

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA

Thiago Orion Simões Amorim

**BIOACÚSTICA DE BALEIAS CACHALOTES (*Physeter macrocephalus* LINNAEUS,
1758) COM ÊNFASE NO OCEANO ATLÂNTICO SUL OCIDENTAL**

Juiz de Fora
2017

Thiago Orion Simões Amorim

BIOACÚSTICA DE BALEIAS CACHALOTES (*Physeter macrocephalus* LINNAEUS, 1758) COM ÊNFASE NO OCEANO ATLÂNTICO SUL OCIDENTAL

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Ecologia.

Orientador: Prof. Dr. Artur Andriolo

Juiz de Fora
2017

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Amorim, Thiago Orion Simões.

Bioacústica de baleias cachalotes (*Physeter macrocephalus* Linnaeus, 1758) com ênfase no oceano Atlântico Sul ocidental / Thiago Orion Simões Amorim. -- 2017.

121 p.

Orientador: Artur Andriolo

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Ecologia, 2017.

1. Bioacústica. 2. Cachalotes. 3. Estrutura social. I. Andriolo, Artur, orient. II. Título.


**“BIOACÚSTICA DE BALEIAS CACHALOTES (*Physeter macrocephalus*
LINNAEUS, 1758) COM ÊNFASE NO OCEANO ATLÂNTICO SUL OCIDENTAL”**

Thiago Orion Simões Amorim

Orientador: Prof. Dr Artur Andriolo

Tese apresentada ao Instituto de Ciências Biológicas, da Universidade Federal de Juiz de Fora, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Doutor em Ecologia Aplicada ao Manejo e Conservação de Recursos Naturais.


Aprovado em 08 de junho de 2017




Prof. Dr. Artur Andriolo
Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF



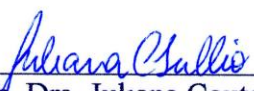
Prof. Dr. Marcelo Veronesi Fukuda
Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF



Prof. Dr. Fábio Prezoto
Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF



Prof. Dr. Maurício Cantor
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC



Profa. Dra. Juliana Couto Di Tullio
Universidade Federal do Rio Grande - FURG

Na insondável floresta do coração
há o mistério da ternura:
a amizade e o amor.
E tudo fica a flutuar
como os seres maravilhosos
que habitam
os fundos abissais do mar.
(Veleida Silva, 08/01/1990)

Agradecimentos

Ao meu orientador Artur, minha gratidão por todas as oportunidades, pelo papel essencial na minha formação, pela participação nessa jornada. Agradeço pela amizade, pelos conselhos, ensinamentos e inspirações de vida e ciência.

Ao Luke Rendell, por ter abraçado esse trabalho, por ter me recebido e ensinado tanto em St. Andrews, pela colaboração e ideias.

A minha mãe e meu irmão, meus esteios! Obrigado pelo amor, pela vida, por enxergarem o melhor em mim. A minha amada tia, por estar comigo desde sempre, pelos abraços e incentivo. Ao meu pai pelo apoio e carinho incondicionais.

As minhas madrinhas, Veleida e Valéria, pelo amor, pela alegria em cada reencontro, por aquecer meu coração com sorrisos.

Ao Eduardo Secchi, Juliana Di Tullio e a toda equipe do projeto Talude pela colaboração e oportunidade na realização dos estudos em Bioacústica.

Ao José Luis Pizzorno, Cláudio Mandarinó, Ecology Brasil, João Correa e Spectrum pela disponibilização do registro de cachalotes do Norte que tanto enriqueceu esse trabalho.

A Sally Mizroch pela colaboração e por disponibilizar os dados de caça.

Ao Mauricio Cantor, pelas ideias e por ter norteado passos fundamentais para esse trabalho.

A Auset ao Gustavo Miranda por todo esforço e empenho. Obrigado pela participação fundamental nesse trabalho, por todas as vezes que veio correndo me ajudar com as questões técnicas, e muito mais do que isso, agradeço pela amizade e incentivo.

A Fran, minha grande amiga e parceira de jornada. Esse trabalho também é fruto do seu empenho e dedicação em campo. Obrigado por ter estado plenamente em todos os momentos, pelas conversas, pelos abraços de incentivo, pela confiança, pelas trocas profissionais e pessoais.

Aos amigos que a vida me deu. Cleinha, Patrick, Ju, Fran, obrigado pela cumplicidade, companheirismo e por tornarem tudo mais leve.

Aos amigos do LABEC, Dani, Mari, Bruna Duque, Bruna Pagliani, Anne, Jéssica, Gabi, Raíssa e João pelo apoio.

Aos novos amigos de St. Andrews, pelas boas vindas calorosas. Gui, Manu, Nadya e Ale, obrigado pelos dias incríveis e pela força em cada passo. Luca, Sara, Laura, obrigado pelo suporte no lab.

Ao Bill Rossiter e Cetacean Society International pelo suporte em cada congresso.

Ao Instituto Aqualie pelas oportunidades e confiança no meu trabalho.

A CAPES pela bolsa. Ao PGECOL pelo apoio. Ao Júlio, Rose e Priscila por estarem sempre dispostos a ajudar.

A banca, agradeço antecipadamente pelas contribuições.

As baleias...o princípio de tudo. Minha profunda e eterna gratidão, por me inspirar, me ensinar e por terem me dado a honra de conhecer um pouquinho da sua grandiosidade.

Sumário

Introdução geral.....	4
Objetivos.....	8
Material e métodos gerais.....	8
Referências.....	14

Capítulo 1. Repertório de codas no oceano Atlântico Sul ocidental.

Resumo.....	21
Abstract.....	22
1. Introdução.....	23
2. Material e métodos.....	27
3. Resultados.....	34
4. Discussão.....	46
Referências.....	49

Capítulo 2. Compartilhamento de codas entre baleias cachalotes no Atlântico Sul ocidental.

Resumo.....	58
Abstract.....	59
1. Introdução.....	60
2. Material e métodos.....	64
3. Resultados.....	74
4. Discussão.....	76
Referências.....	78

Capítulo 3. Estimativa do tamanho de baleias cachalotes através da acústica no Atlântico Sul ocidental.

Resumo.....	86
Abstract.....	87
1. Introdução.....	88
2. Material e métodos.....	90
3. Resultados.....	95
4. Discussão.....	99
Referências.....	102

Considerações finais.....	113
Referências.....	116

Lista de figuras

Introdução e métodos gerais

Figura 1. Exemplos de encontros com cachalotes no Atlântico Sul ocidental.....	5
Figura 2. Registros acústicos de baleias cachalote no Oceano Atlântico Sul ocidental.....	11
Figura 3. Exemplo de codas marcados pelo Rainbow Click.....	13

Capítulo 1

Figura 1. Registros acústicos de codas no Oceano Atlântico Sul ocidental.....	28
Figura 2. Exemplo de definição dos parâmetros no OPTICSxi.....	32
Figura 3. Plot do ritmo ilustrando os 24 tipos de codas produzidos por cachalotes no oceano Atlântico Sul ocidental.....	35
Figura 4. Curva de acumulação entre tipos de codas identificados e número de codas registrados.....	36
Figura 5. Passos considerados para representar a similaridade no repertório de codas de baleias cachalotes no Atlântico Sul ocidental.....	37
Figura 6. Repertório de codas de baleias cachalotes registradas no oceano Atlântico Sul ocidental utilizando a distância Euclidiana dos intervalos-entre click absolutos e classificação dos tipos de codas utilizando OPTICSxi.....	41
Figura 7. Análise de componentes principais.....	42

Capítulo 2

Figura 1. Desenho esquemático da cabeça de uma cachalote e o mecanismo de produção sonora.....	63
Figura 2. Distribuição da diferença absoluta entre os valores do IPI.....	66
Figura 3. Árvore de classificação dos indivíduos com IPI estável.....	68
Figura 4. Árvore de classificação após o agrupamento dos indivíduos E e F (classe EF).....	71
Figura 5. Valores do IPIs (relativos a diferentes indivíduos) plotados pelos tipos de codas....	74

Capítulo 3

Figura 1. Exemplo de slow click utilizado no cálculo do IPI estável.....	91
Figura 2. Registros acústicos de slow clicks no Oceano Atlântico Sul ocidental.....	93
Figura 3. Relação entre as medidas do IPI e os tamanhos obtidos pelas fórmulas de Gordon (1991) e Growcott (2011).....	95
Figura 4. Distribuição dos tamanhos para codas e slow clicks.....	96
Figura 5. Distribuição de codas e slow clicks em três classes de sexo e maturidade sexual de acordo com a curva de crescimento de Rice (1989).....	97
Figura 6. Distribuição de baleias cachalotes caçadas por tamanho entre 1960 e 1979. Dados provenientes da Comissão Baleeira Internacional.....	98

Lista de tabelas

Capítulo 1

Tabela 1. Registros de cachalotes no Atlântico Sul ocidental e número de codas analisados no Rainbow Click por encontro.....27

Capítulo 2

Tabela 1. Registros de cachalotes no Atlântico Sul ocidental, número de codas analisados por encontro e número de codas com intervalo entre pulsos (IPI) estáveis ($IQR \leq 0.01$ ms).....64

Tabela 2. Modelo de classificação gerados pelo algoritmo c5.0 com as classes de indivíduos estabelecidas com IPI estável.....67

Tabela 3. Modelo de classificação gerado pelo algoritmo c5.0 após o agrupamento dos indivíduos E e F.....67

Tabela 4. Compartilhamento de codas por 16 indivíduos.....75

Capítulo 3

Tabela 1. Registro de cachalotes no Atlântico Sul ocidental, número de codas com IQR (intervalo-entre quartis) ≤ 0.01 ms e slow clicks utilizados para estimar o tamanho dos animais acusticamente.....95

1. INTRODUÇÃO GERAL

1.1 A baleia cachalote: história natural e estrutura social

A baleia cachalote (*Physeter macrocephalus* Linnaeus, 1758) (Figura 1) é a maior espécie dentre os odontocetos, as fêmeas podem medir 12.5 metros e os machos 18 metros (Best 1979, Rice 1989). Geralmente encontradas em águas de profundidade superior a 200 metros em todos os oceanos, os cachalotes possuem a segunda maior distribuição geográfica, superada apenas pela das baleias orcas (*Orcinus orca*) (Rice 1989).

Mesmo com a ampla ocorrência, os cachalotes não se distribuem uniformemente. Baleeiros foram os primeiros a reconhecer a existência de áreas onde essas baleias se concentram, chamadas *grounds* (Townsend 1935). Os fatores determinantes dessas concentrações ainda não são minuciosamente conhecidos. Alguns desses fatores são o encontro de massas de águas oceânicas e vórtices ciclônicos (Waring et al. 1993, Biggs et al. 2000, Gregr & Trites 2001, Waring et al. 2001, Whitehead 2003). Além disso, Jaquet (1966) sugeriu que em larga escala essas agregações estariam relacionadas à produção primária que, por sua vez, determina a disponibilidade de presas meso e batipelágicas, como principalmente as lulas, mas também outros invertebrados e peixes.

A longa vida dessas baleias permite a formação de laços sociais de longo prazo entre os indivíduos (Christal et al. 1998). Estudos sobre a organização social desses animais no oceano Pacífico observaram que fêmeas e imaturos vivem em unidades sociais estáveis compostas por 10 a 12 animais, com alguns movimentos ocasionais entre indivíduos de outras unidades. Essas unidades formam grupos multi-unidades temporários que podem durar por dias antes de se dissociarem (Christal et al. 1998, Coakes & Whitehead 2004). Os machos se dispersam de suas unidades natais com cerca de seis anos para formar com outros machos juvenis e sub-adultos, o que é conhecido por grupos *bachelor* (Gaskin 1970, Best 1979). A medida em que crescem e ficam mais velhos, os machos são encontrados em grupos menores

e em altas latitudes, culminando em uma vida solitária. Machos sexualmente maduros deslocam-se para latitudes mais baixas para acasalar (Ivashin 1981), visitando diferentes grupos/unidades a procura de fêmeas receptivas (Best 1979, Whitehead 1993, Christal & Whitehead 1997, Whitehead & Weilgart 2000, Whitehead 2003).

A estrutura social é fundamentalmente o estudo das interações entre indivíduos, interessada na natureza, qualidade e padrões das relações entre seus membros (Hinde 1976, Whitehead 2008). Alguns métodos complementares são empregados no estudo das sociedades animais: foto-identificação, técnicas moleculares, observação do comportamento, estimativas de tamanho do animais, descrições genéticas, monitoramento acústico passivo e caracterização das vocalizações (Whitehead 2003). A ligação entre o sinal de comunicação e estrutura social é particularmente clara em cetáceos; de modo que se os sinais são específicos aos indivíduos, ao grupo ou população, isso reflete muitas vezes o sistema social da espécie em questão (Tyack 1986, Tyack & Sayigh 1997).





Figura 1. Exemplos de encontros com cachalotes no Atlântico Sul ocidental.

1.2 Vocalizações

Uma das características mais marcantes dos cachalotes é a presença do espermacete, uma estrutura anatômica no complexo nasal preenchida por óleo e correspondente a 25 – 33% do corpo do animal (Rice 1989). Diferentes teorias sobre a função do complexo nasal foram apresentadas (Carrier et al. 2002, Clarke 1970, 1978), porém a mais aceita é a proposta por Norris & Harvey (1972) que descreve essa grande estrutura como o maior órgão de produção acústica do reino animal.

Outros estudos (Cranford 1999, Møhl et al. 2003) desenvolveram a teoria de Norris e Harvey sobre o mecanismo de produção sonora. De acordo com eles, as baleias produzem som forçando a passagem de ar através dos lábios fônicos produzindo *clicks*. Esses *clicks* são refletidos pelos sacos aéreos localizados no espermacete, para então serem emitidos para o

ambiente. Este processo produz uma série de pulsos resultantes de cada ciclo de reflexão, ocasionando um decaimento de energia (Whitehead 2003).

Quatro tipos de *clicks* são reconhecidos: *clicks* usuais ou de ecolocalização, *slow clicks*, *creaks* e *codas*. Esses padrões são caracterizados por intervalo entre *clicks*, duração, direcionalidade, nível de pressão sonora na fonte e comportamento associado à sua emissão. Os *clicks* usuais são altamente direcionais e usados em longos mergulhos para explorar o ambiente, navegação do animal e busca por presas (Whitehead 2003). Os *slow clicks* são emitidos por machos, possuem baixa direcionalidade e são utilizados na comunicação entre machos em áreas de alimentação e na interação com fêmeas em áreas de reprodução (Weilgart & Whitehead 1988, Whitehead 1993, Oliveira et al. 2013). Os *creaks* possuem curtos intervalos entre *clicks*, alta taxa de repetição e direcionalidade; são produzidos quando os animais estão em mergulho, no momento da captura das presas e na superfície (nesse caso são chamados de *chirrup*s e estão relacionados à procura de parceiros sociais) (Whitehead 2003). O termo *coda* foi utilizado primeiramente por Watkins & Schevill em 1977 para nomear um padrão temporal repetitivo. Dessa forma, os *codas* constituem um padrão de *clicks* estereotipados e de baixa direcionalidade. Os *codas* tem sido associados à comunicação, identificação de um membro específico de uma unidade (Watkins & Schevill 1977, Whitehead & Weilgart 1991) e identificação dos níveis sociais de clã e unidade em que os cachalotes estão organizados (Gero et al. 2016a).

Estudos de estrutura social dos cachalotes através da acústica foram desenvolvidos no Atlântico Norte (Mar do Caribe (Moore et al. 1993, Schulz et al. 2008; Antunes et al. 2011, Schulz et al. 2011, Gero et al. 2016a, Gero et al. 2016b); Atlântico Norte ocidental (Watkins & Schevill 1977) e Azores (Oliveira et al. 2016)), mar Mediterrâneo (Borsani et al. 1997, Pavan et al. 2000) e Pacífico (Weilgart & Whitehead 1993, Weilgart & Whitehead 1997, Rendell & Whitehead 2003a, Rendell & Whitehead 2003b, Rendell & Whitehead 2004,

Rendell & Whitehead 2005, Marcoux et al. 2006). Portanto, o presente trabalho busca complementar o conhecimento do comportamento acústico dessa espécie.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Investigar aspectos da estrutura social de baleias cachalotes no oceano Atlântico Sul ocidental através da acústica.

2.2 Objetivos específicos

- 1 – Descrever o repertório de codas no Atlântico Sul ocidental.
- 2 – Investigar o compartilhamento de codas por diferentes indivíduos.
- 3 – Estimar o tamanho dos animais através de dados acústicos.

3. MATERIAL E MÉTODOS GERAIS

A metodologia apresentada nessa seção é comum para todos os capítulos. Os métodos de análise específicos serão apresentados em cada capítulo.

3.1 Áreas de estudo e métodos de campo

3.1.1 Cruzeiros Sudeste e Sul

1 – Projeto Monitoramento de Cetáceos (PMC) 2011 e 2012

Os cruzeiros foram conduzidos na região da quebra da plataforma continental brasileira entre o Chuí (33°41'S, 53°27'O) e Cabo Frio, RJ (22°52'S, 42°01'O) (Figura 2) a bordo do navio Oceanográfico R/V Atlântico Sul que percorreu transecções lineares em estado do mar até 6 na escala Beaufort para reduzir a instabilidade da matriz de arrasto utilizada para os registros acústicos.

Os seguintes sistemas de gravação foram empregados:

- Cruzeiro de 2011: hidrofone Cetacean Research™ C54XRS (+3/- 20 dB, - 185 dB *re*: 1V/ μ Pa) acoplado a um gravador digital Fostex® FR-2 LE com frequência de amostragem de 96kHz/24bits. O hidrofone permaneceu submerso a 20 metros. Para essa coleta os motores e gerador do navio foram desligados para minimizar o ruído nas gravações.
- Cruzeiro de 2012: mesmo sistema descrito acima, além de uma matriz de arrasto (Auset®) de 150 metros com 3 elementos omnidirecionais (-40 dB, -161 dB *re*: 1V/ μ Pa) equidistantes por cinco metros, e arranjados a cinco metros do final do cabo. O sistema foi acoplado a um gravador digital Fostex® FR-2 LE com frequência de amostragem de 96kHz/24bits e configurado com *High pass filter* (“passa alta”) de 1.592 Hz.

2 – Projeto Talude 2013 até 2015

Os cruzeiros foram conduzidos na região da quebra da plataforma continental brasileira entre o Chuí (33°41'S, 53°27'O) e Cabo Frio, RJ (22°52'S, 42°01'O) (Figura 2) a bordo do navio Oceanográfico R/V Atlântico Sul. O navio percorreu transecções lineares e informações sobre distância e ângulo radial e tamanho de grupo dos cetáceos avistados foram coletadas para o estudo de estimativa das populações (objetivo do Projeto Talude). Os sinais acústicos foram coletados continuamente entre 5 horas e 30 minutos e 18 horas em estado do mar até 6 na escala Beaufort para reduzir a instabilidade da matriz de arrasto utilizada para os registros acústicos.

Os seguintes sistemas de gravação foram empregados:

- Cruzeiros de 2013 e maio/junho de 2014: matriz de arrasto descrita acima para o cruzeiro de 2012, porém com 250 metros de comprimento.
- Cruzeiros de novembro/dezembro de 2014 e 2015: sistema acústico (Auset[®]) composto de uma matriz de arrasto de 300 metros com 3 elementos omnidirecionais (-40 dB, -161 dB *re*: 1V/ μ Pa) distantes cinco e três metros respectivamente e arranjados a cinco metros do final do cabo (essa configuração permitiu o registro de menores intensidades do ruído ambiental e do motor do navio). O sistema foi acoplado a um gravador digital Fostex[®] FR-2 LE com frequência de amostragem de 96kHz/24bits e configurado com *High pass filter* (“passa alta”) de 0,499 Hz. Quando possível, os sinais foram registrados e transmitidos a uma placa digitalizadores Iotech Personal Daq/3000 Series, e gravados em disco rígido em arquivos formato .wav. Neste caso a resposta de frequência foi de 100 kHz/24 bits.

3.1.2 Cruzeiro Norte

O cruzeiro foi conduzido na região de Barreirinhas (02°37.05'N, 46°42.41'O) (Figura 2) a bordo do navio BGP Challenger durante uma operação sísmica. O navio percorreu transecções lineares e o registro acústico ocorreu no dia 04 de Maio de 2016, às 20:55 em estado do mar 2-3 na escala Beaufort após a detecção e avistagem de um grupo de 4 animais. O sistema acústico (Seiche, SM 4189, 8U Rack unit) era composto de uma matriz de 250 metros com 4 elementos (-157dB *re*1V/ μ Pa) separados por respectivamente 2, 13.23 e 0.35 metros. A frequência de amostragem foi de 96kHz/24bits.

