No próximo passo, ainda de forma exploratória, utilizei a análise de agrupamento chamada *CLARA* (Clustering Large Applications) (KAUFMAN & ROUSSEEW 2005) para determinar a existência de algum padrão de agrupamento dos dados de acordo com sua similaridade. Os grupos formados foram então testados com o “*Silhouette width test*” (KAUFMAN & ROUSSEEW 2005).

Para comparar os parâmetros dos grasnidos pertencentes a cada uma das categorias “Corte” e “Não-Corte”, em cada uma das classes de dados, utilizei abordagens uni- e multivariada. Para comparar médias, utilizei o Teste de Wilcoxon (WILCOXON 1945) e o Teste de Kuskal-Wallis (KRUSKAL & WALLIS 1952). Ambos são testes não paramétricos, escolhidos uma vez que nem todas as variáveis apresentaram distribuição normal.

A seguir, utilizei Análise Discriminante (GOTELLI & ELLISON 2004), com estrutura de covariância heterocedástica (ver Tabelas 4.1 e 4.10) com dois objetivos em mente: comparar as médias das variáveis das duas categorias de forma multivariada e determinar quão precisamente os grasnidos poderiam ser classificados em cada uma das categorias criadas, baseando-se na combinação dos parâmetros acústicos escolhidos. A Análise Discriminante pôde ser aplicada, pois excluí as variáveis IMe (uma vez que esta é dada por uma função entre a Dur e o NP), TR (também dada por uma função entre NP e Dur) e Iultimo, por ser altamente correlacionada com IMax. As demais variáveis, incluídas na análise, obedeceram à sua premissa de normalidade multivariada, como mostram as Tabela 4.2 e 4.11.

4.3- Resultados e Discussão

Uma síntese das estatísticas descritivas (média, desvio padrão, coeficiente de variação, valores mínimo e máximo, e mediana) para todos os parâmetros dos 139 grasnidos aleatórios pertencentes à Classe 1 é apresentada na Tabela 4.3. A Correlação entre as variáveis dos grasnidos pertencentes a esta classe encontra-se na Tabela 4.4.

Apesar das correlações encontradas, ao observar os resultados da análise de *ACP*, notei que os dois primeiros componentes desta análise explicaram 80,7% da variabilidade, e já na terceira componente, 90% da variabilidade foi alcançada. Entretanto, todas as variáveis escolhidas já haviam sido incluídas nestas componentes (Figura 4.2), o que implica que nenhuma das variáveis poderia ser excluída da análise sem perda de variabilidade. Além disso, as duas primeiras componentes não representam variáveis sintéticas significativas, pelo menos num primeiro momento.

A análise *CLARA*, para as emissões da Classe 1 de dados, revelou que o total de amostras de grasnidos de golfinhos-rotadores poderia ser dividido em seis ou sete grupos, com *Silhouette width test* resultando em 0,31 e 0,32, respectivamente (Figuras 4.3 e 4.4). Estes resultados poderiam ser considerados bons agrupamentos, de acordo com o método (KAUFMAN & ROUSSEEUW 2005), mas não parecem ter nenhum significado biológico. Estes resultados já haviam sido apresentados no Capítulo anterior, que trata do repertório de grasnidos, mas estão sendo repetidos aqui para que possam ser comparados aos resultados da Classe 2.

A Tabela 4.5 apresenta uma síntese das estatísticas descritivas para cada uma das categorias “Corte” e “Não-Corte” dos dados da Classe 1. Ao comparar as médias obtidas, notei que as categorias diferem para todas as variáveis, com exceção do IMe, em ambos os métodos utilizados ($Z = -1,312, p = 0,189$; $K = 1,733, p = 0,188$) (Tabela 4.6).

O resultado da Análise Discriminante mostrou que, para os grasnidos da Classe 1, não existem diferenças entre as médias de nenhuma das variáveis (Tabela 4.7 e Figura 4.5). O “Teste *t* quadrado para diferenças nas médias dos grupos”, que representa uma das saídas da Análise Discriminante, reforça este resultado, indicando que deve-se rejeitar a hipótese de que todas as médias das duas categorias são iguais (Tabela 4.8). Ao

lembrar que IMe não foi incluída nesta análise, nota-se que os resultados aqui obtidos vão de encontro àqueles obtidos nas análises univariadas. Quanto à classificação dos dados, dos 139 grasnidos incluídos nesta Análise Discriminante, 136 (aproximadamente 98%) foram categorizados corretamente, sendo 128 de “Não-Corte” e 8 de “Corte” (Tabela 4.9).

Quanto à Classe 2, uma síntese das estatísticas descritivas (média, desvio padrão, coeficiente de variação, valores mínimo e máximo, e mediana) para todos os parâmetros dos 154 grasnidos incluídos nas análises é apresentado na Tabela 4.12. A Tabela de correlação entre as variáveis dos grasnidos pertencentes a esta classe encontra-se na Tabela 4.13.

Como na Classe 1, a análise de *ACP* mostrou que os dois primeiros componentes explicaram 79,8% da variabilidade, e já na terceira componente, 92,2% da variabilidade foi alcançada. Entretanto, todas as variáveis escolhidas já haviam sido incluídas nestas componentes (Figura 4.6).

Já a análise *CLARA* mostrou um resultado distinto com a inclusão de um número maior de amostras da categoria “Corte”. Para as emissões da Classe 2, esta análise revelou que as amostras de grasnidos se dividem em dois grupos, com o *Silhouette width test* resultando em 0,41 (Figura 4.7). Este resultado pode ser considerado um bom agrupamento, de acordo com o método (KAUFMAN & ROUSSEEUW 2005), representando, possivelmente, as duas categorias de sons aqui denominadas “Corte” e “Não-Corte”.

A Tabela 4.14 apresenta uma síntese das estatísticas descritivas para cada uma das categorias “Corte” e “Não-Corte” desta classe de dados. Diferentemente dos dados da Classe 1, ao comparar as médias obtidas aqui, nota-se que as categorias diferiram apenas quanto às variáveis Dur, Iultimo e NP (Tabela 4.12).

Para os dados da Classe 2, a Análise Discriminante mostrou que existem diferenças entre as médias das variáveis Dur e NP, através da análise do intervalo de confiança em 95% utilizando o método de Sidak (outra saída da Análise Discriminante) resultado que reforça os que foram obtidos nas análises univariadas (ver Tabela 4.15). As variáveis I1 e Imax não apresentaram diferença, o que pode ser visto com clareza na Figura 4.8. Já o “Teste *t* quadrado para diferenças nas médias dos grupos” corroborou a

existência de diferenças entre as categorias, na medida em que rejeitou a suposição de igualdade entre elas (Tabela 4.16). Quanto à classificação dos grasnidos em categorias, das 154 amostras incluídas nesta classe de dados, 151 (aproximadamente 98%) foram classificados corretamente, sendo 24 de “Corte” e 127 de “Não-Corte”.

Tabela 4.1: Resultado do Teste de Homogeneidade de Variâncias para dados da Classe 1 (BOX 1949, 1950).

Classe 1	Estatística	Graus de Liberdade	Probabilidade
Box M	52,023	10	1,0e-007
Adj M	43,699	10	3,7e-006

Tabela 4.2: Resultado do “Teste de Kolmogorov-Smirnov para normalidade” para os dados da Classe 1. Os resultados em azul indicam que a suposição de normalidade foi aceita. Legenda: Dur- duração; I1- intervalo entre o primeiro e o segundo pulsos; IMax- intervalo de maior duração; NP- número de pulsos.

Classe 1	Estatística	Probabilidade
Dur	KS= 0,107	$p= 0,83$
I1	KS= 0,101	$p= 0,118$
IMax	KS= 0,069	$p= 0,523$
NP	KS= 0,081	$p= 0,328$

Tabela 4.3: Análise descritiva dos grasnidos da Classe 1 de dados (média, desvio padrão, valores mínimo e máximo, coeficiente de variação e mediana). Legenda: Coef. De Variação – coeficiente de variação; N – número de amostras; I1- intervalo entre o primeiro e o segundo pulsos; Iúltimo – intervalo entre o penúltimo e o último pulsos; IMe- intervalo médio; IMax- intervalo de maior duração; Dur- duração; NP- número de pulsos; TR- taxa de repetição.

Classe 1	Estatística	N	I1 (ms)	Iúltimo (ms)	IMe (ms)	IMax (ms)	Dur (ms)	NP	TR
	Média	139	2,218	4,554	2,439	4,749	97,310	43,580	461,900
	Desvio Padrão	139	0,712	3,330	0,742	3,400	37,410	18,990	121,700
	Valor mínimo	139	1,160	1,010	1,320	1,380	3,280	3,000	208,300
	Valor máximo	139	4,710	20,900	4,978	20,900	185,600	92,000	914,600
	Coef. de Variação	139	32,080	73,120	30,440	71,590	38,440	43,580	26,340
	Mediana	139	2,080	3,270	2,198	3,360	94,020	43,000	469,5

Tabela 4.4: Matriz de correlação amostral para os dados da Classe 1. Legenda: I1- intervalo entre o primeiro e o segundo pulsos; Iúltimo – intervalo entre o penúltimo e o último pulsos; IMe- intervalo médio; IMax- intervalo de maior duração; Dur- duração; NP- número de pulsos; TR- taxa de repetição

Classe 1	Dur	I1	Iultimo	IMax	TR	NP	IMe
Dur	1,000						
I1	0,155	1,000					
Iultimo	0,463	0,296	1,000				
IMax	0,455	0,323	0,972	1,000			
TR	-0,199	-0,658	-0,482	-0,473	1,000		
NP	0,825	-0,250	0,101	0,077	0,296	1,000	
IMe	0,055	0,722	0,483	0,510	-0,869	-0,468	1,000

Tabela 4.5: Análise descritiva dos grasnidos pertencentes as categorias “Corte” e “Não-Corte” dos dados da Classe 1 (média, desvio padrão, valores mínimo e máximo, coeficiente de variação e mediana). Legenda: Coef. De Variação – coeficiente de variação; N – número de amostras; I1- intervalo entre o primeiro e o segundo pulsos; Iúltimo – intervalo entre o penúltimo e o último pulsos; IMe- intervalo médio; IMax- intervalo de maior duração; Dur- duração; NP- número de pulsos; TR- taxa de repetição.

Classe 1 Não-Corte	Estatística	N	I1 (ms)	Iúltimo (ms)	IMe (ms)	IMax (ms)	Dur (ms)	NP	TR
	Média	129	2,250	4,730	2,464	4,885	103,355	46,163	452,188
	Desvio Padrão	129	0,723	3,381	0,753	3,469	31,435	17,130	112,694
	Valor mínimo	129	1,160	1,010	1,320	1,520	35,500	13,000	208,330
	Valor máximo	129	4,710	20,900	4,978	20,900	185,600	92,000	841,930
	Coef. de Variação	129	32,133	71,480	30,560	71,013	30,415	50,132	24,921
	Mediana	129	2,140	3,480	2,210	3,480	95,700	44,000	465,600
Classe 1 Corte	Estatística	N	I1 (ms)	Iúltimo (ms)	IMe (ms)	IMax (ms)	Dur (ms)	NP	TR
	Média	10	1,805	2,284	2,118	2,991	19,280	10,200	586,500
	Desvio Padrão	10	0,353	1,141	0,513	1,547	10,690	4,890	166,400
	Valor mínimo	10	1,350	1,280	1,395	1,380	3,280	3,000	375,800
	Valor máximo	10	2,440	5,290	3,041	6,150	36,820	19,000	914,600
	Coef. de Variação	10	19,540	49,96	24,200	51,720	55,440	47,980	28,380
	Mediana	10	1,730	1,960	2,013	2,545	19,940	11,000	585,800

Tabela 4.6: Comparação de médias entre as categorias “Corte” e “Não_Corte”, utilizando os dados da Classe 1. Legenda: I1- intervalo entre o primeiro e o segundo pulsos; Iúltimo – intervalo entre o penúltimo e o último pulsos; IMe- intervalo médio; Imax- intervalo de maior duração; Dur- duração; NP- número de pulsos; TR- taxa de repetição.

Classe 1	Wilcoxon rank-sum test		Kruskal-Wallis rank sum test	
Dur	$Z = -5,245$	$p = 0$	$K = 27,557$	$p = 0$
I1	$Z = -1,981$	$p = 0,048$	$K = 3,940$	$p = 0,047$
Iultimo	$Z = -3,220$	$p = 0,001$	$K = 10,394$	$p = 0,001$
IMax	$Z = -2,312$	$p = 0,033$	$K = 4,561$	$p = 0,033$
TR	$Z = 2,588$	$p = 0,010$	$K = 6,719$	$p = 0,010$
NP	$Z = -5,186$	$p = 0$	$K = 26,935$	$p = 0$
IMe	$Z = -1,312$	$p = 0,189$	$K = 1,733$	$p = 0,188$

Tabela 4.7: Resultado do “Análise do intervalo de confiança em 95% utilizando o método de Sidak”. Os resultados em azul indicam que existem diferenças nas médias dos grupos em todas as variáveis. Legenda: G1- “Corte”; G2- “Não-Corte”; Dur- Duração; I1- intervalo entre o primeiro e o segundo pulsos; NP- número de pulsos.

Classe 1	Estimado	Desvio Padrão	Limite Inferior	Limite Superior
G1.Dur-G2.Dur	-84,100	4,370	-95,900	-72,200
G1.I1-G2.I1	-0,445	0,128	-0,793	-0,097
G1.Imax-G2.Imax	-1,890	0,577	-3,460	-0,033
G1.NP-G2.NP	-36,000	2,160	-41,800	-30,100

* intervalos que excluem o zero estão marcados em azul

Tabela 4.8: Resultado do “Teste t quadrado para diferenças nas médias dos grupos”. Legenda: G1- “Corte”, G2- “Não-Corte”.

Classe 1	F	Grau de Liberdade 1	Grau de Liberdade 2	Probabilidade
G1-G2	90,174	4	20,912	$7,068e^{-013}$

* Grau de Liberdade 2 é uma aproximação de Yao (YAO 1965)

Tabela 4.9: Tabela de Erro de Classificação Simples nas categorias dos dados da Classe 1.

Classe 1	Corte	Não-Corte	Erro
Corte	8	2	0,200
Não-Corte	1	128	0,008

Figura 4.2: Resultado do ACP para os dados da Classe 1, indicando a composição de cada componente e o quanto de variabilidade dos dados é alcançada.

Figura 4.3: Resultado da análise CLARA para todas as variáveis dos dados da Classe 1, com formação de 6 grupos.

Figura 4.4: Resultado da análise CLARA para todas as variáveis dos dados da Classe 1, com formação de 7 grupos.

Figura 4.5: Gráficos de dispersão de pontos ilustrando a separação das categorias “corte” e “não-corte” para cada par de variáveis.

Os resultados dos dados, tanto da Classe 1, quanto da Classe 2 indicam que existe uma distinção entre os grasnidos emitidos por golfinhos-rotadores que estão em grupos de Corte e aqueles emitidos pelos animais em outros contextos. Considerando apenas este resultado, posso estar de acordo com a idéia de que os grasnidos emitidos pelos odontocetos são emissões carregadas de informações, usadas em contextos sociais (por exemplo, OVERSTROM 1983, DAWSON 1991, CONNOR & SMOLKER 1996, HERZING 1996, 2000, LAMMERS *et al.* 2004, RANKIN *et al.* 2007). Nos resta agora focar as diferenças encontradas entre as duas Classes de dados.

A análise de agrupamento *CLARA* indicou, para os dados da Classe 2, a existência de dois grupos distintos, o que não pôde ser observado com os dados da Classe 1. As análises univariadas, por sua vez, mostraram que os grasnidos da Classe 1 pertencentes às categorias “Corte” e “Não-Corte” diferiram quanto as médias de todas as variáveis, enquanto que aqueles da Classe 2 diferiram apenas quanto à Dur, ao Iultimo e ao NP. Por fim, a Análise de Discriminante diferiu entre as duas classes de dados apenas quanto à diferença entre médias, apontando todas as variáveis como sendo responsáveis pela divisão entre as duas categorias na Classe 1, e apenas Dur e NP na Classe 2.

A diferença entre as duas classes de dados está no fato de que as amostras incluídas na Classe 1 foram sorteadas aleatoriamente, independentemente da categorização. Esta seria uma boa amostragem, uma vez que a randomização diminui os efeitos da pseudoreplicação (HURLBERT 2004). Entretanto, o número de amostras da categoria “Corte” tornou-se bastante reduzido. Já a Classe 2 incluía as amostras aleatórias da categoria “Não-Corte” e o total de amostras de grasnidos pertencentes a categoria “Corte”, que puderam ser selecionadas pelos critérios de qualidade (ver Capítulo 3). Estes 25 grasnidos que compõem as amostras de “Corte” da Classe 2 foram gravados em seis dias distintos de trabalho (sendo 2 amostras do dia 06/10/2002, 1 amostra do dia 08/10/2002, 2 amostras do dia 12/10/2002, 7 amostras do dia 18/10/2002, 8 amostras do dia 29/10/2002, 1 amostra do dia 15/11/2002 e 4 amostras do dia 25/12/2002). Os grasnidos gravados no mesmo dia poderiam representar pseudoréplicas, tendo sido produzidos pelo mesmo animal, e isso poderia ter ocasionado “inflacionada artificialmente” a categoria “Corte”, forçando a divisão dos dados em dois grupos, como aconteceu na análise *CLARA*. Entretanto, os grupos de “Corte”, como já foi descrito

anteriormente, são compostos por muitos machos e um número pequeno de fêmeas e a grande quantidade de sons gravados nestes momentos nos faz acreditar que estes estejam sendo emitidos por todos (ou quase todos) os machos, como já havia sido sugerido para a espécie por NORRIS *et al.* (1994). Entretanto, a metodologia de gravação não nos permite identificar os animais emissores de cada sinal, de forma que esta afirmação deve ser feita apenas em caráter especulativo.

No entanto, uma vez tomada como sendo uma emissão produzida pelos machos no momento da corte, momento este onde, marcadamente a fêmea evita a cópula, algumas questões importantes para futuros estudos podem ser levantadas: seriam estes sinais direcionados para as fêmeas ou para os outros machos? Se direcionados às fêmeas, teriam estes um papel coercivo de indução à cópula, ou de expressão de dominância (o que os tornaria semelhante em função aos “pops” descritos por Connor & Smolker 1996, para *Tursiops truncatus*)? Teriam estes sinais algum papel na escolha dos machos pela fêmea? Em qualquer um destes casos, os grasnidos estariam sendo usados em contextos agonísticos, de ameaça, agressão ou coação, assim como os grasnidos descritos por HERZING 1996, BLONQVIST & AMUNDIN 1991 e BLONQVIST *et al.* 2005.

4.4- Conclusão

Apesar dos resultados deste estudo não permitirem estabelecer um papel funcional claro para os grasnidos emitidos pelos golfinhos-rotadores de Fernando de Noronha durante o comportamento de corte, eles estabelecem claramente que existe uma distinção entre estes sinais e os grasnidos emitidos pelos animais em outros contextos, diferindo, pelo menos quanto à duração e ao número de pulsos. Além disso, reforçam a idéia amplamente disseminada de que este tipo de som pulsado tem um papel importante no sistema de comunicação dos odontocetos.

Questões importantes puderam então ser levantadas:

- A quem são dirigidos os grasnidos produzidos pelos machos nos grupos de corte, a outros machos, às fêmeas ou a ambos? Se dirigidos às fêmeas, teriam um papel

de coerção ou de estímulo? Teriam alguma influência na escolha dos machos pelas fêmeas? Se dirigidos aos outros machos, seriam sinais de coordenação ou de disputa?

Esforços futuros para responder estas e outras perguntas importantes com relação à função dos grasnidos deverão empregar tecnologias que permitam gravar as emissões em todo seu espectro de frequência, bem como identificar os responsáveis pela emissão de cada sinal e seus receptores.

Tabela 4.10: Resultado do Teste de Homogeneidade de Variâncias para dados da Classe 2 (BOX 1949, 1950).

Classe 2	Estatística	Graus de Liberdade	Probabilidade
Box M	116,425	10	0
Adj M	109,266	10	0

Tabela 4.11: Resultado do “Kolmogorov-Smirnov Test for Normality” para os dados da Classe 2. Os resultados em azul indicam que a suposição de normalidade foi aceita. Legenda: Dur- duração; I1- intervalo entre o primeiro e o segundo pulsos; IMax- intervalo de maior duração; NP- número de pulsos.

Classe 2	Estatística	Probabilidade
Dur	KS= 0,108	<i>p= 0,055</i>
I1	KS= 0,709	<i>p= 0,421</i>
IMax	KS= 0,076	<i>p= 0,341</i>
NP	KS= 0,056	<i>p= 0,722</i>

Tabela 4.12: Análise descritiva dos grasnidos da Classe 2 de dados (média, desvio padrão, valores mínimo e máximo, coeficiente de variação e mediana). Legenda: Coef. De Variação – coeficiente de variação; N – número de amostras; I1- intervalo entre o primeiro e o segundo pulsos; Iúltimo – intervalo entre o penúltimo e o último pulsos; IMe- intervalo médio; IMax- intervalo de maior duração; Dur- duração; NP- número de pulsos; TR- taxa de repetição.

Classe 2	Estatística	N	I1 (ms)	Iúltimo (ms)	IMe (ms)	IMax (ms)	Dur (ms)	NP	TR
	Média	154	2,235	4,465	2,490	4,695	90,431	40,383	461,030
	Desvio Padrão	154	0,794	3,285	0,863	3,334	41,514	20,545	124,993
	Valor mínimo	154	1,160	1,010	1,320	1,520	3,280	3,000	162,600
	Valor máximo	154	7,000	20,900	7,380	20,900	185,600	92,000	914,630
	Coef. de Variação	154	35,526	73,572	34,659	71,012	45,907	50,875	27,112
	Mediana	154	2,095	3,175	2,204	3,340	91,100	41,000	470,000

Tabela 4.13: Matriz de correlação amostral para os dados da Classe 2. Legenda: I1- intervalo entre o primeiro e o segundo pulsos; Iúltimo – intervalo entre o penúltimo e o último pulsos; IMe- intervalo médio; IMax- intervalo de maior duração; Dur- duração; NP- número de pulsos; TR- taxa de repetição

Classe 2	Dur	I1	Iúltimo	IMax	TR	NP	IMe
Dur	1,000						
I1	0,079	1,000					
Iúltimo	0,428	0,242	1,000				
IMax	0,410	0,313	0,966	1,000			
TR	-0,164	-0,625	-0,495	-0,501	1,000		
NP	0,865	-0,235	0,118	0,082	0,257	1,000	
IMe	-0,037	0,665	0,475	0,521	-0,845	-0,439	1,000

Tabela 4.14: Análise descritiva dos grasnidos pertencentes as categorias “Corte” e “Não-Corte” dos dados da Classe 2 (média, desvio padrão, valores mínimo e máximo, coeficiente de variação e mediana). Legenda: Coef. De Variação – coeficiente de variação; N – número de amostras; I1- intervalo entre o primeiro e o segundo pulsos; Iúltimo – intervalo entre o penúltimo e o último pulsos; IMe- intervalo médio; IMax- intervalo de maior duração; Dur- duração; NP- número de pulsos; TR- taxa de repetição.

Classe 2 Não-Corte	Estatística	N	I1 (ms)	Iúltimo (ms)	IMe (ms)	IMax (ms)	Dur (ms)	NP	TR
	Média	129	2,250	4,730	2,464	4,885	103,355	46,163	452,188
	Desvio Padrão	129	0,723	3,381	0,753	3,469	31,435	17,130	112,694
	Valor mínimo	129	1,160	1,010	1,320	1,520	35,500	13,000	208,330
	Valor máximo	129	4,710	20,900	4,978	20,900	185,600	92,000	841,930
	Coef. de Variação	129	32,133	71,480	30,560	71,013	30,415	50,132	24,921
	Mediana	129	2,140	3,480	2,210	3,480	95,700	44,000	465,600
Classe 2 Corte	Estatística	N	I1 (ms)	Iúltimo (ms)	IMe (ms)	IMax (ms)	Dur (ms)	NP	TR
	Média	25	2,160	3,100	2,623	3,716	23,194	10,560	506,655
	Desvio Padrão	25	1,107	2,343	1,302	2,347	10,482	4,482	171,105
	Valor mínimo	25	1,350	1,280	1,494	1,530	3,280	3,000	162,600
	Valor máximo	25	7,000	11,260	7,380	11,260	45,400	19,000	914,630
	Coef. de Variação	25	88,889	73,870	82,615	74,273	99,595	104,166	101,313
	Mediana	25	1,920	2,290	2,167	2,760	23,100	11,000	513,310

Tabela 4.15: Comparação de médias entre as categorias “Corte” e “Não_Corte”, utilizando os dados da Classe 2. Legenda: I1- intervalo entre o primeiro e o segundo pulsos; Iúltimo – intervalo entre o penúltimo e o último pulsos; IMe- intervalo médio; IMax- intervalo de maior duração; Dur- duração; NP- número de pulsos; TR- taxa de repetição.