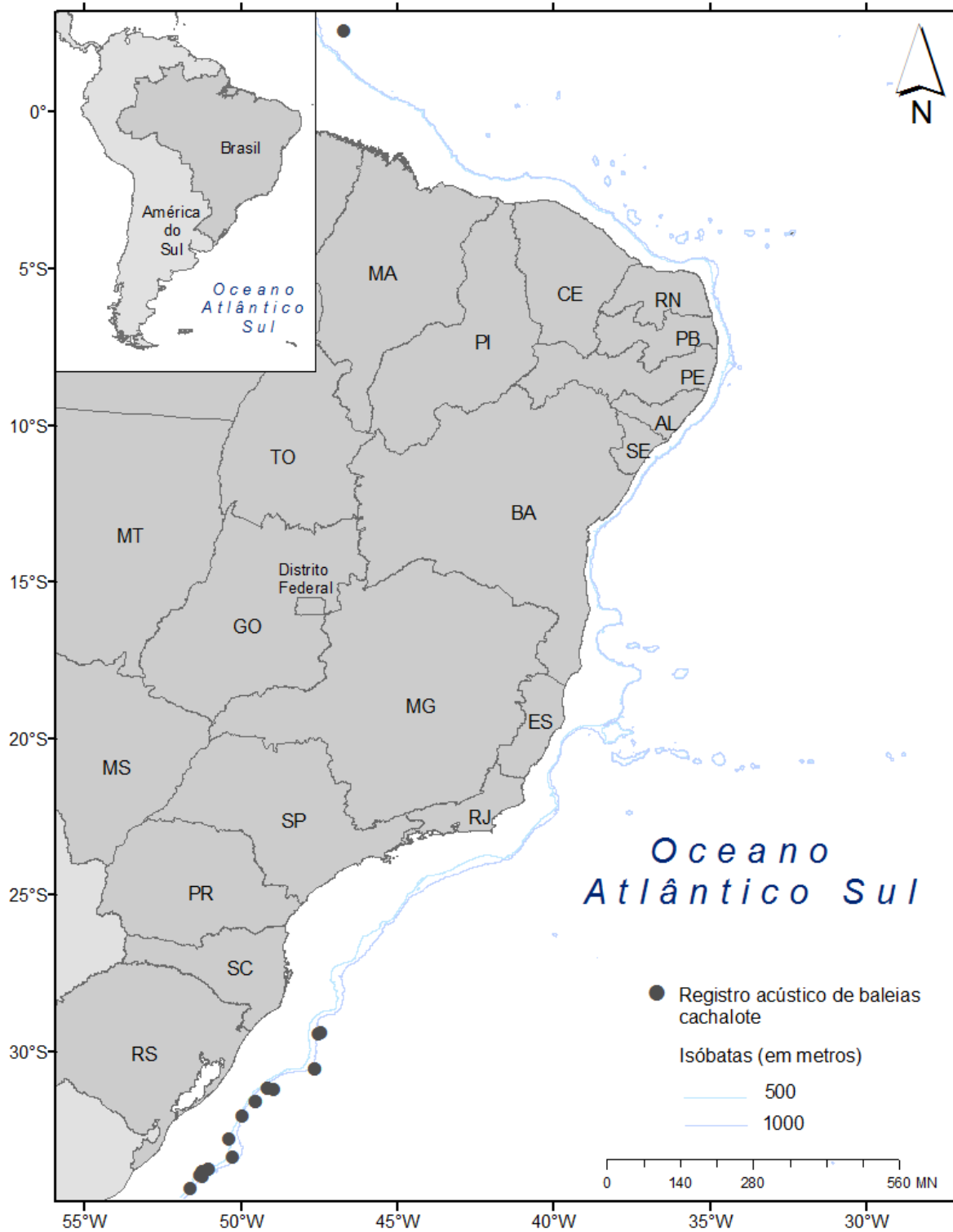


Figura 2. Registros acústicos de baleias cachalote no Oceano Atlântico Sul ocidental.

3.2 Análise preliminar dos codas

A primeira etapa consistiu em inspecionar visualmente os arquivos .wav através do software Raven Pro. 1.5 (Cornell Laboratory of Ornithology, NY) para verificar a presença de codas. Em seguida, os codas foram manualmente analisados utilizando o software Rainbow Click (Gillespie 1997, Leaper et al. 2000). Esse programa detecta os clicks e, através de correlação cruzada, aqueles que pertencem à mesma sequência dentro de um coda são marcados (Figura 3). O programa então gerou arquivos .clk que foram utilizados para as análises subsequentes através do Matlab R2014a (Mathworks, Inc., Natick MA, USA). Codas que não tiveram todos os clicks detectados ou não foram claramente identificados foram desconsiderados.

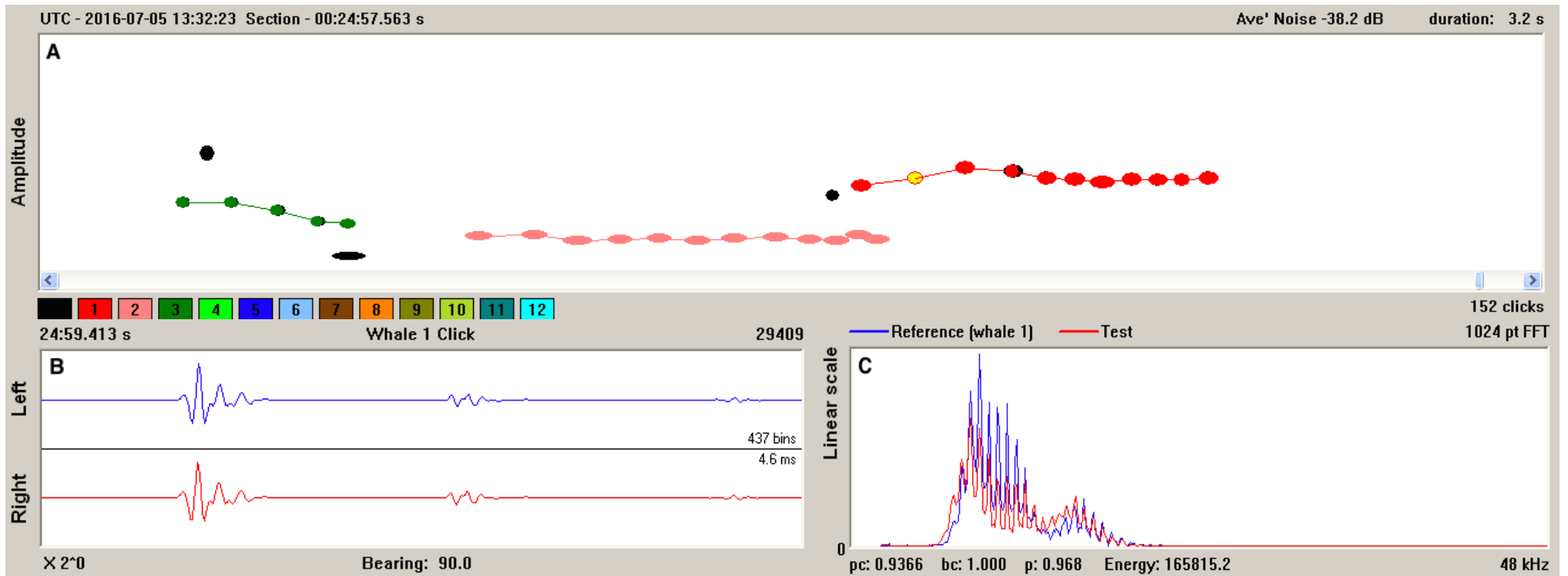


Figura 3. Exemplo de codas marcados pelo Rainbow Click. Cada círculo colorido corresponde a um click. A – 3 codas distintos identificados. No coda em vermelho, o primeiro click foi tomado como referência (“*Reference*”) e o segundo click (destacado em amarelo) corresponde ao click testado (“*Test*”); B – Waveform do click testado. C – Power spectrum do click de referencia (azul) e do click testado (vermelho) e o valor do pico de correlação (pc=0.9366).

REFERÊNCIAS

Antunes, R.; Schulz, T.; Gero, S.; Whitehead, H.; Jonathan Gordon, J. & Rendell, L. 2011. Individually distinctive acoustic features in sperm whale codas. *Animal Behaviour*, 81: 723-730.

Best, P.B. 1979. Social organization in sperm whales, *Physeter macrocephalus*. In *Behavior of marine animals*, vol. 3, Winn, H.E., Olla, B.L. (Eds.) Plenum, New York. 227-289.

Biggs, D.C.; Leben, R.R. & Ortega-Ortiz, J.G. 2000. Ship and satellite studies of mesoscale circulation and sperm whale habitats in the Northeast Gulf of Mexico during GulfCet II. *Gulf of Mexico Science*. 18: 15-22.

Borsani, J.F.; Pavan, G., Gordon, J.C.A. & Notarbartolo di Sciara, G. 1997. Regional vocalizations of the Sperm Whale: Mediterranean codas. *European Research on Cetaceans*, Cambridge (UK), 10:78-81.

Carrier, D.R.; Deban, S.M. & Otterstrom, J. 2002. The face that sunk the Essex: Potential function of the spermaceti organ in aggression. *Journal of Experimental Biology*, 205: 1755-1763.

Clarke, M.R. 1970. The function of the spermaceti organ of the sperm whale. *Nature*, 238: 405-406.

Clarke, M.R. 1978. Buoyancy control as a function of the spermaceti organ in the sperm whale. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 58: 27-71.

Christal, J. & Whitehead, H. 1997. Aggregations of mature male sperm whales on the Galapagos Islands breeding ground. *Marine Mammal Science*, 13: 59-69.

Christal, J.; Whitehead, H. & Lettevall, E. 1998. Sperm whales social units: variation and change. *Canadian Journal of Zoology*, 76: 1431: 1440.

Gillespie, D. 1997. An acoustic survey for sperm whales in the Southern Ocean sanctuary conducted from the R/V Aurora Australis. *Reports of the International Whaling Commission*, 47, 897-908.

Coakes, A. & Whitehead, H. 2004. Social structure and mating system of sperm whales of northern Chile. *Canadian Journal of Zoology*, 82: 1360-1369.

Cranford, T.E. 1999. The sperm whale's nose: Sexual selection on a grand scale? *Marine Mammal Science*, 15: 1133-1157.

Gaskin, D.E. 1970. Composition of schools of sperm whales *Physeter macrocephalus* Linn. east of New Zealand. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 4: 456–471.

Gero, S.; Whitehead, H. & Rendell, L. 2016a. Individual, unit and vocal clan level identity cues in sperm whales codas. *Royal Society Open Science*, 3: 150372

Gero, S.; Bottcher, A.; Whitehead, H & Madsen, P.T. 2016b. Socially segregated sympatric sperm whale clans in the Atlantic Ocean. *Royal Society Open Science*, 3: 160061

Gregr, E.J. & Trites, A.W. 2001. Predictions of critical habitat for five whale species in the waters of coastal British Columbia. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 58: 1265-1285.

Hinde, R.A. 1976. Interactions, relationships and social structure. *Man*, 11: 1-17.

Ivashin, M.V. 1981. Some results of the marking of sperm whales (*Physeter macrocephalus*) in the Southern Hemisphere under the Soviet marking programme. *Report of the International Whaling Commission*, 31: 707-718.

Jaquet, N. & Whitehead, H. 1996. Scale-dependent correlation of sperm whale distribution with environmental features and productivity in the South Pacific. *Marine Ecology Progress Series*, 135: 1-9.

Leaper, R.; Gillespie, D. & Papastavrou, V. 2000. Results of passive acoustic surveys for odontocetes in the Southern Ocean. *Journal of Cetacean Research and Management*, 2: 187-196.

Marcoux, M; Whitehead, H. & Rendell, L. 2006. Coda vocalizations recorded in breeding areas are almost entirely produced by mature female sperm whales (*Physeter macrocephalus*). *Canadian Journal of Zoology*, 84: 609-614

Møhl, B.; Wahlberg, M.; Madsen, P.T.; Heerfordt, A. & Lund, A. 2003. The monopulsed nature of sperm whale clicks. *Journal of the Acoustical Society of America*, 114: 1143-1154.

Moore, K.E.; Watkins, W.A. & Tyack, P.L. 1993. Pattern similarity in shared codas from sperm whales (*Physeter catodon*). *Marine Mammal Science*, 9: 1-9.

Norris, K.S. & Harvey, G.W. 1972. A theory for the function of the spermaceti organ of the sperm whale (*Physeter catodon* L.). In *Animal orientation and navigation*. Geller, S.R.; Schmidt-Koenig, K.; Jacobs, G.J.; Belleville, R.E. (Eds.). NASA, Washington, D.C. 397-417.

Oliveira, C.; Wahlberg, M.; Johnson, M.; Miller, P.J.O. & Madsen, P.T. 2013. The function of male sperm whales slow clicks in a high latitude habitat: communication, echolocation, or prey debilitation? *Journal of Acoustical Society of America*, 133(5): 3135 – 3144.

Oliveira, C.; Wahlberg, W.; Silva, M.A.; Johnson, M.; Antunes, A.; Wisniewska, D.M.; Fais, A.; Gonçalves, J. & Madsen, P.T. 2016. Sperm whale codas may encode individuality as well as clan identity. *Journal of Acoustical Society of America*, 139 (5): 2860-2869.

Pavan, G.; Hayward, T.J.; Borsani, J.F.; Priano, M.; Manghi, M.; Fossati, C. & Gordon, J. 2000. Time patterns of sperm whale codas recorded in the Mediterranean Sea 1985-1996. *Journal of the Acoustical Society of America*, 107: 3487-3495.

Rendell, L. & Whitehead H. 2003a. Comparing repertoires of sperm whales: a multiple methods approach. *Bioacoustics*, 14: 61-81.

Rendell, L. & Whitehead H. 2003b. Vocal clans in sperm whales (*Physeter macrocephalus*). *Proceedings of the Royal Society of London, Series B*, 270: 225-232.

Rendell, L. & Whitehead H. 2004. Do sperm whales share coda vocalizations? Insights into coda usage from acoustic size measurements. *Animal Behaviour*, 67: 845-874.

Rendell, L. & Whitehead, H. 2005. Spatial and temporal variation in sperm whales coda vocalizations: stable usage and local dialects. *Animal Behaviour*, 70: 191-198.

Rice, D.W. 1989. Sperm Whale *Physeter macrocephalus* Linnaeus, 1758. In Handbook of marine mammals, vol 4, edited by S.H. Ridgway, S.H., Harrison, R.. London: Academic Press. 177-233.

Schulz, T. 2007. The production and exchange of sperm whale coda vocalizations. Tese de doutorado. Dalhousie University, Halifax, Canada.

Schulz, T.M.; Whitehead, H.; Gero, S. & Rendell, L. 2008. Overlapping and matching of codas in vocal interactions between sperm whales: insights into communication function. *Animal Behaviour*, 76: 1997-1988

Schulz, T.; Whitehead, H.; Gero, S. & Rendell, L. 2011. Individual vocal production in a sperm whale (*Physeter macrocephalus*) social unit. *Marine Mammal Science*, 27: 149–166.

Townsend, C.H. 1935. The distribution of certain whales as shown by the logbook records of American whaleships. *Zoologica*, 19: 1-50.

Tyack, P. 1986. Population biology, social behavior and communication in whales and dolphins. *Trends in Ecology and Evolution*, 1: 144-150.

Tyack, P.L. & Sayigh, L.S. 1997. Vocal learning in cetaceans. Pages 208-233 in C. T. Snowdon & M. Hausberger (Eds.) *Social Influences on Vocal Development*. Cambridge University Press, Cambridge.

Waring, G.T.; Fairfield, C.P.; Rushman, C.M. & Sano, M. 1993. Sperm whale associated with Gulf Stream features of the north-eastern USA shelf. *Fisheries Oceanography*, 2: 101-105.

Waring, G.T.; Hamazaki, T.; Sheehan, D.; Wood, G. & Baker, S. 2001. Characterization of beaked whale (Ziphiidae) and sperm whale (*Physeter macrocephalus*) summer habitat in shelf-edge and deeper waters off the northwest U.S. *Marine Mammal Science*, 17: 703-717.

Watkins, W.A. & Schevill, W.E. 1977. Sperm whale codas. *Journal of The Acoustical Society of America*. 62: 1486-1490.

Weilgart, L. S. and H. Whitehead. 1988. Distinctive vocalizations from mature male sperm whales (*Physeter macrocephalus*). *Canadian Journal of Zoology*, 66: 1931-1937.

Weilgart, L. & Whitehead, H. 1993. Coda communication by sperm whales (*Physeter macrocephalus*) of the Galápagos Islands. *Canadian Journal of Zoology*, 71: 744-752.

Weilgart, L. & Whitehead, H. 1997. Group-specific dialects and geographical variation in coda repertoire on South Pacific sperm whales. *Behavioural Ecology and Sociobiology*, 40: 227-285.

Whitehead, H. 1993. The behaviour of mature male sperm whales on the Galápagos breeding grounds. *Canadian Journal of Zoology*, 71: 689-699.

Whitehead, H. & Weilgart, L. 1991. Patterns of visually observed behaviour and vocalizations in groups of female sperm whales. *Behaviour*, 118: 275-296.

Whitehead, H. & Weilgart, L. 2000. The sperm whale: social females and roving males. In *Cetacean societies: field studies of whales and dolphins*. Mann, J.; Connor, R.C.; P.L.Tyack; Whitehead, H.(eds). University of Chicago Press, Chicago. 154-172.

Whitehead, H. 2003. *Sperm whales: social evolution in the Ocean*. University of Chicago Press, Chicago.

Whitehead, H. 2008. *Analyzing animal societies: Quantitative methods for vertebrate social analysis*. Chicago, University of Chicago Press.

CAPÍTULO 1

REPERTÓRIO DE CODAS NO OCEANO ATLÂNTICO SUL OCIDENTAL.

Resumo

As cachalotes vivem em sociedades multinível cujo nível social fundamental é a unidade social quase permanente constituída por fêmeas adultas e indivíduos jovens. O nível social mais alto corresponde ao clã que reúne unidades que compartilham características do repertório de codas. Este estudo descreveu o repertório de codas de cachalotes do Atlântico Sul ocidental registrados entre 2011 e 2016. Através do programa Rainbow Click os codas foram marcados e seus intervalos entre clicks foram utilizados para duas métricas complementares de similaridade: contínua e categórica. Para a primeira foi utilizada a similaridade multivariada através da distância Euclidiana e para a segunda os codas foram classificados em tipos através do algoritmo de cluster hierárquico OPTICSxi. As análises mostraram a presença de dois clãs - Norte e Sul - distintos em seus repertórios. O clã Norte apresentou produção prevalente do tipo 5R que não foi encontrado no clã Sul. Este apresentou emissão prevalente de codas longos e de intervalos-entre clicks descendentes (10D₁, 10D₂, 11D₁, 11D₂, 12D₁, 12D₂, 13D₁ e 13D₂). Codas do tipo 5R também foram predominantes nos clãs do mar do Caribe (Ilha de Dominica), sugerindo que a predominância desse tipo funcione como um marcador do clã Norte e seja resultado da transmissão cultural através de conformismo que se caracteriza pela aprendizagem de um coda mais comum. Essa transmissão cultural ocorre por meio de indivíduos que preferencialmente interagem e se comportam similarmente. Os resultados corroboraram a hipótese de que limites sociais, nesse caso o nível de clã, são mantidos primordialmente por identidades culturais e que o estudo dos codas representa uma forma de acessar a estrutura dessas populações.

SPERM WHALE CODA REPERTOIRE IN THE WESTERN SOUTH ATLANTIC OCEAN.

Abstract

Sperm whales live in multilevel societies in which the fundamental social level is the nearly-permanent social units of females and immature. The largest level is the clan constituted by social units that share a common coda repertoire. This work described the vocal repertoire of sperm whales from western South Atlantic Ocean recorded between 2011 and 2016. Rainbow Click was used to mark and automatically measured the inter-click intervals of codas, which were used to quantify similarity between repertoires through two different approaches: one categorical and one continuous. The former was used to calculate the multivariate similarity of two codas with the same number of clicks through the Euclidean distance, the latter classified codas into types using the hierarchical clustering algorithm OPTICSxi. The analysis showed two evident clans, North and South, distinct in their repertoires characterizing geographic variation in vocal behaviour of sperm whales in the western South Atlantic. The clan North presented a predominant production of 5R type not found in clan South, which repertoire was dominated by long codas with descending inter-click intervals (10D₁, 10D₂, 11D₁, 11D₂, 12D₁, 12D₂, 13D₁ e 13D₂). The 5R codas is predominant in the island of Dominica (Caribbean Sea), suggesting that the predominance of this type acts as a symbolic marking of clan North and is a result of cultural transmission maintaining the conformism through social learning in the usage of most common coda types. This cultural transmission occurs between individuals that preferentially interact and behave similarly. The results of this work corroborated the hypothesis that social boundaries, here the clan level, are maintained by cultural identities and that the study of codas is a reliable way in accessing the population structure.

1. INTRODUÇÃO

Em muitas espécies animais, vocalizações utilizadas para a comunicação variam ao longo do espaço e tempo. Dentre os fatores que explicam tais variações estão diferenças genéticas e culturais (Slater 1986, Deecke et al. 2000), adaptações locais ao ambiente e nichos ecológicos (Nottebohm 1972, Au et al. 1985, Barrett-Lennard et al. 1996, Daniel & Blumstein 1998) e reconhecimento pelo grupo e coespecíficos (Catchpole & Slater 1995, Grant & Grant 1996, Searcy & Brenowitz 1988).

Espécies que vivem em sociedades altamente organizadas podem exibir sinais de comunicação complexos para discriminar entre os vários níveis de sua estrutura social (Philips & Austad 1990, Freeberg et al. 2012). Dessa forma, é esperado que sinais de comunicação se ajustem para refletir as entidades sociais (Philips and Austad 1990; Freeberg et al. 2012). A complexidade social e sua relação com as vocalizações tem sido identificada em alguns grupos de mamíferos incluindo primatas, elefantes e cetáceos (Moss & Poole 1983, Smuts et al. 1987, Connor 2000, Wittemyer et al. 2005, Whitehead et al. 2012).

Em relação aos cetáceos, a co-evolução entre a funcionalidade de sistemas de comunicação complexos e sociedades é bem conhecida para as baleias orca (*Orcinus orca*). Orcas residentes vivem em grupos em que ambos os sexos permanecem juntos. Esses grupos se associam em *pods* com outros grupos que compartilham um dialeto vocal socialmente aprendido (Ford 1991, Ford 2002a, Ford 2002b, Ford & Ellis 2006, Deecke et al. 2010).

As baleias cachalotes apresentam algumas das características da estrutura social observadas em orcas. As cachalotes vivem em sociedades multinível (Whitehead et al. 2012, Cantor et al. 2015), cujo nível fundamental é a unidade social, quase permanente e constituída por fêmeas adultas e indivíduos jovens (Whitehead & Weilgart 2000, Gero et al. 2014). Duas ou mais unidades podem se associar por períodos que variam de horas até alguns dias (Whitehead et al. 1991, Whitehead & Weilgart 2000, Christal & Whitehead 2001), formando

grupos temporários multi-unidades onde os animais preferencialmente mantêm proximidade espacial com membros da sua própria unidade (Whitehead & Arnbohm 1987, Christal & Whitehead 2001). O nível social mais alto corresponde ao clã que reúne unidades que compartilham características do repertório de codas (Watkins & Schevill 1977, Rendell & Whitehead 2003b, Gero et al. 2016a,b).

As unidades de um clã primariamente formam os grupos temporários com outras unidades do mesmo clã com as quais apresentam um alto grau de similaridade de repertório acústico (Rendell & Whitehead 2003b). Além disso, clãs não são geneticamente distintos o que apoia a hipótese de que a transmissão cultural age como fator importante na estrutura social (Rendell et al. 2012, Rendell & Whitehead 2003b, Whitehead et al. 2012, Gero et al. 2016b). Cultura refere-se amplamente à características ou traços comportamentais que são transmitidos ou compartilhados por um processo de aprendizagem social entre indivíduos (Rendell & Whitehead 2001, Franz & Nunn 2009, Whitehead & Lusseau 2012, Whitehead & Rendell 2015). Nesse aspecto, estudos da estrutura social através da descrição do repertório de codas é a forma mais prontamente disponível para avaliar a variação cultural em cachalotes (Rendell & Whitehead 2003b).