Classe 2	Wilcoxon rank-sum test		Kruskal-Wallis rank sum test	
Dur	Z= -7,874	p= 0	K= 62,033	p= 0
I1	Z= -1,477	p= 0,140	K= 2,190	p= 0,139
Iultimo	Z= -3,260	p= 0,001	K= 10,617	p= 0,001
IMax	Z= -1,815	p= 0,070	K= 3,305	p= 0,069
TR	Z= 1,808	p= 0,071	K= 3,278	p= 0,070
NP	Z= -7,785	p= 0	K= 60,644	p= 0
IMe	Z= -0,355	p= 0,722	K= 0,128	p= 0,721

Tabela 4.16: Resultado da “Análise do intervalo de confiança em 95% utilizando o método de Sidak”. Os resultados em azul indicam que existem diferenças nas médias dos grupos nas variáveis Dur e NP. Legenda: G1- “Corte”; G2- “Não-Corte”; Dur- Duração; I1- intervalo entre o primeiro e o segundo pulsos; NP- número de pulsos.

Classe 2	Estimado	Desvio Padrão	Limite Inferior	Limite Superior
G1.Dur-G2.Dur	-80,200	3,470	-88,900	-71,400
G1.I1-G2.I1	-0,090	0,230	-0,672	0,493
G1.NP-G2.NP	-35,600	1,750	-40,000	-31,200
G1.IMax-G2.IMax	-1,170	0,560	-2,580	0,247

* intervalos que excluem o zero estão marcados em azul

Tabela 4.17: Resultado do “Teste t quadrado para diferenças nas médias dos grupos”. Legenda: G1- “Corte”, G2- “Não-Corte”.

Classe 2	F	Grau de Liberdade 1	Grau de Liberdade 2	Probabilidade
G1-G2	150,192	4	115,263	0

* Grau de Liberdade 2 é uma aproximação de Yao (YAO 1965)

Tabela 4.18: Tabela de Erro de Classificação Simples nas categorias dos dados da Classe 2.

Classe 2	Corte	Não-Corte	Erro
Corte	24	1	0,040
Não-Corte	2	127	0,016

Figura 4.6: Resultado do *ACP* para os dados da Classe 2, indicando a composição de cada componente e o quanto de variabilidade dos dados é alcançada.

Figura 4.7: Resultado da análise *CLARA* para todas as variáveis dos dados da Classe 2, com formação de 2 grupos.

Figura 4.8: Gráficos de dispersão de pontos ilustrando a separação das categorias “corte” e “não-corte” para cada par de variáveis.

Capítulos 5

AVALIAÇÃO METODOLÓGICA

Resumo

Nos últimos anos, as pesquisas em bioacústica de cetáceos vêm crescendo e trazendo consigo o conhecimento das características dos sinais sonoros relacionados a diferentes contextos, desde os sociais até os auxiliares à navegação, passando por aqueles relacionados à procura e captura de alimento. Além disso, a descrição do repertório vocal de diversas espécies, bem como dos padrões de variação intra e interespecíficas destas emissões têm se mostrado importantes na busca pela compreensão das relações entre diferentes populações e espécies, auxiliando até mesmo na elucidação de suas relações evolutivas. Uma vez que tanto a capacidade de captação como a de produção de sinais sonoros dos cetáceos se diferencia enormemente daquelas dos humanos, os estudos em bioacústica têm procurado usar as características físicas dos sons produzidos por estes animais, expressas principalmente em função do tempo, da frequência e da intensidade. Entretanto, alguns pesquisadores têm demonstrado uma certa preocupação com a precisão das medidas, indagando sobre a variação gerada por diferentes sistemas de gravação e análise de dados, bem como pela escolha, interpretação e extração de variáveis por diferentes pesquisadores. Neste estudo, gravei assobios e grasnidos emitidos na faixa audível por golfinhos-rotadores de Fernando de Noronha utilizando dois sistemas distintos de gravação: sistema 1 – composto por uma camera filmadora MiniDV e uma caixa estanque com dual hidrofone; sistema 2- composto por um gravador *Compact Flash* e um hidrofone SSQ94-HTI. Ambos os sistemas apresentavam taxa de amostragem de 48 kHz. Além disso, dois pesquisadores diferentes extraíram as variáveis de um mesmo grupo de amostras e os resultados obtidos para cada pesquisador, bem como para cada sistema foram comparados. Ao comparar as médias das variáveis dos assobios, através do *Wilcoxon Signed-Rank Test* notei que a duração apresentou diferenças entre os sistemas de gravação para o pesquisador 1. Por outro lado, a frequência final e a frequência mínima apresentaram diferenças entre os pesquisadores, quando considera-se amostras gravadas no sistema 1, e a frequência mínima e a duração apresentaram diferenças significativas entre autores quando gravadas no sistema 2. Ainda considerando os assobios, realizei uma análise de Bootstrap para obter intervalos de confiança e os resultados estiveram de acordo com aqueles obtidos nas análises de *Wilcoxon*, tanto para a comparação entre sistemas, quanto para a comparação entre pesquisadores. Quanto aos grasnidos, notei uma diferença significativa no número de amostras de qualidade gravadas por cada um dos sistemas de gravação, sendo que o sistema 2 gravou um número maior de amostras selecionáveis. Atribuí isto à diferença na sensibilidade de captação dos dois sistemas. Entretanto, as amostras gravadas em ambos os sistemas não apresentaram diferenças significativas em nenhuma das variáveis extraídas, tampouco foram observadas diferenças entre os diferentes pesquisadores.

Abstract

In the last few years, studies on cetacean bioacoustics are increasing as also is the knowledge of the sound signal characteristics related to different contexts, since social to navigation, passing through those related to foraging and capture. Moreover, the description of the vocal repertoire of various species, as well as of the intra and interspecific variation patterns of these emissions has shown to be important when one looks up to understand the relationship between different populations and species, helping to elucidate their evolutionary relations. Once the cetacean ability of hearing and producing sound signals are largely different from that of humans, the studies on bioacoustics have used the physical characteristics of sound emissions produced by these animals. These characteristics are mainly expressed in function of time, frequency and amplitude. However, some investigators have demonstrated concern about the precision of the variable measures, questioning the variability generated by recording and analysis systems, as well as the subjective interpretation. In this study I recorded whistles and burst-pulses emitted in the aural range by spinner dolphins from Fernando de Noronha Archipelago using two different recording systems: system 1 – composed by a digital camcorder MiniDV and an underwater housing with dual hydrophone; system 2 – composed by a digital audio recorder and a hydrophone SSQ94-HTI. Both systems had a sample rate of 48 kHz. Furthermore, two different researchers extracted the variable values of a same sample group and the obtained results for each researcher, as well as for each recording system were compared. In comparing means from whistle variables through *Wilcoxon Signed-Rank Test*, I noted that the duration presented differences between recording systems, when considering the results from researcher 1. When considering researchers, final frequency and minimum frequency presented differences when recorded by system 1, and the minimum frequency and duration presented differences taking system 2 into account. Still considering the whistles, I performed a Bootstrap analysis in order to obtain confidence intervals, and the results were in agreement with those obtained by the *Wilcoxon analysis*. With respect to burst-pulsed sounds, I noted a significant difference between the number of good quality samples recorded in each of the systems, and the number of good samples was much higher in the system 2. I attributed this fact to a difference in the sensibility between both systems. However, the samples of good quality selected in both systems didn't present any differences neither between systems, nor between researchers.

5.1- Introdução

Nos últimos anos, as pesquisas em bioacústica de cetáceos vêm crescendo e trazendo consigo o conhecimento acerca das características dos sinais sonoros relacionados a diferentes contextos, desde os sociais até os auxiliares à navegação, passando por aqueles relacionados à procura e captura de alimento (RICHARDSON *et al.* 1995). Além disso, a descrição do repertório vocal de diversas espécies, bem como dos padrões de variação intra e interespecíficas destas emissões têm se mostrado importantes na busca pela compreensão das relações entre diferentes populações e espécies (WANG *et al.* 1995a,b , RENDELL *et al.* 1999, AZEVEDO & VAN SLUYS 2005, MORISAKA *et al.* 2005, ROSSI-SANTOS & PODOS 2006), auxiliando até mesmo na elucidação de suas relações evolutivas (MAY-COLLADO *et al.* 2007a, b).

Uma vez que tanto a capacidade de captação como a de produção de sinais sonoros dos cetáceos se diferencia enormemente daquelas dos humanos (TYACK 1999a), os estudos em bioacústica têm procurado usar as características físicas dos sons produzidos por estes animais, expressas principalmente em funções do tempo, da frequência e da intensidade. Os odontocetos, especificamente, apresentam maior habilidade para ouvir e produzir sons de altas frequências. Estes animais possuem um sistema semelhante a um sonar, conhecido como ecolocalização, que possibilita produzir e detectar pulsos sonoros de alta frequência (estalidos) que refletem em objetos distantes (TYACK 1999b). Isso permite que os animais naveguem e se alimentem à noite ou em águas turvas (TYACK 1999b). Existem vários tipos diferentes de estalidos de ecolocalização nas diferentes espécies de odontocetos e para estudar estes sons, por exemplo, os pesquisadores têm utilizado medidas da intensidade de emissão, da frequência de pico com que estes pulsos são emitidos, de sua largura de banda, bem como dos intervalos entre seus pulsos (AU 1993).

Outras categorias de sinais produzidas pelos odontocetos são os assobios tonais e os “burst-pulsed signals”, aqui denominados grasnidos (RICHARDSON *et al.* 1995). Os assobios são geralmente analisados através da leitura de determinados parâmetros acústicos em representações gráficas de sua frequência instantânea em função do tempo, e que são conhecidas como espectrogramas. Estes parâmetros podem ser componentes de

frequência e duração, variáveis discretas como o número de pontos de inflexão, número de quebras de contorno e número de passos, e variáveis qualitativas, como presença ou ausência de harmônicos (por exemplo, WANG *et al.* 1995a, OSWALD *et al.* 2003, AZEVEDO *et al.* 2007). Alternativamente, alguns pesquisadores têm estudado estas emissões sonoras através da classificação visual subjetiva dos contornos dos assobios em categorias qualitativas (por exemplo CALDWELL & CALDWELL 1990, DRISCOLL 1995, JANIK 1999).

Os grasnidos, por sua vez, têm sido frequentemente classificados em termos de suas qualidades aurais e implicados em contextos sociais. Entretanto, estudos recentes mostraram que estas emissões possuem a maior parte de sua energia na faixa ultra-sônica de frequência e portanto sua descrição, além de subjetiva, representa apenas uma pequena fração dos grasnidos produzidos na faixa audível de frequência (LAMMERS *et al.* 2003, LAMMERS *et al.* 2004, RANKIN *et al.* 2006). LAMMERS *et al.* (2003) sugeriram, então, que a prática de descrever os grasnidos com base em suas qualidades aurais deveria ser substituída por abordagens quantitativas e constataram que algumas medidas espectrais têm propriedades direcionais, como a energia contida em cada porção da emissão. Neste sentido, é também muito importante considerar que apenas algumas características destes sons deveriam ser analisadas, para evitar resultados equivocados. As características temporais são mais conservativas e, portanto, menos afetadas pela direcionalidade e pelas faixas de frequência de gravação e análise.

Com relação aos assobios, alguns pesquisadores têm demonstrado uma certa preocupação com a precisão das medidas, indagando sobre a variação gerada por diferentes sistemas de gravação e análise de dados, bem como pela escolha, interpretação e extração de variáveis por diferentes pesquisadores, como por exemplo BAZÚA-DURÁN & AU (2002) E AZEVEDO *et al.* (2007). Uma avaliação deste tipo de variação se faz então necessária, uma vez que qualquer variabilidade gerada pela gravação ou análise dos sinais sonoros pode gerar ruído ou desvio nos resultados de comparações entre diferentes populações, espécies ou até mesmo entre diferentes comportamentos executados por animais de uma mesma população, caso estes não tenham sido gravados pelo mesmo sistema ou analisados integralmente por um único pesquisador.

Desta forma, o presente estudo têm por objetivos: 1-) Avaliar a existência de erros de medida para cada uma das variáveis de frequência e tempo dos assobios e grasnidos emitidos por golfinhos-rotadores de Fernando de Noronha; 2-) Avaliar se existem diferenças significativas entre as amostras de sons gravadas por dois diferentes sistemas de gravação; 3-) Avaliar se existem diferenças significativas entre as emissões sonoras se estas forem analisadas por dois pesquisadores distintos.

5.2- Material e Métodos

As gravações das emissões sonoras de golfinhos-rotadores foram feitas na Baía dos Golfinhos, através de mergulhos livre, em agosto de 2006. As amostras de sons foram coletadas simultaneamente em dois sistemas de gravação: sistema 1- composto por uma câmera filmadora digital (SONY® HDR-FX1) e uma caixa estanque AMPHIBICO®, com *dual* hidrofone (duas cápsulas); sistema 2- composto por um gravador digital de áudio “*compact flash*” (M-Áudio MicroTrack 24/96) e um hidrofone HIGH TECH INC., modelo HTI SSQ 94, resposta de frequência 20 –20000 Hz. A máxima frequência amostrada por ambos os sistemas foi de 24 kHz (taxa de amostragem de 48kHz).

As gravações provenientes do sistema 1 foram importadas para um computador Apple® Macintosh usando o software IMovie 4.0.1 (Apple Computer, Inc.). Este programa fragmenta o pacote áudio-visual em clipes de curta duração, que correspondem a cada tomada de gravação subaquática. O áudio foi então extraído dos clipes de vídeo usando o software FinalCut Pro 3.0 (Apple Computer, Inc.) e armazenados em arquivos de formato AIFF.

As gravações provenientes do sistema 2 foram importadas para o mesmo computador através do software Sound Studio e armazenadas também em arquivos de formato AIFF. No sistema 2, os clipes gravados já haviam sido fracionados e nomeados no momento da gravação, diretamente no gravador digital. Como os dois sistemas eram acionados e desligados ao mesmo tempo, cada clipe gerado no sistema 2 correspondia a um clipe gerado no sistema 1 e estes apresentavam a mesma ordem e duração aproximada. O refinamento do processo de sincronização foi realizado através da inspeção dos espectrogramas.

Todos os espectrogramas foram gerados no programa Canary V.1.2.4 (Bioacoustics Research program, Cornell Lab of Ornithology). Para a análise dos assobios, utilizei espectrogramas com FFT de 1024 pontos, sobreposição de 50%, janela Hamming. A resolução utilizada foi de 512 pontos (*frame length*), resultando em um valor de largura de banda de 380.62 Hz e uma resolução de tempo de 5.33ms (BAZÚA-DURÁN & AU 2002) (ver Figura 5.1). Os assobios selecionados tinham as seguintes características:

- a) Boa relação sinal-ruído;
- b) Clareza no contorno, especialmente nos pontos de início e término;
- c) Sobreposição com no máximo dois assobios;
- d) Corte pelo limite superior do sistema de gravação não evidente.

Todos os assobios gravados pelo Sistema 1 e selecionados para a análise foram também selecionados quando gravados pelo Sistema 2, isto é, cada emissão foi captada pelos dois sistemas com a mesma qualidade (levando em conta os critérios de seleção acima).

Para a análise dos grasnidos, utilizei espectrogramas com FFT de 4096 pontos, sobreposição de 96.88%, janela Hamming. A resolução utilizada foi de 32 pontos (*frame length*), resultando em um valor de largura de banda de 6090.00 e uma resolução de tempo de 0.02083 ms (baseado em BLONQVIST & AMUNDIN 2004). Os critérios para seleção dos grasnidos foram: clareza nos pulsos iniciais e finais, bem como no intervalo entre os pulsos (ver Figura 5.2). É importante salientar que, durante o processo de seleção, apenas 50% dos grasnidos gravados pelo Sistema 2 e selecionados para análise puderam ser também selecionados quando gravados pelo Sistema 1 e que apenas estes foram incluídos nas comparações. Isto quer dizer que o Sistema 2 foi capaz de gravar um maior número de emissões de qualidade (levando em conta os critérios de seleção).

De cada assobio, foram extraídas cinco variáveis: frequência inicial (Freq Inicial), frequência final (Freq Final), frequência mínima (Freq Mín), frequência máxima (Freq Máx) e duração. De cada grasnido, foram extraídas seis variáveis: duração, intervalo entre o primeiro e o segundo pulsos (I1), intervalo entre o penúltimo e o último pulsos (Iúltimo), intervalo máximo (intervalo de maior duração) (IMáx), número de pulsos e taxa média de repetição (determinada pela razão entre o número de pulsos e a duração).

5.2.1- Avaliação do erro de medida

Para avaliar a existência de erros de medida significativos, três amostras de grasnidos e três de assobios foram sorteadas aleatoriamente dentre todas as selecionadas pelos critérios de qualidade (total de 23 assobios e 10 grasnidos). Cada amostra foi então analisada 15 vezes. Na tentativa de tornar as repetições das medidas independentes umas das outras, evitando erros de pseudoreplicação (HURLBERT 1984), os espectrogramas foram fechados e reconstruídos para a análise seguinte após a extração dos valores das variáveis escolhidas.

Foram calculados então os valores das médias, desvios padrão, erros padrão e coeficientes de variação, utilizando como ferramenta o Programa **R** (que é gratuito e disponível na internet através do site: www.r-project.org) (**R Development Core Team** 2007).

5.2.2- Avaliação da diferença entre amostras de sons gravadas por diferentes sistemas de gravação ou analisadas por diferentes pesquisadores

Para avaliar se o sistema de gravação com o qual a amostra de som foi gravada ou se o pesquisador que extrai as variáveis a partir dos espectrogramas são fatores que interferem significativamente na variabilidade dos sons gravados, todas as amostras selecionadas de cada um dos tipos sonoros (assobios, $N=23$; grasnidos, $N=10$), gravadas por cada um dos sistemas de gravação, foram analisadas por dois pesquisadores. Posteriormente, os resultados obtidos por cada sistema e por cada um dos pesquisadores foram comparados.

Figura 5.1: Espectrogramas de um assobio selecionado gravado no Sistema 1 (a) e Sistema 2 (b).

Figura 5.2: Espectrogramas de um grasnido selecionado gravado no Sistema 1 (a) e Sistema 2 (b). Os cursores apontados em vermelho delimitam o espaço correspondente à variável I_{ultimo} , “intervalo entre o penúltimo e o último pulsos” (Notar a clareza dos pulsos inicial e final, bem como do intervalo entre os pulsos, utilizados como critérios do seleção).

Em primeiro lugar, foram realizados testes de normalidade (Teste de *Kolmogorov-Smirnov* para normalidade ZAR 1998), para o conjunto de valores de cada uma das variáveis incluídas na análise. Como as distribuições de valores obtidas não seguiram padrões de normalidade para nenhuma das variáveis extraídas dos assobios e para pelo menos uma das variáveis extraídas dos grasnidos (Tabelas 5.A e 5.B - Apêndice 1), os dados foram comparados de duas formas, utilizando dois métodos não paramétricos: o “*Wilcoxon signed-rank test*” (WILCOXON 1945) e o “*Bootstrap*” (com 1000 replicações) (EFRON & TIBSSHIRANI 1993).

A análise “*Wilcoxon signed-rank test*” é uma alternativa não paramétrica ao *Teste t pareado de Student* (“*paired Student's t-test*”) (STUDENT 1908) para casos onde a forma de distribuição dos dados não segue o padrão normal. É usado para testar a diferença média entre dados pareados, sendo estes definidos como dados provenientes de dois grupos naturalmente ligados ou dependentes. No presente caso, os valores de cada variável de frequência e tempo foram obtidos pela análise espectrográfica de uma mesma emissão sonora gravada por dois equipamentos distintos, ou analisada por dois pesquisadores distintos e, portanto, os conjuntos de dados gerados eram naturalmente dependentes.

Para a realização do teste, tomou-se como hipótese nula a afirmação de igualdade entre os dois conjuntos de dados (neste caso, os conjuntos obtidos pelo pesquisador 1 e pelo pesquisador 2, ou gravados pelo sistema 1 ou pelo sistema 2). A diferença entre as medidas tomadas por cada um dos pesquisadores ou a partir de amostras gravadas por cada um dos equipamentos foi calculada. Posteriormente, os valores obtidos foram ordenados, ignorando o sinal, de forma que a menor diferença recebesse 1, a segunda menor 2 e assim por diante. Então, somou-se os valores das posições das diferenças negativas (posições estas atribuídas pela ordenação) e os valores das posições das diferenças positivas. O teste avaliou a diferença entre estas duas somas. Se a hipótese nula fosse verdadeira e não existisse diferença entre os dois conjuntos de dados, esperaria-se que as duas somas fossem iguais. O “*Wilcoxon signed-rank test*” foi, portanto, baseado na magnitude da diferença entre os pares de observações (ZAR 1998).

Dando seqüência à comparação das emissões sonoras gravadas pelos diferentes sistemas de gravação e analisadas por pesquisadores distintos, utilizei o método *Bootstrap* (EFRON 1979). Esse método baseia-se em re-amostragem com reposição a partir dos dados da amostra original, tratando o conjunto original de dados como se fosse a população verdadeira (MORETTI & MENDES 2003). Dentre os vários procedimentos de reamostragem, este método vem se destacando na literatura, pois além de fornecer estimativas de parâmetros e seus respectivos desvios-padrão, permite a construção de intervalos de confiança para os parâmetros de interesse (EFRON & TIBISHIRANI 1993, MANLY 1997). Basicamente, o método de *Bootstrap* consiste em retirar um certo número B de amostras aleatórias simples da amostra original, com reposição e de tamanhos iguais ao da amostra original, digamos N . Para cada amostra de tamanho N sorteada, a estatística de interesse (em geral, um estimador do parâmetro) é calculada, e a partir dos B valores da estatística obtemos a sua distribuição de probabilidade empírica. No presente estudo foram sorteadas $B=1000$ amostras.

5.3- Resultados e Discussão

5.3.1- Avaliação do erro de medida

Um resumo das análises descritivas dos parâmetros de frequência e tempo para as três amostras de assobios analisadas 15 vezes cada (média, desvio padrão, erro padrão, coeficiente de variação e mediana) é apresentado na Tabela 5.3. Os resultados mostraram que a variabilidade obtida pela repetida extração de variáveis foi muito pequena para ambos os sistemas de gravação (ver gráfico de dispersão das medidas - Figuras 5.3 e 5.4). Os valores do Coeficiente de Variação (dado pela equação $\text{Coeficiente de Variação} = \text{Desvio Padrão}/\text{Média}$), considerado uma boa medida de variabilidade por não possuir dimensão, foram muito pequenos e não variaram na medida em que o número de tentativas aumentava. Além disso, os resultados mostraram que os valores de erro e desvio padrão também foram muito pequenos (Tabela 5.3).

Com relação aos grasnidos, um resumo da análise descritiva dos seis parâmetros analisados para cada uma das três amostras também analisadas 15 vezes cada (média, desvio padrão, erro padrão, coeficiente de variação e mediana) encontra-se na Tabela 5.4. Da mesma forma que ocorreu com os assobios, a variabilidade gerada pela repetição da extração das variáveis de cada uma das amostras foi muito pequena para ambos os sistemas de gravação (ver gráfico de dispersão de pontos – Figuras 5.5 e 5.6), o que pode ser observado pelos baixos valores do coeficiente de variação, do erro padrão e do desvio padrão.