As unidades sociais em cachalotes podem ser atribuídas aos clãs vocais pela composição das emissões de tipos diferentes de codas. Um clã que utiliza primariamente codas contendo clicks regularmente espaçados, é denominado clã “Regular”; outro clã que emita codas com uma pausa antes do final da sequência, pode ser denominado clã “+1”. De acordo com Rendell & Whitehead (2004), dentro de uma unidade social, certos tipos de codas podem ser compartilhados entre indivíduos específicos, porém todos os membros dentro dessa unidade contribuem no repertório. Watkins et al. (1985) e Moore et al. (1993) observaram tipos de codas compartilhados por diferentes indivíduos e Schulz (2008) estudou

o repertório de codas de uma unidade em Dominica e encontrou que, com exceção de uma fêmea adulta e seu filhote, todos os demais indivíduos produziam o mesmo tipo de coda.

Entre os mamíferos, a variação no repertório entre grupos simpátricos tem sido referida como dialetos, enquanto diferenças entre populações separadas por longas distâncias podem ser denominadas variação geográfica (Conner 1982). A aprendizagem vocal e transmissão cultural têm sido apontadas como os principais mecanismos na evolução e manutenção dos dialetos (Nunn et al. 2009, Cantor et al. 2015, Janik & Slater 1997, Janik 2014, Gero et al. 2016b). Para as cachalotes, existem evidências de dialetos, no que se refere ao uso de diferentes codas, bem como variação geográfica nos repertórios (Whitehead & Weilgart 2000).

No oceano Pacífico, na região dos Galápagos, Weilgart & Whitehead (1993) encontraram 23 tipos de codas, sendo o tipo mais comum categorizados com longos intervalos no final da sequência. Rendell & Whitehead (2003a, b) descreveram 31 tipos de codas e nomearam os clãs com tipos mais predominantes de clã “R” e clã “+1”, e em 2004 eles encontraram 32 tipos sendo a maioria categorizados como 2+2. No norte do Atlântico, Watkins & Schevill (1977) encontraram o tipo 5R como o mais predominante. Na região de Azores, Oliveira et al. (2016) classificou os codas em 21 tipos, sendo em sua maioria 5R e 2+2. No Mediterrâneo, Borsani et al. (1997) e Pavan et al. (2000) encontraram como o tipo 3+1 como o mais predominante. Na América Central, região do Caribe, Moore et al. (1993) encontrou 23 tipos com predominância de longos intervalos entre clicks no início e o tipo 5R. Schulz et al. (2008, 2011) categorizaram 16 tipos sendo os mais predominantes os 5R e 1+1+3. Antunes et al. (2011) encontrou 15 tipos em sua maioria 5R. Gero et al. (2016a) descreveu os tipos 1+1+3 e 5R₁ como os mais predominantes dentro de 21 tipos encontrados, e Gero et al. (2016b) classificou 22 tipos, sendo em sua maioria 1+1+3, 5R₁ e 5R₂.

No Pacífico tropical leste, os clãs vocais são simpátricos e os padrões de associação entre unidades estão limitados dentro do clã (Rendell & Whitehead 2003b); enquanto que no Atlântico Norte, o repertório de codas difere geograficamente e existe uma correlação negativa entre a similaridade do repertório e a distância espacial entre as populações (Antunes 2009, Whitehead et al. 2012). Entretanto, Gero et al. (2016b) mostraram que os cachalotes no Caribe leste organizam-se em clãs simpátricos com diferentes identidades culturais. Considerando que o repertório de codas reflete a estrutura social, nesse capítulo foi utilizado o repertório de codas no Atlântico Sul ocidental, onde nenhum estudo foi até então realizado, para investigar como as baleias estão estruturadas socialmente.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Descrição do repertório e medidas de similaridade

Após a marcação dos codas no programa Rainbow Click (Gillespie 1997, Leaper et al. 2000), o intervalo entre clicks (ICI) foi automaticamente calculado e uma rotina no Matlab foi utilizada para a extração desses intervalos, de forma que cada coda foi representado por um conjunto de ICI.

Os encontros com os animais ocorreram em diferentes dias/ano e por isso foram tratados independentemente nas análises, de forma que todos os codas registrados em um dado dia para um determinado grupo representou um repertório único (Tabela 1) (Figura 1). O repertório entre os grupos foi comparado utilizando os ICI absolutos para representar a estrutura temporal (ritmo e tempo) de cada coda. Codas longos e raros (≥ 14 clicks, $< 5.8\%$ dos codas gravados) foram desconsiderados das análises. Para quantificar a similaridade entre os repertórios, foram aplicadas duas métricas complementares: uma contínua e outra categórica.

Tabela 1. Registros de cachalotes no Atlântico Sul ocidental e número de codas analisados por encontro.

Data	Localidade	lat/long	Hora inicial	Tempo de registro	#indivíduos estimados	Encontro/grupo	Codas analisados
20/05/11	Sul	32°02'53.4"S/49°57'11.4"O	05:10:35	00:23:16	10	S1	34
08/12/12	Sul	33°45'10.8"S/51°00'43.2"O	11:39:54	00:15:01	*	S2	16
10/12/12	Sul	33°20'38.4"S/50°14'27.6"O	01:02:54	01:59:36	*	S3	5
14/12/12	Sul	32°46'40.8"S/50°21'00.0"O	00:04:50	01:57:48	*	S4	12
14/12/12	Sul	31°35'24.0"S/49°30'32.4"O	18:41:49	00:57:14	16	S5	608
18/12/12	Sul	30°32'38.4"S/47°37'51.6"O	13:21:52	00:30:17	*	S6	14
13/05/13	Sul	33°49'40.8"S/51°13'26.4"O	10:16:38	03:42:07	90	S7	20
21/05/13	Sul	31°09'36.0"S/49°07'40.8"O	07:24:49	00:37:33	6	S8	6
25/11/14	Sul	31°12'14.4"S/48°56'24.0"O	12:24:27	00:19:04	12	S9	37
04/12/14	Sul	29°24'03.6"S/47°31'40.8"O	11:43:06	00:20:15	10	S10	6
04/05/16	Norte	02°37.05'N/46° 42.41'O	20:55:00	00:23:43	4	N1	94
			TOTAL	11:25:54			852

*Registro exclusivamente acústico.

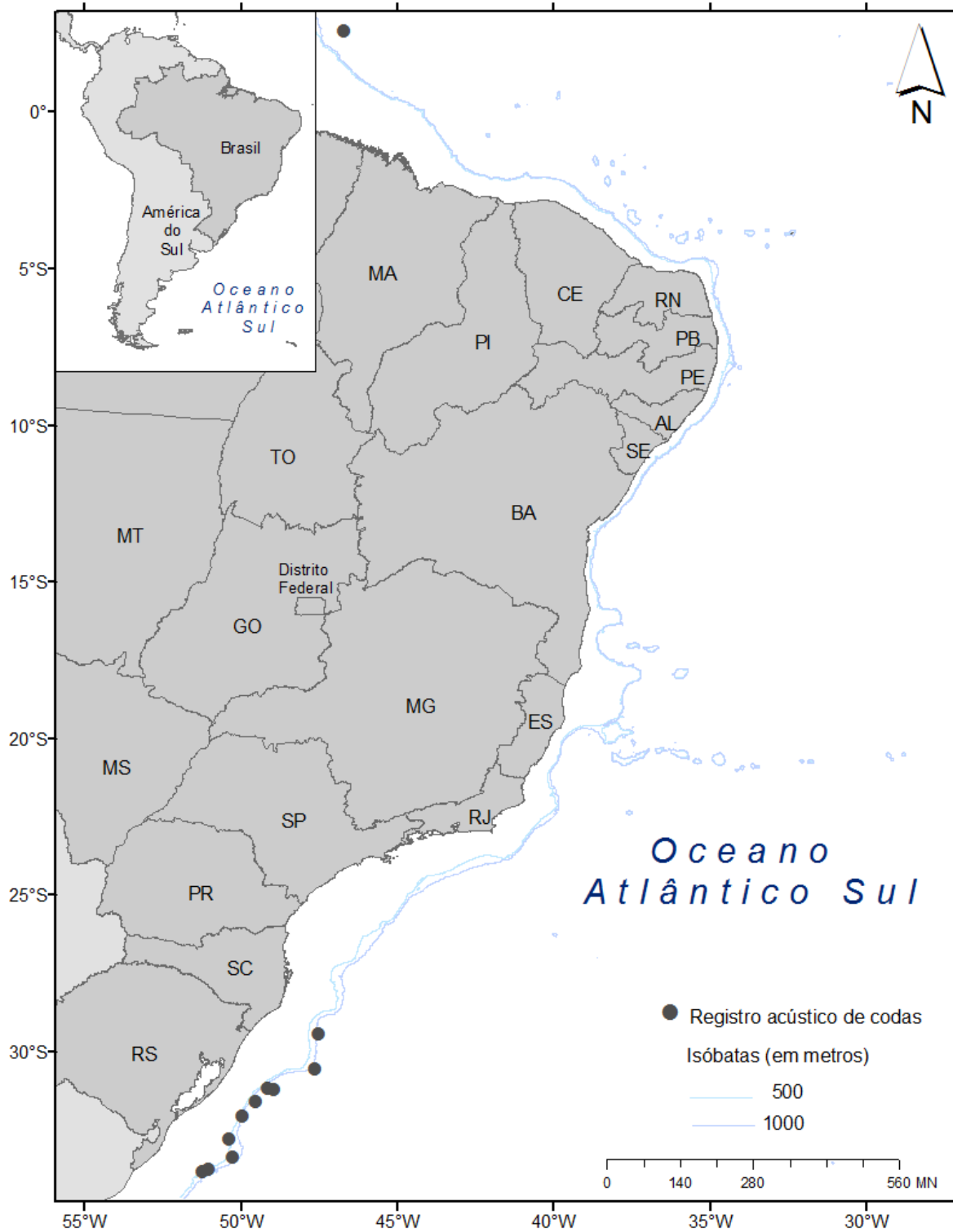


Figura 1. Registros acústicos de codas no Oceano Atlântico Sul ocidental.

2.1.1 Análise de similaridade contínua

Essa análise foi realizada no Matlab 2014a e sua primeira etapa constituiu em medir a distância Euclidiana para os vetores de ICI absolutos entre dois codas com o mesmo número de clicks. Em seguida, de acordo com trabalhos anteriores (Rendell & Whitehead 2003a, 2003b, Antunes et al. 2011, Schulz et al. 2011, Cantor et al. 2016, Gero et al. 2016a, 2016b), a similaridade multivariada entre dois repertórios foi obtida através do somatório dessas distâncias como mostra a equação abaixo:

$$S_{AB} = \frac{\sum_{i=1}^{n_A} \sum_{l_j=l_i}^{n_B} \overline{b+d_{ij}}}{n_A n_B}$$

Onde S_{AB} representa a similaridade entre os repertórios A com n_A codas e repertório B com n_B codas; l_i é o número de clicks no coda i do repertório A e l_j o número de clicks no coda j do repertório B ; b é a similaridade basal (definida em 0.001 segundo, que representa uma escala refinada para a comparação de codas (Rendell & Whitehead 2003a)); e d_{ij} é a distância Euclidiana entre os vetores de ICI dos codas i e j . A equação atribui uma similaridade multivariada de zero para dois codas contendo números diferentes de clicks (Rendell & Whitehead 2003a, b, Antunes et al. 2011).

Após o cálculo da similaridade entre os repertórios dos encontros, as matrizes de similaridade foram utilizadas para construir um *cluster* de ligação por média e sua robustez foi verificada através de análise de *bootstraps*. A cada interação do *bootstrap*, os codas de cada repertório foram aleatoriamente amostrados com reposição de 1000 réplicas, para então construir o *cluster*. Para cada ramo do dendograma foi contabilizado o número de réplicas nas quais aquele ramo foi reproduzido. Para indicar a acurácia da representação do dendograma, o coeficiente de correlação cofenética (CCC) foi calculado e quando seu valor foi maior do que 0.8 o dendograma foi considerado robusto (Bridge 1993, Rendell & Whitehead 2003b).

2.1.2 Análise de similaridade categórica

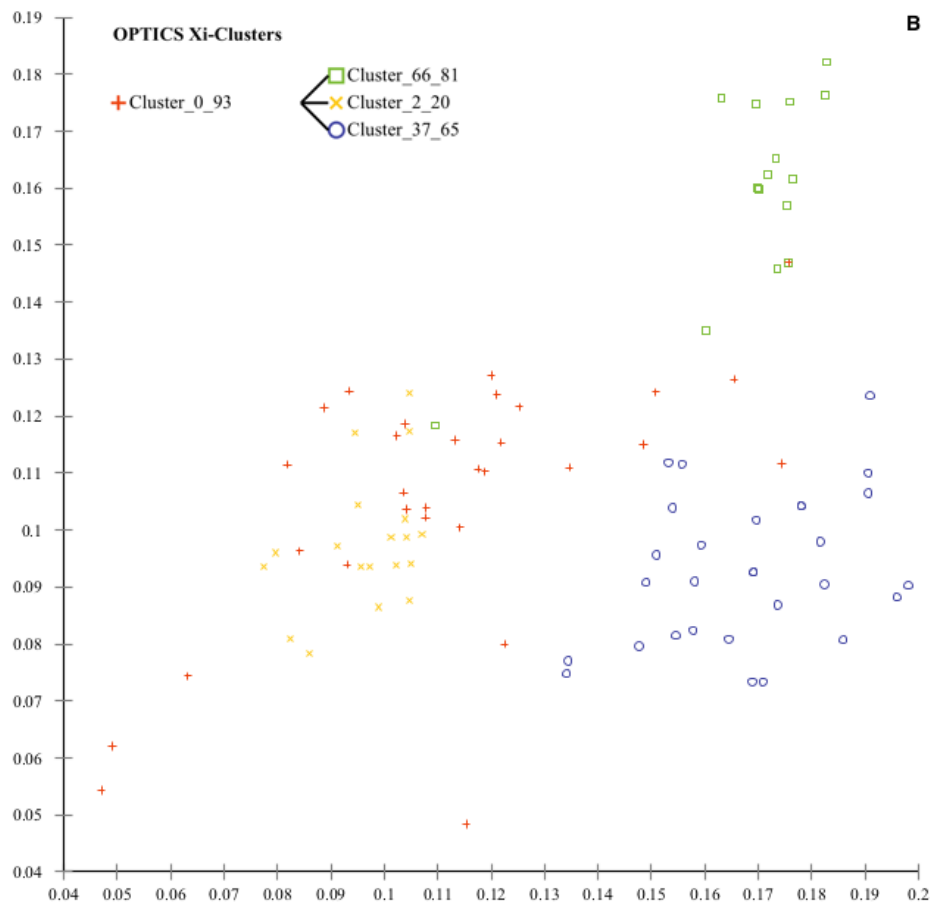
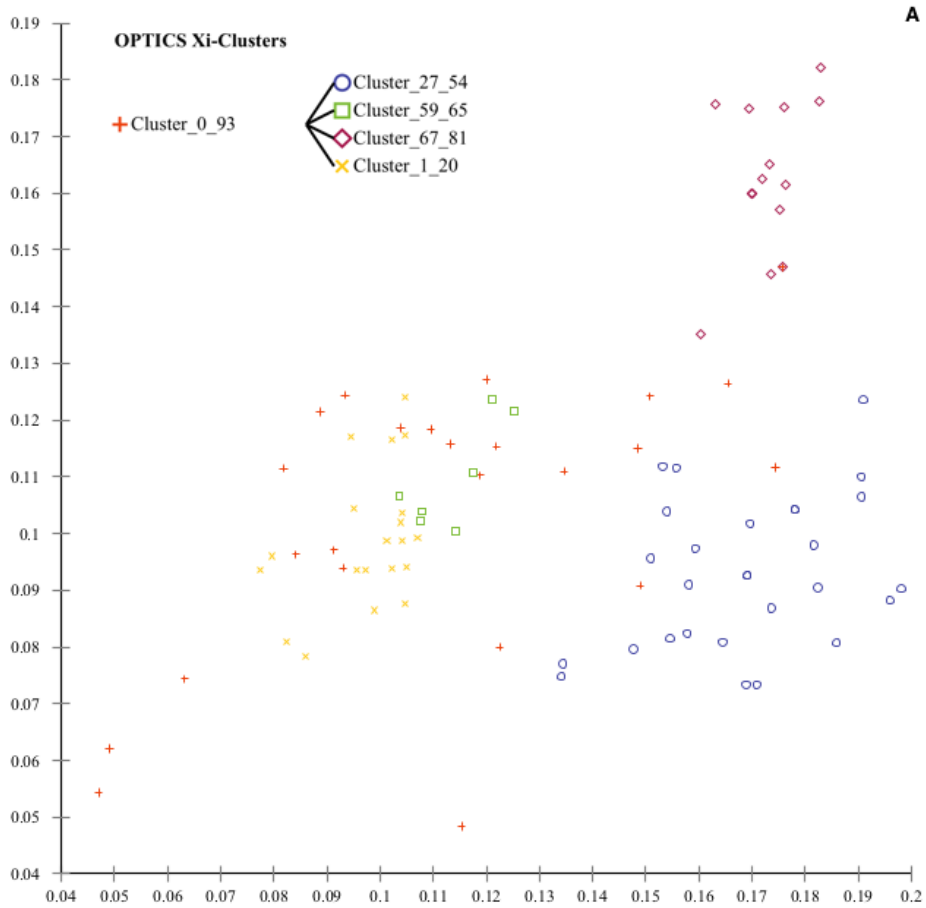
A análise categórica foi utilizada para classificar os codas em tipos através do algoritmo de cluster hierárquico OPTICSxi (Ankerst et al. 1999) executado na plataforma ELKI (Ankerst et al. 2013). A vantagem do uso do OPTICSxi em relação ao *k-means* utilizado em estudos anteriores (Rendell & Whitehead 2003a, 2003b) é a capacidade de definir *clusters* verdadeiros com maior acurácia em um espaço multivariado. Isso ocorre pois o OPTICSxi é baseado na densidade e agrupa um conjunto de dados através de dois parâmetros: ξ (epsilon) que estabelece uma diminuição relativa na densidade entre e dentro dos *clusters*, e *Minpts* (número mínimo de pontos) que estabelece o número mínimo de amostras necessárias para formar um *cluster* verdadeiro (Ankerst et al. 1999). Dessa forma quaisquer pontos que não atendam aos requisitos estabelecidos por esses dois parâmetros, ou seja, localizam-se em áreas esparsas em relação à áreas densas dos clusters verdadeiros, são classificados como ruído. Portanto, a classificação de tipos pelo OPTICSxi é altamente conservativa e não força a inclusão de pontos discrepantes dentro dos agrupamentos, como na análise por *k-means*. Todos os codas classificados como ruído foram omitidos da análise categórica, mas mantidos na análise contínua.

A definição dos parâmetros do OPTICSxi é realizada de forma visual buscando valores que geraram clusters bem definidos e evidentes mostrados nos *plots* dos dois primeiros componentes principais. O valor de ξ mais parcimonioso utilizado nesse trabalho foi de 0.035, o que significa que uma diminuição de 3.5% na densidade definiu um novo *cluster*. Esse valor foi considerado para todos os codas independente do seu tamanho que é definido como o número de clicks - ex.: codas com 3 clicks e codas com 11 clicks. O número mínimo de pontos foi ajustado de acordo com o tamanho da amostra para cada tamanho de coda e variou entre 7% e 14% da amostra (ex.: Figura 2B). Para validar esses parâmetros, novas análises foram feitas utilizando valores extremos de ξ e *Minpts*. Um extremo consistiu

de $\xi = 0.05$ e *Minpts* menor do que o da análise mais parcimoniosa (aproximadamente 5% da amostra), o que gerou um grande número de *clusters* pela divisão de agrupamentos bem definidos em menores (ex.: Figura 2A). O outro extremo consistiu de $\xi = 0.005$ e *Minpts* maior do que o da análise mais parcimoniosa (aproximadamente 17% da amostra), gerando um baixo número de *clusters* pela não divisão de agrupamentos visualmente bem definidos (ex.: Figura 2C).

Após a análise no OPTICSxi, os padrões de ritmo e tempo foram plotados e os tipos foram nomeados seguindo nomenclatura prévia (Rendell & Whitehead 2003b). Nessa nomenclatura, primeiramente é indicado o número de clicks, e em seguida o padrão de intervalos. Por exemplo, “R” indica clicks regularmente espaçados, “+” indica um intervalo prolongado e “D” intervalos decrescentes. A distinção de codas com o mesmo número de clicks pode se dar por códigos (letras ou números) subsequentes à nomenclatura, por exemplo: 1+3_A, 1+3_B, 10D₁, 10D₂. A classificação em tipos é utilizada apenas para ilustrar as diferenças nos padrões de codas que direcionam a tomada de decisão e delimitação dos clãs gerada pela análise contínua onde todos os codas são incluídos.

Para uma visualização mais detalhada do uso dos tipos de codas por diferentes grupos foi utilizada um análise de componentes principais (PCA) com os ICIs absolutos através de rotinas no Matlab R2014a.



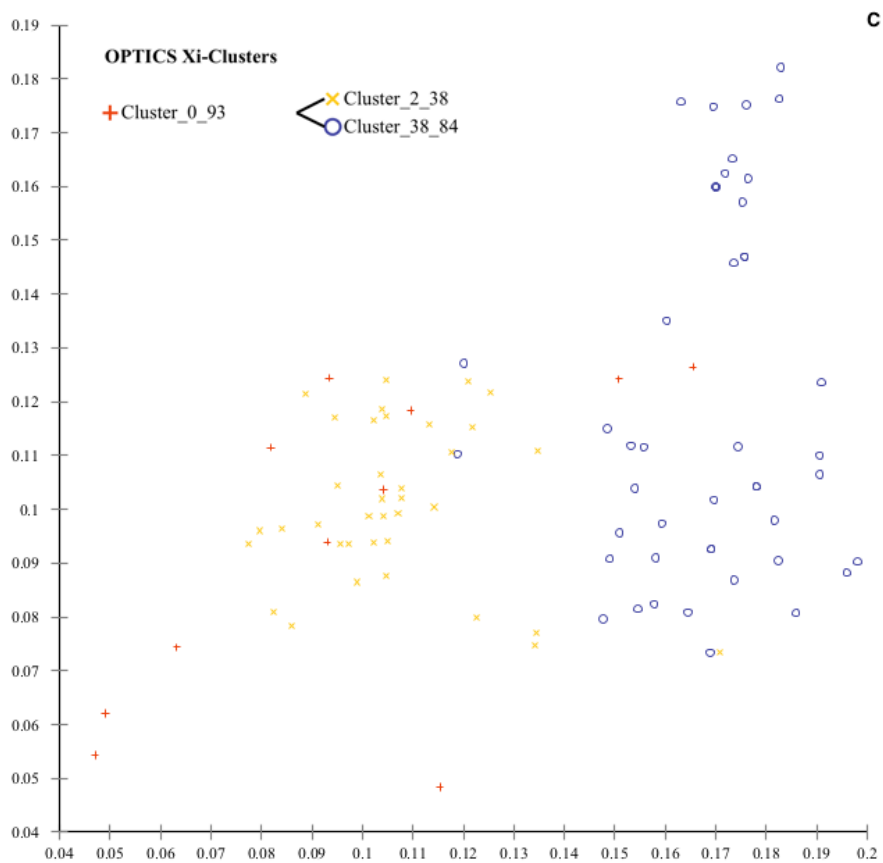


Figura 2. Exemplo de definição dos parâmetros no OPTICSxi. A - $\xi = 0.05$ e Minpts de aproximadamente 5% da amostra, gerando um grande número de clusters (ramos terminais 27_54, 59_65, 67_81, 1_20 e ruído 0_93). B - $\xi = 0.035$ e Minpts entre 7 e 14% da amostra (ramos terminais 66_81, 2_20, 37_65 e ruído 0_93). C - $\xi = 0.005$ e Minpts de aproximadamente 17% da amostra, gerando um baixo número de clusters (ramos terminais 2_38, 38_84 e ruído 0_93).