Tabela 5.1- Análise descritiva das três amostras de assobios analisada 15 vezes cada (média, erro padrão, desvio padrão, coeficiente de variação e mediana).

Sistema 1		Média	Erro Padrão	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação	Mediana
Frequência Inicial	Amostra 1	10,960	0,009	0,036	0,330	10,945
	Amostra 2	7,767	0,017	0,064	0,820	7,772
	Amostra 3	5,648	0,012	0,044	0,790	5,649
Frequência Final	Amostra 1	13,094	0,009	0,036	0,270	13,085
	Amostra 2	11,053	0,008	0,032	0,290	11,057
	Amostra 3	8,579	0,009	0,035	0,410	8,586
Frequência Mínima	Amostra 1	9,090	0,005	0,020	0,220	9,092
	Amostra 2	7,350	0,007	0,029	0,390	7,340
	Amostra 3	5,648	0,012	0,044	0,790	5,649
Frequência Máxima	Amostra 1	13,094	0,009	0,036	0,270	13,085
	Amostra 2	11,654	0,007	0,028	0,240	11,655
	Amostra 3	9,827	0,005	0,019	0,200	9,836
Duração	Amostra 1	226,200	0,296	1,150	0,510	226,000
	Amostra 2	919,800	0,518	2,010	0,220	920,000
	Amostra 3	205,800	0,279	1,080	0,530	206,000
Sistema 2		Média	Erro Padrão	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação	Mediana
Frequência Inicial	Amostra 1	10,939	0,008	0,029	0,270	10,943
	Amostra 2	7,780	0,009	0,035	0,460	7,776
	Amostra 3	5,557	0,011	0,044	0,790	5,533
Frequência Final	Amostra 1	13,063	0,009	0,034	0,260	13,062
	Amostra 2	11,018	0,012	0,047	0,420	11,012
	Amostra 3	8,543	0,010	0,038	0,450	8,555
Frequência Mínima	Amostra 1	9,070	0,010	0,039	0,430	9,083
	Amostra 2	7,343	0,010	0,038	0,510	7,340
	Amostra 3	5,557	0,011	0,044	0,790	5,533
Frequência Máxima	Amostra 1	13,063	0,009	0,034	0,260	13,062
	Amostra 2	11,628	0,008	0,032	0,280	11,616
	Amostra 3	9,834	0,008	0,033	0,330	9,837
Duração	Amostra 1	227,670	0,187	0,724	0,320	228,000
	Amostra 2	918,600	0,434	1,680	0,180	918,000
	Amostra 3	205,600	0,214	0,828	0,400	205,000

Tabela 5.2- Análise descritiva das três amostras de grasnidos analisada 15 vezes cada (média, erro padrão, desvio padrão, coeficiente de variação e mediana).

Sistema 1		Média	Erro Padrão	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação	Mediana
Duração (ms)	Amostra 1	127,570	0,028	0,109	0,090	127,57
	Amostra 2	83,083	0,018	0,069	0,080	83,060
	Amostra 3	102,860	0,022	0,085	0,080	102,90
I1 (ms)	Amostra 1	2,258	0,019	0,075	3,320	2,230
	Amostra 2	1,581	0,012	0,047	2,990	1,580
	Amostra 3	1,840	0,010	0,037	1,990	1,840
Iultimo (ms)	Amostra 1	4,415	0,016	0,063	1,430	4,430
	Amostra 2	2,361	0,011	0,043	1,810	2,350
	Amostra 3	2,398	0,017	0,064	2,670	2,390
IMax (ms)	Amostra 1	4,349	0,072	0,278	6,390	4,430
	Amostra 2	2,361	0,011	0,043	1,810	2,350
	Amostra 3	2,385	0,019	0,073	3,050	2,390
Taxa de repetição (pulsos/ s)	Amostra 1	572,230	0,126	0,486	0,080	572,230
	Amostra 2	589,790	0,126	0,489	0,080	589,930
	Amostra 3	505,550	0,126	0,418	0,080	505,340
Número de Pulsos	Amostra 1	73	0	0	0	73,000
	Amostra 2	49	0	0	0	49,000
	Amostra 3	52	0	0	0	52,000
Sistema 2		Média	Erro Padrão	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação	Mediana
Duração (ms)	Amostra 1	127,960	0,016	0,062	0,050	127,960
	Amostra 2	83,273	0,012	0,046	0,060	83,270
	Amostra 3	103,210	0,026	0,101	0,100	103,230
I1 (ms)	Amostra 1	2,356	0,023	0,088	3,740	2,370
	Amostra 2	1,612	0,009	0,034	2,110	1,620
	Amostra 3	1,786	0,013	0,049	2,750	1,790
Iultimo (ms)	Amostra 1	4,498	0,022	0,085	1,890	4,530
	Amostra 2	2,382	0,018	0,068	2,850	2,370
	Amostra 3	2,539	0,016	0,061	2,390	2,510
IMax (ms)	Amostra 1	4,498	0,022	0,085	1,890	4,530
	Amostra 2	2,382	0,018	0,068	2,850	2,370
	Amostra 3	2,539	0,016	0,061	2,390	2,510
Taxa de repetição (pulsos/ms)	Amostra 1	578,300	0,072	0,279	0,050	578,310
	Amostra 2	588,420	0,084	0,325	0,060	588,450
	Amostra 3	503,820	0,128	0,494	0,100	503,73
Número de Pulsos	Amostra 1	74	0	0	0	74,000
	Amostra 2	49	0	0	0	49,000
	Amostra 3	52	0	0	0	52,000

Figura 5.5: Gráfico de pontos mostrando a distribuição dos valores obtidos para todas as variáveis, para as três amostras de grasnidos gravada no Sistema 1, em cada uma das 15 extrações (chamadas aqui de tentativas).
 Legenda: Dur- Duração, I1- intervalo entre o primeiro e o segundo pulsos, Iultimo- intervalo entre o penúltimo e o último pulsos, I (max)- intervalo máximo.

Figura 5.6: Gráfico de pontos mostrando a distribuição dos valores obtidos para todas as variáveis, para as três amostras de grasnidos gravada no Sistema 2, em cada uma das 15 extrações (chamadas aqui de tentativas).
 Legenda: Dur- Duração, I1- intervalo entre o primeiro e o segundo pulsos, Iultimo- intervalo entre o penúltimo e o último pulsos. I (max)- intervalo máximo.

Desta forma, o erro de medida para cada um dos parâmetros selecionados para análise foi muito pequeno e, portanto, não deve influenciar significativamente a variabilidade inerente aos dados. Isso significa que as medidas tomadas por um mesmo pesquisador não diferiram a ponto de causar desvios em eventuais comparações. Por exemplo, ao se comparar os sons emitidos por um animal em duas categorias diferentes de comportamento, as diferenças significativas observadas serão atribuídas a diferenças reais entre os sinais e não a erros de medida.

5.3.2- Avaliação da diferença entre os sistemas de gravação e entre os pesquisadores

Um resumo da análise descritiva dos parâmetros de frequência e tempo obtidos para as amostras de assobios selecionadas ($N=23$) (média, erro padrão, desvio padrão, coeficiente de variação, valor mínimo, valor máximo e mediana) é apresentado na Tabela 5.3.

Ao comparar os assobios analisados pelos dois pesquisadores através do *Wilcoxon signed-rank test*, a partir das emissões gravadas pelo Sistema 1, nota-se que os resultados obtidos para as variáveis frequência final e frequência mínima foram significativamente diferentes ($V=203, p=0,048$; $V=235, p=0,002$, respectivamente). Da mesma forma, quando compara-se os assobios analisados pelos dois pesquisadores a partir das emissões gravadas pelo Sistema 2, nota-se que os resultados obtidos para as variáveis frequência mínima e duração ($V=209, p=0,030$; $V=253, p=0,000$, respectivamente) também foram significativamente diferentes (Tabela 5.5).

Ao comparar os sistemas de gravação utilizando o mesmo método, nota-se que para o pesquisador 1 os resultados para a variável duração foram significativamente diferentes ($V=2,424, p=0,015$) e, para o pesquisador 2, nenhuma das variáveis apresentou diferença significativa (Tabela 5.6).

Quanto aos grasnidos, ao comparar os parâmetros através do *Wilcoxon signed-rank test*, não pude encontrar diferenças significativas entre as emissões gravadas por cada um dos sistemas de gravação, tampouco entre as emissões analisadas pelos diferentes pesquisadores (ver Tabelas 5.7 e 5.8).

Os resultados das comparações por *Bootstrap* com 1000 repetições mostraram uma diferença significativa entre assobios gravados em cada um dos sistemas de gravação, quando estes foram analisados pelo Pesquisador 1, para as seguintes variáveis: frequência inicial e duração. Quando analisadas pelo Pesquisador 2, as emissões gravadas pelo dois sistemas de gravação não apresentaram diferenças significativas para nenhuma das variáveis analisadas. A Tabela 5.9 mostra o resultado final da comparação entre os dois sistemas, para cada um dos pesquisadores, e as colunas em azul indicam os resultados com diferenças significativas. Os resultados obtidos por cada pesquisador, em cada um dos sistemas de gravação podem ser observados no Apêndice 1 (Tabela 5.C).

Ainda considerando os assobios, ao comparar os pesquisadores notei que as emissões gravadas pelo Sistema 1 apresentaram diferenças significativas nas variáveis frequência mínima e frequência final e as emissões gravadas pelo Sistema 2 apresentaram diferenças significativas nas variáveis frequência mínima e duração. A Tabela 5.10 mostra o resultado final da comparação entre pesquisadores. O resultado das estatísticas do *Bootstrap* para cada um dos pesquisadores pode ser observado no Apêndice 1 (Tabela 5.D) .

Portanto, com exceção da diferença significativa encontrada pelo pesquisador 1, para os valores de frequência inicial obtidos nos dois sistemas de gravação, os resultados da análise de *Bootstrap* para os assobios foram os mesmos nos dois métodos utilizados (*Wilcoxon signed-rank test* e *Bootstrap*). Na análise de *Bootstrap*, vale observar que o resultado determinante da diferença estatisticamente significativa entre os valores de frequência inicial obtidos pelo pesquisador 1, em cada um dos sistemas, está baseado em um intervalo muito próximo de zero (-0,078 a -0,002), e a inclusão de zero neste intervalo tornaria estas diferenças não significativas.

Ao comparar as amostras de grasnidos, observei que não ocorreram diferenças significativas entre as amostras gravadas pelos diferentes sistemas de gravação, tampouco entre as amostras analisadas pelos diferentes pesquisadores, como haviam indicado os resultados do *Wilcoxon signed-rank test*. As Tabelas 5.11 e 5.12 mostram, respectivamente, os resultados das comparações entre sistemas e entre pesquisadores. Os

resultados obtidos para cada um dos sistemas e por cada um dos pesquisadores podem ser encontrados no Apêndice 1 (Tabelas 5.E e 5.F).

Estes resultados reforçam a preocupação de BAZÚA-DURÁN & AU (2002) e AZEVEDO *et al.* (2007) quanto à comparações entre diferentes estudos sobre assobios produzidos por odontocetos. Estes estudos devem levar em conta amostras de sons gravadas por diferentes sistemas e/ou analisadas por diferentes pesquisadores. Entretanto, pode-se concluir a partir dos resultados aqui obtidos que: o sistema de gravação parece ser menos importante na geração de variabilidade do que o pesquisador que analisa as amostras, pois apenas nas amostras analisadas pelo pesquisador 1 apareceram diferenças significativas entre os sistemas e somente com respeito à variável duração. Como esta variável é calculada pelo diferença entre tempo inicial e o tempo final de cada assobio, a diferença entre os sistemas pode ter surgido apenas pela somatória de erros na tomada de valores de tempo pelo pesquisador 1.

Quanto aos grasnidos, deve-se lembrar que existe uma diferença importante entre os dois sistemas de gravação, uma vez que o Sistema 2 foi capaz de gravar um maior número de amostras de qualidade do que o Sistema 1 (de acordo com os critérios de seleção descritos no item 5.2). Contudo, os resultados da comparação entre as amostras selecionadas não indicaram diferenças significativas entre os sistemas de gravação, tampouco entre os pesquisadores que analisaram as amostras. Isto me leva a crer que, caso um grande número de amostras randomizadas seja incluído na análise, o Sistema 1 será capaz de amostrar de forma representativa os grasnidos produzidos na faixa de 0-48 kHz, mesmo tendo menor sensibilidade.

Tabela 5.3- Análise descritiva dos assobios gravados em cada sistema de gravação e analisados por dois pesquisadores (média, erro padrão, desvio padrão, coeficiente de variação e mediana).

Sistema 1		Média	Erro Padrão	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação %	Mínimo	Máximo	Mediana
Frequência Inicial (kHz)	Pesquisador 1	11,418	0,697	3,341	29,26	5,587	17,390	11,006
	Pesquisador 2	11,444	0,701	3,360	29,36	5,539	17,326	10,985
Frequência Final (kHz)	Pesquisador 1	13,697	0,679	3,256	23,77	7,948	20,690	13,061
	Pesquisador 2	13,636	0,677	3,245	23,80	7,819	20,689	12,956
Frequência Mínima (kHz)	Pesquisador 1	9,081	0,454	2,176	23,96	5,587	12,634	9,065
	Pesquisador 2	9,032	0,454	2,178	24,12	5,539	12,567	9,020
Frequência Máxima (kHz)	Pesquisador 1	14,996	0,727	3,485	23,24	9,836	20,690	15,386
	Pesquisador 2	14,946	0,734	3,519	23,54	9,774	20,689	15,416
Duração (ms)	Pesquisador 1	609,000	66,300	317,900	52,200	100,000	1022,000	706,000
	Pesquisador 2	607,200	66,200	317,700	52,320	97,000	1022,000	702,100

Sistema 2		Média	Erro Padrão	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação %	Mínimo	Máximo	Mediana
Frequência Inicial (kHz)	Pesquisador 1	11,453	0,701	3,362	29,36	5,503	17,398	10,924
	Pesquisador 2	11,456	0,704	3,376	29,47	5,394	17,223	10,977
Frequência Final (kHz)	Pesquisador 1	13,707	0,680	3,259	23,78	7,922	20,639	13,131
	Pesquisador 2	13,686	0,679	3,254	23,78	7,945	20,571	13,177
Frequência Mínima (kHz)	Pesquisador 1	9,079	0,454	2,179	24,00	5,503	12,619	9,103
	Pesquisador 2	9,017	0,463	2,220	24,62	5,394	12,670	9,016
Frequência Máxima (kHz)	Pesquisador 1	15,018	0,726	3,481	23,18	9,786	15,386	15,449
	Pesquisador 2	14,979	0,727	3,487	23,28	9,840	15,416	15,436
Duração (ms)	Pesquisador 1	612,700	66,500	318,900	52,040	102,000	1032,000	708,000
	Pesquisador 2	609,400	66,500	318,700	52,300	96,000	1025,000	716,200

Tabela 5.4- Análise descritiva dos grasnidos gravados em cada sistema de gravação e analisados por dois pesquisadores (média, erro padrão, desvio padrão, coeficiente de variação e mediana).

Sistema 1		Média	Erro Padrão	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação %	Mínimo	Máximo	Mediana
Duração (ms)	Pesquisador 1	96,521	14,032	44,374	45,973	38,230	191,100	93,445
	Pesquisador 2	96,459	14,076	44,512	46,146	38,170	191,140	93,495
I1	Pesquisador 1	2,094	0,236	0,748	35,721	1,070	3,680	2,000
	Pesquisador 2	2,084	0,239	0,755	36,228	1,180	3,690	2,025
Iúltimo	Pesquisador 1	3,673	1,141	3,608	98,230	1,080	13,600	2,470
	Pesquisador 2	3,651	1,128	3,567	97,699	1,290	13,500	2,470
Imáx	Pesquisador 1	4,444	1,144	3,618	81,413	1,550	13,600	3,195
	Pesquisador 2	4,432	1,133	3,583	80,843	1,580	13,500	3,195
Taxa de repetição	Pesquisador 1	498,331	31,931	100,976	20,263	355,834	680,094	480,568
	Pesquisador 2	497,685	31,939	100,999	20,294	355,760	681,163	480,146
Número de pulsos	Pesquisador 1	45,500	5,310	16,794	36,910	26,000	73,000	44,500
	Pesquisador 2	45,500	5,310	16,794	36,910	26,000	73,000	44,500

Sistema 2		Média	Erro Padrão	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação %	Mínimo	Máximo	Mediana
Duração (ms)	Pesquisador 1	96,583	14,112	44,629	46,208	38,190	191,500	93,810
	Pesquisador 2	96,564	14,092	44,563	46,149	38,250	191,400	93,650
I1	Pesquisador 1	2,131	0,209	0,660	30,971	1,260	3,460	2,110
	Pesquisador 2	2,131	0,214	0,679	31,863	1,250	3,630	2,160
Iúltimo	Pesquisador 1	3,493	1,179	3,728	106,728	1,260	13,800	2,355
	Pesquisador 2	3,471	1,138	3,599	103,689	1,250	13,400	2,290
Imáx	Pesquisador 1	4,307	1,182	3,738	86,789	1,620	13,800	2,685
	Pesquisador 2	4,297	1,144	3,618	84,198	1,620	13,400	2,795
Taxa de repetição	Pesquisador 1	496,893	31,773	100,474	20,220	355,091	680,806	480,809
	Pesquisador 2	496,754	31,642	100,063	20,143	355,280	679,740	479,790
Número de Pulsos	Pesquisador 1	45,600	5,427	17,161	37,634	26,000	74,000	44,500
	Pesquisador 2	45,600	5,427	17,161	37,634	26,000	74,000	44,500

Tabela 5.5- Resultado da análise *Wilcoxon signed-rank test*, para comparação entre assobios gravados em cada sistema de gravação. As linhas em azul apontam os resultados significativos para $\alpha = 0,05$.

Sistema 1		Pesquisador 1		Pesquisador 2	
X					
Sistema 2					
Frequência Inicial	Z = 1,5208	p = 0,128		V = 141	p = 0,941
Frequência Final	V = 98	p = 0,235		V = 155	p = 0,622
Frequência Mínima	V = 124	p = 0,687		V = 119	p = 0,580
Frequência Máxima	Z = -1,1254 ?	p = 0,260		V = 130	p = 0,823
Duração	Z = 2,424 ?	p = 0,015		Z = 1,1863	p = 0,236

Tabela 5.6- Resultado da análise *Wilcoxon signed-rank test*, para comparação entre assobios analisados por dois pesquisadores. As linhas em azul apontam os resultados significativos para $\alpha = 0,05$.

Pesquisador 1		Sistema 1		Sistema 2	
X					
Pesquisador 2					
Frequência Inicial	V = 94	p = 0,190		V = 159	p = 0,540
Frequência Final	V = 203	p = 0,048		V = 165	p = 0,427
Frequência Mínima	V = 235	p = 0,002		V = 209	p = 0,030
Frequência Máxima	V = 196	p = 0,080		V = 190	p = 0,119
Duração	V = 190	p = 0,119		V = 253	p = 0,000

Tabela 5.7- Resultado da análise *Wilcoxon signed-rank test*, para comparação entre grasnidos gravados por cada sistema de gravação. Nenhuma diferença significativa foi encontrada para $\alpha = 0,05$.

Sistema 1		Pesquisador 1		Pesquisador 2	
X					
Sistema 2					
Duração	V = 39	p = 0,275		V = 43	p = 0,131
I1	Z = 0,868	p = 0,385		Z = 1,328	p = 0,184
Iúltimo	Z = -0,770	p = 0,385		Z = -0,765	p = 0,444
Imáx	Z = -1,489	p = 0,137		V = 14	p = 0,193
Taxa de repetição	V = 31	p = 0,770		V = 35	p = 0,492
Número de pulsos	Z = -0,513	p = 0,608		Z = -0,513	p = 0,608

Tabela 5.8- Resultado da análise *Wilcoxon signed-rank test*, para comparação entre grasnidos analisados por dois pesquisadores. Nenhuma diferença significativa foi encontrada para $\alpha = 0,05$.

Pesquisador 1		Sistema 1		Sistema 2	
X					
Pesquisador 2					
Duração	Z = 0,051	p = 0,9593		V = 29	p = 0,922
I1	V = 31	p = 0,7695		Z = -0,359	p = 0,720
Iúltimo	Z = 0,4153	p = 0,6779		Z = 0,051	p = 0,959
Imáx	Z = 0,2123	p = 0,8319		Z = -0,102	p = 0,919
Taxa de repetição	V = 32	p = 0,6953		V = 32	p = 0,695
Número de pulsos	Z = NA	p = NA		Z = NA	p = NA

Tabela 5.9- Diferenças resultantes da análise de *Bootstrap* com 1000 replicações para comparação entre os assobios gravados por cada um dos sistemas de gravação, onde “Observada” representa a média da amostra original, “Média_{Boot}” a média das médias reamostradas, “Desvio” a diferença entre “Observada” e “Média_{Boot}” e “SE” o desvio padrão do *Bootstrap*. As linhas em azul apontam os resultados significativos.

Sistema 1 X Sistema 2	Frequência Inicial								
	Pesquisador 1				Pesquisador 2				
	Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança		Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança
Observada	-0,035	2,5%	-0,078	-0,087	Observada	-0,012	2,5%	-0,074	-0,074
Desvio	0,000	5%	-0,069	-0,077	Desvio	-0,001	5%	-0,064	-0,062
Média _{Boot}	-0,035	95%	-0,006	-0,010	Média _{Boot}	-0,013	95%	0,038	0,038
SE	0,019	97,5%	-0,002	-0,006	SE	0,031	97,5%	0,048	0,048
Sistema 1 X Sistema 2	Frequência Máxima								
	Pesquisador 1				Pesquisador 2				
	Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança		Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança
Observada	-0,022	2,5%	-0,114	-0,166	Observada	-0,032	2,5%	-0,141	-0,186
Desvio	0,001	5%	-0,101	-0,150	Desvio	0,001	5%	-0,121	-0,151
Média _{Boot}	-0,021	95%	0,038	0,026	Média _{Boot}	-0,031	95%	0,038	0,027
SE	0,043	97,5%	0,044	0,030	SE	0,049	97,5%	0,046	0,034
Sistema 1 X Sistema 2	Frequência Mínima								
	Pesquisador 1				Pesquisador 2				
	Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança		Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança
Observada	0,002	2,5%	-0,028	-0,031	Observada	0,015	2,5%	-0,036	-0,032
Desvio	0,000	5%	-0,023	-0,026	Desvio	-0,002	5%	-0,028	-0,023
Média _{Boot}	0,002	95%	0,025	0,023	Média _{Boot}	0,014	95%	0,056	0,061
SE	0,015	97,5%	0,028	0,027	SE	0,025	97,5%	0,065	0,068
Sistema 1 X Sistema 2	Frequência Final								
	Pesquisador 1				Pesquisador 2				
	Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança		Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança
Observada	-0,010	2,5%	-0,116	-0,207	Observada	-0,049	2,5%	-0,168	-0,195
Desvio	0,002	5%	-0,094	-0,143	Desvio	-0,001	5%	-0,144	-0,171
Média _{Boot}	-0,008	95%	0,062	0,047	Média _{Boot}	-0,051	95%	0,030	0,018
SE	0,050	97,5%	0,071	0,056	SE	0,053	97,5%	0,043	0,029

Tabela 5.9- Continuação

Sistema 1 X Sistema 2	Duração								
	Pesquisador 1				Pesquisador 2				
	Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança		Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança
Observada	-3,783	2,5%	-7,262	-8,329	Observada	-2,139	2,5%	-5,244	-5,504
Desvio	0,040	5%	-6,567	-7,71	Desvio	0,029	5%	-4,788	-4,885
Média _{Boot}	-3,743	95%	-1,261	-1,696	Média _{Boot}	-2,110	95%	0,705	0,561
SE	1,659	97,5%	-0,999	-1,349	SE	1,648	97,5%	1,161	1,091

Tabela 5.10- Diferenças resultantes da análise de *Bootstrap* com 1000 replicações para comparação entre os assobios analisados por diferentes autores, onde “Observada” representa a média da amostra original, “Média_{Boot}” a média das médias reamostradas, “Desvio” a diferença entre “Observada” e “Média_{Boot}” e “SE” o desvio padrão do *Bootstrap*. As linhas em azul apontam os resultados significativos.