3. RESULTADOS

Entre 2011 e 2016 foram identificados 11 grupos distintos (10 no Sul – S1 até S10, e 1 no Norte – N1) com número de animais estimados visualmente variando de 4 até 90 (Tabela 1). Um total de 852 codas foram identificados em 11 horas e 26 minutos de registros acústicos.

A análise categórica atribuiu 24 tipos distintos de codas contendo de 3 até 13 clicks variando no ritmo e duração (Figura 3). Dentre eles, 317 (37.2%) codas foram classificados como ruído pelo OPTICSxi. Codas com 10 e 11 clicks foram os mais comuns com respectivamente 19.2% e 23.9% de frequência relativa. Dentre eles, o tipo 11D₁ prevaleceu com 18.3%, seguido do tipo 10D₂ com 11.4%. Codas com 9 clicks (9D₁, 9D₂ e 9R) representaram o terceiro tipo mais comum com 11.8%. A figura 4 mostra o número de tipos novos identificados em função do número de codas registrados e, apesar da curva não exibir um padrão assintótico, ela sugere que um repertório é adequadamente amostrado quando aproximadamente 30 codas são registrados.

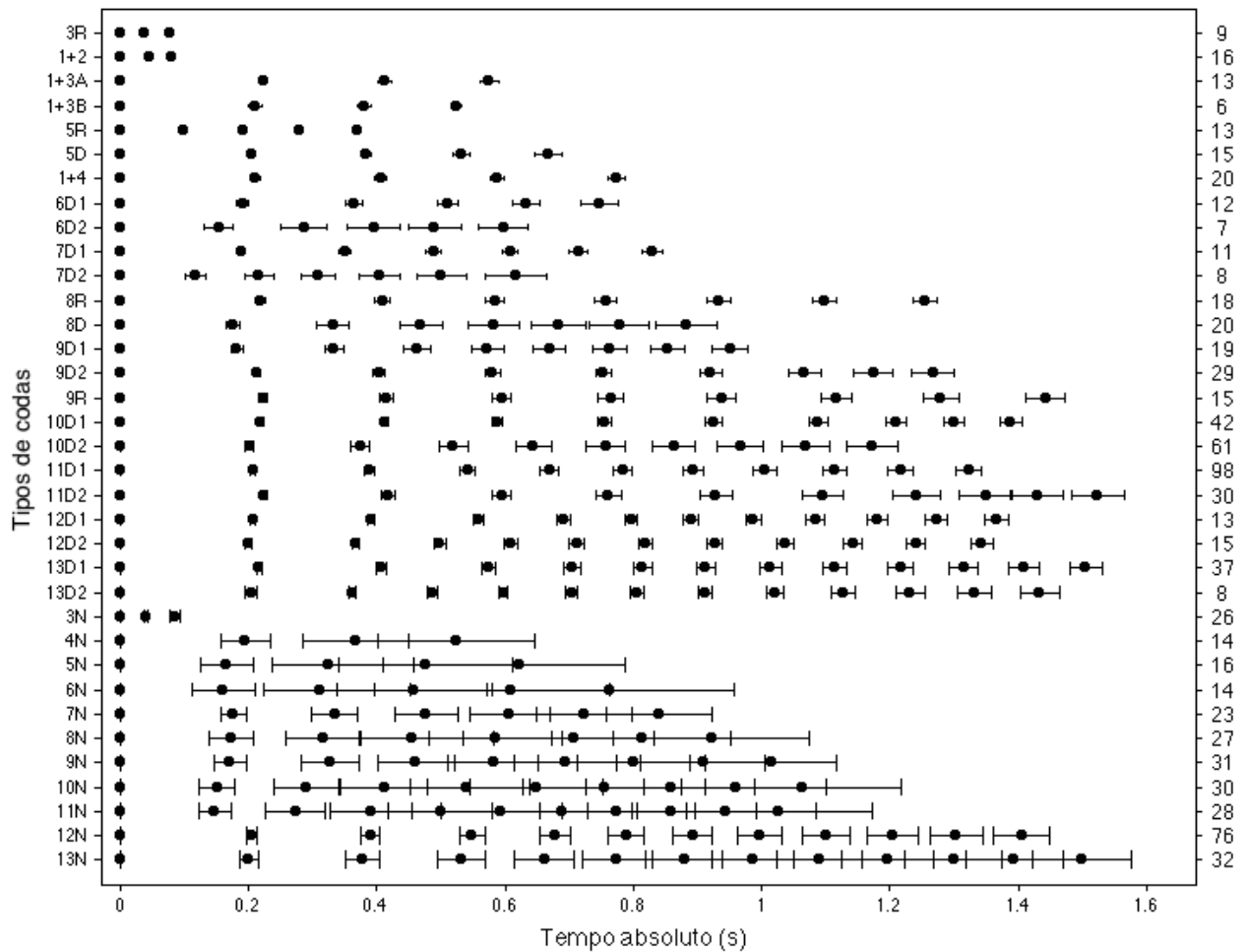


Figura 3. Ritmo dos codas produzidos pelas cachalotes no oceano Atlântico Sul ocidental ilustrando a média do tempo para cada click dentro dos codas (pontos) gerados pela análise categórica do OPTICSxi. As barras representam 95% do intervalo de confiança. O eixo y à direita mostra o número amostral para cada tipo de coda. O primeiro número indica o número de clicks dentro do coda; “R” indica clicks separados regularmente; “+” indica um intervalo prolongado entre clicks; “D” indica um padrão descendente dos intervalos-entre clicks, os números “1” e “2”, e as letras “A” e “B” indicam diferentes padrões dentro de codas com mesmo número de clicks; “N” indica os codas que foram definidos como ruído pelo OPTICSxi.

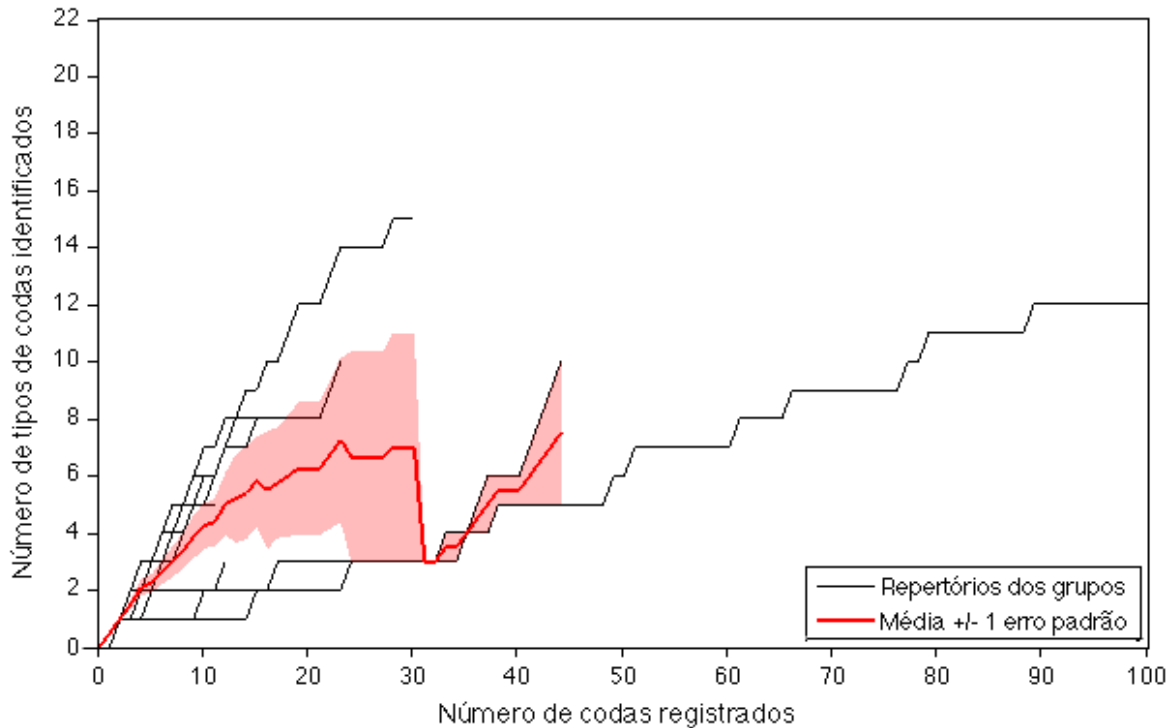
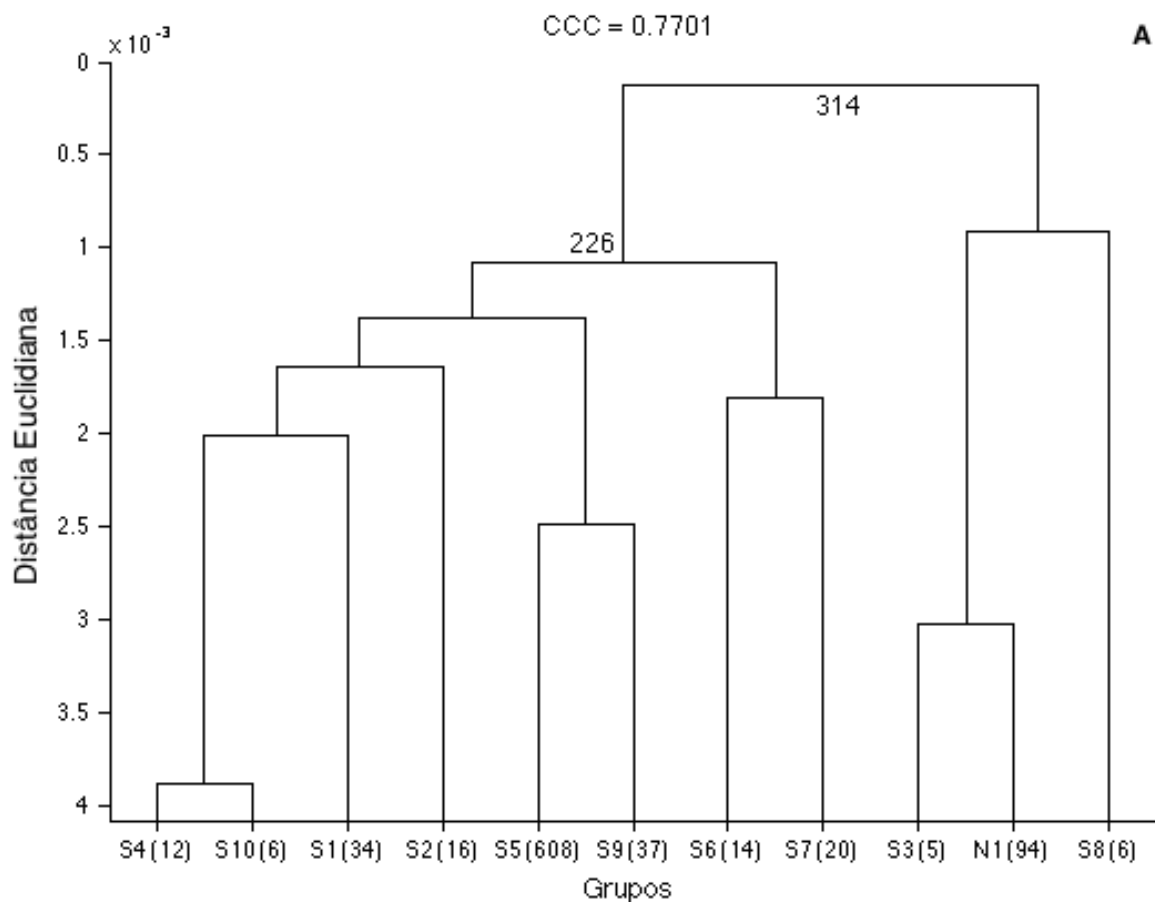
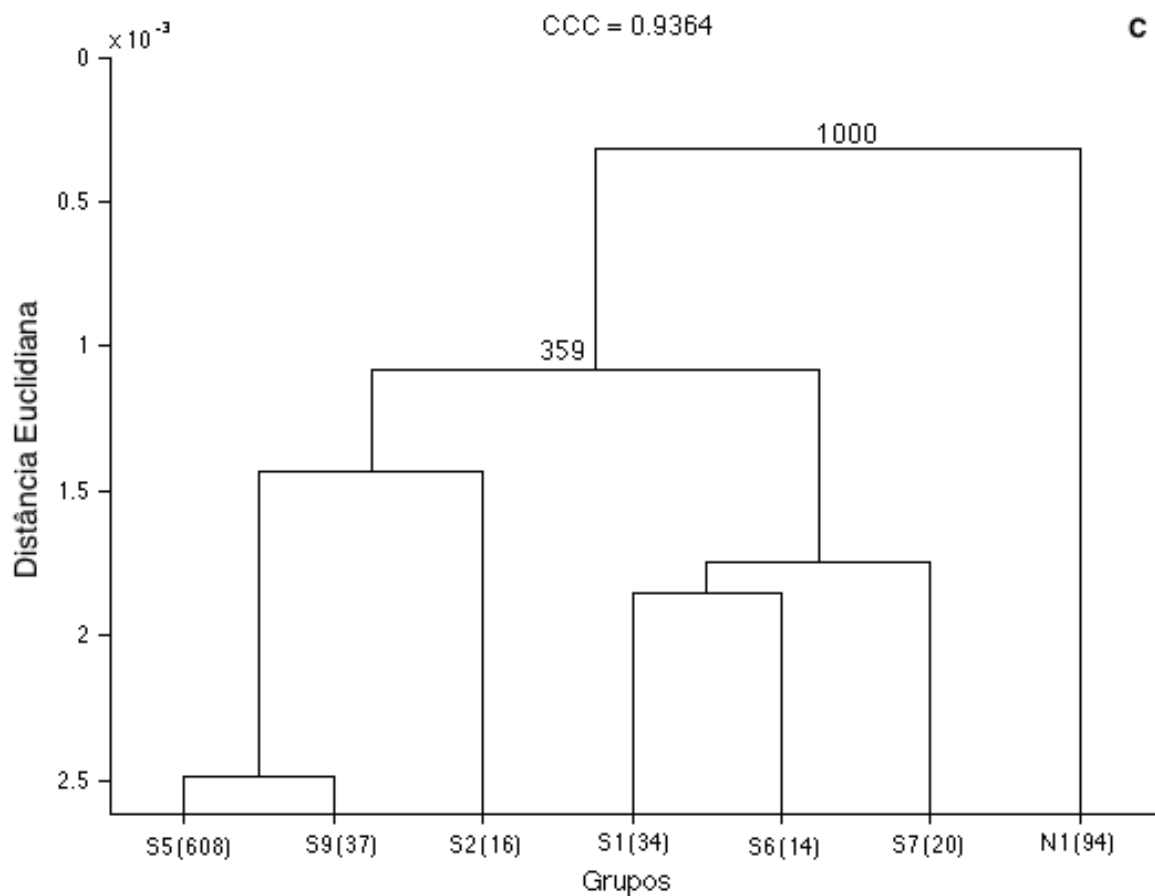
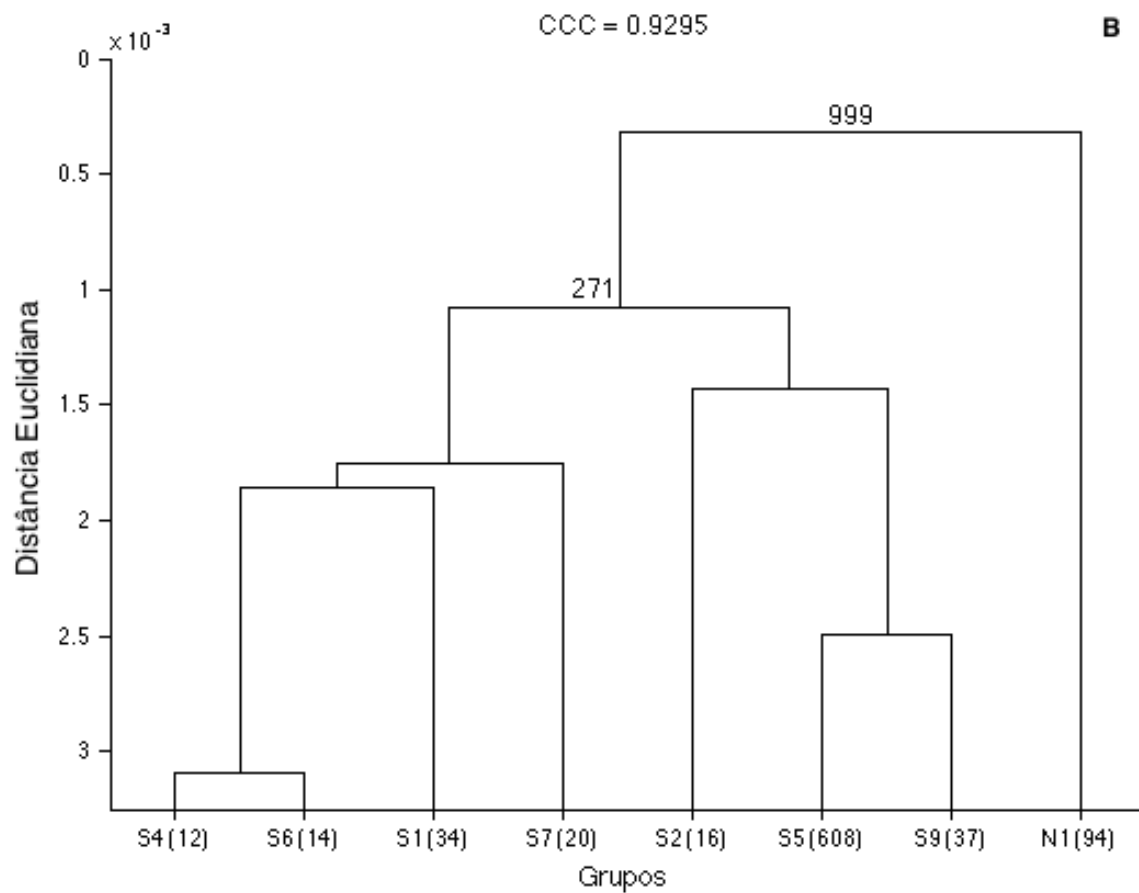


Figura 4. Curva de acumulação entre tipos de codas identificados (eixo y) e número de codas registradas (eixo x). Linhas pretas representam repertórios singulares dentro dos grupos e a linha vermelha representa a média para os grupos juntamente com ± 1 erro padrão sombreado.

Os grupos S2, S3, S4, S6, S8 e S10 tiveram menos de 20 codas que puderam ser seguramente identificados (Tabela 1). Por isso, uma série de análises foi realizada considerando diferentes números mínimos de codas por encontro para ser considerado como resultado final do dendograma. Os número mínimos estabelecidos foram de 5, 10, 14 e 20, resultando em valores do coeficiente de correlação cofenética de 0.7701, 0.9295, 0.9364 e 0.9606 respectivamente. Nesse ponto, o número mínimo de 5 foi desconsiderado por não apresentar um CCC alto (> 0.8) (Bridge 1993, Rendell & Whitehead 2003b), por mostrar no dendograma um padrão discrepante de similaridade entre os grupos com menos de 314 réplicas de bootstrap nos ramos (Figura 5A). Em seguida, a medida em que novos grupos foram omitidos, os dendogramas mostraram o mesmo padrão de similaridade (Figuras 5B, C, D) e destacaram a separação do grupo N1 (baleias gravadas no norte do Brasil) por mais de

997 réplicas do bootstrap em todos os casos. Portanto, foi considerado o número mínimo de 14 codas por grupo para representar os resultados desse trabalho. Isso ainda se apoia no fato de que ao considerar esse número mínimo, mantemos o grupo S6 que apresentou a frequência de ocorrência de codas com 9 clicks e 10D₁ (estão dentro dos tipos mais comuns) em mais de 10%. De acordo com Gero et al. (2016b) as diferenças chave entre os clãs representadas pela prevalência na emissão de certos tipos, deve ser aparente mesmo em amostras pequenas. Além disso, a robustez das análises de similaridade foi testada com 1000 réplicas de bootstraps antes do cálculo final da similaridade. O valor do bootstrap igual a 1000 (100% das réplicas) apoia o uso do número mínimo de 14 codas e fornece confiança de que as divisões encontradas não são dependentes da amostragem (Rendell & Whitehead 2003b).