Pesquisador 1 X Pesquisador 2	Frequência Inicial							
	Sistema 1				Sistema 2			
	Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança	Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança
Observada	0,026	2,5%	-0,012	-0,013	Observada	0,003	2,5%	-0,056
Desvio	0,001	5%	-0,006	-0,007	Desvio	0,000	5%	-0,051
Média _{Boot}	0,027	95%	0,061	0,060	Média _{Boot}	0,003	95%	0,061
SE	0,020	97,5%	0,065	0,064	SE	0,034	97,5%	0,075
Pesquisador 1 X Pesquisador 2	Frequência Mínima							
	Sistema 1				Sistema 2			
	Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança	Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança
Observada	-0,049	2,5%	-0,075	-0,073	Observada	-0,062	2,5%	-0,107
Desvio	-0,000	5%	-0,071	-0,070	Desvio	-0,001	5%	-0,101
Média _{Boot}	-0,049	95%	-0,026	-0,024	Média _{Boot}	-0,063	95%	-0,023
SE	0,014	97,5%	-0,022	-0,021	SE	0,024	97,5%	-0,015
Pesquisador 1 X Pesquisador 2	Frequência Máxima							
	Sistema 1				Sistema 2			
	Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança	Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança
Observada	-0,050	2,5%	-0,118	-0,127	Observada	-0,040	2,5%	-0,081
Desvio	-0,002	5%	-0,103	-0,110	Desvio	0,001	5%	-0,074
Média _{Boot}	-0,052	95%	-0,009	-0,014	Média _{Boot}	-0,039	95%	-0,005
SE	0,028	97,5%	0,000	-0,007	SE	0,021	97,5%	0,002
Pesquisador 1 X Pesquisador 2	Frequência Final							
	Sistema 1				Sistema 2			
	Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança	Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança
Observada	-0,060	2,5%	-0,120	-0,139	Observada	-0,021	2,5%	-0,057
Desvio	-0,007	5%	-0,111	-0,124	Desvio	0,000	5%	-0,050
Média _{Boot}	-0,061	95%	-0,021	-0,028	Média _{Boot}	-0,021	95%	0,010
SE	0,027	97,5%	-0,015	-0,024	SE	0,019	97,5%	0,016
Pesquisador 1 X Pesquisador 2	Duração							
	Sistema 1				Sistema 2			
	Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança	Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança
Observada	-1,726	2,5%	-4,157	-4,396	Observada	-3,370	2,5%	-4,705
Desvio	0,015	5%	-3,740	-3,906	Desvio	-0,021	5%	-4,530
Média _{Boot}	-1,711	95%	0,201	0,051	Média _{Boot}	-3,390	95%	-2,282
SE	1,173	97,5%	0,531	0,392	SE	0,690	97,5%	-2,109

Tabela 5.11- Resultado da análise de Bootsptrap com 1000 replicações, para comparação entre sistemas, para cada uma das variáveis analisadas, onde “Observada” representa a média da amostra original, “Média_{Boot}” a média das médias reamostradas, “Desvio” a diferença entre “Observada” e “Média_{Boot}” e “SE” o desvio padrão do *Bootstrap*.

Sistema 1 X Sistema 2	Duração								
	Pesquisador 1				Pesquisador 2				
	Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança		Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança
Observada	-0,062	2,5%	-0,293	-0,249	Observada	-0,105	2,5%	-0,205	-0,215
Desvio	-0,006	5%	-0,267	-0,224	Desvio	0,003	5%	-0,188	-0,199
Média _{Boot}	-0,068	95%	0,171	0,271	Média _{Boot}	-0,102	95%	-0,013	-0,026
SE	0,136	97,5%	0,217	0,332	SE	0,052	97,5%	-0,001	-0,007

Sistema 1 X Sistema 2	Intervalo entre o primeiro e o segundo pulsos (I1)								
	Pesquisador 1				Pesquisador 2				
	Média		Porcentagem empírica	Limites de confiança		Média		Porcentagem empírica	Limites de confiança
Observada	-0,037	2,5%	-0,117	-0,117	Observada	-0,047	2,5%	-0,139	-0,132
Desvio	0,002	5%	-0,108	-0,109	Desvio	-0,001	5%	-0,124	-0,117
Média _{Boot}	-0,035	95%	0,035	0,034	Média _{Boot}	-0,049	95%	0,0351	0,043
SE	0,043	97,5%	0,047	0,047	SE	0,049	97,5%	0,050	0,056

Sistema 1 X Sistema 2	Intervalo entre o penúltimo e o último pulsos (Iúltimo)								
	Pesquisador 1				Pesquisador 2				
	Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança		Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança
Observada	0,180	2,5%	-0,049	-0,013	Observada	0,180	2,5%	-0,035	-0,010
Desvio	0,003	5%	-0,028	0,001	Desvio	-0,003	5%	-0,020	0,000
Média _{Boot}	0,183	95%	0,489	0,593	Média _{Boot}	0,177	95%	0,471	0,580
SE	0,159	97,5%	0,540	0,709	SE	0,152	97,5%	0,517	0,633

Sistema 1 X Sistema 2	Intervalo do maior duração (Imax)								
	Pesquisador 1				Pesquisador 2				
	Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança		Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança
Observada	0,1370	2,5%	-0,009	0,009	Observada	0,135	2,5%	-0,006	0,020
Desvio	0,0011	5%	0,007	0,023	Desvio	0,002	5%	0,012	0,028
Média _{Boot}	0,1381	95%	0,296	0,336	Média _{Boot}	0,137	95%	0,304	0,372
SE	0,0890	97,5%	0,331	0,391	SE	0,091	97,5%	0,339	0,454

Sistema 1 X Sistema 2	Taxa de repetição								
	Pesquisador 1				Pesquisador 2				
	Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança		Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança
Observada	1,439	2,5%	-2,653	-2,061	Observada	0,931	2,5%	-2,673	-2,101
Desvio	0,129	5%	-2,092	-1,667	Desvio	0,0255	5%	-2,098	-1,711
Média _{Boot}	1,568	95%	6,148	7,003	Média _{Boot}	0,957	95%	4,435	5,241
SE	2,539	97,5%	6,98	8,336	SE	2,034	97,5%	5,247	6,060

Tabela 5.11- Continuação

Sistema 1 X Sistema 2	Número de Pulsos								
	Pesquisador 1				Pesquisador 2				
	Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança		Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança
Observada	-0,100	2,5%	-0,400	-0,593	Observada	-0,100	2,5%	-0,500	-0,500
Desvio	0,002	5%	0,400	-0,500	Desvio	-0,001	5%	-0,400	-0,500
Média _{Boot}	-0,098	95%	0,200	0,100	Média _{Boot}	-0,101	95%	0,200	0,100
SE	0,167	97,5%	0,200	0,100	SE	0,178	97,5%	0,200	0,200

Tabela 5.12- Diferenças resultantes da análise de *Bootstrap* com 1000 replicações para comparação entre os grasnidos analisados por diferentes autores, onde “Observada” representa a média da amostra original, “Média_{Boot}” a média das médias reamostradas, “Desvio” a diferença entre “Observada” e “Média_{Boot}” e “SE” o desvio padrão do *Bootstrap*.

Pesquisador 1 X Pesquisador 2	Duração								
	Sistema 1				Sistema 2				
	Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança		Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança
Observada	- 0,062	2,5%	-0,286	-0,372	Observada	-0,019	2,5%	-0,115	-0,127
Desvio	- 0,005	5%	-0,235	-0,308	Desvio	0,001	5%	-0,096	-0,105
Média _{Boot}	-0,067	95%	0,068	0,050	Média _{Boot}	-0,018	95%	0,056	0,050
SE	0,097	97,5%	0,088	0,063	SE	0,046	97,5%	0,068	0,061

Pesquisador 1 X Pesquisador 2	Intervalo entre o primeiro e o segundo pulsos (I1)								
	Sistema 1				Sistema 2				
	Média		Porcentagem empírica	Limites de confiança		Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança
Observada	-0,010	2,5%	-0,097	-0,090	Observada	0,000	2,5%	-0,083	-0,100
Desvio	-0,000	5%	-0,086	-0,078	Desvio	0,000	5%	-0,068	-0,086
Média _{Boot}	-0,010	95%	0,072	0,083	Média _{Boot}	0,000	95%	-0,057	0,048
SE	0,046	97,5%	0,088	0,093	SE	0,038	97,5%	0,066	0,056

Pesquisador 1 X Pesquisador 2	Intervalo entre o penúltimo e o último pulsos (Iúltimo)								
	Sistema 1				Sistema 2				
	Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança		Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança
Observada	-0,022	2,5%	-0,112	-0,117	Observada	-0,022	2,5%	-0,128	-0,140
Desvio	-0,001	5%	-0,093	-0,097	Desvio	-0,001	5%	-0,112	-0,118
Média _{Boot}	-0,023	95%	0,040	0,039	Média _{Boot}	-0,023	95%	0,059	0,055
SE	0,042	97,5%	0,052	0,049	SE	0,052	97,5%	0,069	0,065

Pesquisador 1 X Pesquisador 2	Intervalo de maior duração (IMax)								
	Sistema 1				Sistema 2				
	Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança		Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança
Observada	0,012	2,5%	-0,051	-0,055	Observada	-0,010	2,5%	-0,122	-0,149
Desvio	0,000	5%	-0,046	-0,048	Desvio	0,001	5%	-0,104	-0,124
Média _{Boot}	-0,012	95%	0,016	0,015	Média _{Boot}	-0,009	95%	0,071	0,058
SE	0,019	97,5%	0,021	0,019	SE	0,054	97,5%	0,084	0,070

Tabela 5.12- Continuação

Pesquisador 1 X Pesquisador 2	Taxa de repetição								
	Sistema 1				Sistema 2				
	Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança		Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança
Observada	-0,065	2,5%	-1,786	-2,124	Observada	-0,138	2,5%	-0,578	-0,574
Desvio	0,035	5%	-1,578	-1,954	Desvio	-0,005	5%	-0,525	-0,515
Média _{Boot}	-0,611	95%	0,223	0,060	Média _{Boot}	-0,143	95%	0,248	0,276
SE	0,551	97,5%	0,333	0,167	SE	0,230	97,5%	0,313	0,331

Pesquisador 1 X Pesquisador 2	Número de Pulsos								
	Sistema 1				Sistema 2				
	Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança		Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança
Observada	0	2,5%	0	NA	Observada	0	2,5%	0	NA
Desvio	0	5%	0	NA	Desvio	0	5%	0	NA
Média _{Boot}	0	95%	0	NA	Média _{Boot}	0	95%	0	NA
SE	0	97,5%	0	NA	SE	0	97,5%	0	NA

5.4- Conclusão

As comparações aqui realizadas apontaram diferenças entre os valores das variáveis dos assobios gravados por diferentes sistemas, assim como entre os valores dos parâmetros extraídos por diferentes pesquisadores. Fica claro com isso que muito cuidado deve ser tomado ao utilizar estes parâmetros de análise para comparar espécies, populações ou até mesmo diferentes comportamentos observados para uma mesma população. Até o momento, não é comum encontrar nos estudos disponíveis na literatura, informações sobre quantos pesquisadores estiveram envolvidos na extração das variáveis analisadas e sabe-se ainda que por vezes este trabalho é feito por técnicos, muitas vezes não incluídos entre os autores dos estudos. Fica evidente, portanto, que não se tem como acessar o quanto da variabilidade dos dados descritos está ligada unicamente à variação de interpretação entre diferentes pesquisadores. Para que os esforços em se descrever o repertório acústico de espécies ou populações sejam úteis para comparações, é necessário que se compreenda melhor os fatores geradores de variabilidade intrínsecos aos métodos usuais de análise e que possam surgir ferramentas de padronização. Estudos futuros, portanto, deveriam incluir em seus resultados informações acerca do número de pesquisadores envolvidos com a extração de variáveis, bem como sobre o quanto este número representa frente a variabilidade total dos dados. Quanto aos equipamentos de gravação, fica evidente a necessidade de utilização de equipamentos com as mesmas características para a gravação dos sinais destinados à comparações.

Quanto aos grasnidos, as diferenças aqui observadas estiveram relacionadas apenas à sensibilidade dos equipamentos. Entretanto, diferentemente dos assobios, não foram observadas diferenças relativas ao sistema de gravação, tampouco ao pesquisador responsável pela extração das variáveis para amostras de grasnidos selecionadas. Acredito que isso esteja ligado ao fato de que as variáveis aqui utilizadas tinham base apenas no eixo do tempo, o que reduziu por si só a possibilidade de variação. Estudos em espectro amplo de frequência, que permitissem a inclusão de variáveis neste eixo poderiam tornar mais clara esta tendência. De qualquer forma, sugiro que em estudos futuros sejam utilizadas amostras randômicas, evitando assim os efeitos da

pseudoreplicação e minimizando a perda de informações por diferenças na sensibilidade do sistema.

Apêndice 1

Tabela 5.A: Estudo de Normalidade dos assobios ($N= 23$) (*One sample Kolmogorov-Smirnov Test of Composite Normality*). Resultado significativo para $\alpha= 0,05$.

Frequência Inicial	$KS = 0,1141$	$p = 0,0049$
Frequência Final	$KS = 0,0933$	$p = 0,0468$
Frequência Mínima	$KS = 0,1365$	$p = 0,0002$
Frequência Máxima	$KS = 0,1466$	$p = 0$
Duração	$KS = 0,2298$	$p = 0$

Tabela 5.B: Estudo de Normalidade dos grasnidos ($N=$) (*One sample Kolmogorov-Smirnov Test of Composite Normality*). Resultado significativo para $\alpha= 0,05$.

Duração	$KS = 0,1443$	$p = 0,5$
I1	$KS = 0,1916$	$p = 0,5$
Iultimo	$KS = 0,2353$	$p = 0,5$
IMax	$KS = 0,2993$	$p = 0,0114$
TR	$KS = 0,1661$	$p = 0,5$

Tabela 5.C- Resultado da análise de *Bootspttrap* com 1000 replicações para os assobios gravados em cada um dos sistemas de gravação, onde “Observada” representa a média da amostra original, “Média_{Boot}” a média das médias reamostradas, “Desvio” a diferença entre “Observada” e “Média_{Boot}” e “SE” o desvio padrão do *Bootstrap*.

Sistema 1 X Sistema 2		Frequência Inicial									
		Pesquisador 1				Pesquisador 2					
		Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança		Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança	
Sistema 1	Observada	11,420	2,5%	10,180	10,210	Observada	11,440	2,5%	10,070	10,090	
Sistema 2		11,450		10,090	10,070		11,460		10,120	10,110	
Sistema 1	Desvio	0,006	5%	10,350	10,410	Desvio	-0,032	5%	10,330	10,350	
Sistema 2		0,007		10,270	10,240		0,009		10,290	10,260	
Sistema 1	Média _{Boot}	11,420	95%	12,550	12,580	Média _{Boot}	11,410	95%	12,500	12,530	
Sistema 2		11,460		12,710	12,650		11,470		12,560	12,550	
Sistema 1	SE	0,660	97,5%	12,780	12,830	SE	0,661	97,5%	12,610	12,620	
Sistema 2		0,737		12,940	12,880		0,677		12,750	12,730	
Sistema 1 X Sistema 2		Frequência Máxima									
		Pesquisador 1				Pesquisador 2					
		Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança		Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança	
Sistema 1	Observada	15,000	2,5%	13,700	13,730	Observada	14,950	2,5%	13,540	13,450	
Sistema 2		15,020		13,630	13,570		14,980		13,630	13,630	
Sistema 1	Desvio	-0,008	5%	13,880	13,900	Desvio	0,035	5%	13,770	13,680	
Sistema 2		0,028		13,900	13,810		0,033		13,840	13,850	
Sistema 1	Média _{Boot}	14,990	95%	16,170	16,180	Média _{Boot}	14,980	95%	16,190	16,050	
Sistema 2		15,050		16,180	16,140		15,010		16,170	16,190	
Sistema 1	SE	0,705	97,5%	16,450	16,500	SE	0,727	97,5%	16,410	16,270	
Sistema 2		0,690		16,370	16,330		0,706		16,350	16,360	
Sistema 1 X Sistema 2		Frequência Mínima									
		Pesquisador 1				Pesquisador 2					
		Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança		Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança	
Sistema 1	Observada	9,081	2,5%	8,162	8,166	Observada	9,032	2,5%	8,129	8,122	
Sistema 2		9,079		8,208	8,272		9,017		8,147	8,093	
Sistema 1	Desvio	-0,013	5%	8,307	8,330	Desvio	0,005	5%	8,270	8,254	
Sistema 2		-0,010		8,334	8,402		0,030		8,305	8,227	
Sistema 1	Média _{Boot}	9,068	95%	9,818	9,844	Média _{Boot}	9,036	95%	9,818	9,765	
Sistema 2		9,069		9,841	9,894		9,048		9,800	9,744	
Sistema 1	SE	0,453	97,5%	9,974	9,992	SE	0,465	97,5%	9,957	9,945	
Sistema 2		0,453		9,970	9,999		0,459		9,994	9,899	
Sistema 1 X Sistema 2		Frequência Final									
		Pesquisador 1				Pesquisador 2					
		Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança		Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança	
Sistema 1	Observada	13,700	2,5%	12,360	12,320	Observada	13,640	2,5%	12,350	12,410	
Sistema 2		13,710		12,470	12,370		13,690		12,400	12,500	
Sistema 1	Desvio	0,027	5%	12,610	12,580	Desvio	-0,014	5%	12,480	12,590	
Sistema 2		0,040		12,660	12,570		-0,009		12,620	12,720	
Sistema 1	Média _{Boot}	13,72	95%	14,880	14,820	Média _{Boot}	13,620	95%	14,840	14,940	
Sistema 2		13,75		14,800	14,730		13,680		14,750	14,850	
Sistema 1	SE	0,068	97,5%	15,090	15,050	SE	0,701	97,5%	15,040	15,180	
Sistema 2		0,066		14,990	14,930		0,664		15,040	15,150	

Tabela 5.C- Continuação

Sistema 1 X Sistema 2		Pesquisador 1				Duração		Pesquisador 2		Lin coi
		Média		Porcentagem empírica	Limites de confiança		Média	Média	Porcentagem empírica	
Sistema 1	Observada	609,000	2,5%	481,100	479,400	Observada	607,200	2,5%	481,700	48
Sistema 2		612,700		488,600	472,600		609,400		475,500	47
Sistema 1	Desvio	0,147	5%	498,800	494,500	Desvio	0,870	5%	504,400	50
Sistema 2		3,513		509,000	497,000		-5,925		492,300	49
Sistema 1	Média _{Boot}	609,100	95%	715,600	713,400	Média _{Boot}	608,100	95%	715,400	71
Sistema 2		616,300		722,500	710,400		603,400		708,900	71
Sistema 1	SE	66,720	97,5%	730,800	727,400	SE	63,970	97,5%	729,900	72
Sistema 2		66,040		741,400	731,600		65,220		731,000	73

Tabela 5.D- Resultado da análise de *Bootspttrap* com 1000 replicações para os assobios analisados por diferentes autores, onde “Observada” representa a média da amostra original, “Média_{Boot}” a média das médias reamostradas, “Desvio” a diferença entre “Observada” e “Média_{Boot}” e “SE” o desvio padrão do *Bootstrap*.

Pesquisador 1 X Pesquisador 2		Frequência Inicial							
		Sistema 1				Sistema 2			
		Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança	Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança
Pesquisador 1	Observada	11,460	2,5%	10,150	10,180	Observada	11,440	2,5%	10,140
Pesquisador 2		11,450		10,100	10,150		11,420		10,090
Pesquisador 1	Desvio	-0,020	5%	10,330	10,380	Desvio	0,014	5%	10,360
Pesquisador 2		-0,032		10,270	10,330		-0,006		10,240
Pesquisador 1	Média _{Boot}	11,440	95%	12,560	12,620	Média _{Boot}	11,460	95%	12,600
Pesquisador 2		11,420		12,550	12,590		11,410		12,590
Pesquisador 1	SE	0,680	97,5%	12,750	12,780	SE	0,669	97,5%	12,780
Pesquisador 2		0,696		12,770	12,820		0,707		12,840

Pesquisador 1 X Pesquisador 2		Frequência Máxima							
		Sistema 1				Sistema 2			
		Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança	Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança
Pesquisador 1	Observada	14,980	2,5%	13,620	13,700	Observada	14,950	2,5%	13,530
Pesquisador 2		15,020		13,740	13,710		15,000		13,660
Pesquisador 1	Desvio	-0,005	5%	13,860	13,920	Desvio	-0,028	5%	13,680
Pesquisador 2		0,015		13,870	13,840		0,045		13,810
Pesquisador 1	Média _{Boot}	14,970	95%	16,160	16,220	Média _{Boot}	14,920	95%	16,160
Pesquisador 2		15,030		16,180	16,170		15,040		16,260
Pesquisador 1	SE	0,714	97,5%	16,470	16,470	SE	0,734	97,5%	16,380
Pesquisador 2		0,689		16,380	16,380		0,725		16,530

Pesquisador 1 X Pesquisador 2		Frequência Mínima							
		Sistema 1				Sistema 2			
		Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança	Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança
Pesquisador 1	Observada	9,017	2,5%	8,076	8,055	Observada	9,032	2,5%	8,231
Pesquisador 2		9,079		8,195	8,225		9,081		8,159
Pesquisador 1	Desvio	-0,011	5%	8,214	8,205	Desvio	0,010	5%	8,329
Pesquisador 2		-0,005		8,346	8,367		0,000		8,372
Pesquisador 1	Média _{Boot}	9,006	95%	9,748	9,711	Média _{Boot}	9,042	95%	9,744
Pesquisador 2		9,074		9,827	9,844		9,081		9,789
Pesquisador 1	SE	0,455	97,5%	9,869	9,855	SE	0,4323	97,5%	9,9
Pesquisador 2		0,452		9,97	9,988		0,4338		9,902

Pesquisador 1 X Pesquisador 2		Frequência Final							
		Sistema 1				Sistema 2			
		Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança	Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança
Pesquisador 1	Observada	13,690	2,5%	12,350	12,430	Observada	13,640	2,5%	12,360
Pesquisador 2		13,710		12,480	12,480		13,700		12,450
Pesquisador 1	Desvio	-0,007	5%	12,640	12,690	Desvio	0,036	5%	12,590
Pesquisador 2		0,0194		12,630	12,630		0,011		12,660
Pesquisador 1	Média _{Boot}	13,680	95%	14,740	14,770	Média _{Boot}	13,670	95%	14,790
Pesquisador 2		13,730		14,830	14,820		13,710		14,780
Pesquisador 1	SE	0,649	97,5%	14,860	14,930	SE	0,663	97,5%	15,010
Pesquisador 2		0,661		15,150	15,150		0,648		15,050

Pesquisador 1 X Pesquisador 2		Duração							
		Sistema 1				Sistema 2			
		Média		Porcentagem empírica	Limites de confiança	Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança
Pesquisador 1	Observada	609,400	2,5%	484,600	485,300	Observada	607,200	2,5%	482,300
Pesquisador 2				488,000	472,900		609,000		480,300
Pesquisador 1	Desvio	-2,302	5%	498,500	501,300	Desvio	2,057	5%	505,600
Pesquisador 2		2,397		508,300	493,400		0,182		502,100
Pesquisador 1	Média _{Boot}	607,100	95%	708,100	708,900	Média _{Boot}	609,300	95%	720,600
Pesquisador 2		615,100		717,700	708,300		609,100		716,200

Tabela 5.E- Resultado da análise de Bootsptrap com 1000 replicações, para comparação entre sistemas, para cada uma das variáveis analisadas, onde “Observada” representa a média da amostra original, “Média_{Boot}” a média das médias reamostradas, “Desvio” a diferença entre “Observada” e “Média_{Boot}” e “SE” o desvio padrão do *Bootstrap*.