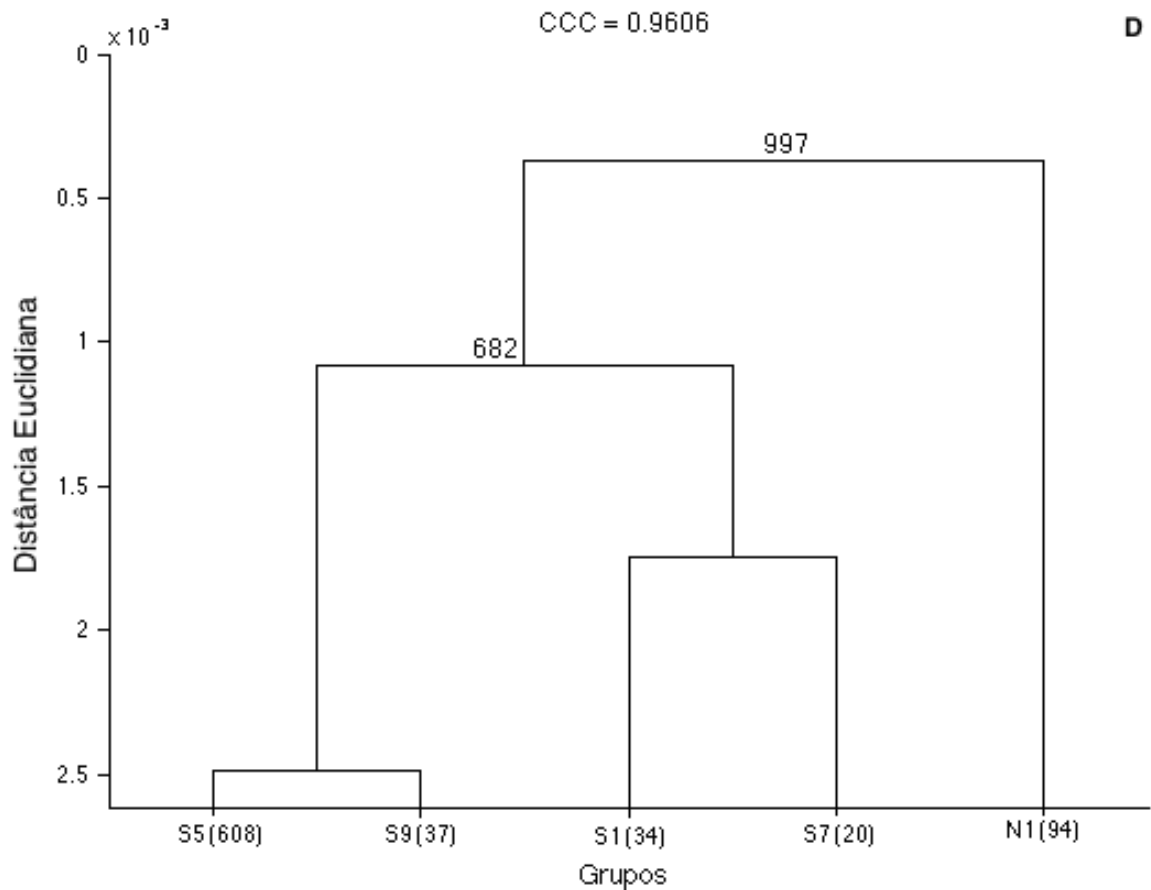


Figura 5. Passos considerados para representar a similaridade no repertório de codas de baleias cachalotes no Atlântico Sul ocidental. Os dendogramas de agrupamento hierárquico através da ligação por média mostram a similaridade multivariada calculada pela distância Euclidiana. O coeficiente de correlação cofenética mede a qualidade da representação do dendograma e o número de réplicas de *bootstraps* mede a robustez do ramo. A – Número mínimo de codas igual a 5 onde todos os grupos foram considerados. B – Número de codas igual a 10 e omissão dos grupos S3, S8 e S10. C – Número mínimo de codas igual a 14 e omissão dos grupos S3, S4, S8 e S10. D – Número mínimo de codas igual a 20 e omissão dos grupos S2, S3, S4, S6, S8 e S10.

Os 7 grupos considerados foram divididos em dois clados evidentes por uma única bifurcação na raiz do dendograma de agrupamento hierárquico (Figura 6). O grupo N1 foi separado dos demais por 100% das 1000 réplicas de *bootstraps* e apresentou um repertório distinto indicado por ambas as análises contínua e categórica (Figura 6), o que possibilitou a separação das baleias do Atlântico Sul ocidental em dois clãs potenciais: Norte e Sul. A clara distinção entre os dois clãs vocais está na predominância da emissão de tipos diferentes de codas indicados pela escala de cinza na figura 6B e destacada através dos *plots* (tipos por grupos) dos dois primeiros componentes principais (Figura 7). O clã vocal das baleias do Sul apresentou a predominância dos tipos 10D₁, 10D₂ e 11D₁. O clã vocal do Norte apresentou predominância dos codas 5R e 1+4. Em relação aos tipos produzidos somente em um dos clãs, o clã vocal Sul emitiu exclusivamente codas com 3, 4, 12 e 13 clicks, e os tipos 7D₁, 8R, 9D₁, 9D₂, 10D₁ e 11D₂, enquanto que o tipo 5R foi produzido exclusivamente pelo clã Norte.

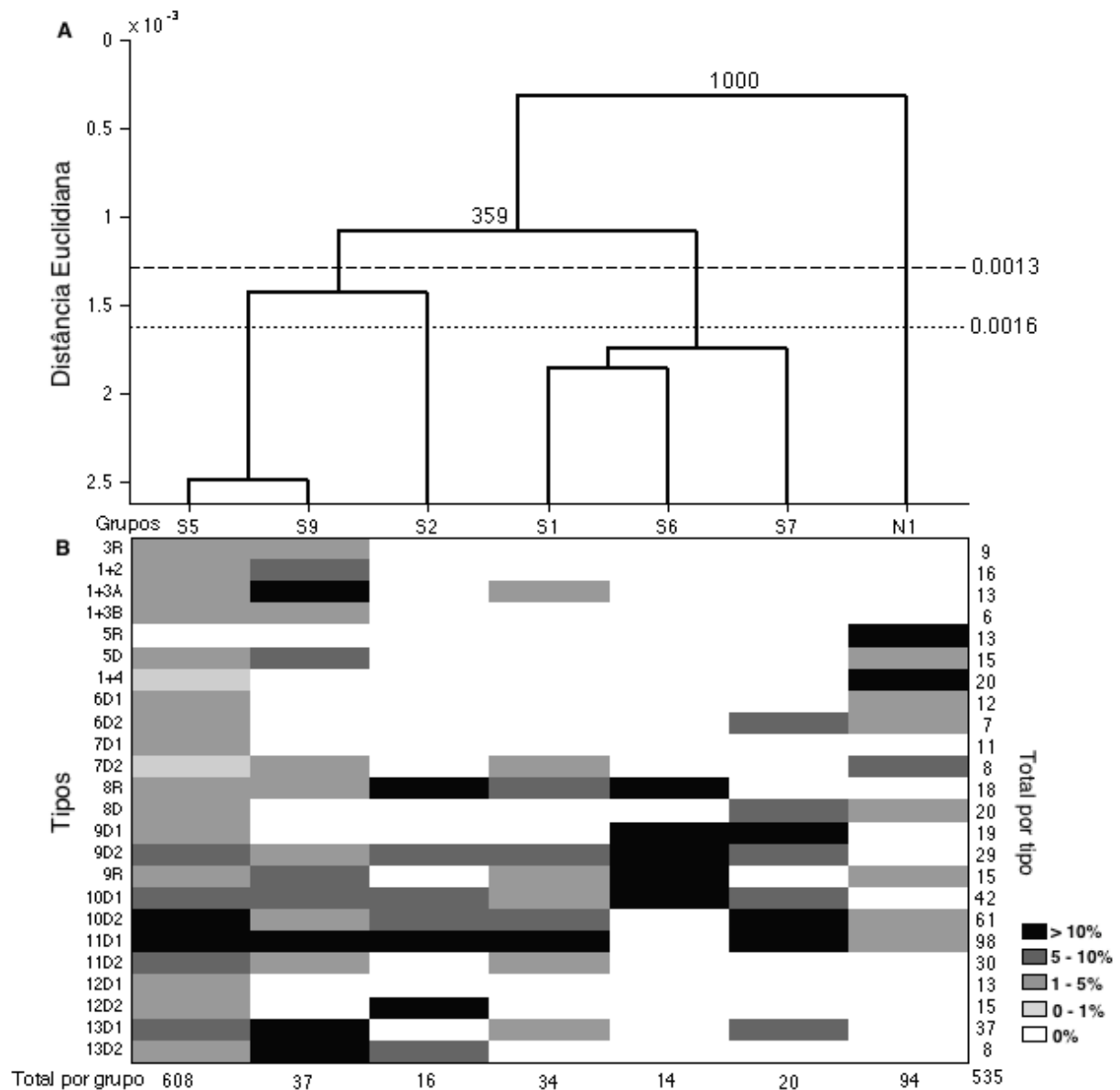
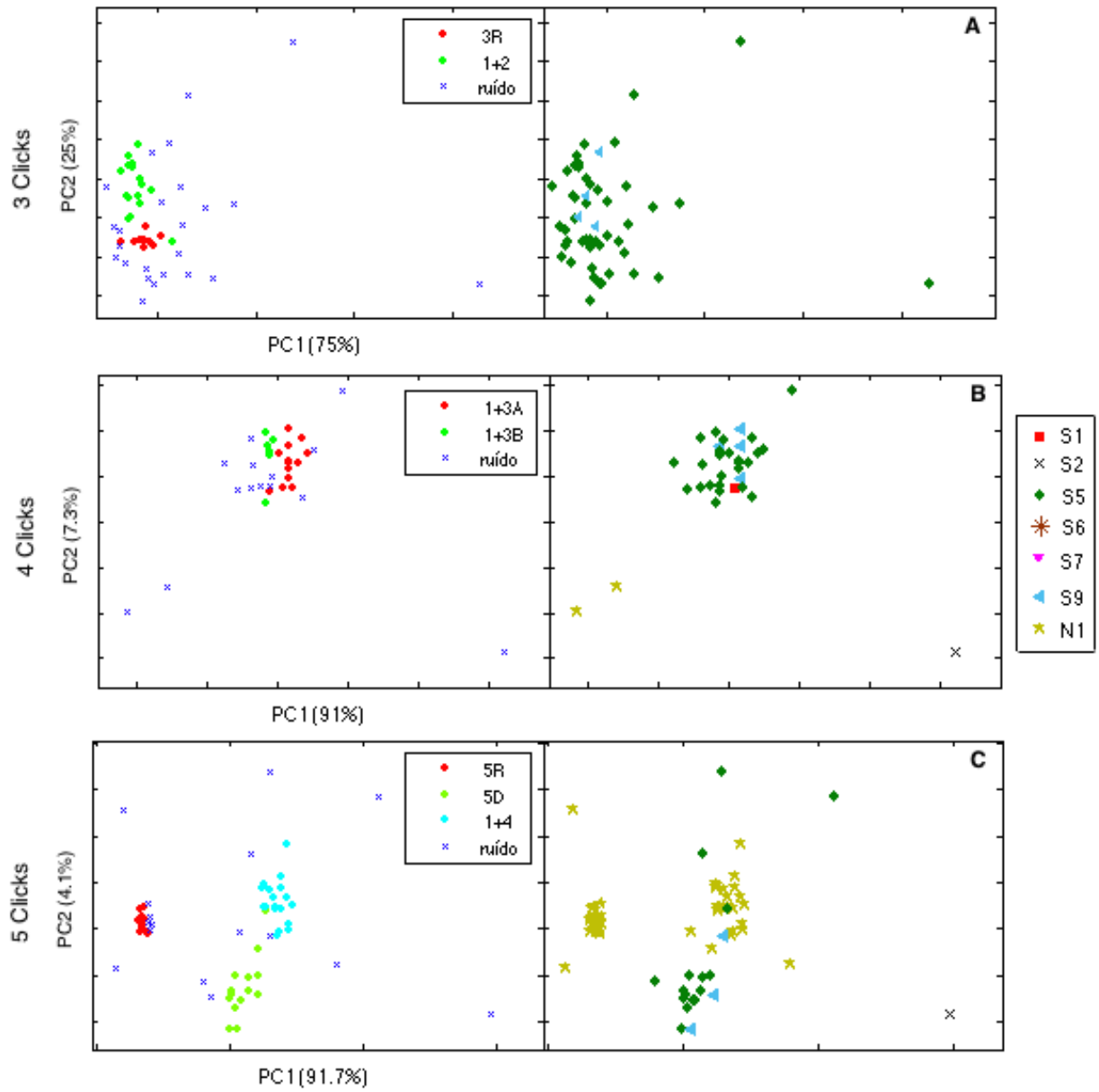
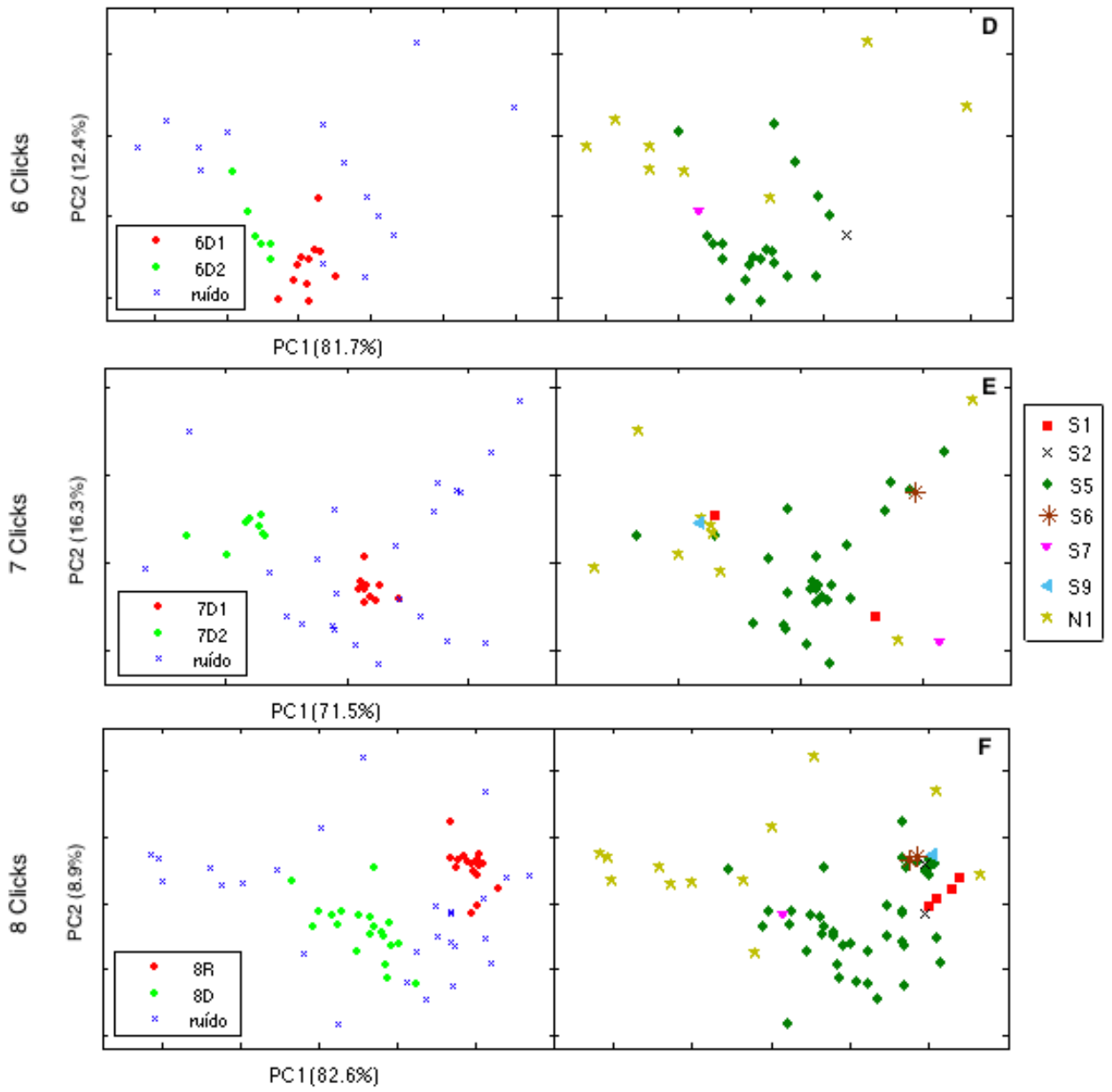
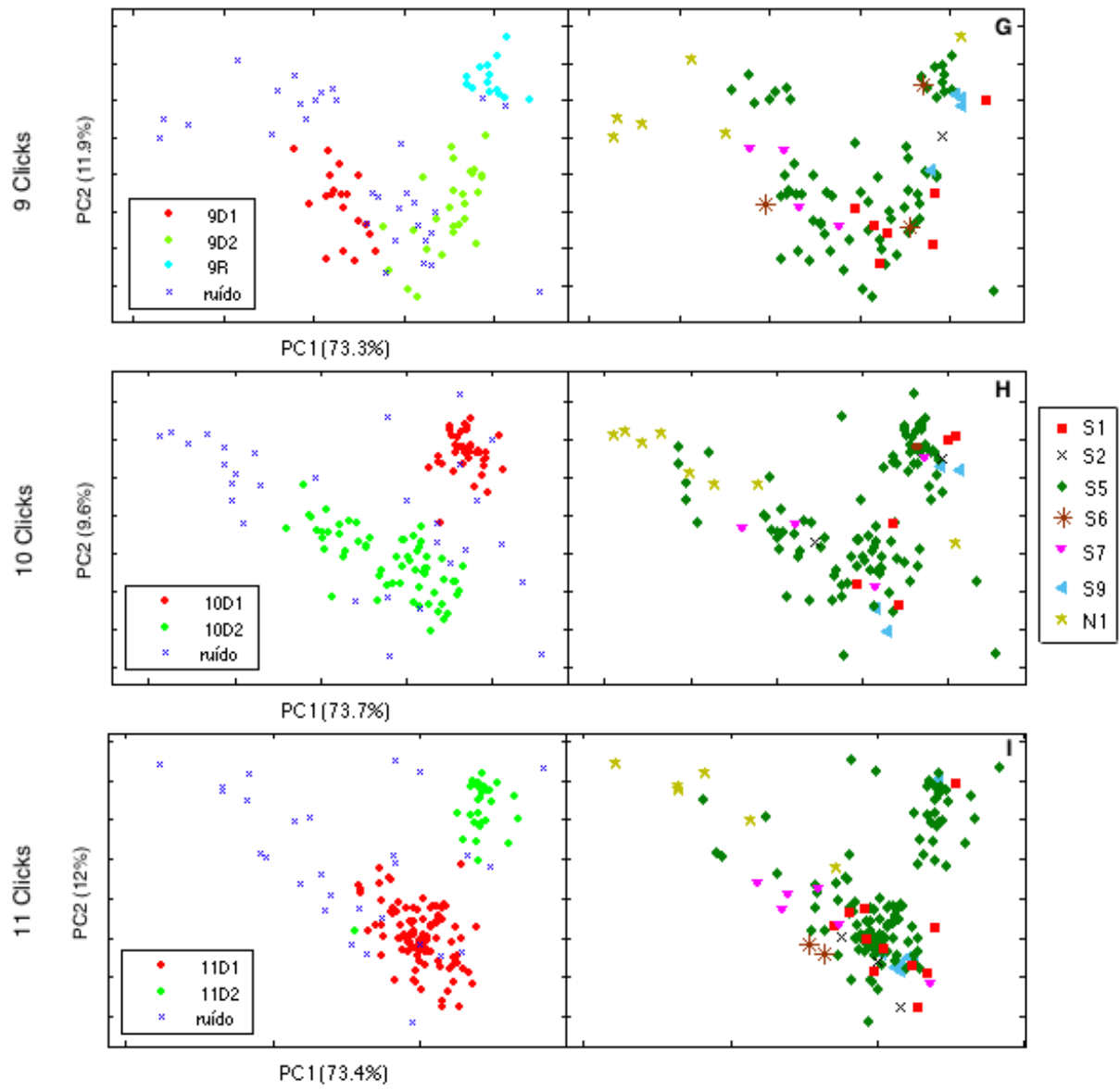


Figura 6. Repertório de codas de baleias cachalotes registradas no oceano Atlântico Sul ocidental utilizando a distância Euclidiana dos intervalos-entre click absolutos com similaridade basal de 0.001 segundos (A) e classificação dos tipos de codas utilizando OPTICSxi (B). Números próximos aos ramos indicam o número de réplicas do bootstrap no qual o devido ramo foi produzido. O valor do coeficiente de correlação cofenética foi de 0.9364 e indica uma boa representação do dendograma. A linha horizontal tracejada indica a média de similaridade contínua entre os clãs Norte e Sul (0.0013), e a linha horizontal pontilhada a média de similaridade contínua entre os grupos do clã Sul (0.0016). As escalas de cinza (B) indicam a frequência de ocorrência de tipos de codas em um repertório de um

grupo (S5, S9, S2, S1, S6, S7 e N1), onde preto representa $> 10\%$, cinza escuro $> 5\%$ e $\leq 10\%$, cinza médio $> 1\%$ e $\leq 5\%$, cinza claro $> 0\%$ e $\leq 1\%$, e branco = 0% .







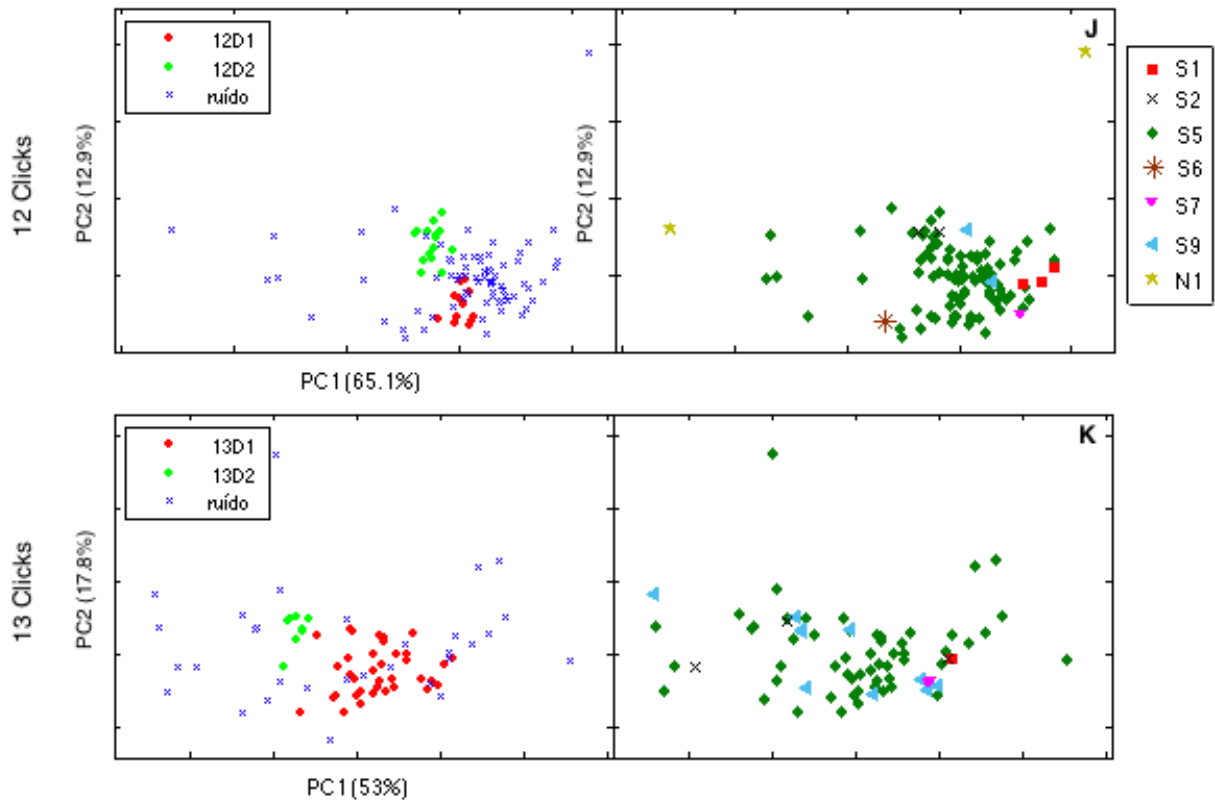


Figura 7. Análise de componentes principais utilizada para diminuir a dimensionalidade dos dados e fornecer melhor visualização de cada coda com número determinado de clicks. Figuras à esquerda mostram os tipos de codas incluindo codas não classificadas (ruído). Figuras à direita mostram a divisão de cada coda pelos grupos. A proporção da variância explicada pelos dois primeiros componentes principais (PC) está mostrada nos eixos.