Sistema 1 X Sistema 2		Duração									
		Pesquisador 1				Pesquisador 2					
		Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança			Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança
Sistema 1	Observada	96,520	2,5%	71,010	73,090	Observada	96,460	2,5%	72,280	74,710	
Sistema 2		96,580		72,350	74,990		96,560		74,520	74,420	
Sistema 1	Desvio	0,106	5%	74,760	76,650	Desvio	0,339	5%	76,730	78,010	
Sistema 2		-0,386		75,140	77,740		1,377		77,960	76,610	
Sistema 1	Média _{Boot}	96,630	95%	119,100	120,600	Média _{Boot}	96,800	95%	119,300	121,000	
Sistema 2		96,200		119,500	123,700		97,940		120,800	119,900	
Sistema 1	SE	13,330	97,5%	122,000	125,400	SE	13,190	97,5%	123,800	126,300	
Sistema 2		13,320		123,900	128,000		13,280		124,300	123,800	
Sistema 1 X Sistema 2		Intervalo entre o primeiro e o segundo pulsos (I1)									
		Pesquisador 1				Pesquisador 2					
		Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança			Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança
Sistema 1	Observada	2,094	2,5%	1,678	1,731	Observada	2,084	2,5%	1,670	1,722	
Sistema 2		2,131		1,747	1,789		2,131		1,755	1,814	
Sistema 1	Desvio	-0,007	5%	1,743	1,780	Desvio	0,004	5%	1,740	1,785	
Sistema 2		-0,001		1,807	1,844		-0,011		1,804	1,863	
Sistema 1	Média _{Boot}	2,087	95%	2,482	2,556	Média _{Boot}	2,088	95%	2,476	2,533	
Sistema 2		2,130		2,472	2,513		2,120		2,481	2,594	
Sistema 1	SE	0,0228	97,5%	2,582	2,642	SE	0,223	97,5%	2,546	2,636	
Sistema 2		0,201		2,572	2,571		0,203		2,555	2,679	
Sistema 1 X Sistema 2		Intervalo entre o penúltimo e o último pulsos (Iúltimo)									
		Pesquisador 1				Pesquisador 2					
		Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança			Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança
Sistema 1	Observada	3,673	2,5%	2,124	2,352	Observada	3,651	2,5%	2,184	2,290	
Sistema 2		3,493		1,958	2,182		3,471		1,981	2,150	
Sistema 1	Desvio	-0,009	5%	2,230	2,449	Desvio	0,048	5%	2,262	2,374	
Sistema 2		-0,046		2,286	-0,024		2,063		2,230		
Sistema 1	Média _{Boot}	3,663	95%	5,798	6,934	Média _{Boot}	3,699	95%	5,700	6,084	
Sistema 2		3,446		2,053	6,656		3,447		5,613	6,785	
Sistema 1	SE	1,106	97,5%	6,084	7,154	SE	1,032	97,5%	5,981	6,901	
Sistema 2		1,069		5,621	7,060		1,085		5,818	7,821	
Sistema 1 X Sistema 2		Intervalo de maior duração (IMax)									
		Pesquisador 1				Pesquisador 2					
		Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança			Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança
Sistema 1	Observada	4,444	2,5%	2,660	2,944	Observada	4,432	2,5%	2,783	2,949	
Sistema 2		4,307		2,570	2,774		4,297		2,527	2,840	
Sistema 1	Desvio	-0,021	5%	2,813	3,121	Desvio	0,047	5%	2,907	3,071	
Sistema 2		0,039		2,736	2,915		-0,019		2,676	2,980	
Sistema 1	Média _{Boot}	4,423	95%	6,346	7,125	Média _{Boot}	4,479	95%	6,343	6,929	
Sistema 2		4,346		6,349	6,922		4,278		6,225	7,400	
Sistema 1	SE	1,074	97,5%	6,751	7,703	SE	1,069	97,5%	6,676	7,653	
Sistema 2		1,115		6,830	7,480		1,116		6,746	8,373	

Tabela 5.E- Continuação

Sistema 1 X Sistema 2		Taxa de repetição								
		Pesquisador 1				Pesquisador 2				
		Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança		Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança
Sistema 1	Observada	498,300	2,5%	422,600	443,200	Observada	497,700	2,5%	440,800	441,900
Sistema 2		496,900		442,400	443,800		496,800		442,200	444,300
Sistema 1	Desvio	0,331	5%	451,500	451,200	Desvio	-0,406	5%	449,400	449,800
Sistema 2		0,020		447,900	449,200		0,921		450,000	450,400
Sistema 1	Média _{Boot}	498,700	95%	549,700	549,300	Média _{Boot}	497,300	95%	549,200	550,700
Sistema 2		496,900		545,800	546,700		497,700		546,600	548,700
Sistema 1	SE	29,900	97,5%	560,000	560,700	SE	30,190	97,5%	560,100	561,200
Sistema 2		29,940		552,400	555,600		29,830		559,200	560,900
Sistema 1 X Sistema 2		Número de pulsos								
		Pesquisador 1				Pesquisador 2				
		Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança		Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança
Sistema 1	Observada	45,500	2,5%	35,600	35,520	Observada	45,500	2,5%	36,490	36,770
Sistema 2		45,600		35,800	36,170		45,600		36,700	36,080
Sistema 1	Desvio	0,227	5%	37,100	37,000	Desvio	0,244	5%	37,500	37,800
Sistema 2		-0,145		37,000	37,400		0,353		37,800	37,220
Sistema 1	Média _{Boot}	45,730	95%	53,800	53,420	Média _{Boot}	45,520	95%	54,200	54,880
Sistema 2		45,460		54,500	54,8700		45,950		54,600	53,790
Sistema 1	SE	5,048	97,5%	55,700	55,590	SE	5,124	97,5%	56,000	56,200
Sistema 2		5,328		56,100	56,800		5,132		56,200	55,500

Tabela 5.F- Resultado da análise de Bootstrap com 1000 replicações, para comparação entre sistemas, para cada uma das variáveis analisadas. As linhas em azul apontam os resultados significativos, onde “Observada” representa a média da amostra original, “Média_{Boot}” a média das médias reamostradas, “Desvio” a diferença entre “Observada” e “Média_{Boot}” e “SE” o desvio padrão do *Bootstrap*.

Pesquisador 1 X Pesquisador2		Duração								
		Sistema1				Sistema 2				
		Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança		Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança
Pesquisador 1	Observada	96,460	2,5%	72,030	73,470	Observada	96,560	2,5%	71,690	73,350
Pesquisador 2		96,520		72,930	74,890		96,580		71,440	74,570
Pesquisador 1	Desvio	0,506	5%	76,060	76,810	Desvio	-0,090	5%	75,110	76,420
Pesquisador 2		0,034		75,740	78,400		-0,172		75,300	77,530
Pesquisador 1	Média _{Boot}	96,960	95%	120,200	122,300	Média _{Boot}	96,470	95%	119,900	122,100
Pesquisador 2		96,560		118,300	121,400		96,410		119,200	123,100
Pesquisador 1	SE	13,600	97,5%	125,300	128,400	SE	13,350	97,5%	124,300	125,800
Pesquisador 2		12,940		123,500	128,100		13,520		123,500	128,100
Pesquisador 1 X Pesquisador2		Intervalo entre o primeiro e o segundo pulsos (I1)								
		Sistema1				Sistema 2				
		Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança		Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança
Pesquisador 1	Observada	2,084	2,5%	1,694	1,734	Observada	2,131	2,5%	1,739	1,784
Pesquisador 2		2,094		1,695	1,732		2,131		1,734	1,775
Pesquisador 1	Desvio	0,004	5%	1,748	1,774	Desvio	-0,005	5%	1,810	1,842
Pesquisador 2		-0,003		1,742	1,773		-0,003		1,810	1,834
Pesquisador 1	Média _{Boot}	2,089	95%	2,484	2,519	Média _{Boot}	2,126	95%	2,472	2,528
Pesquisador 2		2,091		2,466	2,525		2,127		2,455	2,496
Pesquisador 1	SE	0,224	97,5%	2,565	2,638	SE	0,203	97,5%	2,552	2,622
Pesquisador 2		0,219		2,542	2,604		0,198		2,523	2,577
Pesquisador 1 X Pesquisador2		Intervalo entre o penúltimo e o último pulsos (Iúltimo)								
		Sistema1				Sistema 2				
		Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança		Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança
Pesquisador 1	Observada	3,651	2,5%	2,190	2,374	Observada	3,471	2,5%	2,036	2,198
Pesquisador 2		3,673		2,200	2,323		3,493		1,960	2,159
Pesquisador 1	Desvio	-0,041	5%	2,274	2,463	Desvio	-0,001	5%	2,094	2,261
Pesquisador 2		0,088		2,282	2,417		-0,032		2,054	2,264
Pesquisador 1	Média _{Boot}	3,610	95%	5,767	6,918	Média _{Boot}	3,470	95%	5,607	6,754
Pesquisador 2		3,761		5,769	6,200		3,461		5,614	6,230
Pesquisador 1	SE	1,087	97,5%	6,024	7,293	SE	1,081	97,5%	5,896	6,964
Pesquisador 2		1,077		6,064	6,956		1,075		5,891	7,130
Pesquisador 1 X Pesquisador2		Intervalo de maior duração (IMax)								
		Sistema1				Sistema 2				
		Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança		Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança
Pesquisador 1	Observada	4,432	2,5%	2,635	2,930	Observada	4,297	2,5%	2,608	2,894
Pesquisador 2		4,444		2,763	2,973		4,307		2,575	2,759
Pesquisador 1	Desvio	-0,021	5%	2,834	3,058	Desvio	-0,044	5%	2,760	3,030
Pesquisador 2		0,027		2,863	3,138		0,052		2,695	2,953
Pesquisador 1	Média _{Boot}	4,411	95%	6,347	7,172	Média _{Boot}	4,253	95%	6,188	7,402
Pesquisador 2		4,471		6,435	7,090		4,359		6,429	7,209
Pesquisador 1	SE	1,105	97,5%	6,933	7,775	SE	1,074	97,5%	6,587	8,144
Pesquisador 2		1,074		6,873	7,804		1,149		7,012	7,691

Tabela 5.F- Continuação

Pesquisador 1 X Pesquisador2		Taxa de repetição									
		Média	Média	Sistema1 Porcentagem empírica	Limites de confiança		Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança	
Pesquisador 1	Observada	497,700	2,5%	440,700	442,900		Observada	496,800	2,5%	438,400	442,600
Pesquisador 2		498,300		439,700	443,300			496,900		438,300	440,600
Pesquisador 1	Desvio	-0,781	5%	447,300	451,100		Desvio	-0,836	5%	448,000	453,200
Pesquisador 2		0,452		449,100	450,400			0,205		449,800	452,000
Pesquisador 1	Média _{Boot}	496,900	95%	547,800	552,200		Média _{Boot}	495,900	95%	546,600	549,600
Pesquisador 2		498,800		548,600	549,800			497,100		548,200	550,500
Pesquisador 1	SE	31,010	97,5%	558,200	560,500		SE	29,800	97,5%	555,000	560,700
Pesquisador 2		30,870		557,900	562,600			29,290		555,300	558,600

Pesquisador 1 X Pesquisador2		Número de pulsos									
		Média	Média	Sistema1 Porcentagem empírica	Limites de confiança		Média	Média	Porcentagem empírica	Limites de confiança	
Pesquisador 1	Observada	45,500	2,5%	36,200	36,400		Observada	45,600	2,5%	35,600	35,700
Pesquisador 2		45,500		36,000	36,670			45,600		35,500	36,760
Pesquisador 1	Desvio	0,024	5%	37,200	37,720		Desvio	0,096	5%	37,100	37,170
Pesquisador 2		-0,147		37,400	38,100			-0,607		36,600	38,300
Pesquisador 1	Média _{Boot}	45,520	95%	53,800	54,100		Média _{Boot}	45,700	95%	54,500	54,500
Pesquisador 2		45,35		53,800	54,600			44,990		54,100	55,300
Pesquisador 1	SE	5,000	97,5%	55,500	55,800		SE	5,219	97,5%	56,110	56,540
Pesquisador 2		5,091		55,800	56,300			5,136		55,200	56,870

Capítulos 6

Considerações Finais

6.1 Considerações Finais

Este trabalho dividiu-se em três partes: a primeira parte consistiu na descrição dos assobios e grasnidos emitidos pela população de golfinhos-rotadores de Fernando de Noronha; a segunda, na comparação entre grasnidos emitidos em diferentes situações, buscando compreender o uso destas emissões nos grupos de acasalamento; por fim, a terceira consistiu numa avaliação da influência dos métodos de análise utilizados sobre a variabilidade das emissões anteriormente descritas.

Iniciei a análise dos dados utilizando amostras contínuas, isto é, incluí nas análises todas as amostras que demonstravam qualidade espectral suficiente para a extração das variáveis, como se pode observar no artigo que publiquei durante o período de elaboração da tese (CAMARGO *et al.* 2006). Entretanto, os golfinhos-rotadores, assim como alguns outros delfínídeos também estudados, produzem assobios sequenciais que podem representar assobios-assinatura, já descritos no início deste trabalho. Como pretendi descrever uma quantidade de amostras que representassem as emissões de toda a população, incluir na análise assobios sequenciais idênticos emitidos por um mesmo indivíduo seria um erro claro de pseudoreplicação. Desta forma, todas as análises foram refeitas, tanto para os assobios quanto para os grasnidos, de modo a incluir apenas amostras aleatórias, o que evitaria a pseudoreplicação, comum nos estudos anteriores.

Nos caso dos grasnidos, procurei também utilizar variáveis conservativas, primariamente expressas em função do tempo, na tentativa de evitar erros decorrentes da direcionalidade destes sinais, previamente descrita na literatura. Como não existem estudos anteriores de natureza semelhante, não sabemos quanto do total destas emissões pôde ser representado neste estudo, uma vez que este esteve restrito à faixa audível. Entretanto, acredito que, por um lado, a dificuldade em explorar outros aspectos dos grasnidos tem limitado o alcance da maior parte dos estudos conduzidos até o momento, por outro as iniciativas requerem o uso de metodologias criativas e que possibilitem projetar algumas possíveis funções para esse tipo de emissão. Neste sentido, pude então avaliar a possível correlação dos grasnidos com contextos sociais específicos associados ao comportamento de corte e, desta forma, corroborar a idéia de que os grasnidos são sinais sociais, usados intensamente em contextos agonísticos.

Acredito, portanto, que consegui fornecer dados representativos das emissões sonoras produzidas pela população de golfinhos-rotadores de Fernando de Noronha, o que servirá para estudos futuros sobre o detalhamento da função social destes sinais, assim como será de grande valia para futuros estudos de comparações entre populações. Ao identificar padrões de variação geográfica das emissões sonoras dos golfinhos-rotadores, os pesquisadores serão capazes de compreender melhor os possíveis fatores geradores desta variabilidade, sejam estes ligados à genética, ao aprendizado ou a características estruturais de cada população. Caso estas variações estejam ligadas claramente ao fluxo gênico, por exemplo, este conhecimento poderá contribuir na elucidação do status taxonômico da espécie, inapropriado até o momento, de populações e presumidas subespécies.

Por fim, elaborei uma análise crítica sobre um ponto que considere comum nos estudos bioacústicos de pequenos cetáceos: a necessidade tanto de padronização instrumental para a coleta de dados em futuros trabalhos, como a definição de um protocolo de inspeção e análise computacional para reduzir os desvios resultantes do emprego de dois ou mais analistas sobre a mesma base contínua de dados. Neste quesito, estou convicta que os meus resultados permitirão aos pesquisadores da área ponderarem adequadamente sobre a necessidade de descrever a estrutura de esforço de análise para facilitar ou mesmo robustecer posteriores comparações de seus resultados com outras populações ou áreas geográficas.

Resumo

O conhecimento acerca das vocalizações dos odontocetos é extremamente heterogêneo e concentra-se principalmente nas espécies mantidas em cativeiro. Neste estudo, descrevo quantitativamente parte do repertório vocal dos golfinhos-rotadores, *Stenella longirostris*, que vivem ao redor do Arquipélago de Fernando de Noronha, subdividido nos seguintes elementos: assobios, grasnidos emitidos na faixa audível e grasnidos emitidos pelos machos durante a corte. Além disso, avaliei a influência tanto dos diferentes sistemas de gravação e análise de dados, quanto da escolha, interpretação e extração de variáveis por diferentes pesquisadores na variabilidade dos assobios e grasnidos emitidos por golfinhos-rotadores. Para avaliar a variabilidade dos assobios desta população de golfinhos-rotadores, uma série de análises quantitativas foi conduzida. Nove variáveis foram extraídas de cada contorno de assobio selecionado aleatoriamente. Os valores médios observados foram muito similares àqueles reportados por OSWALD *et al.* (2003) para golfinhos-rotadores do Oceano Pacífico Tropical Oriental e apresentaram diferença significativa apenas em relação a frequência máxima dos assobios. Com relação aos grasnidos, amostras foram selecionadas aleatoriamente e destas foram extraídas oito variáveis. Uma série de análises quantitativas foram então conduzidas para avaliar a variabilidade destas emissões. Os valores obtidos para cada uma das variáveis diferiram dos valores previamente reportados para a espécie, mas as razões para esta variação são ainda desconhecidas. Na busca de indícios sobre a função dos grasnidos no comportamento reprodutivo, eu dividi os grasnidos gravados em duas categorias: corte e não-corte. Grasnidos de corte foram aqueles sons gravados na presença de grupos de golfinhos compostos por uma ou duas fêmeas e por vários machos, engajados em comportamento de corte. Grasnidos de não-corte eram todos aqueles gravados em outros comportamentos ou situações. Os resultados obtidos mostraram diferenças significativas entre as duas categorias tanto nas análises univariadas, quanto na Análise Discriminante (*AD*), pelo menos quanto à duração e ao número de pulsos. Além disso, a *AD* mostrou que 98% das amostras foram corretamente classificadas nessas categorias. Estes resultados reforçam a idéia de que os grasnidos são usados em contextos sociais, especialmente em situações aflitivas e exaltam a importância da identificação do emissor dos sinais, assim como o uso de equipamentos de gravação de amplo espectro de frequência. Por fim, realizei uma série de testes para avaliar a metodologia de gravação e análise de sons. Para isso, gravei as emissões utilizando dois sistemas distintos de gravação, ambos com taxa de amostragem de 48 kHz. Além disso, dois pesquisadores diferentes extraíram as variáveis de um mesmo grupo de amostras e os resultados obtidos para cada pesquisador, bem como para cada sistema foram comparados. Os resultados mostraram que, para os assobios, houve diferenças significativas entre as análises de cada pesquisador, quanto à variáveis frequência mínima, frequência final e duração. Ao comparar os resultados obtidos pelos diferentes sistemas de gravação, notei que a duração apresentou diferenças significativas. Quanto aos grasnidos, notei uma diferença significativa no número de amostras de qualidade gravadas por cada um dos sistemas de gravação. Entretanto, as amostras gravadas em ambos os sistemas não apresentaram diferenças significativas em nenhuma das variáveis extraídas, tampouco foram observadas diferenças entre os diferentes pesquisadores. Acredito que o conhecimento gerado aqui contribuirá para uma melhor compreensão dos padrões de variação da espécie e servirá como base para uma série de outros estudos comparativos.

Abstract

Knowledge on odontocete vocalizations is extremely heterogeneous and centered mainly in those species kept in captivity. In this study, I describe quantitatively part of the vocal repertoire of the spinner dolphin, *Stenella longirostris*, from Fernando de Noronha Archipelago, off Brazil, subdivided in the following elements: whistles, burst-pulses emitted in the aural range, and burst-pulses emitted by males during courtship. Furthermore, I evaluated the influence of different recording and analysis systems, and the choice, interpretation and extraction of the acoustic variables by different researchers in the variability of whistles and burst-pulses emitted by spinner dolphins. To evaluate the variability of whistles emitted by this population, a series of quantitative analyses was conducted. Nine variables were extracted from each randomly selected whistle contour. The mean values observed were very similar to those reported by OSWALD *et al.* (2003) for the spinner dolphins from Eastern Tropical Pacific and presented significant differences only in relation to the maximum frequency of the whistles. I extracted eight variables from randomly selected burst-pulsed sound samples. A series of quantitative analyses were conducted to evaluate the variability of these emissions. The values obtained from each of the variables differed from previously data reported for the species, but the reasons to this variation are still unknown. In the search of any signs of burst-pulse functions in reproductive behaviors, I divided the recorded burst-pulses in two categories: court and no-court pulses. Court bursts were those sounds recorded in the presence of groups of dolphins composed by one or two females and several males, engaged in courtship behavior. No-court bursts were all those recorded in other behaviors or situations. The results showed significant differences between the two categories in univariate analysis and also in the Discriminant Function Analysis (*DFA*). The *DFA* also showed that 98% of the samples were correctly classified in these categories. These results reinforce the idea that burst-pulsed sounds are used in social contexts, specially in affiliative situations, and exalt the importance of identifying the signal emitter, as well as using wide frequency capable recording equipment. Finally, I performed a series of tests to evaluate the methodology of recording and sound analysis. To achieve this, I recorded the sound emissions using two different recording systems, both with sample rate of 48 kHz. Furthermore, two researchers extracted the variables of a group of samples, and the results from each researcher and each recording system were compared. Taking into account the whistles, the results showed that there were significant differences between the researchers on duration, minimum and final frequencies recorded. I compared the results obtained by different recording systems and noticed that the sound duration presented significant differences. With respect to burst-pulses, I noticed a significant difference in the number of samples with quality recorded by each of the recording systems. However, the samples recorded in both systems didn't show any difference in none of the extracted variables, nor there were observed differences between researchers. I believe that the knowledge produced here will contribute to the comprehension of variation patterns, and will also serve as a basis to further comparative studies.

- AKIN, P. A., 1988. Geographic variation in tooth morphology and dentinal patterns in the spinner dolphin, *Stenella longirostris*. **Marine Mammal Science** 4 (2): 132-140.
- ALMEIDA, F. F. M. 2006. Ilhas oceânicas brasileiras e sua relação com a tectônica atlântica. **Terra e Didática** 2(1): 3-18.
- AMUNDIN, M. 1991. **Sound production in odontocetes with emphasis on the harbor porpoise (*Phocoena phocoena*)**. Phd. Dissertation, University of Stockholm, Sweden, 128 p.
- ANSMANN, I. C.; GOOLD, J. C.; EVANS, P. G. H.; SIMMONDS, M.; KEITH, S. G. 2007. 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** 87: 19-26.
- ARRAUT, E. M.; VIELLIARD, J. M. E. 2004. The song of the Brazilian population of Humpback Whale *Megaptera novaeangliae*, in the year 2000: individual song variations and possible implications. **Anais da Academia Brasileira de Ciências** 76 (2): 373-380.
- AZEVEDO, A. F.; DALLA ROSA, L.; LAILSSON-BRITO, J. 2007. Characteristics of the whistles from resident bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in southern Brazil. **Journal of the Acoustical Society of America** 121 (5): 2978-2983.
- AZEVEDO, A. F.; VAN SLUYS, M. 2005. Whistles of tucuxi dolphins (*Sotalia fluviatilis*) in Brazil: Comparisons among populations. **Journal of the Acoustical Society of America** 117 (3): 1456-1464.
- AU, W. 1993. **The sonar of dolphins**. New York: Springer- Verlag, 277 p.
- AU, W. W. L. 2000. Echolocation. In: PERRIN, W. F.; WURSIG, B.; THEWISSEN, J. G. M. (Eds). **Encyclopedia of Marine Mammals**. San Diego, Academic Press: 358- 367.
- BARLOW, J. 1984. Reproductive seasonality in pelagic dolphins (*Stenella* spp.): Implications for measuring rates. **Reports of the International Whaling Commission** (Special Issue 6): 191-198.