4. DISCUSSÃO

Os grupos de baleias cachalotes registrados no Atlântico Sul ocidental foram divididos em dois clãs vocais apoiados por 100% das réplicas de booststraps, ou seja, a cada replicação a estruturação dos ramos separando os clãs continham os mesmos grupos. Ainda que a amostra do clã Norte seja menor quando comparada com o clã Sul, é improvável que amostras adicionais modifiquem essa estruturação, devido à prevalência e exclusividade na emissão de certos tipos de codas entre os dois clãs.

As diferenças entre os repertórios dos clãs é basicamente resultado da emissão exclusiva de codas com 3, 4, 12 e 13 clicks e os tipos 7D₁, 8R, 9D₁, 9D₂, 10D₁ e 11D₂ no clã Sul e da emissão exclusiva do tipo 5R no clã Norte, sugerindo que esses codas funcionem como identificadores a nível estrutural de clã. Rendell & Whitehead (2003b) definiram o termo clã vocal para cachalotes com base no trabalho de Ford (1991) com orcas residentes cujos grupos sociais que compartilham um repertório vocal foram denominados de *pod*. Rendell & Whitehead nesse mesmo trabalho encontraram variação vocal entre os clãs e atribuíram a isso à transmissão cultural por aprendizagem social. De acordo com Antunes (2009), é improvável que diferenças entre codas reflitam adaptações a condições ambientais locais. Os clicks de cachalotes são caracterizados por pulsos de banda larga e por isso não apresentam codificação potencial no domínio da frequência. A codificação ocorre no domínio do tempo através da variação dos ICIs e, por isso, é menos influenciado por efeitos de propagação tão característicos de sinais modulados na frequência.

As estimativas visuais do número de indivíduos resultou em grupos com cerca de 90 animais. Considerando que as unidades são compostas por cerca de 10 a 12 animais no Pacífico (Christal et al. 1998, Coakes & Whitehead 2004) e 6 a 12 animais no Atlântico Norte (Whitehead et al. 2012); concluímos que o grupo S7 (e possivelmente o S5) é consequência de unidades que se associaram formando grupos multi-unidades (Whitehead et al. 1991,

Whitehead & Weilgart 2000, Christal & Whitehead 2001). Como os registros acústicos foram oportunistas e os animais não foram acompanhados é impossível concluir qual(is) tipos de codas foram determinantes para tais associações.

A inclusão do grupo S6 com 14 codas possibilita levantar a hipótese de que no clã Sul o uso de diferentes codas também pode gerar a identificação a nível de unidade. Em comparação com o grupo S2, que apresentou um próximo de codas analisados (N=16), o grupo S6 apresentou emissões com frequência maior de 10% dos tipos 9R, 9D₁, 9D₂ e 10D₁, ao passo que o grupo S2 produziu predominantemente os tipos 11D₁ e 12D₂. Da mesma forma, se compararmos os grupos S9 e S1 que também apresentaram números próximos de codas analisados (N=37, N=34 respectivamente), observamos que o grupo S9 emitiu em mais de 10% os tipos 1+3_A, 13D₁ e 13D₂, enquanto que o grupo S1 emitiu entre 5 e 10% os tipos 8R, 9D₂ e 10D₂, os quais representam menos de 5% dos codas do grupo S9. Ainda que diferenças cruciais entre clãs estejam na prevalência na emissão de certos tipos de codas (Gero et al. 2016b), esse cenário pode ser mais evidente ao aumentar o número amostral para ambos os grupos.

De acordo com Cantor et al. (2015), a transmissão cultural ocorre quando uma característica é transmitida por processos de aprendizagem, dentro dos quais as baleias provavelmente aprendem os codas mais comuns de seus contatos sociais (chamado de conformismo – “*conformism*”) através da interação preferencial entre indivíduos que se comportam similarmente (chamado de homofilia – “*homophily*”). Todo esse processo é crucial na partição de cachalotes em clãs simpátricos, gerando a homogeneização de um componente do comportamento, nesse caso as vocalizações. Um estudo recente no mar do Caribe (Gero et al. 2016a) sugere a presença de conformismo para um tipo de coda (1+1+3) que permaneceu estável ao longo de pelo menos 30 anos. O clã Norte apresentou produção exclusiva do tipo 5R com duração de cerca de 0.4 segundos e correspondendo a mais de 10%

da frequência de emissões desse clã. Gero et al. (2016a, 2016b) encontrou na Ilha de Dominica (mar do Caribe) o mesmo tipo (nomeado de 5R₁) com a mesma duração e também sendo um dos tipos mais prevalentes. Portanto, o presente estudo pode apresentar mais um exemplo de transmissão cultural mantendo o conformismo na produção do tipo 5R entre as baleias do Norte do Brasil (região de Barreirinhas) e da Ilha de Dominica, separadas por aproximadamente 2700 Km, que está de acordo com a extensão das áreas de clãs simpátricos (± 5000 Km) e dentro das distâncias percorridas pelas unidades (± 1000 até 4000 Km) (Whitehead et al. 1998, Rendell & Whitehead 2003b, Rendell & Whitehead 2005).

Esse estudo apontou que as baleias cachalotes do Atlântico Sul ocidental estão socialmente segregadas em dois clãs vocais: Sul e Norte. Esse último apresentou exclusividade no uso do tipo 5R que constitui um dos tipos mais frequentes nos repertórios do Caribe. Esses resultados corroboram a hipótese de que limites sociais, nesse caso o nível de clã, são mantidos primordialmente por identidades culturais e que o estudo dos codas representa uma forma de acessar a estrutura dessas populações.

REFERÊNCIAS

Antunes, R. 2009. Variation in sperm whale (*Physeter macrocephalus*) coda vocalization and social structure in the North Atlantic Ocean. Tese de Doutorado, University of St Andrews, St Andrews, UK.

Antunes, R.; Schulz, T.; Gero, S.; Whitehead, H.; Jonathan Gordon, J. & Rendell, L. 2011. Individually distinctive acoustic features in sperm whale codas. *Animal Behaviour*, 81: 723-730.

Ankerst, M.; Breunig, M.M.; Kriegel, H.P. & Sander, J. 1999. OPTICS: ordering points to identify the clustering structure. *Proc. SIGMOD'99. Intl. Conf. Manag. Data* 28, 49-60.

Achtert, E.; Kriegel, H.P.; Schubert, E. & Zimek A. 2013. Interactive data mining with 3D parallel-coordinate-trees. *Proc. 2013 ACM SIGMOD Int. Conf. Manag. Data* 1009-1012.

Au, W.W.L.; Carder, D.A.; Penner, R.H. & Scronce, B.L. 1985. Demonstration of adaptation in beluga whale (*D. leucas*) echolocation signals. *Journal of the Acoustical Society of America*, 77: 726–730.

Barrett-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.

Borsani, J.F.; Pavan, G.; Gordon, J.C.A. & Notarbartolo di Sciara, G. 1997 Regional vocalizations of the Sperm Whale: Mediterranean codas. *European Research on Cetaceans*, Cambridge (UK), 10: 78-81.

Bridge, P.D. 1993. Classification. In: *Biological Data Analysis*. Fry, J.C. (ed.). Oxford: Oxford University Press. 219–242pp.

Cantor, M.; Shoemaker, L.G.; Cabral, R.B.; Flores, C.O.; Varga, M. & Whitehead, H. 2015 Multilevel animal societies can emerge from cultural transmission. *Nature Communications*, 6: 8091.

Cantor, M.; Whitehead, H.; Gero, S. & Rendell, L. 2016. Cultural turnover among Galápagos sperm whales. *Royal Society Open Science*, 3: 160615.

Catchpole, C.K. & Slater, P.J.B. 1995. *Bird Song: Biological Themes and Variations*. Cambridge: Cambridge University Press.

Christal, J.; Whitehead, H. & Lettevall, E. 1998. Sperm whales social units: variation and change. *Canadian Journal of Zoology*, 76: 1431-1440.

Christal, J. & Whitehead, H. 2001. Social affiliations within sperm whale (*Physeter macrocephalus*) groups. *Ethology*, 107: 323–340.

Coakes, A. & Whitehead, H. 2004. Social structure and mating system of sperm whales of northern Chile. *Canadian Journal of Zoology*, 82: 1360-1369.

Conner, D.A. 1982 Dialects vs. geographic variation in mammalian vocalizations. *Animal Behaviour*, 30: 297–298.

Connor, R.C.; Wells, R.S.; Mann, J. & Read, A.J. 2000. The Bottlenose Dolphin: social relationships in a fission-fusion society. Em: Mann, J.; Connor, R.C.; Tyack, P.L. & Whitehead, H. (eds). *Cetacean Societies: field studies of dolphins and whales*. University of Chicago Press, Chicago, pp 91-126.

Daniel, J.C. & Blumstein, D.T. 1998. A test of the acoustic adaptation hypothesis in four species of marmots. *Animal Behaviour*, 56: 1517–1528.

Deecke, V.B.; Ford, J.K.B. & Spong, P. 2000. Dialect change in resident killer whales: implications for vocal learning and cultural transmission. *Animal Behaviour*, 40: 629–638.

Deecke, V.B.; Barrett-Lennard, L.; Spong, P. & Ford, J. 2010. The structure of stereotyped calls reflects kinship and social affiliation in resident killer whales (*Orcinus orca*). *The Science of Nature*, 97 (5): 513-518

Franz, M. & Nunn, C.L. 2009 Rapid evolution of social learning. *Journal of Evolutionary Biology*, 22: 1914-1922.

Freeberg, T.M.; Dunbar, R.I.M. & Ord, T.J. 2012. Social complexity as a proximate and ultimate factor in communicative complexity. *The Royal Society Publishing, Philosophical Transactions B*, 367: 1785-1801

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

Ford, J.K.B. 2002a. Dialects. Em: Perrin, W.F.; Wursig, B. & Thewissen, J.G.M. (eds). *The encyclopedia of marine mammals*. Academic Press, New York, pp 322-323.

Ford, J.K.B. 2002b. Killer whales. Em: Perrin, W.F.; Wursig, B. & Thewissen, J.G.M. (eds). *The encyclopedia of marine mammals*. Academic Press, New York, pp 669-676.

Ford JKB, Ellis GM (2006) Selective foraging by fish-eating killer whales, *Orcinus orca*, in British Columbia. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 316:185-199

Gero, S.; Milligan, M.; Rinaldi, C.; Francis, P.; Gordon, J.; Carlson, C.; Steffen, A.; Tyack, P.; Evans, P. & Whitehead, H. 2014 Behavior and social structure of the sperm whales of Dominica, West Indies. *Mar. Mamm. Sci.* 30: 905–922.

Gero, S.; Whitehead, H. & Rendell, L. 2016a. Individual, unit and vocal clan level identity cues in sperm whales codas. *Royal Society Open Science*, 3: 150372

Gero, S.; Bottcher, A.; Whitehead, H & Madsen, P.T. 2016b. Socially segregated sympatric sperm whale clan in the Atlantic Ocean. *Royal Society Open Science*, 3: 160061.

Gillespie, D. 1997. An acoustic survey for sperm whales in the Southern Ocean sanctuary conducted from the R/V *Aurora Australis*. *Reports of the International Whaling Commission*, 47, 897-908.

Grant, B.R. & Grant, P.R. 1996. Cultural inheritance of song and its role in the evolution of Darwin's finches. *Evolution*, 50: 2471–2487.

Janik, V.M. & Slater, P.J.B. 1997. Vocal learning in mammals. *Advances in Study of Behaviour*, 26: 59–99.

Janik, V.M. 2014. Cetacean vocal learning and communication. *Current Opinion in Neurobiology*, 28: 60–65.

Leaper, R.; Gillespie, D. & Papastavrou, V. 2000. Results of passive acoustic surveys for odontocetes in the Southern Ocean. *Journal of Cetacean Research and Management*, 2: 187-196.

Mantel, N. 1967. The detection of disease clustering and generalized regression approach. *Cancer Research*, 27: 209–220.

Moore, K.E.; Watkins, W.A. & Tyack, P.L. 1993. Pattern similarity in shared codas from sperm whales (*Physeter catodon*). *Marine Mammal Science*, 9: 1-9.

Moss, C.J. & Poole, J.H. 1983. Relationships and social structure of African elephants. Em: Hinde, R.A. (ed). *Primate Social Relationships: an integrated approach*. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts, pp 315-325.

Nottebohm, F. 1972. The origins of vocal learning. *American Naturalist*, 106: 116–140.

Nunn, C.L.; Thrall, P.H.; Bartz, K.; Dasgupta, T. & Boesch C. 2009. Do transmission mechanisms or social systems drive cultural dynamics in socially structured populations? *Animal Behaviour*, 77: 1515–1524.

Oliveira, C.; Wahlberg, W.; Silva, M.A.; Johson, M.; Antunes, A.; Wisniewska, D.M.; Fais, A.; Gonçalves, J. & Madsen, P.T. 2016. Sperm whale codas may encode individuality as well as clan identity. *Journal of Acoustical Society of America*, 139 (5): 2860-2869.

Pavan, G.; Hayward, T.J.; Borsani, J.F.; Priano, M.; Manghi, M.; Fossati, C. & Gordon, J. 2000. Time patterns of sperm whale codas recorded in the Mediterranean Sea 1985-1996. *Journal of the Acoustical Society of America*, 107: 3487-3495.

Philips, M & Austad, S.N. 1990. Animal communication and social evolution. Em: Bekoff, M. & Jamieson, D. (eds) *Interpretation and explanation in the study of animal behavior*. Vol. 1: Interpretation, intentionality and communication. Westview, Boulder, Colorado, pp 254-268.

Rendell, L. & Whitehead, H. 2001 Culture in whales and dolphins. *Journal of Behavioral and Brain Science*, 24, 309-324.

Rendell, L. & Whitehead H. 2003a. Comparing repertoires of sperm whales: a multiple methods approach. *Bioacoustics*, 14: 61-81.

Rendell, L. & Whitehead H. 2003b. Vocal clans in sperm whales (*Physeter macrocephalus*). *Proceedings of the Royal Society of London, Series B*, 270: 225-232.

Rendell, L.E. & Whitehead, H. 2004. Do sperm whales share coda vocalizations? Insights into coda usage from acoustic size measurements. *Animal Behaviour*, 67: 845–874.

Rendell, L. & Whitehead, H. 2005. Spatial and temporal variation in sperm whale coda vocalizations: stable usage and local dialects. *Animal Behaviour*, 70: 191-198

Rendell, L.; Mesnick, S.L.; Dalebout, M.L.; Burtenshaw, J. & Whitehead, H. 2012. Can genetic differences explain vocal dialect variation in sperm whales, *Physeter macrocephalus*? *Behavior Genetics*, 42: 332-343.

Searcy, W.A. & Brenowitz, E.A. 1988. Sexual differences in species recognition of avian song. *Nature*, 332: 152–154.

Schnell, G.D.; Watt, D.J. & Douglas, M.E. 1985. Statistical comparison of proximity matrices: applications in animal behaviour. *Animal Behaviour*, 33: 239–253.

Schulz, T.M.; Whitehead, H.; Gero, S. & Rendell, L. 2008. Overlapping and matching of codas in vocal interactions between sperm whales: insights into communication function. *Animal Behaviour*, 76: 1997-1988

Schulz, T.M.; Whitehead, H.; Gero, S. & Rendell, L. 2011. Individual vocal production in a sperm whale (*Physeter macrocephalus*) social unit. *Marine Mammal Science*, 27: 149–166.

Slater, P. J. B. 1986. The cultural transmission of bird song. *Trends in Ecology and Evolution*, 1: 94–97.

Smuts, B.B.; Cheney, D.L.; Seyfarth, R.M.; Wrangham, R.W. & Struhsaker, T.T. 1987. Primate Societies. University of Chicago Press, Chicago.

Stafford, K. M.; Nieukirk, S. L. & Fox, C. G. 2001. Geographic and seasonal variation of blue whale calls in the North Pacific. *Journal of Cetacean Research and Management*, 3: 65–76.

Watkins, W.A. & Schevill, W.E. 1977. Sperm whale codas. *Journal of Acoustical Society of America*. 62: 1486-1490.

Watkins, W.A.; Moore, K.E. & Tyack, P. 1985. Sperm whale acoustic behaviors in the southeast Caribbean. *Cetology*, 49:1-15

Weilgart, L. & Whitehead, H. 1993. Coda communication by sperm whales (*Physeter macriceps*) of the Galápagos Islands. *Canadian Journal of Zoology*, 71: 744-752.

Whitehead, H. & Weilgart, L. 1991. Patterns of visually observable behavior and vocalizations in groups of female sperm whales. *Behaviour*, 118: 271-296

Weilgart, L. & Whitehead, H. 1997. Group-specific dialects and geographical variation in coda repertoire on South Pacific sperm whales. *Behavioural Ecology and Sociobiology*, 40: 227-285.

Whitehead, H. & Arnborn, T. 1987. Social organization of sperm whales off the Galápagos Islands, February-April 1985. *Canadian Journal of Zoology*, 65: 913-919.

Whitehead, H.; Waters, S. & Lyrholm, T. 1991. Social organization in female sperm whales and their offspring: constant companions and casual acquaintances. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 29: 385-389

Whitehead, H.; Dillon, M.; Dufault, S.; Weilgart, L. & Wright, J. 1998. Non-geographically based population structure of south Pacific sperm whales: dialects, fluke-markings and genetics. *Journal of Animal Ecology*, 67: 253-262

Whitehead, H. & Weilgart, L. 2000. The sperm whale: social females and roving males. In: *Cetacean Societies: Field Studies of Dolphins and Whales* (Ed. by J. Mann; R. C. Connor; P. L. Tyack & H. Whitehead), pp. 154–172. Chicago: University of Chicago Press.

Whitehead, H.; Antunes, R.; Gero, S.; Wong, S.; Engelhaupt, D. & Rendell, L. 2012. Multilevel Societies of Female Sperm Whales (*Physeter macrocephalus*) in the Atlantic and Pacific: Why Are They So Different? *Int. Journal of Primatology*, 33: 1142-1164.

Whitehead, H. & Lusseau, D. 2012. Animal social networks as substrate for cultural behavioural diversity. *Journal of Theoretical Biology*, 294: 19-28.

Whitehead, H. & Rendell, L. 2015. *The cultural lives of whales and dolphins*. University of Chicago Press. 417 pp.

Wittemyer, G.; Douglas-Hamilton, I. & Getz, W.M. 2005. The socioecology of elephants: analysis of the processes creating multitiered social structures. *Animal Behaviour*, 69: 1357-1371.

CAPÍTULO 2

COMPARTILHAMENTO DE CODAS ENTRE BALEIAS CACHALOTES NO ATLÂNTICO SUL OCIDENTAL.

Resumo

A correlação entre a complexidade social e a variação na comunicação acústica é encontrada em diferentes espécies. Um exemplo é a variação da produção de codas em baleias cachalotes (*Physeter macrocephalus*). Os clicks dessa espécie são caracterizados por uma estrutura multi-pulsada gerada por reflexões dentro da cabeça do animal. Nesse estudo descrevemos o compartilhamento de codas por um grupo de baleias registradas no Atlântico Sul ocidental. As medidas dos intervalos-entre pulsos (IPI) correspondentes a uma baleia específica foram utilizadas para discriminar os indivíduos através do algoritmo de classificação por árvore de partição. Em seguida, foram designados os tipos de codas classificados pelo OPTICSxi para cada indivíduo. A análise de árvore de classificação resultou em 16 indivíduos que coincide com o número de baleias estimado visualmente em campo. Os resultados mostraram que o repertório de codas foi compartilhado pelo grupo estudado e os indivíduos apresentaram correspondência vocal entre os tipos de coda emitidos. Esse comportamento vocal sugere que o uso comum de tipos de codas entre indivíduos pode funcionar no reforço dos laços sociais culminando na manutenção do clã vocal.

CODAS SHARING BETWEEN SPERM WHALES IN THE WESTERN SOUTH ATLANTIC OCEAN.

Abstract

The correlation between social complexity and acoustic communication is found in many species. One example is group variation in the production of codas in sperm whales (*Physeter macrocephalus*). The clicks of this species are characterized by a multipulsed structure resulted from reflexion inside the animals' head. Herein, we described coda sharing by a single group of sperm whales recorded in the western South Atlantic Ocean. The inter-pulse intervals (IPI) relative to a single whale were used to discriminate individuals through tree classification algorithm. Then, the coda types classified by OPTICSxi were assigned to each individual. The tree classification analysis resulted in 16 individuals corresponding to the number of whales visually estimated in the field. The results showed that the group of whales shared the coda repertoire and that the individuals were engaged in vocal sharing with the coda types emitted. This vocal behaviour suggests that the common usage of coda types among individuals may function as social bond reinforcement culminating in the maintenance of the vocal clan.

1. INTRODUÇÃO

Em grupos sociais estáveis, os animais desenvolvem estratégias comportamentais baseadas nas relações individuais para coordenarem suas atividades e manterem a coesão do grupo (Wilson 2000). Nesses casos, pressões seletivas favorecem o desenvolvimento de sinais de comunicação e mecanismos para possibilitar a discriminação e reconhecimento dos indivíduos (Caldwell et al. 1990, Tooze et al. 1990, Dugatkin & Earley 2004, Nousek et al. 2006). A discriminação individual é possível quando os parâmetros acústicos possuem atributos únicos ou quando a variação dos parâmetros é maior entre os indivíduos do que dentro dos indivíduos (Beecher 1982, 1989).

A correlação entre a complexidade social e a variação na comunicação acústica foi demonstrada em diferentes taxa incluindo primatas (Maestripieri 2005, McComb & Semple 2005), aves (Freeberg & Harvey 2008), morcegos (Wilkinson 2003, Melendez & Feng 2010) e elefantes (McComb et al. 2003). Nos cetáceos, as correlações entre os níveis de variação nos repertórios e estrutura social já foi observado (Tyack 1986, Tyack & Sayigh 1997). Golfinhos nariz de garrafa (*Tursiops truncatus*) apresentam uma consistente variação individual nos assobios assinatura que presumidamente facilitam a sua complexa estrutura social de fissão-fusão (Caldwell & Caldwell 1965, Caldwell et al. 1990, Janik et al. 2006, Quick & Janik 2012).

As baleias cachalote vivem em sociedades multinível (Whitehead et al. 2012, Cantor et al. 2015) em que o dialeto de codas funcionam como identificadores de clãs. Dentro desses clãs há estratificações sociais formadas por unidades que constituem o primeiro nível dentro da estrutura social dessa espécie (Rendell & Whitehead 2003a, b). Nessas unidades, espera-se que as baleias sejam ser aptas a identificarem uns aos outros individualmente. Watkins & Schevill (1977) e Watkins et al. (1985) discutiram que diferentes tipos de codas funcionariam para o reconhecimento individual. Entretanto, estudos recentes (Moore et al. 1993, Rendell &

Whitehead 2004, Schulz et al. 2011) apontam que indivíduos dentro de uma mesma unidade compartilham certos tipos de codas. Rendell & Whitehead (2004) investigaram o compartilhamento de certos tipos de codas em uma unidade social nas Ilhas Galápagos, e encontraram que o tipo 3R foi claramente produzido por vários animais e por isso, é um constituinte compartilhado dentro do repertório e provavelmente sirva como um marcador do clã vocal.

A cabeça das cachalotes é formada de um complexo sistema de órgãos que correspondem ao espermacete (uma estrutura preenchida por óleo), sacos aéreos, passagens nasais, lábios fônicos e *junk* (Cranford 1999, Møhl et al. 2003, Madsen 2012). O *junk* é uma estrutura localizada ventralmente ao espermacete e funciona como uma lente acústica, potencializando a energia acústica do click produzido (Møhl et al. 2000, 2003, Zimmer et al. 2005b). As passagens nasais são assimétricas, sendo a da direita especializada na produção acústica e a da esquerda relacionada com o sistema respiratório. Na parte anterior da cabeça o espermacete se conecta com o par de lábios fônicos (lábios de macaco) que produzem o som através de uma ação pneumática (Norris & Harvey 1972, Madsen et al. 2002). Os lábios de macaco são por sua vez conectados com a passagem nasal direita e com o saco aéreo distal, outro espelho acústico localizado na frente da cabeça (Figura 1A). Toda estrutura funciona como um grande espelho acústico (Norris & Harvey 1972, Madsen 2012).

De acordo com a teoria “Bent Horn” (Møhl et al. 1981, Møhl et al. 2003), após a produção sonora nos lábios de macaco, somente um pulso fraco com apenas 10% da energia total produzida (Zimmer et al. 2005a), chamado de p_0 , é transmitido diretamente para o ambiente pela parte frontal da cabeça. A maior parte da energia gerada se propaga para o saco aéreo frontal, sendo refletida e direcionada para o *junk* onde é emitida como um pulso p_1 de grande energia (Figura 1B). Após a reflexão no saco frontal, uma fração de energia ainda continua a ser transmitida dentro do espermacete e sofre novas reflexões para frente e para

trás entre os sacos aéreos, até novamente serem emitidas pelo junk. Portanto, essas múltiplas reflexões criam pulsos (p2, p3, etc) repetitivos com um decaimento exponencial de amplitude (Zimmer et al. 2005a) (Figura 1B), resultando em uma estrutura multi-pulsada (Norris & Harvey 1972). Já que o p1 e os pulsos subsequentes são emitidos na mesma área da cabeça do animal e possuem o mesmo caminho de propagação, o intervalo entre pulsos (IPI) p1, p2, p3 e assim por diante é estável para todos os clicks emitidos pela mesma baleia (Teloni et al. 2007). O valor desse IPI estável é correspondente ao tamanho da cabeça do animal (Møhl et al. 1981) e conseqüentemente a uma baleia específica (Rendell & Whitehead 2004, Antunes et al. 2011, Schulz et al. 2011, Gero et al. 2016).

Alguns estudos (ex.: Alder-Fenchel 1980, Møhl et al. 1981, Gordon 1991, Rhineland & Dawson, 2004) observaram que somente uma fração de clicks dentro de um registro mostram a estrutura multi-pulsada de forma clara e, portanto, adequados para medições do IPI (Growcott et al. 2011). De acordo com a teoria “Bent Horn”, isso pode ser explicado pelo fato de que a orientação relativa da baleia emissora ao hidrofone influencia na estrutura dos pulsos. Clicks gravados *on-axis*, tanto na frente quanto posterior à cabeça mostram uma estrutura multi-pulsada regular, enquanto que clicks *off-axis* mostram estruturas variáveis dentro dos pulsos (Zimmer et al. 2005a, 2005b, Laplanche et al. 2006). Essa estrutura variável está relacionada à presença de um pulso intermediário (p1/2) entre os pulsos p0 e p1, gerado pela reflexão do som no saco frontal (Zimmer et al. 2005b). Entretanto, vários estudos têm aplicado técnicas para encontrar um valor do IPI estável (Rendell & Whitehead 2004, Rhineland & Dawson 2004, Marcoux et al. 2006, Teloni et al. 2007, Growcott 2011, Caruso et al. 2015).

O uso de técnicas, como medidas do IPI, para acessar o repertório individual é importante nos estudos de comportamento social dos cachalotes. Fêmeas se beneficiam da vida em grupo através do cuidado aloparental e defesa conjunta contra predadores (Whitehead

2003). Portanto, é esperado que grupos ou unidades apresentem um comportamento vocal específico, como reconhecimento individual, que possibilitem esse estilo de vida. Considerando essa complexidade social dentro das unidades de baleias cachalotes, neste capítulo é apresentado o compartilhamento de codas por indivíduos diferentes no Atlântico Sul ocidental.

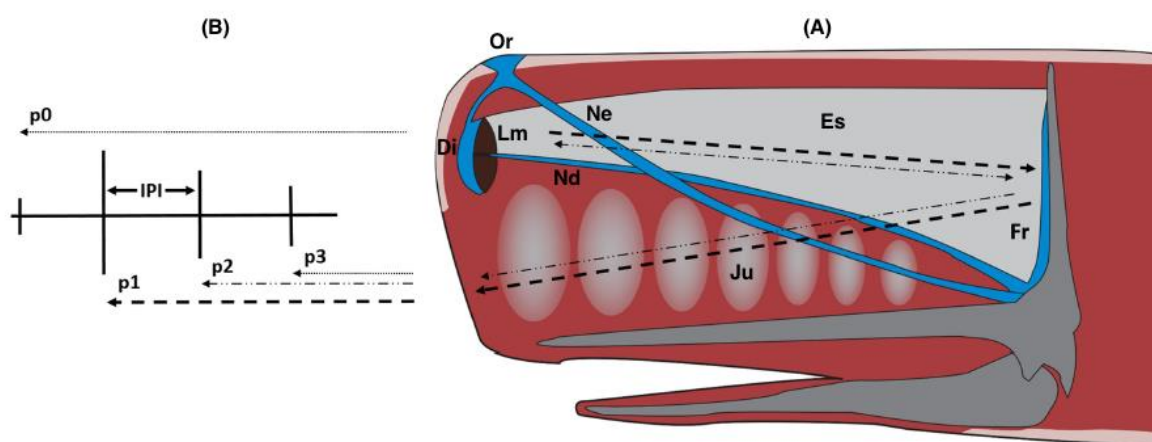


Figura 1. Desenho esquemático da cabeça de uma cachalote e o mecanismo de produção sonora. Adaptado de Caruso et al. (2015). (A) – Or: orifício respiratório, Di: saco aéreo distal, Fr: saco aéreo frontal, Lm: lábios de macaco, Ne: passagem nasal esquerda, Nd: passagem nasal direita, Es: espermacete, Ju: junk. (B) – A estrutura de múltiplos pulsos (p_0 , p_1 , p_2 , p_3) com decaimento de energia, gerada pelas reflexões do click dentro da cabeça do animal. IPI: intervalo entre os pulsos p_1 e p_2 .

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Cálculo do IPI estável

Os arquivos .clk gerados pelo Rainbow Click foram utilizados para extrair as medidas dos IPI através de uma rotina desenvolvida no Matlab 2014a baseada no Signal Processing Toolbox 12.0. Essa rotina utiliza correlação cruzada para medir o IPI (Goold 1996). Essa análise retorna um vetor contendo um valor de IPI para cada click de um coda. Em seguida, como estabelecido por Rendell & Whitehead (2004), a mediana e o intervalo inter-quartil (IQR) foram calculados para cada coda e então, foram selecionados somente codas com $IQR \leq 0.01$ ms que corresponde a um limiar de precisão conservativo para uma taxa de amostragem de 96 kHz. Esse último passo foi considerado devido ao fato de que o IPI verdadeiro deve ser idêntico para cada click, e portanto, valores altos do IQR são indicativos de erros como clicks sobrepostos, ruído e gravações *off-axis*; ao invés de uma variação genuína no IPI. Logo, para codas com $IQR \leq 0.01$ ms, o valor da mediana foi tomado como o IPI estável. A tabela 1 mostra os números de codas com IPIs considerados estáveis em relação ao total de codas analisados em cada encontro.

Tabela 1. Registros de cachalotes no Atlântico Sul ocidental, número de codas analisados por encontro e número de codas com intervalo entre pulsos (IPI) estáveis ($IQR \leq 0.01$ ms).

Encontro/grupo	#indivíduos estimados	Codas analisados	Codas com $IQR \leq 0.01$ ms
S1	10	34	5
S2	*	16	4
S3	*	5	0
S4	*	12	5
S5	16	608	159
S6	*	14	7
S7	90	20	8
S8	6	6	1
S9	12	37	5
S10	10	6	1
N1	4	94	1

*Registro exclusivamente acústico.

2.2 Atribuição de codas aos indivíduos

Considerando a proporção de codas estáveis em relação ao número total analisado (Tabela 1), para as etapas subsequentes somente o encontro S5 foi considerado. As análises resultantes das medidas dos IPI no Matlab fornecem o registro (nome do arquivo de gravação), número de clicks do coda e o número da baleia atribuída a um determinado coda. Esse número (1 até 12) representa um rótulo usado pelo Rainbow Click para distinção dos codas por cores (Figura 1A – Introdução geral). Essas informações juntamente com a duração de cada coda, foram cruzadas com as tabelas geradas pela análise do OPTICSxi, e então foi identificado o tipo de um coda correspondente ao seu IPI estável.

Em seguida, como no trabalho de Schulz et al. (2011), a distribuição da diferença absoluta entre os valores do IPI foi examinada, e de forma geral mostrou picos de distribuição separados a cada 0.05 ms (Figura 2), indicando que se dois codas possuem diferença entre suas medianas maior do que 0.05 ms foram produzidos por baleias diferentes. A partir desse valor, o vetor contendo os IPIs foram divididos por classes representando cada indivíduo, resultando em 17 classes (nomeadas de “A” até “Q”).

Para a validação dessas classes foi empregado um modelo de classificação em árvore através do algoritmo c5.0 no R 3.3.1 (R Core Team, pacote: c50). Esse modelo consiste em um conjunto de regras que agrupam variáveis preditoras através de separações sequenciais binárias (*splits*), resultando em uma árvore que contém todos os subgrupos (ramos da árvore) gerados pelas partições. O pacote possibilita o uso do parâmetro *boosting* desenvolvido para melhorar a taxa de precisão do classificador. Esse parâmetro constrói modelos sucessivos (máximo de 100) com enfoque nos dados que foram classificados incorretamente, para criar um modelo final que considere todos os modelos anteriores e forneça a melhor classificação. Dessa forma, quando é atingido um número de *boosting* que resulte em 0% de erro, o classificador é considerado preciso.

Para as análises de partição do algoritmo, os indivíduos nomeados A, C, P e Q não foram considerados por apresentarem apenas um coda e por cada um estar contido em uma classe exclusiva. A primeira árvore gerada resultou em 41 *boosting* (Tabela 2) e, mesmo com 0% de erro em 13 ramos terminais, apresentou classificação incorreta dos indivíduos E e F (Figura 3), sugerindo que deveriam compor a mesma classe. Então uma segunda análise, que agrupou esses dois indivíduos (nova classe EF), resultou em 13 *boosting* (Tabela 3) e uma árvore com 12 ramos terminais sem classificações incorretas (Figura 4) e, portanto essa classificação foi considerada para as análises posteriores.

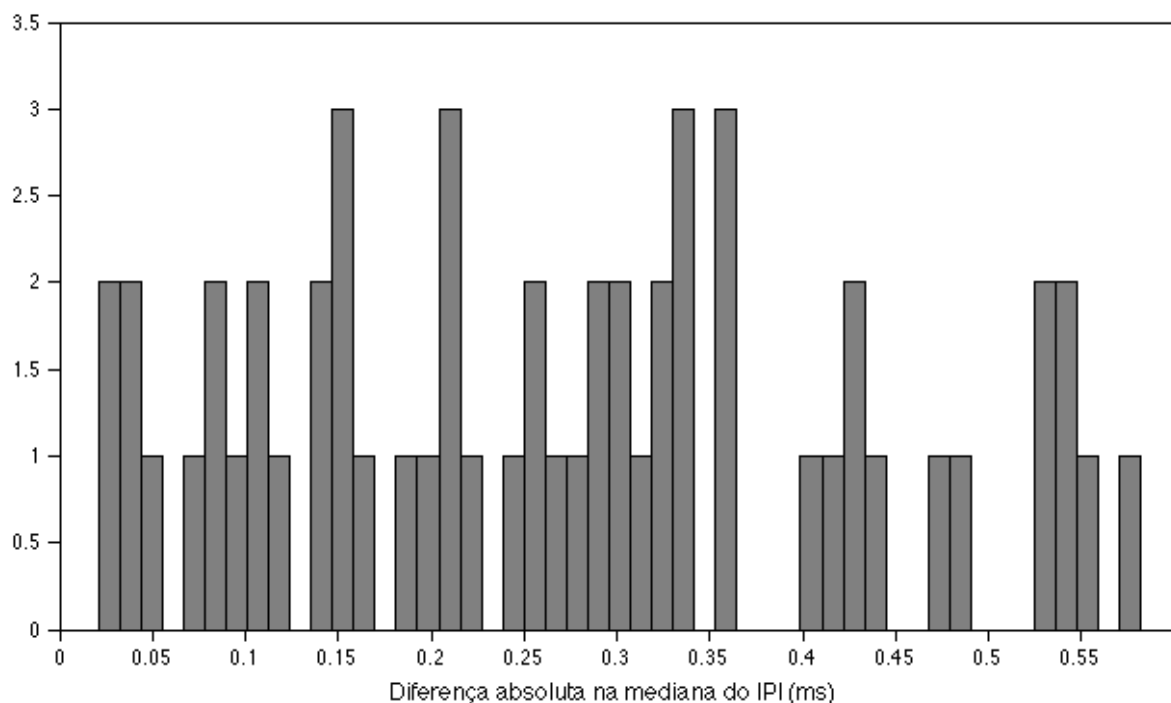


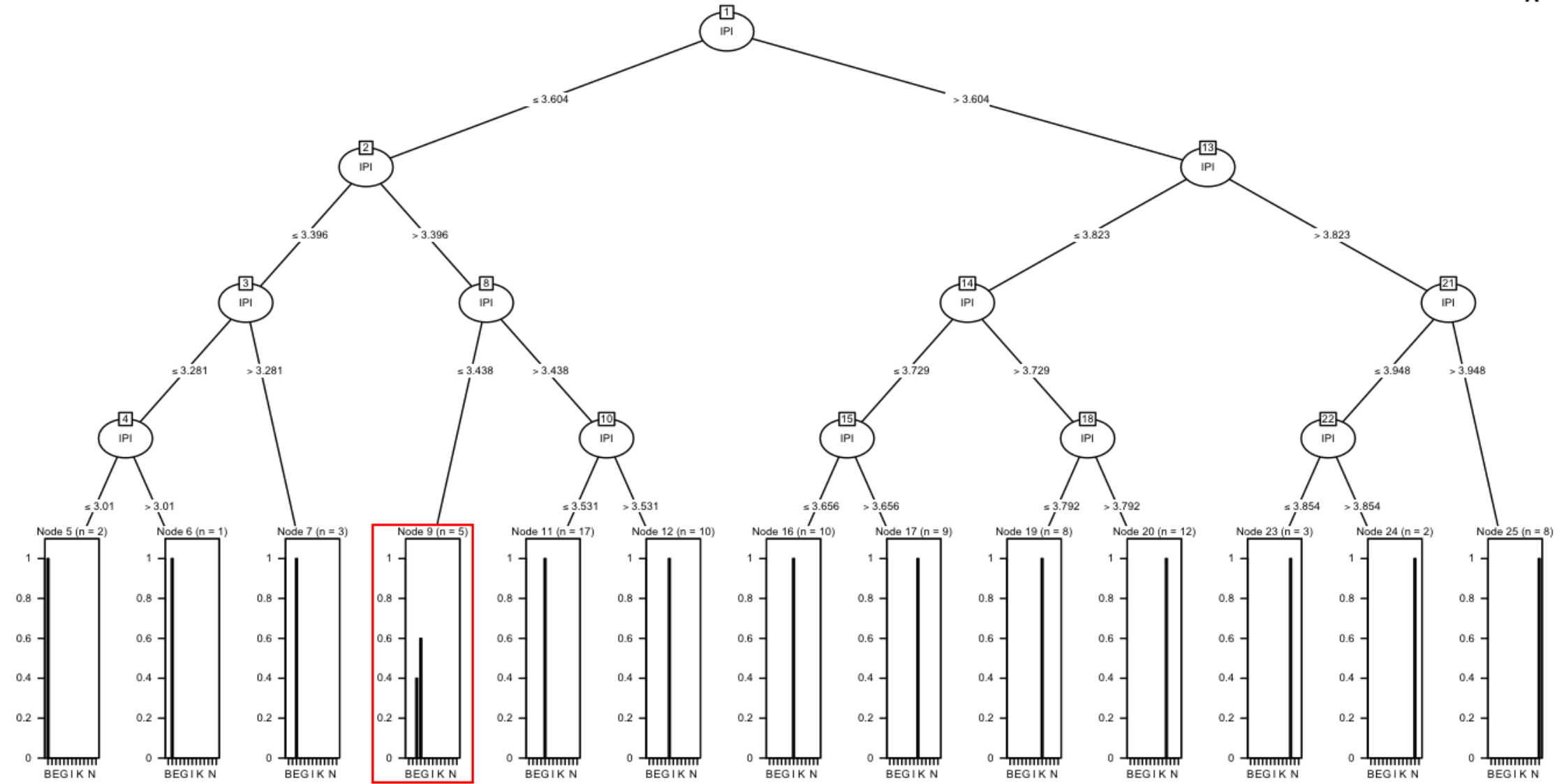
Figura 2. Distribuição da diferença absoluta entre os valores do IPI mostrando de forma geral picos de distribuição separados a cada 0.05 ms, indicando que se dois codas possuem a diferença entre suas medianas maior do que 0.05 ms foram produzidos por baleias diferentes. O eixo y representa a frequência de codas utilizados nessa análise.

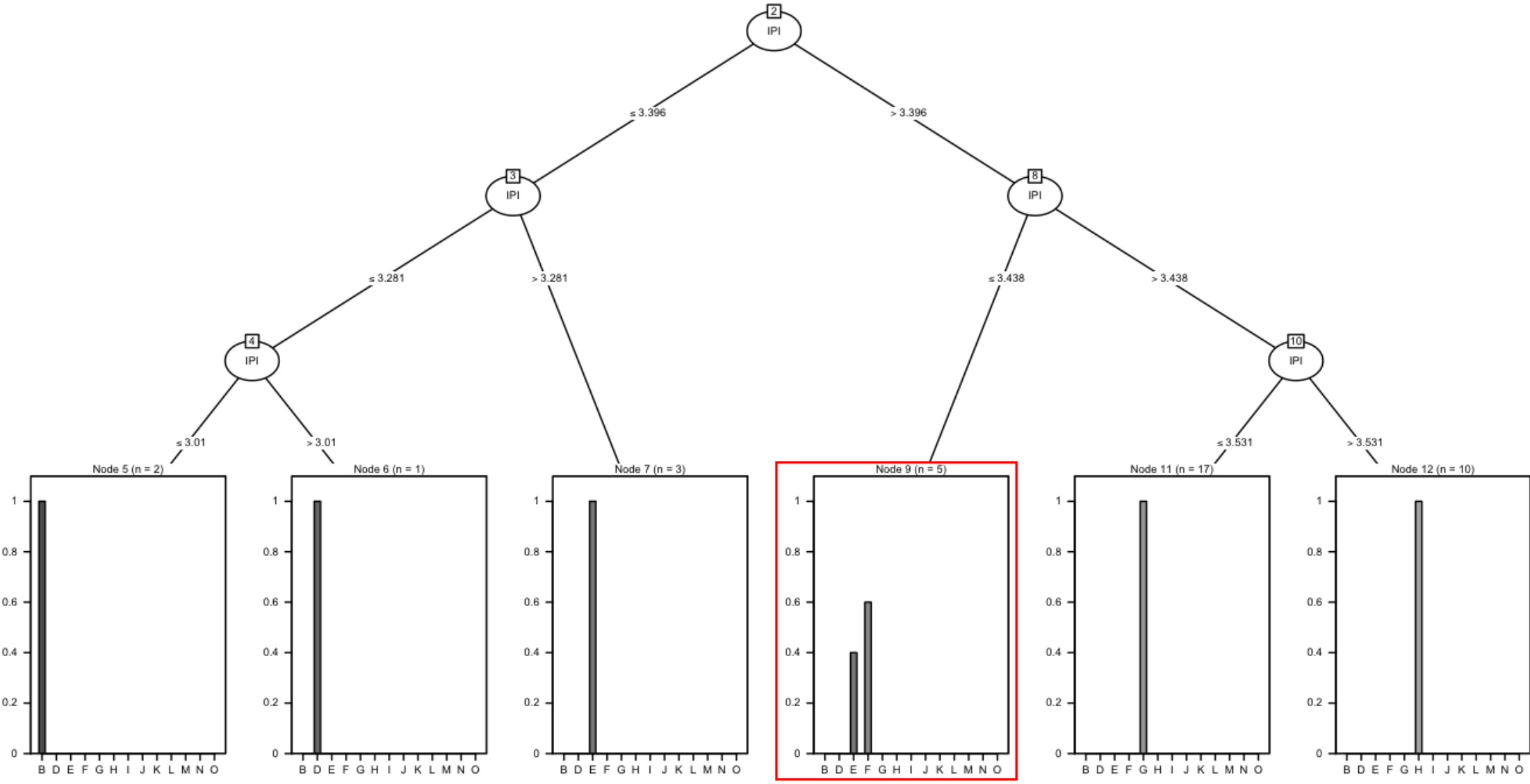
Tabela 2. Modelo de classificação gerado pelo algoritmo c5.0 com as classes de indivíduos estabelecidas com IPI estável. Classificação final resultou em uma árvore com 13 ramos terminais (**negrito**).