- BARRET-LENNARD, L. G.; FORD, J. K. B.; HEISE, K. A. 1996. The mixed blessing of echolocation: differences in sonar use by fish-eating and mammal-eating killer whales. **Animal Behaviour** 51: 553-565.
- BAZÚA-DURÁN, C. 2004. differences in the whistle characteristics and repertoire of bottlenose and spinner dolphins. **Anais da Academia Brasileira de Ciências** 76 (2): 386-392.
- BAZÚA-DURÁN, C.; AU, W. L. 2002. The whistles of Hawaiian spinner dolphins. **Journal of the Acoustical Society of America** 112 (6): 3064-3072.
- BAZÚA-DURÁN, C. & AU, W. L. 2004. Geographic variations in the whistles of spinner dolphins (*Stenella longirostris*) of main Hawaiian Islands. **Journal of the Acoustical Society of America** 116 (6): 3757-3769.
- BAZÚA-DURÁN, C.; AU, W. L. 2001. Geographic Variation in the whistles of spinner dolphins (*Stenella longirostris*). **14th Bienal Conference on the Biology of Marine Mammals**. Vancouver, The Society for Marine Mammalogy (Abstract). p. 147.
- BAZÚA-DURÁN, C.; AU, W. L.; OSWALD, J. N. 2003. Possible reasons for the geographic variations in the whistles of spinner dolphins (*Stenella longirostris*) of the Pacific Ocean. **17th Conference of the European Cetacean Society**. Las Palmas de Gran Canaria (Abstract).
- BIGG, M. A.; OLESIUK, P. F.; ELLIS, G. M. 1990. Social organization and genealogy of resident killer whales (*Orcinus orca*) in the coastal waters of British Columbia and Washington State. **Reports of the International Whaling Commission** (Spec. Issue 12): 383-405.
- BLOMQUIST, C., AMUNDIN, M. 2004. High frequency burst-pulsed sounds in acoustic/aggressive interactions in bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*. In: **Echolocation in Bats and Dolphins**. THOMAS, J. J.; MOSS, C. F.; VATER, M. (Eds). Chicago, The University of Chicago Press: 425-431.
- BLOMQUIST, C.; MELLO, I.; AMUNDIN, M. 2005. An acoustic play-fight signal in bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in human care. **Aquatic Mammals** 31 (2): 187-194.
- BOX, G. E. P. 1949. A general distribution theory for a class of likelihood criteria. **Biometrika** 36: 317-349.
- BOX, G. E. P. 1950. Problems in the analysis of growth and weier curves. **Biometrika** 6: 362-389.

- BREATHNACH, A. S. 1960. The cetacean central nervous system. **Biological Reviews** 35: 187-230.
- BROWN, M. R.; CORKERON, P. J. 1995. Pod characteristics of migrating humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) off the east Australian coast. **Behaviour** 132:163-179.
- CALDWELL, M. C.; CALDWELL, D. K. 1965. Individualized whistle contours in bottlenosed dolphins (*Tursiops truncatus*). **Nature** 207: 435-435.
- CALDWELL, M. C., CALWELL, D. K. 1967. Intraspecific transfer of informations via pulsed sounds in captive odontocete cetaceans. In: **Animal Sonar Systems, Biology and Bionics**. Busnel, R. G. (Ed.). Laborative de Physiologie Acoustique, Jouy-en-Josas, France: 879-936.
- CALDWELL, D. K., CALWELL, M. C. 1971. Underwater pulsed sounds produced by captive spotted dolphins, *Stenella plagiodon*. **Cetology** 1: 1-7.
- CALDWELL, M. C.; CALDWELL, D. K.; TOWNSEND, B. G. Jr. 1968. Social behavior as a husbandry factor. In: **Symposium of disease and husbandry of aquatic mammals**. CALDWELL, D. K.; CALDWELL, M. C. (Eds). p. 1-9.
- CALDWELL, M. C.; CALDWELL, D. K.; MILLER, J. F. 1973. Statistical evidence for individual signature whistles in spotted dolphin, *Stenella plagiodon*. **Cetology** 16: 1-21.
- CALDWELL, M. C.; CALDWELL, D. K.; TYACK, P. L. 1990. A review of the signature whistles hypothesis for the Atlanntic bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*. In: **The bottlenose dolphin**. S. Leatherwood; R. R. Reeves (eds). San Diego, Academic Press: 199-234 .
- CAMARGO, F. S.; ROLLO JR., M. M.; GIAMPAOLI, V.; BELLINI, C. 2006. Whistle variability in South Atlantic spinner dolphins from the Fernando de Noronha Archipelago off Brazil. **Journal of the Acoustical Society of America** 120 (6): 4071-4079.
- CASTELLO, H. P.; BARCELLOS, L. 1986. Primero registro del delfin rotador *Stenella longirostris* (Cetacea, Delphinidae) para la Isla Fernando de Noronha. In: **1o Reunión de Trabajos de Expertos en Mamíferos Acuáticos de América del Sur**. CASTELLOS, H. P. (Ed). Buenos Aires, Museo Argentino de Ciencias Naturales “Bernardino Rivadavia”y Fundación Australis (Actas): 56-70.
- CLARK, C. W. 1989. Call tracks of bowhead whales based on call characteristics as an independent means of determining tracking parameters. **Reports of the International Whaling Commision** 39: 111-112.

- CONNOR, R. C.; SMOLKER, R. A. 1996. 'Pops' goes the dolphin: a vocalization male bottlenose dolphin produce during consortship. **Behaviour** 133: 643-662.
- CORKERON, P. J.; VAN PARIJS, S. M. 2001. Vocaliztions of Eastern Australian Rissosss dolphins, *Grampus griseus*. **Canadian Journal of Zoology** 79 (1): 160-164.
- CRAIG, M. T.; HASTINGS, P. A.; PONDELLA, D. J. 2004. Speciation in Central American Seaway: the importance of taxon sampling in the identification of trans-isthmian geminate pairs. **Journal of Biogeography** 31: 1085-1091.
- CRAIG, M. T.; HASTINGS, P. A.; PONDELLA, D. J.; ROSS ROBERTSON, D.; ROSALES-CASIÁN, J. A. 2006. Phylogeography of the flag cabrilla *Ephinephelus labriformis* (Serranidae): Implications for the biogeography of the Tropical Eastern Pacific and the early stages of speciation in a marine shore fish. **Journal of Biogeography** 33: 969-979.
- DARLING, J. B.; BERUBE, M. 2001. Interactions of singing humpback whales with other males. **Marine Mammal Science** 17: 570-584.
- DAWSON, S. M.; THORPE, C. W. 1990. A quantitative analysis of the vocalizations of Hectors dolphin. **Ethology** 86:131-145.
- DAWSON, S. M. 1991. Clicks and communication: the behavioural and social contexts of Hectors dolphin vocalizations. **Ethology** 88: 265-276.
- DEECKE, V. B.; FORD, J. K. B.; SPONG, P. 2000. Dialect change in resident killer whales (*Orcinus orca*): Implications for vocal learning and cultural transmission. **Animal Behaviour** 60: 629-638.
- DOUGLAS, M.E.; ENDLER, J.A. 1986. Variation in spinner dolphin (*Stenella longirostris*) from the eastern tropical Pacific Ocean: sexual dimorphism in cranial morphology. **Journal of Mammalogy** 67: 537-544.
- DOUGLAS, M. E.; SCHNELL, G. D.; HOUGH, D. J.; PERRIN, W. F. 1992. Geographic variation in cranial morphology of spinner dolphins *Stenella longirostris* in the Eastern Tropical Pacific Ocean. **Fishery Bulletin** 90: 54-76.
- DRISCOLL, A. D. (1995). **The whistles of Hawaiian spinner dolphins**, *Stenella longirostris*. Tese de mestrado. University of California at Santa Cruz.
- EFRON, B. (1979). Bootstrap methods: another look at the jackknife. **Annals of Statistics** 7: 1-26.

- FARRO, A. P. C.; ROLLO, M. M. JR; SILVA, J. M. JR; MARINO, C. L. 2005. Skin sampling for genetic analysis of a South Atlantic spinner dolphin (*Stenella longirostris*) population. In: **16th Biennial Conference on Biology of Marine Mammals**. San Diego, CA.
- ELLISON, W. T.; CLARK, C. W., BISHOP, G. C. 1987. Potencial of surface reverberation by bowhead whale, *Balaena mysticetus*, in under-ice navigation. **Reports of the International Whaling Commission** 37: 329-332.
- ESTON, R.; MIGOTTO, A. E.; OLIVEIRA FILHO, E. C.; RODRIGUES, S. A.; FREITAS, J. C. 1986. Vertical distribution of benthic marine organisms on rocks coasts of the Fernando de Noronha Archipelago (Brasil). **Boletim do Instituto Oceanográfico de São Paulo** 34: 37-53.
- FERREIRA, L. M.; JESUS, F.; SILVA, H. A. 1990. **Plano de Manejo do Parque Nacional Marinho de Fernando de Noronha**. Ibama/Funatura, p. 253.
- FORD, J. K. B. 1989. Acoustic behaviour of resident killer whales (*Orcinus orca*) off Vancouver Island, British Columbia. **Canadian Journal of Zoology** 67: 727-745.
- FORD, J. K. B. 1991. Vocal traditions among resident killer whales (*Orcinus orca*) in coastal waters of British Columbia. **Canadian Journal of Zoology** 69: 1454-1483.
- FRANKEL, A. S. 2002. Sound Production. In: **Enciclopedia of Marine Mammals**. PERRIN, W. F.; BERND, W; THEWISSEN, J.G.M (Eds.). San Diego, Academic Press: 1126-1138.
- GOOLD, J. C.; JONES, S. E. 1995. Time and frequency domain characteristics of sperm whale clicks. **Journal of the Acoustical Society of America** 98: 1279-1291.
- GORDON, D. M. 1991. Evaluation of a method for determining the length of sperm whale (*Physeter macrocephalus*) from their vocalizations. **Journal of Zoology**: 301-314.
- GRAY, J. E. 1828. **Specilegia Zoologica; or original figures and short systematic description of new and unfigured animals**. London, Treuettel, Wurtz and Wood.
- HERMAN, L. H.; TAVOLGA, W. N. 1980. The communication system of cetaceans. In: **Cetacean Behavior: mechanisms and Functions**. L. H. HERMAN (Eds). New York, Wiley: 149-209.

- HERZING, D. L. 1996. Vocalizations and associated underwater behavior of free-ranging Atlantic spotted dolphins, *Stenella frontalis* and bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*. **Aquatic Mammals** 22 (2): 61-79.
- HERZING, D. L. 2000. Acoustic and social behavior of wild dolphins: implications for a sound society. In: **Hearing by whales and dolphins**. Au, W. W. L. Popper, A. N. & Fay, R. R. (Eds.). New York: Springer-Verlag: 225-272.
- HURLBERT, S. H. 1984. Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. **Ecological Monographs** 54: 187-211.
- HURLBERT, S. H. 2004. On misinterpretations of pseudoreplication and related matters: a reply to Oksanen. **Oikos** 104 (3): 591-597.
- KARCZMARSKI, L.; WURSIG, B.; GAILEY, G.; LARSON, K. W.; VANDERLIP, C. 2005. Spinner dolphins in a remote Hawaiian atoll: social grouping and population structure. **Behavioral Ecology Advanced Access**: 1-10.
- KETTEN, D.R.K. (2000). Cetacean Ears. In: **Hearing by Whales and Dolphins**. AU, W.W.L.; POPPER, A.N., FAY, R.R. (Eds.). Springer Handbook of Auditory Research. New York, Springer-Verlag: 109-155.
- KRUSCAL, H. W.; WALLIS, W. A. 1952. Use of Ranks in one-criterion variance analysis. **Journal of the American Statistical Association** 47 (260): 583-621.
- JANIK, V. M. 1999. Pitfalls in the categorization of behaviour: a comparison of dolphin whistle classification methods. **Animal Behaviour** 56: 829-838.
- JANIK, V. M. 2000. Source levels and the estimated active space of bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) whistles in the Moray Firth, Scotland. **Journal of Comparative Physiology** 186: 673-680.
- JANIK, V. M.; DAYIGH, L. S.; WELLS, R. S. 2006. Signature whistle shape conveys identity information to bottlenose dolphins. **Proceedings of National Academic Sciences** 103 (2): 8293-8297
- JANIK, V. M.; DEHNHARDT, G.; TODT, D. 1994. Signature whistle variation in the bottlenose dolphin, *Tursiops truncatus*. **Behavioral Ecology and Sociobiology** 35 (4): 243-248.
- JANIK, V. M.; SLATER, 1998. Context-specific use suggest that bottlenose dolphin signature whistle are cohesion calls. **Animal Behaviour** 56 (4): 829-838.

- JEFFERSON, T. A.; LEATHERWOOD, S., & WEBBER, M. C. 1994. **FAO Species Identification Guide. of the Marine Mammals of the world**. Roma, FAO. 527 p.
- JEFFERSON, T. A.; ODELL, D. K.; PRUNIER, K. T. 1995. Notes on the biology of the Clymene dolphin (*Stenella clymene*) in the northern Gulf of México. **Marine Mammal Science** 11: 564-573.
- KALFMAN, L.; ROUSSEEW, P. J. 2005. **Finding groups in data: an introduction to cluster analysis**. New York, Wiley: 342 p.
- LAMMERS, M. O.; AU, W. L.; HERZING, D. L. 2003. The broadband social acoustic signaling behavior of spinner and spotted dolphins. **Journal of the Acoustical Society of America** 114 (3): 1629-1639.
- LAMMERS, M. O.; AU, W. W. L.; AUBAUER, R.; NACHTIGALL, E. 2004. Comparative analysis of the pulsed emissions of free-ranging Hawaiian spinner dolphins (*Stenella longirostris*). In: **Echolocation in bats and dolphins**. THOMAS, J. A.; MOSS, C. F.; VATER, M. Chicago, The University of Chicago Academic Press: 414-419.
- LAMMERS, M. O.; SCHOTTEN, M.; AU, W. W. L. 2006. The spacial context of free-ranging Hawaiian spinner dolphins (*Stenella longirostris*) producing acoustic signals. **Journal of the Acoustic Society of América** 119 (2): 1244-1250.
- LEATHERWOOD, S.; REEVES, R.R. 1983. **The Sierra Club Handbook of Whales and Dolphins**. San Francisco: Sierra Club Books, 302 p.
- LEVENE, H. 1960. **Contributions to Probability and Statistics: Essays in Honor of Harold Hotelling**. OLKIN, I. (Ed.). Stanford University Press, Stanford, CA: 278-292.
- LODI, L.; FIORI, B. 1987. Observações sobre o comportamento do golfinho-rotador, *Stenella longirostris* (Cetacea: Delphinidae) na Ilha de Fernando de Noronha – Brasil. **Segunda Reunião de Trabalhos de Especialistas em Mamíferos Aquáticos da América do Sul**. Rio de Janeiro, FBCN(Anais): 60-68.
- LUO, Z. 2000. In search of the whales' sisters. **Nature** 404: 235-239.
- MAIDA, M.; FERREIRA, B. P. 1997. Coral Reefs of Brazil: overview and field guide. **Proceedings of the 8th International Coral Reef Symposium** 1: 263-274.
- MADSEN, P.; JOHSON, M. AGUILAR DE SOTO, N.; ZIMMER, W.; TYACK, P. 2005. Biosonar performance of foraging beaked whales (*Mesoplodon densirostris*). **Journal of Experimental Biology** 208: 181-194.

- MANLY, B. F. J. 1997. **Randomization, Bootstrap and Monte Carlo Methods in Biology**. Chapman & hall, London.
- MAY-COLLADO, L. J.; AGNARSSON, I.; WARTZOK, D. 2007a. Reexamining the relationship between body size and tonal signals frequency in whales: a comparative approach using novel phylogeny. **Marine Mammal Science** 23 (3): 524-552.
- MAY-COLLADO, L. J.; AGNARSSON, I.; WARTZOK, D. 2007b. Phylogenetic review of tonal sound production in whales in relation to sociality. **BMC Evolutionary Biology** 7: 136-156.
- MAY-COLLADO, J.L.; WARTZOK, D. 2007. The fresh water dolphin *Inia geoffrensis* produce high frequency whistles. **Journal of the Acoustical Society of America** 121 (2): 1203-1212.
- MATTHEWS, J. N.; REBDELL, L. E.; GORDON, J. C. D.; MACDONALD, D. W. 1999. A review of frequency and time parameters of cetacean tonal calls. **Bioacoustics** 10: 47-71.
- MCCOWAN, B.; REISS, D. 1995. Maternal Aggressive contact vocalizations in captive bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*): wide-band, low-frequency signals during mother/aunt-infant interactions. **Zoo Biology** 14: 293-309.
- MOORE, P. W. B., PALOSKI, D. A. 1990. Investigations on the control of echolocation pulses in the dolphin (*Tursiops truncatus*). In: **Sensory Abilities of Cetaceans**. THOMAS, J. A., KASTELEIN, R. A. (Eds). New York, Plenum Press: 305-316.
- MORETTI, A. R.; MENDES, B. V. M. 2003. Sobre a precisão das estimativas de máxima verossimilhança nas distribuições bivariadas de valores extremos. **Pesquisa Operacional** 23 (2): 301-324.
- MORGANE, P. J.; JACOBS, J. S. 1972. Comparative anatomy of the cetacean central nervous system. In: **Functional anatomy of marine mammals**, vol 1. (Harrison, R. J. ed.). New York, Academic Press.
- MORISAKA MORISAKA, T.; SHINOHARA, M.; NAKAHARA, F.; AKAMATSU, T. 2005a. Effects of ambient noise on the whistles of Indo-Pacific bottlenose dolphin populations. **Journal of Mammalogy** 86: 541-546.
- MORISAKA, T.; SHINOHARA, M.; NAKAHARA, F.; AKAMATSU, T. 2005b. Geographic variation in whistles among three Indo-Pacific bottlenose dolphin *Tursiops aduncus* populations in Japan. **Fisheries Science** 71: 586-576.

- MUIZON, C. 2001. Walking with whales. **Nature** 413: 259-260.
- NORRIS, K. S. 1991. **Dolphins Days. The life and time of spinner dolphins.** New York, Norton. 335 p.
- NORRIS, K. S.; WURSIG, B.; WELLS, R. S.; WURSIG, M. 1994. **The Hawaiian Spinner Dolphin.** Berkeley, University of California Press.
- NUMMELA, S., REUTER, T., HEMILA, S., HOLMBERG, P., PAUKKU, P. 1999. The anatomy of the killer whale middle ear (*Orcinus orca*). **Hearing Research** 133 (1-2): 61-70.
- NUMMELA, S.; THEWISSEN, J. G. M.; BAJPAI, S.; HUSSAIN, T.; KUMAR, K. 2007. Sound transmission in archaic and modern whales: anatomical adaptations for underwater hearing. **The Anatomical Records** 290: 716-733.
- OREMUS, M.; POOLE, M. M.; STEEL, D.; BAKER, S. 2007. Isolation and interchange among insular spinner dolphin communities in the South Pacific revealed by individual identification and genetic diversity. **Marine Ecology Progress Series** 336: 275-289.
- OSWALD, J. N., BARLOW, J., NORRIS, T. 2003. Acoustic identification of nine delphinid species in the eastern tropical Pacific Ocean. **Marine Mammal Science** 19 (1): 20-37.
- OSWALD, J. N.; RANKIN, S.; BARLOW, J. 2004. The effect of recording and analysis bandwidth on acoustic identification of delphinid species. **Journal of the Acoustical Society of America** 116: 3178-3185.
- OSWALD, J. N.; RANKIN, S.; BARLOW, J.; LAMMERS, M. O. 2007. A tool for real-time acoustic species identification of delphinidae whistles. **Journal of the Acoustical Society of America** 122 (1): 587-595.
- OVERSTROM, N. A. 1983. Association between burst-pulse sounds and aggressive behavior in captive Atlantic bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*). **Zoo Biology** 2: 93-103.
- PAYNE, K. B.; TYACK, P.; PAYNE, R. S. 1983. Progressive changes in the song of humpback whales. In: **Communication and behavior of whales.** PAYNE, R. (Ed.). Boulder CO: Westview Press.
- PAYNE, K. B.; PAYNE, R. 1985. Large scale changes over 19 years in the song of humpback whales in Bermuda. **Zeitschrift fur Tierpsychologie** 68: 89-114.

- PERRIN, W. F.; GILPATRICK, J.W. 1994. Spinner dolphin, *Stenella longirostris*. P. 99-128. In: **Handbook of Marine Mammals, Volume 5. The first book of dolphins**. RIDGWAY, S. & HARRISON, R. J. (Eds.). London and San Diego, Academic Press. 416 p.
- PERRIN, W. F.; AKIN, P. A.; KASHIWADA, J. V. 1991. Geographic variation in external morphology of the spinner dolphin *Stenella longirostris* in the Eastern Pacific and implications for conservation. **Fishery Bulletin** 89: 411-428.
- PERRIN, W. F.; HOLTZ, D. B.; MILLER, R. B. 1977. Growth and reproduction of the Eastern spinner dolphin, a geographic form of *Stenella longirostris* in the Eastern Tropical Pacific. **Fishery Bulletin** 75: 725-750.
- PERRIN, W. F.; DOLAR, L. L. 1996. Preliminary results on spinner dolphins, *Stenella longirostris*, from Philippines. **IBI Reports** 6: 25-33.
- PERRIN, W. F.; DOLAR, M. L. L.; ROBINEAU, D. 1999. Spinner dolphins (*Stenella longirostris*) of the Western Pacific and Southeast Asia: Pelagic and shallow water forms. **Marine Mammal Science** 15 (4): 1029-1053.
- PERRIN, W. F.; MESSNICK, S. L. 2003. Sexual ecology of the spinner dolphin, *Stenella longirostris*: geographic variation in mating system. **Marine Mammal Science** 19 (3): 462-483.
- PERRYMAN, W. L.; WESTLAKE, R. L. 1998. A new geographic form of the spinner dolphin, *Stenella longirostris*, detected with aerial photogrammetry. **Marine Mammal Science** 14 (1): 38-50.
- PODOS, J.; DA SILVA, V. M. F.; ROSSI.SANTOS, M. R. 2002. Vocalizations of Amazon river dolphins, *Inia geoffrensis*: Insights into the evolutionary origins of delphinid whistles. **Ethology** 108: 601-612.
- POPPER & EDDIS-WALTON 1997. Bioacoustics of Marine Vertebrates. In: **Encyclopedia of Acoustics, vol. 4**. CROCKER, M. J. (Ed.). New York, John Wiley & Sons, Inc.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM 2007 R DEVELOPMENT CORE TEAM (2004). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.

- RANKIN, S.; OSWALD, J.; BARLOW, J.; LAMMERS, M. 2007. Patterned burst-pulse vocalization of the northern right whale dolphin, *Lissodelphis borealis*. **Journal of the Acoustic Society of América** 121 (2): 1213-1218.
- REEVES, R. R.; STEWART, B. S.; CLAPHAM, P. J.; POWELL, J. A. 2002. **Guide to marine mammals of the world**. New York, National Audubon Society.
- RENDELL, L.E., MATTHEWS, J.N., GILL, A., GORDON, J.C.D. & MACDONALD, D.W. 1999. Quantitative analysis of tonal calls from five odontocete species, examining interspecific variation. **Journal of Zoology** 249: 403-410.
- RICHARDSON, W. J.; GREENE, C. R. J.; MALME, C. I.; THOMPSON, D. H. 1995. **Marine mammals and noise**. New York, Academic. 547 p.
- RIDGWAY, 1997. First audiogram for marine mammals in the open ocean and at depth: Hearing and whistling by two white whales down to 30 atmospheres. **Journal of the Acoustical Society of America** 101 (5): 3136.
- RIESCH, R.; FORD, J. K. B.; THONSEN, F. 2006. Stability and group specificity of stereotyped whistles in resident killer whales, *Orcinus orca*, off British Columbia. **Animal Behaviour** 71: 79-91.
- ROSSI-SANTOS, M. R.; PODOS, J. 2006. Latitudinal variation in whistle structure of the estuarine dolphin *Sotalia guianensis*. **Behaviour** 143: 347-364.
- SAYIGH, L. S.; TYACK, P. L.; WELLS, R. S. 1993. Recording underwater sounds of free-ranging dolphins while underway in a small boat. **Marine Mammal Science** 9 (2): 209-213.
- SAYIGH, L. S.; TYACK, P. L.; WELLS, R. S.; SCOTT, M. D. 1990. Signature whistles of free-ranging bottlenose dolphin, *Tursiops truncatus*: stability and mother offspring comparisons. **Behavioral Ecology and Sociobiology** 26: 247-260.
- SAYIGH, L. S.; TYACK, P. L.; WELLS, R. S.; SOLOW, A. R.; SCOTT, M. D.; IRVINE, A. B. 1999. Individual recognition in wild bottlenose dolphins: a field test using playback experiments. **Animal Behaviour** 57: 41-50.
- SECCHI, E. R.; SICILIANO, S. 1995. Comments on southern range of the spinner dolphin (*Stenella longirostris*) in the Western South Atlantic. **Aquatic Mammals** 21 (2): 105-108.
- SHIMAMURA, M.; YASUE, H.; OHSHIMA, K.; ABE, H.; KATO, H.; KISHIRO, T.; GOTO, M.; MUNESHIKA, I.; OKADA, N. (1997). Molecular evidence from retroposons that whales form a clade within even-toed ungulates. **Nature** 388: 666-670.

- SILVA JR, J. M. & SILVA, F. L. 1992. Estudo e preservação do golfinho-rotador *Stenella longirostris* (Gray 1828) no Arquipélago de Fernando de Noronha, Brasil. **Resúmenes de la 5a Reunion de Trabajos de Expertos en Mamíferos Acuáticos de América del Sur**. Buenos Aires, Museo Argentino de Ciencias Naturales "Bernardino Rivadavia" y Fundación Australis. 64p.
- SILVA JR, J. M.; SILVA, F. J. L.; SAZIMA, I. 2005. Rest, nurture, sex, release, and play: diurnal underwater behaviour of the spinner dolphin at Fernando de Noronha Archipelago, SW Atlantic. **Aqua Journal of Ichthyology and Aquatic Biology**, 9: 161-176.
- SMOLKER, R.; MANN, J.; SMUTS, B. 1993. Use of signature whistles during separations and reunions between bottlenose dolphin mothers and infants. **Behavioral Ecology and Sociobiology** 33: 394-402.
- STEINER, W. W. 1981. Specie-specific differences in pure tonal whistles of five Western North Atlantic dolphin species. **Behavioural Ecology and Sociobiology** 9: 241-246.
- STUDENT 1908. The probable error of a mean. **Biometrika** 6: 1-25.
- TARUSKI, A. G. (1979). The whistle repertoire of North Atlantic pilot whale (*Globicephala melaena*) and its relationship to behaviour and environment. In: **Behaviour of Marine Mammals**. WINN, H. E. & OLLA, B. L. (Eds.). New York, Plenum Press: 345-368.
- THEWISSEN 1994. Phylogenetic aspects of cetacean origins: a morphological perspective. **Journal of Mammalian Evolution** 2: 157-184.
- THEWISSEN, J. G. M.; WILLIAMS, E. M. 2002. The early radiations of Cetacea (Mammalia): Evolutionary pattern and developmental correlations. **Annual Review of Ecology and Systematics** 33: 73-90.
- THEWISSEN, J. G. M.; WILLIAMS, E. M.; HUSSAIN, S. T. 2001. Skeletons of terrestrial cetaceans and the relationship of whales to artiodactyls. **Nature** 413: 277-281.
- TRINGALI, M. D.; BERT, T. M.; SEYOUM, S.; BERMINGHAM, E.; BARTOLACCI, D. 1999. Molecular phylogenetics and ecological diversification of the transisthmian fish genus *Centropomus* (Perciformes: Centropomidae). **Molecular Ecology** 13:193-207.
- TYACK, P. 1986. Whistle repertoires of two bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*: mimicry of signature whistles? **Behavioral Ecology and Sociobiology** 18: 251-257.

- TYACK, P. L. 1999a. Functional aspects of cetacean communication. In: **Cetacean societies – Field studies of dolphins and whales**. MANN, J.; CONNOR, R. C.; TYACK, P. L.; WHITEHEAD, H. (Eds.). Chicago, University of Chicago Press.
- TYACK, P. 1999b. Communication and Cognition. In: **Biology of Marine Mammals**. REYNOLDS, J. R. ROMMEL, S. A. (Eds.). Washington and London, Smithsonian Institution Press.
- VAN WAEREBEEK, K. V.; GALLAGHER, M.; BALDWIN, R.; PAPASTRAVROU; AL-LAWATI, S. M. 1999. Morphology and distribution of the spinner dolphin, *Stenella longirostris*, rough-toothed dolphin, *Steno bredanensis* and melon-headed whale, *Peponocephala electra*, from waters off the Sultanate of Oman. **Journal of Cetacean Research Management** 1 (2): 167-177.
- YAO, Y. 1965. An approximate degrees of freedom solution to the multivariate Behrens-Fisher problem. **Biometrika** 52: 139-147.
- WANG, D.; WURSIG, B.; EVANS, W. 1995a. Comparisons of whistles among seven odontocete species. In: **Sensory Systems of Aquatic Mammals**, R. A. KASTELEIN, J. A. THOMAS, P. E. NATCHINGALL (Eds.). The Netherlands, De Spil, Woerden,: 299-323.
- WANG, D.; WURSIG, B.; EVANS, W. 1995b. Whistles of bottlenose dolphins: Comparison among populations. **Aquatic Mammals** 21 (1): 65-77.
- WATKINS, W. A. 1967. The harmonic interval: fact or artifact in spectral analysis of pulse trains. In: **Marine Bioacoustics**, Vol. 2. TAVOLGA, W. N. (Ed). New York, Pergamon Press: 15-43.
- WATKINS, W. A., SCHEVILL, W. E. 1977. Sperm whale codas. **Journal of the Acoustic Society of América** 62: 1485-1490.
- WEIB, B. M.; SYMONDS, H.; SPONG, P.; LADICH, F. 2007. Intra- and intergroup vocal behavior in resident killer whales, *Orcinus orca*. **Journal of the Acoustical Society of America** 122 (6): 3710-3716.
- WEILGART, L. S. & WHITEHEAD, H. 1990. Vocalizations of the North Atlantic pilot whale (*Globicephala melas*) as related to behavioural contexts. **Behaviour, Ecology and Sociobiology** 26: 399-402.
- WEIR, C. R.; FRANTZIS, A.; ALEXIADOU, P.; GOOLD, J. C. 2007. The burst-pulse nature of “squeal” sounds emitted by sperm whales (*Physeter macrocephalus*). **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom** 87: 39-46.

- WELCH, B. L. (1947), "The generalization of "student's" problem when several different population variances are involved", **Biometrika** 34: 28-35
- WHITTEN, J. L.; THOMAS, J. A. 2001. Whistle repertoire of Pacific white-sided dolphins (*Lagenorhynchus obliquidens*) at the John G. Shedd Aquarium. **Journal of the Acoustical Society of America** 109: 2391.
- WILCOXON, F 1945. Individual comparisons by ranking methods. **Biometrics** 1: 80-83.
- ZAR, J. H. 1998. **Biostatistical Analysis**, 4th Edition. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall Inc. 929 p.
- ZERBINI, A. N.; KOTAS, J. E. 1998. A note on cetacean bycatch in pelagic driftnetting off Southern Brazil. **Reports of the International Whaling Commission** 48: 519-524.
- ZIMMER, C. 2004. **O Livro de ouro da evolução**. Rio de Janeiro: Ediouro. 598 p.

ANEXO 1

Whistle variability in South Atlantic spinner dolphins from the Fernando de Noronha Archipelago off Brazil

Fernanda S. Camargo

Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, Rua do Matão, travessa 14, no 321, São Paulo, SP, 05508-900, Brazil

Mario M. Rollo, Jr.^{a)}

Universidade Estadual Paulista, Campus do Litoral Paulista, Pça. Infante Dom Henrique s/n, São Vicente, SP, 11330-205, Brazil

Viviana Giampaoli

Departamento de Estatística, Instituto de Matemática e Estatística, Universidade de São Paulo, Rua do Matão 1010, São Paulo, SP, 05508-090, Brazil

Claudio Bellini

Projeto TAMAR, R. Dr. Luiz Inacio Pessoa de Melo 81/2051, Recife, PE, 51030-320, Brazil

(Received 9 March 2006; revised 17 July 2006; accepted 13 September 2006)

A series of qualitative and quantitative analyses were conducted to evaluate the variability of spinner dolphin whistles from the Fernando de Noronha Archipelago off Brazil. Nine variables were extracted from each whistle contour, and the whistle contours shapes were classified into the seven categories described in Driscoll (1995). The analysis showed mean beginning and ending frequencies values of 10.78 and 12.74 kHz, respectively. On average, whistle duration was relatively short, with mean values around 0.495 s ($N=702$). Comparative analyses were also conducted to investigate the relationship between the obtained results and those presented in previous studies. When comparing averages, the results of the study of Oswald *et al.* (2003) in the Tropical Eastern Pacific (TEP) presented less significant differences in relation to this study; only whistle duration differed significantly between both works. The results of multivariate classification tests also pointed TEP population as the closest related to the population studied here. The similarities between such disjunct populations might be attributed to a more recent isolation event (the closing of the Panama Isthmus) than the divergence that has driven North and South Atlantic populations apart. © 2006 Acoustical Society of America. [DOI: 10.1121/1.2359704]

PACS number(s): 43.80.Ka, 43.80.Ev, 43.80.Cs [WWA]

Pages: 4071–4079

I. INTRODUCTION

The spinner dolphin, *Stenella longirostris* (Gray, 1828), is a cosmopolitan cetacean found in tropical, subtropical, and less frequently, in warm temperate waters (i.e., Norris *et al.*, 1994). This wide distribution is followed by a notable geographic variation in several morphological characters (i.e., Akin, 1988; Douglas *et al.*, 1992; Perrin and Dolar, 1996; Van Waerebeek *et al.*, 1999) and ecological parameters (Barlow, 1984; Perryman and Westlake, 1998; Perrin *et al.*, 1999). Four subspecies are currently acknowledged (Perrin, 1990; Perrin *et al.*, 1991, 1999): *Stenella longirostris longirostris*, *S. l. orientalis*, *S. l. centroamericana*, and *S. l. roseiventris*.

Spinner dolphins, as well as other species of oceanic dolphins, emit clicks and whistles of pure tones, besides a diversified repertoire of pulsed signals (Herman and Tavolga, 1980; Norris *et al.*, 1994; Lammers *et al.*, 2003). Whistles have been characterized in terms of their instantaneous frequency as a function of time (i.e., spectrograms), which is

also referred to as a whistle contour. Some authors have studied whistles using subjective classification of their contours, and others have extracted frequency and time parameters from these contours (Bazúa-Durán and Au 2002). The function of whistles in the odontocete communication process has been extensively discussed (Tyack, 1998; McCowan and Reiss, 1995, 2001), and they seem to play an important role in the maintenance of social cohesion and in group organization (Norris *et al.*, 1994; Janik, 2000; Janik and Slater, 1998; Lammers *et al.*, 2003). However, the biological meaning of each frequency and time parameter, as well as of any contour category still needs to be understood (McCowan and Reiss, 1995; Bazúa-Durán and Au, 2002).

Qualitative and quantitative variations in acoustic emissions or phonations, as suggested by Bazúa-Durán and Au, (2002) were recognized and described for *S. longirostris*, but all studies on this variability were developed with populations from the Pacific Ocean (e.g., Norris *et al.*, 1994; Driscoll, 1995; Wang *et al.* 1995a; Bazúa-Durán and Au, 2002). The only work on phonations with a population from the Atlantic Ocean were conducted by Steiner (1981), and aimed to compare different species, excluding any kind of intraspecific analysis. From this scenario, one could note that

^{a)} Author to whom correspondence should be addressed. Electronic mail: mario.rollo@csv.unesp.br

it is still necessary to search for any relation between all the information available in the literature, and consequently for a better understanding of the variation within and between populations.

Wang *et al.* (1995a), Driscoll (1995), and Bazúa-Durán and Au (2002) recorded spinner dolphins from Hawaii. However, their results showed significant statistical differences. Some possible reasons for these differences could be differences in the upper frequency limit of the recording systems, different spinner groups being recorded, and observer differences in viewing spectrograms (Bazúa-Durán and Au, 2002). Wang *et al.* (1995a) reported an analysis bandwidth of 0–16 kHz, and Driscoll (1995) and Bazúa-Durán and Au (2002) reported an analysis bandwidth of 0–24 kHz. Since whistles with fundamental frequencies extending into the ultrasonic range have been reported for spinner dolphins (Lammers *et al.*, 2003), the recording and analysis bandwidth upper limit has to be high enough to provide complete representations of the vocal repertoire. It is known that descriptive parameters of the whistles, such maximum and ending frequencies, show significant differences between studies conducted with different upper bandwidth limits (Oswald *et al.*, 2004). Lammers *et al.* (2003) analyzed the acoustic signaling behavior of Hawaiian spinner dolphins in a wider frequency band perspective. The recording system employed allowed them to sample sounds up to 130 kHz and to evaluate the importance of the ultrasonic portion of the sound emissions. Most energy in the fundamental frequency of the whistles was found to be below 24 kHz, as Bazúa-Durán and Au (2002) noted. Based on Lammers *et al.* (2003) conclusions, we can speculate that the major part of the whistles' fundamental frequencies produced by this species is then taken into account here, since the recording limit used in this study is 24 kHz.

It is also known that spinner dolphin whistles can vary geographically (Bazúa-Durán and Au, 2001; Bazúa-Durán *et al.*, 2003; Bazúa-Durán and Au, 2004), as it was already observed for bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus* (Wang *et al.*, 1995b; Jones and Sayigh, 2002), and for the estuarine dolphin, *Sotalia guianensis* (Azevedo and Van Sluys, 2005). Nevertheless, the factors influencing this observed geographic variation are still unclear, once the pattern found for spinner dolphins does not follow exactly those observed for the other two species. Studying bottlenose dolphins, Wang *et al.* (1995b) noted that differences in whistle structure were greater between far separated than closer areas. They claimed that, presumably, dolphins in nonadjacent areas have developed unique acoustic characteristics due to geographic isolation. Similarly, Azevedo and Van Sluys (2005), when studying *Sotalia guianensis*, found that the magnitude of the whistles characteristics variation was comparatively smaller between adjacent sites areas than between nonadjacent ones, although in some pairwise comparisons the result was the opposite.

When comparing spinner dolphins whistles from the Hawaiian Islands (Midway Atoll, Kaua'i, O'ahu, Lāna'i, Maui, and Hawai'i) and from Mo'orea, French Polynesia, Bazúa-Durán and Au (2002) found that the macrogeographic variation (between Midway and Mo'orea, and the main Hawaiian

Islands) was larger than microgeographic variation (between the main Hawaiian Islands). The authors also found that the variation within each main Hawaiian Island was larger than the variation between them, suggesting the existence of a whistle-specific subgroup (Bazúa-Durán and Au, 2001; Bazúa-Durán and Au, 2004). On the other hand, when the spinner dolphin whistles from the Hawaiian Islands and Mo'orea were compared to the whistles produced by the Tropical Eastern Pacific (TEP) spinner dolphins, greater differences were found between Midway and TEP and Mo'orea groups. O'ahu groups were very similar to TEP and Mo'orea groups, suggesting that there are no differences between oceanic and coastal spinner dolphin whistles. Bazúa-Durán and Au (2002) claimed that the distinctiveness of Midway whistles could be due to the stability of the spinner dolphins in that area, and that the geographic differences found may not occur solely due to geographic isolation, and that other factors, such as fluidity of the spinner dolphin groups may be also affecting this variation (Bazúa-Durán *et al.*, 2003).

In order to evaluate the variability of spinner dolphin whistles from the Fernando de Noronha Archipelago off Brazil (considered as *S. longirostris longirostris*), we conducted a series of quali- and quantitative analyses, which are presented here. No other study on this topic has been done in the Southwestern Atlantic Ocean. Moreover, we used available literature data and some statistical tools to investigate the relationship between our results and those obtained in previous studies, looking for any pattern of geographic variation.

II. METHODOLOGY

Recordings were made in a bay named “Baía dos Golfinhos,” located at the Archipelago of Fernando de Noronha (3°51'S and 32°25'W), Brazil (Fig. 1). The “Baía dos Golfinhos” is an intangible inlet inside the National Marine Park of Fernando de Noronha, where regular access of people and boats is prohibited. This bay carries its name because it is visited daily by spinner dolphins, providing an invaluable site for performing acoustic recordings.

The sound samples were collected on free diving sessions in the “Baía dos Golfinhos” from 4 October to 27 December 2002. Underwater behavioral and acoustic data were recorded using a system composed by a SONY® PD150 digital camcorder housed in an AMPHIBICO® VHPD0150 underwater case equipped with dual external hydrophones. All the recordings were made using a sampling rate of 48 kHz, i.e., the frequency upper limit was 24 kHz.

The recordings were imported to an Apple® Macintosh computer using the software IMOVIE 4.0.1. (Apple Computer, Inc.). This application breaks the simultaneous audio and video data into clips accordingly to the data code registered in the digital tape, resulting in a different clip per take. This is very important because each take may correspond to a different context or situation. The audio was then extracted from the video files using the software FINALCUT PRO 3.0 (Apple Computer, Inc.), and stored as AIFF format files. CANARY® V.1.2.4 analysis software (Bioacoustics Research Program, Cornell Lab of Ornithology) was used to generate the spectrograms, with a FFT size of 1024 points, an overlap

FIG. 1. Map of the study site. The “Baía dos Golfinhos” is situated in the small rectangular inset in the main island of the Fernando de Noronha.

of 50%, a frame length of 512 points, and using a smooth Hamming window. We only used whistles for which all parameters of the spectral contour were distinctly measured and that were not cut off by the upper limit of the recording system (Bazúa-Durán and Au, 2002; Azevedo and Van Sluys, 2005).

From each whistle contour, we extracted nine variables: (1) Beginning frequency (BF), (2) ending frequency (EF), (3) maximum frequency (MAF), (4) minimum frequency (MIF), (5) duration (DUR), (6) number of inflection points (defined as a change from positive to negative or negative to positive slope) (NI), (7) number of breaks (defined as an abrupt variation in frequency in a specific point in time) (NBR), (8) number of loops (a loop was defined as a region where the whistle assumed a parabolic-like shape) (NLO), (9) number of harmonics below the upper frequency limit of the recording system (NHA). These variables were chosen because they can be easily measured from a spectrogram and most of them were chosen to be consistent with the majority of the previous studies with the species, being useful for comparisons.

We also classified the whistle contour into the seven categories described in Driscoll (1995) and Bazúa-Durán and Au (2002), which were used during the comparison process with previous studies: (1) Upsweep, (2) downsweep, (3) concave, (4) convex, (5) constant, (6) sine, and (7) chirps.

In an exploratory phase, a *principal component analysis* (PCA) was used as an effort to find variables unimportant to explain data variability so that they could be excluded from the analyses. Preliminary results showed that the two first components of this analysis explained only 66% of the variability, and only in the sixth component 90% of the variability was achieved and all variables were already included in the previous components. This implies that any of the variables chosen could not be excluded from the analysis.

Following this step, still as an exploratory analysis, a cluster analysis named *CLARA* (Clustering Large Applications) (Kaufman and Rousseeuw, 2005) was performed to determine the existence of any grouping pattern of data according to their similarities. The groups formed were then tested with the *Silhouette width test* (Kaufman and Rousseeuw, 2005), which measures the average dissimilarity between point *i* and all other points of the cluster, which *i* belongs to. The *CLARA* analysis revealed that the whole sample of spinner dolphin whistles could be clumped together into four or five groups, and the *Silhouette width test* resulted in a score of 0.23 and 0.22, respectively. None of these results can be considered as a good grouping (Kaufman and Rousseeuw, 2005), and does not seem to have any biological meaning, therefore, not discussed in the present study.

TABLE I. Descriptive analysis of the whistles (mean, standard deviation, minimum, and maximum values, and variation coefficients). Legend: BF—initial frequency; EF—ending frequency; MIF—minimum frequency; MAF—maximum frequency; SP—frequency range; DUR—duration; NI—number of inflection points; NBR—number of breaks; NLO—number of loops; NHA—number of harmonics, nd=not reported.

Study	Statistics	N	BF (kHz)	EF (kHz)	MIF (kHz)	MAF (kHz)	SP (kHz)	DUR (ms)	NI	NBR	NLO	NHA
This Study	Mean	702	10.78	12.74	9.03	14.48	5.44	495	1.16	0.86	0.66	0.63
	Min	702	2.06	2.03	2.03	3.30	0	1.25	0	0	0	0
	Max	702	23.08	22.52	19.36	23.08	16.6	1800	6	12	4	3
	Std Dev.	702	4.08	4.02	2.79	3.87	3.44	394.69	1.15	1.72	0.77	0.67
	C. V.	702	37.88	31.54	30.85	26.73	63.20	79.78	99.17	198.28	116.48	106.97
Wang <i>et al.</i> (1995a)	Mean	271	10.61	14.05	9.03	15.20	nd	750	1.07	nd	nd	nd
	Min	271	3.91	7.19	3.91	8.75	nd	100	0	nd	nd	nd
	Max	271	18.92	22.46	14.38	22.46	nd	1820	9	nd	nd	nd
	Std Dev.	271	3.44	2.37	2.24	1.66	nd	330	1.19	nd	nd	nd
Bazúa-Durán and Au (2002)	Mean	961	12.02	14.91	10.68	16.50	5.82	449	nd	nd	0.42	nd
	Min	961	2.58	2.29	1.99	2.66	0.39	28	nd	nd	0	nd
	Max	961	22.90	24.00	18.34	24.00	16.93	2256	nd	nd	12	nd
	Std Dev.	961	3.66	3.80	2.68	3.54	3.67	372	nd	nd	0.75	nd
Oswald <i>et al.</i> (2003)	Mean	112	10.40	12.40	9.10	13.70	4.6	600	1.9	nd	nd	nd
	Min	112	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	Max	112	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	Std Dev.	112	3.40	3.60	2.50	3.50	3.40	400	4.1	nd	nd	nd
Steiner (1981)	Mean	2088	9.76	13.17	8.76	14.32	nd	430	0.55	nd	nd	nd
	Min	2088	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	Max	2088	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	Std Dev.	2088	3.51	3.10	2.62	2.76	nd	330	0.97	nd	nd	nd
Driscoll (1995)	Mean	965	11.80	14.46	10.19	16.80	nd	661	nd	nd	nd	nd
	Min	965	4.64	4.00	4.00	5.60	nd	40	nd	nd	nd	nd
	Max	965	21.44	23.04	21.22	23.04	nd	1870	nd	nd	nd	nd
	Std Dev.	965	3.66	3.91	2.40	3.17	nd	334	nd	nd	nd	nd
Lammers <i>et al.</i> (2003)	Mean	167	nd	nd	10.10	17.40	7.3	660	nd	nd	nd	1.83
	Min	167	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	Max	167	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	Std Dev.	167	nd	nd	2.50	3.0	3.9	330	nd	nd	nd	0.87

To compare the mean values obtained for the frequency and time parameters with the results presented in previous studies, we applied a series of univariate and multivariate tests, using the Program “R” (R Development Core Team, 2004). First, we used Levene’s *F* test to evaluate the homogeneity of variances. Later, we used the *t* test for homogeneous variances and Welch’s *t* test for nonhomogeneous variances so as to compare the means (the mean of each variable observed in this study and the correspondent mean found in other studies, as described in the literature).

We also used a classification method through a multivariate statistic test in order to identify which of the results presented in earlier studies would be closer to the results found here. We considered, as a classification criterion, the minimum distance between each value observed in this study and the mean for each of the variables obtained for each other study included in the comparison, weighted for the inverse of the covariance matrix. The distance was defined as

$$D_j = (\mathbf{y} - \bar{\mathbf{y}}_j)^t \mathbf{S}_j^{-1} (\mathbf{y} - \bar{\mathbf{y}}_j)$$

Where the D_j is the minimum distance, y represents each value for the variable j found in this study and $\bar{y}_j$ is the mean value presented in the earlier studies for the variable j . This method is complementary to the *T Test* in comparison between different populations, and allowed us not only to compare means but also to better visualize which population is closest to the Fernando de Noronha population.

Finally, in order to investigate differences in the categorization of whistles between the present study, and in the Driscoll (1995) and Bazúa-Durán and Au (2002) studies, we used the *Pearson’s X-squared* statistic.

III. RESULTS AND DISCUSSION

A. Frequency and time parameters

A summary of the descriptive statistics (mean, minimum, maximum, standard deviation, and variation coefficients) of all frequency and time parameters for the 702 whistles included in the analysis is shown in Table I. Our analysis showed that the mean BF was lower than the mean

TABLE II. Correlation matrix of the whistle frequency and time parameters observed in this study, considering. Legend: BF—Initial frequency; EF—Ending frequency; MIF—Minimum frequency; MAF—Maximum frequency; DUR—Duration.

	BF	EF	MIF	MAF	DUR
BF	1.000 000 00	0.245 820 9 ^a	0.720 415 6 ^a	0.573 526 2 ^a	0.048 873 47
EF	0.245 820 94 ^a	1.000 000 0	0.505 342 0 ^a	0.737 041 1 ^a	0.141 473 78 ^a
MIF	0.720 415 64 ^a	0.505 342 0 ^a	1.000 000 0	0.489 662 9 ^a	−0.142 518 17 ^a
MAF	0.573 526 25 ^a	0.737 041 1 ^a	0.489 662 9 ^a	1.000 000 0 ^a	0.417 467 74 ^a
DUR	0.048 873 47	0.141 473 8 ^a	−0.142 518 2 ^a	0.417 467 7 ^a	1.000 000 00

^aSignificant correlation at the 0.01 level.

EF, as it had already been observed by Bazúa-Durán and Au (2002). On average, whistle spanning times were relatively short, with mean values around 0.495 s (SD=0.79; N=702). We also conducted an analysis of the degree of association between all variables by using a Correlation Matrix, which is shown in Table II. A significant association was observed between all variables, excluding BF and DUR, which were shown to be independent. The greatest correlation values were observed between BF and MIF ($r=0.720$, $P=0.01$), and EF and MAF ($r=0.737$, $P=0.01$). Both were positively correlated, indicating that when one of these variables increases its value, the other does the same. We also observed a small negative correlation between MIF and DUR ($r=-0.142$, $P=0.01$), indicating that when the minimum frequency increases, the duration of the whistle decreases.

The parameters of whistle frequency and time had the lowest variation coefficient of all analyzed variables (Table I), and they were, therefore, treated separately. Furthermore, these variables are present in all previous studies conducted with spinner dolphin whistles, which allow us to perform a series of comparisons, as shown below. From the parameters of frequency and time, those associated with frequency had

lower variation coefficients when compared to the duration, indicating that the time parameter is more variable, as it has already been observed for *Sotalia guianensis* (Azevedo and Van Sluys, 2005). For *S. longirostris*, Steiner (1981), Wang *et al.* (1995a), and Oswald *et al.* (2003) also found a lower value of variation coefficients for frequency parameters, with the exception to the frequency range, which exceed the duration's one in the third study.

As a first effort of inserting our results in the literature context, we conducted a *t Test*, and the results are shown in Table III. The study of Oswald *et al.* (2003) presented less significant differences in relation to ours; with only whistle duration differing significantly between both works.

Later, in order to find which of the earlier studies on populations of spinner dolphins would have the closest results to those obtained in Fernando de Noronha, we conducted a classification test (according to the criteria of minimum distance described above). It is important to take into account that, as we did not have the variance and covariance matrices observed in the earlier studies, we performed the classification test assuming three possibilities of different matrices: (1) All variables being independent (i.e., the corre-

TABLE III. Comparison of the values obtained in this study with the results presented in the available literature to each of the considered whistle variables.

		Wang <i>et al.</i> 1995a	Bazúa-Durán and Au 2002	Oswald <i>et al.</i> 2003	Steiner 1981	Driscoll 1995	Lammers <i>et al.</i> 2003
BF	<i>t Test</i>	0.655	−6.389 ^a	1.066	5.927 ^a	−5.260 ^a	—
	Degrees of Freedom	577.295	1411.277	166.470	1070.988	1410.47	—
	<i>p</i> -value	0.513	<0.001	0.288	<0.001	<0.001	—
EF	<i>t Test</i>	−6.263 ^a	−11.223 ^a	0.843	−2.587 ^a	−8.763 ^a	—
	Degrees of Freedom	815.406	1661	812	995.950	1665	—
	<i>p</i> -value	<0.001	<0.001	0.400	<0.001	<0.001	—
MIF	<i>t Test</i>	0	−12.187 ^a	−0.250	2.252 ^a	−8.881 ^a	−4.540 ^a
	Degrees of Freedom	606.459	1661	812	1149.498	1370.121	867
	<i>p</i> -value	1	<0.001	0.803	0.025	<0.001	<0.001
MAF	<i>t Test</i>	−4.056 ^a	−10.895 ^a	2.001	1.012	−13.021 ^a	−10.646 ^a
	Degrees of Freedom	961.427	1429.777	812	951.895	1323.101	311.871
	<i>p</i> -value	<0.001	<0.001	0.045	0.311	<0.001	<0.001
DUR	<i>t Test</i>	−10.207 ^a	2.426 ^a	−2.601 ^a	3.923	−9.031 ^a	−5.580 ^a
	Degrees of Freedom	582.619	1661	812	1049.19	1353.577	290.452
	<i>p</i> -value	<0.001	0.015	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

^aThe mean difference is statistically different at the 0.05 level.

TABLE IV. Classification of the observations according to the distance (the numbers mean the amount of whistles that had the minimum distance value from each variable observed in this study and the correspondent mean value of each study).

Matrix of Variance-Covariance	Wang <i>et al.</i> 1995a	Bazúa-Durán and Au 2002	Oswald <i>et al.</i> 2003	Steiner 1981	Driscoll 1995	Total
Independent	26	196	278	84	118	702
With Variance-Covariance Matrix equal to the one observed in this study	103	170	119	223	87	702
With the Variances presented in each study and the same correlations observed in this study	1	0	701	0	0	702

lation is zero), (2) variance and covariance matrices being equal to those observed in this study, (3) combining the variances presented in each study together with our correlation. The result of this classification can be observed in Table IV. As in the univariate analysis, we had a concentration of minor distances in the study of Oswald *et al.* (2003) in two situations: When we considered the variable set independent and when we used the true variances, presented in each study, together with our correlations. However, when we assumed the matrix exactly equal to the one presented in our study, the concentration of minor distances moved to Steiner, 1981 (Table IV).

There are many problems when comparing different efforts. At first, the methods and equipment used to record the sound samples were sometimes distinct. In this study, we recorded the animals during free diving. Although this apparently does not disturb the animals, changing their natural behavior can interfere in their communication process. The earlier studies recorded in the presence of a boat, which can also cause alterations. Moreover, recording equipments were not equal, and varied in the upper frequency limit of the recording system. In the majority of studies, the upper frequency limit of the recording system was greater than 22 kHz (with sample rates of 44.1 or 48 kHz), with the exception to the Wang *et al.* (1995a) study, who used a system with an upper frequency limit of around 16 kHz. Differences in the whistle selection and in the sample size could also conduct to different results.

Additionally, we have to consider that animals engaged in different activities during the recording sessions, as well as being present in different group sizes, can have a significant influence in the sound emission of the group envelope (for example, Norris *et al.*, 1994; Herzing, 2000). Bazúa-Durán and Au (2002), for example, compared their study with Wang *et al.* (1995a) and Driscoll (1995), which were all made in the same place ("Island of Hawaii"), and found significant differences between them when comparing duration and the same frequency variables analyzed in this study. Nevertheless, in their study of geographic variation of spinner dolphin whistles among the Hawai'ian Islands, Bazúa-Durán and Au (2004) did not find any significant differences in whistles emitted by dolphins with behavioral state and pod size.

In spite of all these difficulties what we intended to do here, in addition to presenting insights to the whistle repertoire of spinner dolphins from the Fernando de Noronha Ar-

chipelago (which has never been acoustically studied before), was to test if there was some closeness between this population and other ones studied earlier as an attempt to clarify any geographic variation pattern. We judged the results acquired here as very interesting, pondering that our population would supposedly be closer to the Tropical Eastern Pacific population, studied by Oswald *et al.* (2003). When comparing means, the spinner dolphins from the Fernando de Noronha differ significantly from the TEP only on the duration of the whistles (considering that the variation coefficient of this variable were higher than the frequency ones in both studies). If this is true, the difference in duration could be associated with the recording of different individuals, engaged in different activities, as explained by Bazúa-Durán and Au (2004) for Hawaiian spinner dolphins, and suggested by Whitten and Thomas (2001) for *Lagenorhynchus obliquidens*, and by Janik *et al.* (1994), and Wang *et al.* (1995b) for *Tursiops truncatus*. Otherwise, the similarities between populations so disjunct could possibly be attributed to biogeographic reasons, reflecting that these two populations were more recently isolated than the North and South Atlantic populations, being in contact before the formation to the Panama Isthmus. Other studies have made an approach to this question, although using coastal teleost fishes, such as those of Tringali *et al.* (1999), Craig *et al.* (2004), and Craig *et al.* (2006). In the case of spinner dolphins, such a question is beginning to be addressed (Farro *et al.*, 2005).

Heeding to the results of the classification test, we could consider two different types of results. If we suppose that our population should be more similar to the population from North Atlantic, studied by Steiner (1981), when choosing a variance-covariance matrix exactly equal to that obtained in this study, the results would be associated to some degree of information exchange through intermediate groups, as were already observed by Bazúa-Durán and Au (2002) for Hawaiian spinner dolphins, by Wang *et al.* (1995b) for *Tursiops truncatus*, and by Azevedo and Van Sluys (2005) for *Sotalia guianensis*; and the differences between the Fernando de Noronha population and the Pacific Ocean population could be due to geographic isolation. However, we believe that the third option of variance-covariance matrix is the closest to the real one, where the correlation values that compose the matrix are the ones provided by other studies. Using this matrix, the concentration of minimum distances in the study of Oswald *et al.* (2003) correspond to most of the observations, which confirm the result obtained in the univariate

FIG. 2. Distribution of analyzed whistles into categories, being “Other” the category that includes all gradation between other two categories.

analysis and reinforce the idea of proximity between these two populations.

B. Whistle contour

Taking the contour variables of the whistles into consideration, we noticed that all of them (number of breaks, number of inflection points, number of loops, and number of harmonics) have a higher variation coefficient than the frequency and time parameters, as it is shown in Table I. This was already been observed in the studies of Steiner (1981), Wang *et al.* (1995a), and Oswald *et al.* (2003), especially for the number of inflection points and the number of harmonics (when it appears as a whistle parameter). This high intraspecific variability may be a result of individual modulation, transmitting information about identity or context (Bazúa-Durán and Au (2004); Azevedo and Van Sluys, 2005), or the directionality of the emissive animal, in the specific case of number of harmonics (Lammers *et al.* 2003).

Regarding the classification in categories and according to the contour shape of the whistles in the spectrograms, 7% of the whistles could not be ascribed to any of the categories created by Driscoll (1995) and Bazúa-Durán and Au (2002), because they looked like a gradation between two other categories. These whistles were thus set in a category named “Other,” as is shown in Fig. 2. This new category is very heterogeneous in the whistle contours that were classified here, and must be reevaluated in the near future. With the aim of comparing the whistles categories distribution found here with the distributions presented by Driscoll (1995) and

Bazúa-Durán and Au (2002), we excluded all the assemblage of whistles ascribed to this new category, as it is shown in Fig. 3.

The distribution of the whistles grouped into categories is different between the present study and each of the previous ones (Driscoll, 1995; Bazúa-Durán and Au (2002)), at least in the percentage of two categories, as it is shown by the results of the *Pearson’s X-squared* statistic test in Table V. However, the two categories of whistles more frequently recorded, “Chirps” and “Upsweep” were not significantly different between our study and the one of Bazúa-Durán and Au (2002). The “Constant” category, which was very rare, is not significantly different between the three studies. Further, the whistle category “Sine” is very abundant in the studies of Driscoll (1995) and Bazúa-Durán and Au (2002), while it was not in the present study. We believe that this situation occurred because we set a great number of whistles that could have been called by these authors as “Sine,” in the “Other” category, due to the great variability of this kind of whistle shape.

Although other authors have shown that whistles have a graded nature and that categorization have not been, therefore, a precise way to represent a repertoire of a given species or population of dolphins, we used it as an additional available resource of comparison between different populations, as it was suggested by Bazúa-Durán and Au (2002). The results are interesting due to the similarity in the general distribution of the whistles in all categories, especially between our study and that of Bazúa-Durán and Au (2002), from which we differed only in two categories, “Sine” and “Concave” (see Fig. 3 and Table V). The comprehension of the significance of these similarities is still difficult due to the lack of biological meaning of this categorization.

We firmly believe that more accurate studies comparing different populations and using more controlled sources of bias should be conducted and are fundamental to achieve this knowledge. Studies focusing in the correlation of sound production and the individual dolphin associated with, should also be conducted, taking into account characteristics such as sex, age class, and behavior.

IV. CONCLUSIONS

Acoustic characteristics of the whistles emitted by dolphins have been described and quantified in a number of studies, and have shown to be useful during comparisons

FIG. 3. Comparison of the whistle distribution in the seven categories described by Driscoll (1995) and Bazúa-Durán and Au (2002).

TABLE V. Comparison of the percentage of whistles ascribed to the seven categories with the correspondent results presented by Bazúa-Durán and Au (2002) and Driscoll (1995).

Category	Bazúa-Durán and Au, 2002		Driscoll, 1995	
	Pearson's X-squared statistics	p-value	Pearson's X-squared statistics	p-value
Sine	18.077 ^a	<0.001	23.535 ^a	<0.001
Convex	3.993	0.046	12.277 ^a	<0.001
Concave	22.945 ^a	<0.001	5.953	0.015
Downsweep	0.608	0.435	6.642 ^a	<0.001
Upsweep	7.581	0.006	26.054 ^a	<0.001
Constant	0.000	1	0	1
Chirp	0.578	0.447	138.373 ^a	<0.001

^aThe mean difference is statistically different at the 0.05 level.

between groups and populations, as during categorization of different species (for instance, see Steiner, 1981; Wang *et al.*, 1995a and 1995b; Bazúa-Durán and Au, 2002, 2004; Oswald *et al.* 2004). In this context, the description presented here, as well as the comparisons conducted with the results available in the literature for other populations, contributes to this huge effort of knowing how populations are organized geographically, and which characteristics of whistles are important to differentiate populations and/or species. Increasing the effort on bioacoustical studies for other known populations of spinner dolphins would allow us to better recognize the existence of any pattern of geographic variation and its correlation to biological features, and these in turn could help to ascribe, in a better resolution, the taxonomic status of each population and subspecies.

ACKNOWLEDGMENTS

We thank Lawrence Wabba, Guillian Buhl, and Alice Grossman for the help and support during different phases of the fieldwork. We also thank Melina Baumgarten and Luis Fábio Silveira for their important comments and for reviewing earlier versions of the manuscript, and the two anonymous reviewers who have made insightful suggestions for improving the manuscript. We also thank CAPES and Projeto TAMAR for the financial and logistical support and IBAMA for giving the necessary permits to data collection inside the National Marine Park of Fernando de Noronha.

- Akin, P. A. (1988). "Geographic variation in tooth morphology and dentinal patterns in the spinner dolphin, *Stenella longirostris*," Marine Mammal Sci. **4**(2), 132–140.
- Azevedo, A. F., and Van Sluys, M. (2005). "Whistles of tucuxi dolphins (*Sotalia fluviatilis*) in Brazil: Comparisons among populations," J. Acoust. Soc. Am. **117**(3), 1456–1464.
- Barlow, J. (1984). "Reproductive seasonality in pelagic dolphins (*Stenella* spp.): Implications for measuring rates," Rep. Int. Whal. Comm. **6**, 191–198.
- Bazúa-Durán, C., and Au, W. L. (2001). "Geographic variation in whistles of spinner dolphins (*Stenella longirostris*)," 14th Biennial Conference on Biology of Marine Mammals, Vancouver, Canada, 28 Nov.-3 Dec.
- Bazúa-Durán, C., and Au, W. L. (2002). "The whistles of Hawaiian spinner dolphins," J. Acoust. Soc. Am. **112**(6), 3064–3072.
- Bazúa-Durán, C., and Au, W. L. (2004). "Geographic variations in the whistles of spinner dolphins (*Stenella longirostris*) of main Hawaiian Islands," J. Acoust. Soc. Am. **116**(6), 3757–3769.
- Bazúa-Durán, C., Au, W. L., and Oswald, J. N. (2003). "Possible reasons for

- the geographic variations in the whistles of spinner dolphins (*Stenella longirostris*) of the Pacific Ocean," 17th Conference of the European Cetacean Society, Las Palmas de Gran Canaria 9–13 March.
- Craig, M. T., Hastings, P. A., and Pondella, D. J. (2004). "Speciation in the Central American seaway: The importance of taxon sampling in the identification of trans-isthmian geminate pairs," J. Biogeogr. **31**, 1085–1091.
- Craig, M. T., Hastings, P. A., Pondella, D. J., Ross Robertson, D., and Rosales-Casián, J. A. (2006). "Phylogeography of the flag cabrilla *Epinephelus labriformis* (Serranidae): Implications for the biogeography of the Tropical Eastern Pacific and the early stages of speciation in a marine shore fish," J. Biogeogr. **33**, 969–979.
- Douglas, M. E., Schnell, G. D., Hough, D. J., and Perrin, W. F. (1992). "Geographic variation in cranial morphology of spinner dolphins *Stenella longirostris* in the Eastern Tropical Pacific Ocean," Fish. Bull. **90**, 54–76.
- Driscoll, A. D. (1995). The whistles of Hawaiian spinner dolphins, *Stenella longirostris*. Master's thesis, University of California at Santa Cruz.
- Farro, A. P. C., Rollo, M. M. Jr., Silva, J. M. Jr., and Marino, C. L. (2005). "Skin sampling for genetic analysis of a South Atlantic spinner dolphin (*Stenella longirostris*) population," in 16th Biennial Conference on Biology of Marine Mammals, 2005, San Diego, CA. (Abstract).
- Gray, J. E. (1828). *Specilegia Zoologica; or Original Figures and Short Systematic Description of New and Unfigured Animals*, Treuettel, Wurtz and Wood, London.
- Herman, L. H., and Tavalga, W. N. (1980). "The communication system of cetaceans" in *Cetacean Behavior: Mechanisms and Functions*, edited by L. H. Herman (Wiley, New York), pp. 149–209.
- Herzing, D. L. (2000). "Acoustics and social behavior of wild dolphins: implications for a sound society" in *Hearing by Whales and Dolphins*, edited by W. W. L. Au, A. N. Popper, and R. F. Fay (Springer Verlag, New York), pp. 225–272.
- Janik, V. M. (2000). "Source levels and the estimated active space of bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) whistles in the Moray Firth, Scotland," J. Comp. Physiol. **186**, 673–680.
- Janik, V. M., and Slater, P. J. B. (1998). "Context-specific use suggests that bottlenose dolphin signature whistle are cohesion calls," Anim. Behav. **56**(4), 829–838.
- Janik, V. M., Dehnhardt, G., and Todt, D. (1994). "Signature whistle variation in the bottlenosed dolphin, *Tursiops truncatus*," Behav. Ecol. Sociobiol. **35**(4), 243–248.
- Jones, G. J., and Sayigh, L. S. (2002). "Geographic variation in rates of vocal production of free-ranging bottlenose dolphin," Marine Mammal Sci. **18**(2), 374–393.
- Kaufman, L., and Rousseeuw, P. J. (2005). *Finding groups in data: An introduction to cluster analysis*, (Wiley, New York), pp. 342.
- Lammers, M. O. and Au, W. L. (2003). Directionality in the whistles of Hawaiian spinner dolphins (*Stenella longirostris*): A signal feature to cue direction of movement?, Marine Mammal Science, **19**(2), pp. 249–264.
- Lammers, M. O., Au, W. L., and Herzing, D. L. (2003). "The broadband social acoustic signaling behavior of spinner and spotted dolphins," J. Acoust. Soc. Am. **114**(3), 1629–1639.
- McCowan, B., and Reiss, D. (1995). "Maternal Aggressive contact vocalizations in captive bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*): Wide-band, low-frequency signals during mother/aunt-infant interactions," Zoo Biol. **14**, 293–309.
- McCowan, B., and Reiss, D. (2001). "The fallacy of 'signature whistles' in bottlenose dolphin: A comparative perspective of 'signature information' in animal vocalizations," Anim. Behav. **62**, 1151–1162.
- Norris, K. S., Wursig, B., Wells, R. S., and Wursig, M. (1994). *The Hawaiian Spinner Dolphin*, (University of California Press, Berkeley), p. 408.
- Oswald, J. N., Barlow, J., and Norris, T. F. (2003). "Acoustic identification of nine delphinid species in the eastern tropical Pacific Ocean," Marine Mammal Sci. **19**(1), 20–37.
- Oswald, J. N., Rankin, S., and Barlow, J. (2004). "The effect of recording and analysis bandwidth on acoustic identification of nine delphinidae species," J. Acoust. Soc. Am. **116**(5), 3178–3185.
- Perrin, W. F. (1990). "Subspecies of *Stenella longirostris* (Mammalia: Cetacea: Delphinidae)," Proc. Biol. Soc. Wash. **103**, 453–463.
- Perrin, W. F., Akin, P. A., and Kashiwada, J. V. (1991). "Geographic variation in external morphology of the spinner dolphin *Stenella longirostris* in the Eastern Pacific and implications for conservation," Fish. Bull. **89**, 411–428.
- Perrin, W. F., and Dolar, L. L. (1996). "Preliminary results on spinner dolphins, *Stenella longirostris*, from Philippines," IBI Rep. **6**, 25–33.
- Perrin, W. F., Dolar, M. L. L., and Robineau, D. (1999). "Spinner dolphins

- (*Stenella longirostris*) of the Western Pacific and Southeast Asia: Pelagic and shallow water forms," *Marine Mammal Sci.* **15**(4), 1029–1053.
- Perryman, W. L., and Westlake, D. (1998). "A new geographic form of the spinner dolphin, *Stenella longirostris*, detected with aerial photogrammetry," *Marine Mammal Sci.* **14**(1), 38–50.
- R Development Core Team (2004). "R: A language and environment for statistical computing," Vienna, Austria, R Foundation for Statistical Computing, <http://www.R-project.org>. Last accessed 11/10/06.
- Steiner, W. W. (1981). "Species-specific differences in pure tonal whistle vocalizations of five Western North Atlantic dolphin species," *Behav. Ecol. Sociobiol.* **9**, 241–246.
- Tringali, M. D., Bert, T. M., Seyoum, S., Bermingham, E., and Bartolacci, D. (1999). "Molecular Phylogenetics and Ecological Diversification of the Transisthmian Fish Genus *Centropomus* (Perciformes: Centropomidae)," *Mol. Ecol.*, **13**, 193–207.
- Tyack, P. L. (1998). "Acoustic Communication under sea," in *Animal Acoustics Communication—Sound Analysis and Research Methods*, edited by S. L. Hopp, M. J. Owen, and C. S. Evans (Springer-Verlag, New York), pp. 163–219.
- Van Waerebeek, K. V., Gallagher, M., Baldwin, R., Papastravrou, L., and Al-Lawati, S. M. (1999). "Morphology and distribution of the spinner dolphin, *Stenella longirostris*, rough-toothed dolphin, *Steno bredanensis* and melon-headed whale, *Peponocephala electra*, from waters off the Sultanate of Oman," *J. Cetacean Res. Manage.* **1**(2), 167–177.
- Wang, D., Wursig, B., and Evans, W. (1995a). "Comparison of whistles among seven odontocete species," in *Sensory systems of Aquatic Mammals*, edited by R. A. Kastelein, J. A. Thomas, and P. E. Nachtigall (The Spil Publishers, Woerden, The Netherlands), pp. 299–323.
- Wang, D., Wursig, B., and Evans, W. (1995b). "Whistles of bottlenose dolphins: Comparison among populations," *Aquat. Mamm.* **21**(1), 65–77.
- Whitten, J. L., and Thomas, J. A. (2001). "Whistle repertoire of Pacific white-sided dolphins (*Lagenorhynchus obliquidens*) at the John G. Shedd Aquarium," *J. Acoust. Soc. Am.* **109**, p. 2391.