Boosting	Árvore	
	Tamanho	Erro (%)
0	12	1.1
1	9	11.1
2	11	17.8
3	12	11.1
4	11	7.8
5	11	24.4
6	9	18.9
7	10	30.0
8	12	1.1
9	10	15.6
10	12	2.2
11	10	26.7
12	11	16.7
13	11	13.3
14	9	33.3
15	11	11.1
16	11	8.9
17	10	21.1
18	12	1.1
19	11	16.7
20	11	13.3
21	9	34.4
22	12	8.9
23	12	2.2
24	10	14.4
25	9	30.0
26	10	34.4
27	11	4.4
28	12	11.1
29	11	8.9
30	9	32.2
31	12	2.2
32	9	31.1
33	11	15.6
34	11	11.1
35	9	23.3
36	12	8.9
37	9	15.6
38	9	34.4
39	10	10.0
40	13	0.0

Tabela 3. Modelo de classificação gerado pelo algoritmo c5.0 após o agrupamento dos indivíduos E e F. Classificação final resultou em uma árvore com 12 ramos terminais (**negrito**).

Boosting	Árvore	
	Tamanho	Erro (%)
0	11	1.1
1	9	7.8
2	11	10.0
3	8	37.8
4	10	24.4
5	10	21.1
6	10	5.6
7	10	17.8
8	10	20.0
9	11	1.1
10	9	26.7
11	10	12.2
12	12	0.0





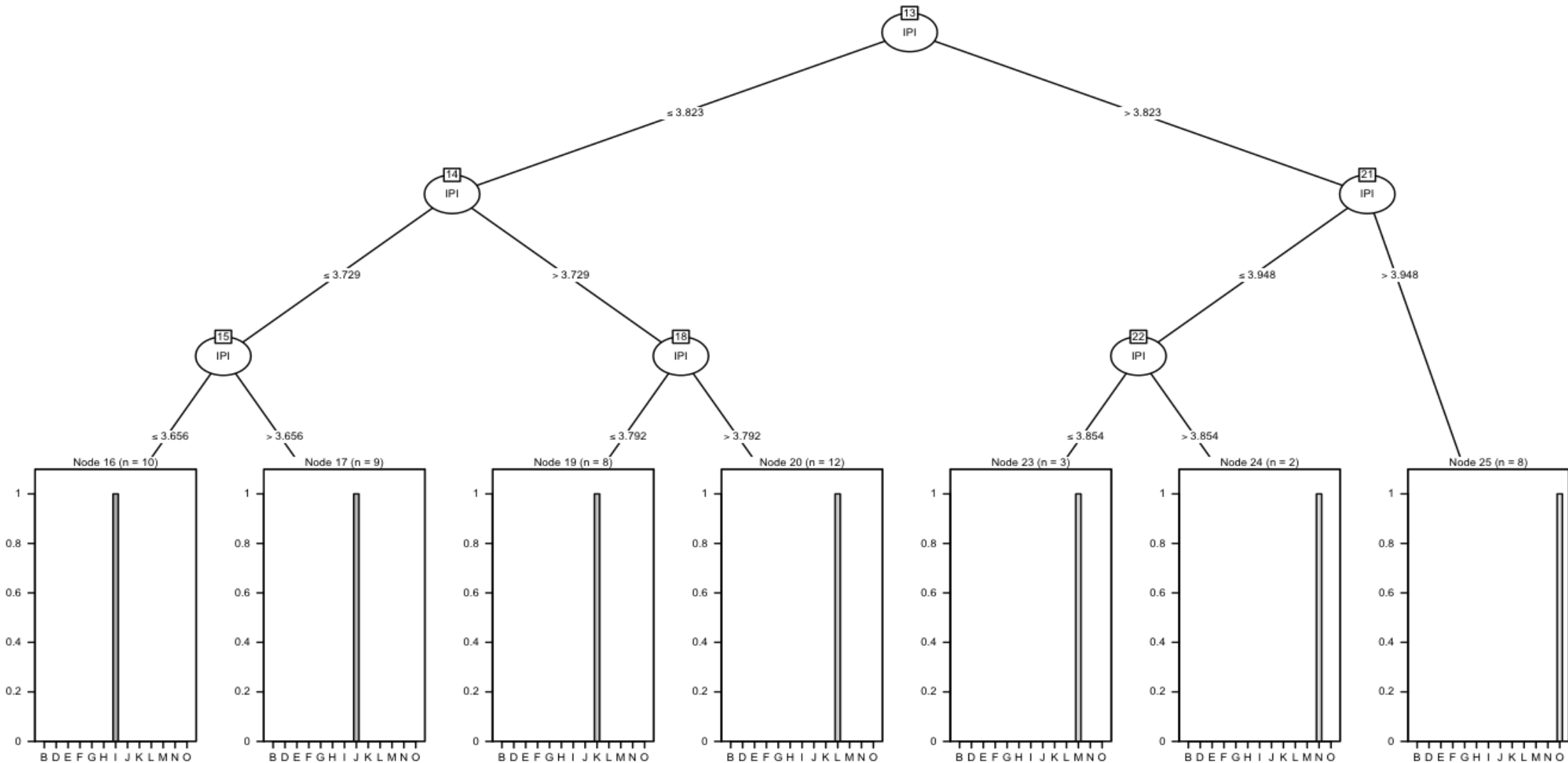
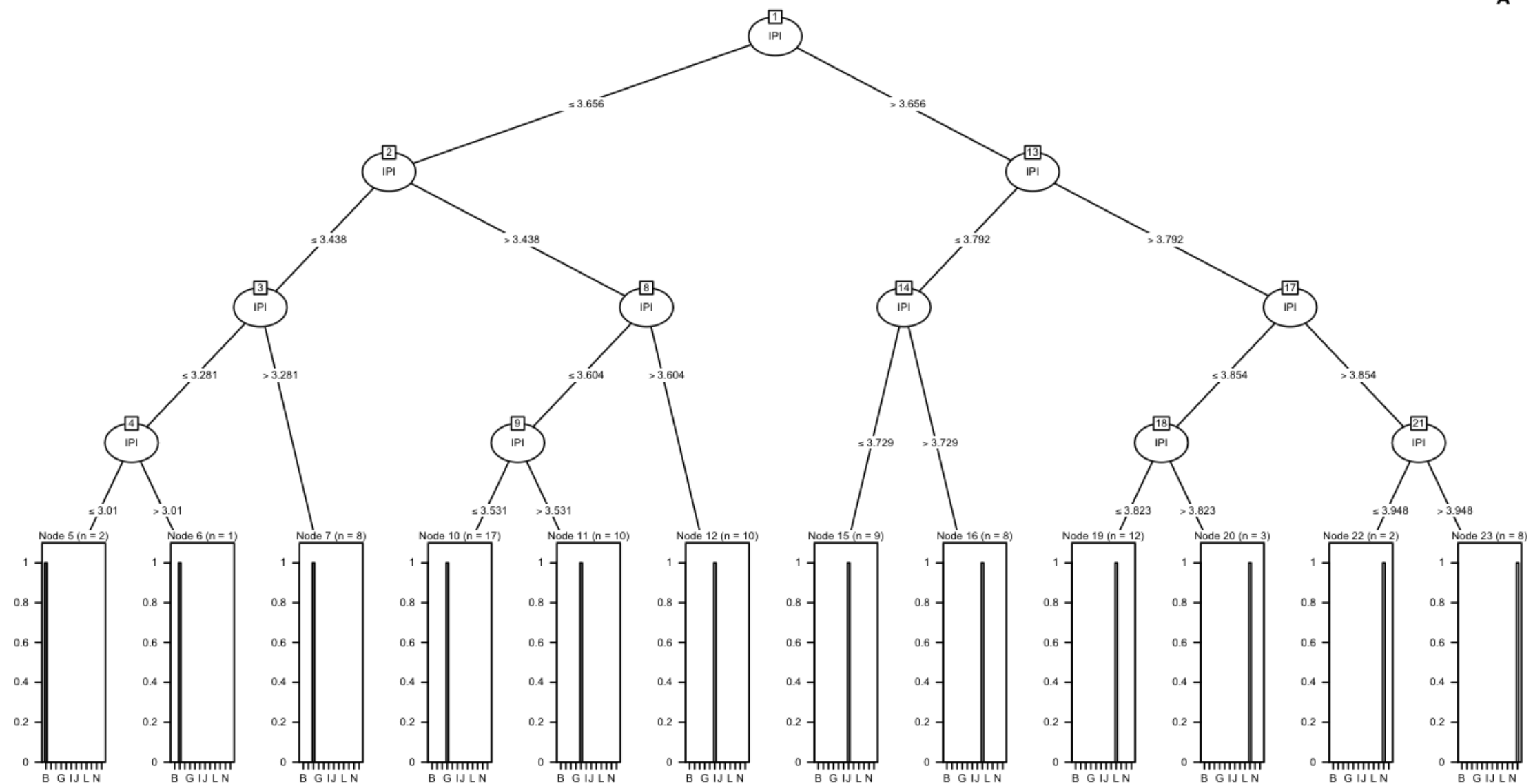
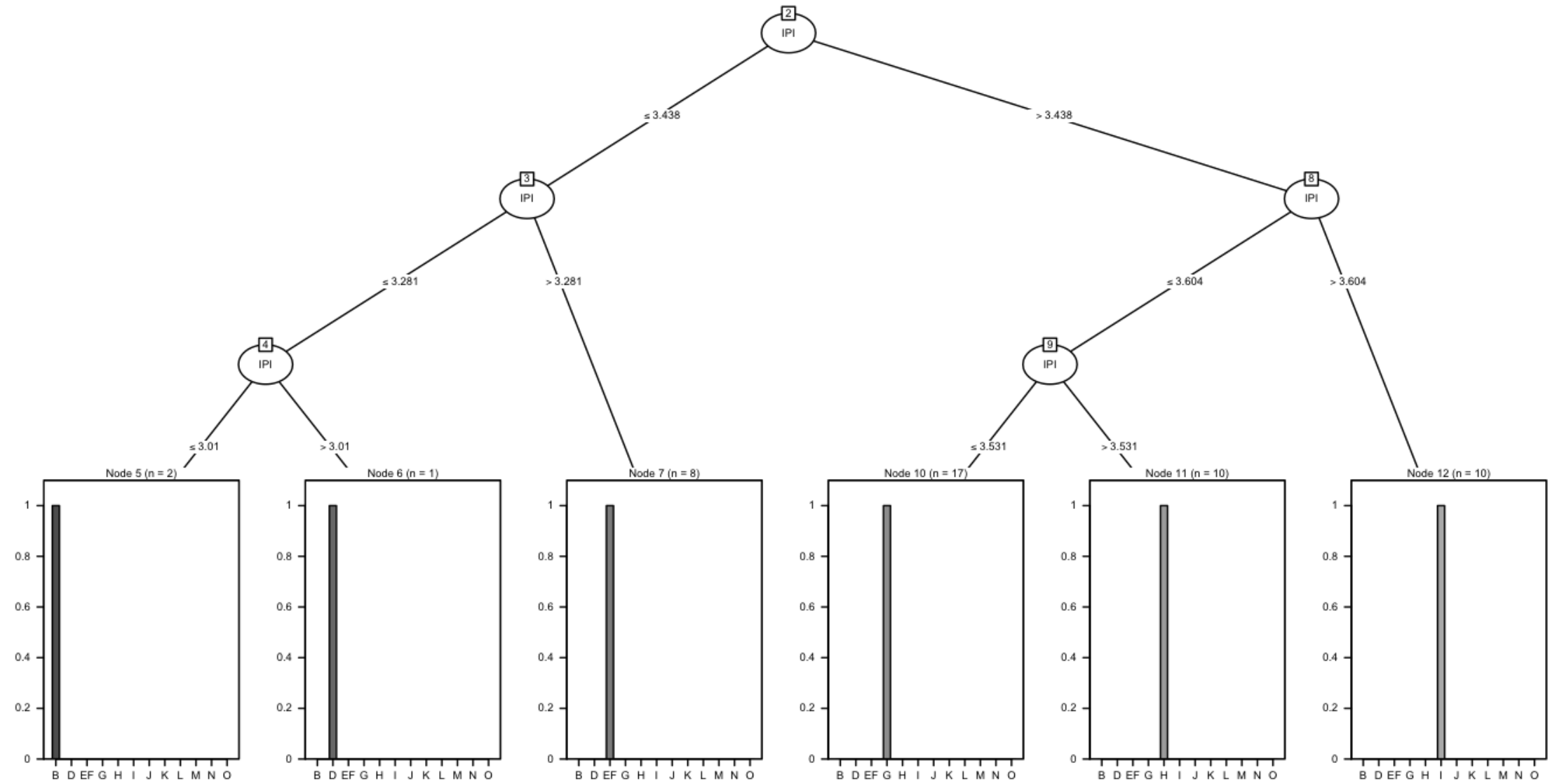


Figura 3. Árvore de classificação dos indivíduos com IPI estável. Em cada nó (círculos identificados como IPI) o modelo decide a classificação baseada no critério apresentado nas linhas posteriores ao respectivo nó. Os indivíduos A, C, P e Q não foram considerados por apresentarem somente um coda e estarem contidos em uma classe exclusiva. A – árvore contendo todos os ramos terminais com classificação incorreta dos indivíduos E e F destacada em vermelho. B – Zoom no nó número 2. C – Zoom no nó número 13. O eixo y representa a porcentagem de classificação correta.

A



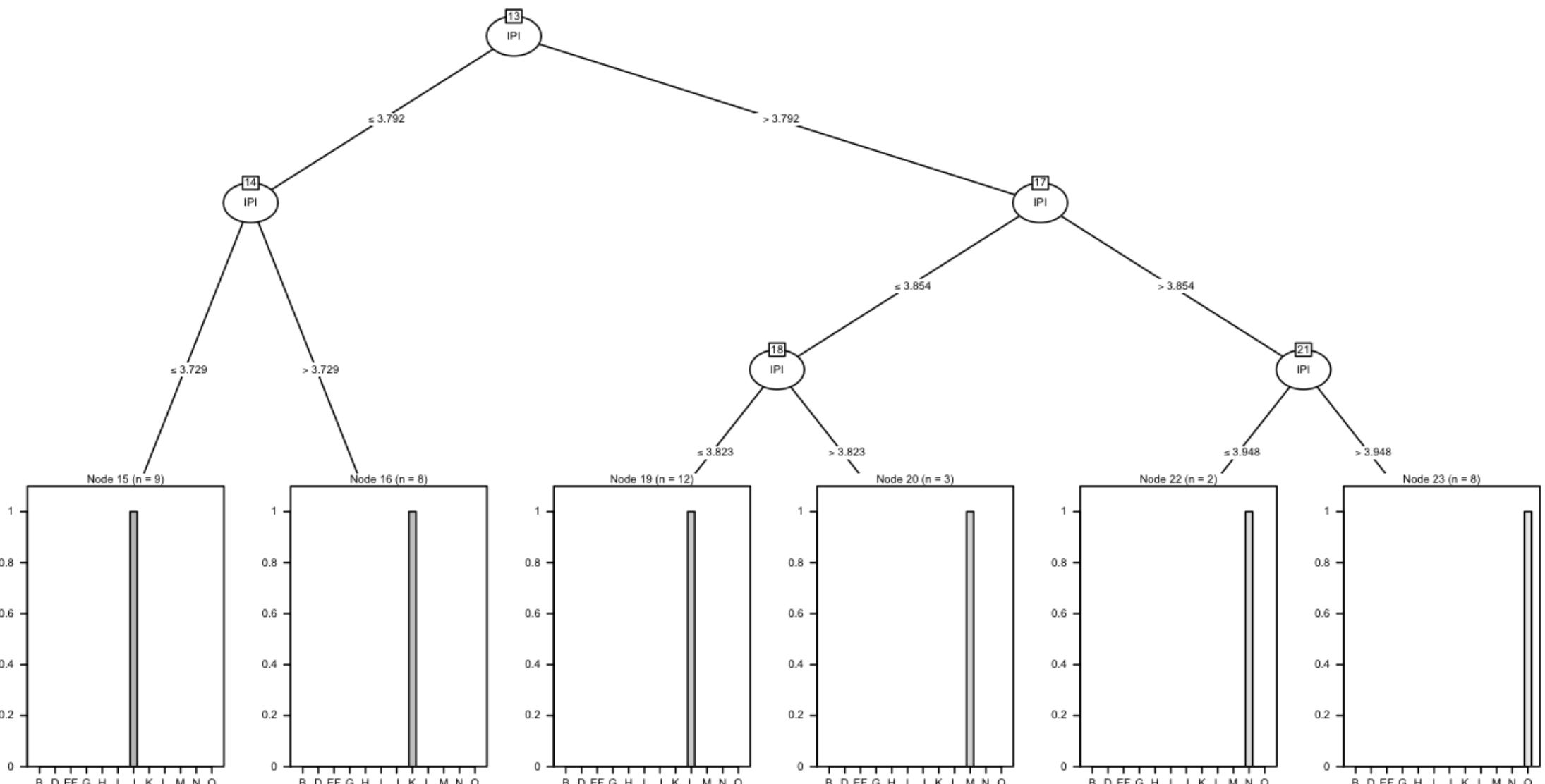


Figura 4. Árvore de classificação após o agrupamento dos indivíduos E e F (classe EF). Em cada nó (círculos identificados como IPI) o modelo decide a classificação baseada no critério apresentado nas linhas posteriores ao respectivo nó. Os indivíduos A, C, P e Q não foram considerados por apresentarem somente um coda e estarem contidos em uma classe exclusiva. A – árvore contendo todos os ramos terminais sem classificação incorreta. B – Zoom no nó número 2. C – Zoom no nó número 13. O eixo y representa a porcentagem de classificação correta.

3. RESULTADOS

No encontro S5, 608 codas foram analisados sendo que 159 (26.1%) tiveram IQR menores ou iguais a 0.01 ms e foram considerados estáveis (Tabela 1). Desse total, os tipos de codas que não foram classificados como ruído pelo OPTICSxi (N=121) tiveram os valores da mediana dos IPIs variando de 2.86 ms até 4.24 ms.

No geral, a associação dos IPIs com os tipos de codas mostrou que indivíduos diferentes compartilharam tipos específicos (Figura 5). Através da análise final da árvore de classificação, 12 indivíduos foram discriminados (Figura 4A) e, juntamente com os indivíduos A, C, P e Q, 16 baleias tiveram codas atribuídos. Esse total coincide com o número de animais estimados visualmente no momento do registro acústico (Tabela 1).

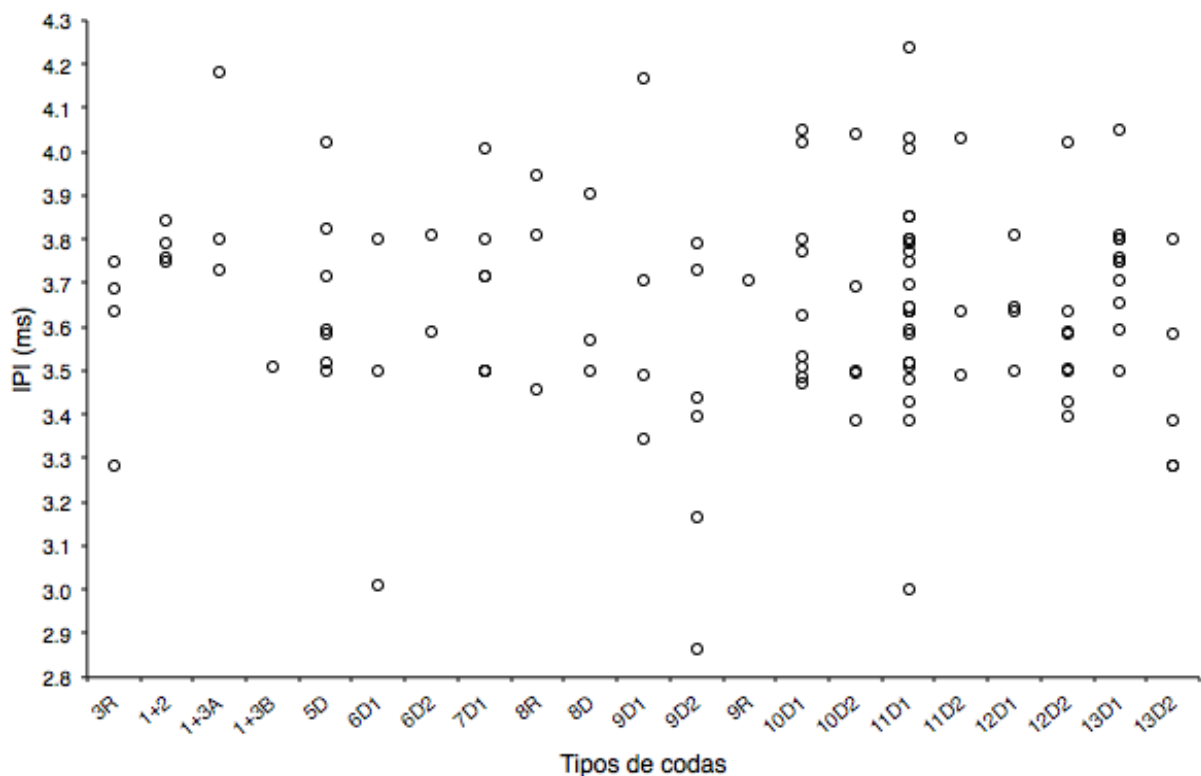


Figura 5. Valores do IPIs (relativos a diferentes indivíduos) plotados pelos tipos de codas. Os pontos correspondem aos valores de medianas que apresentaram $IQR \leq 0.01$ ms.

De forma particular, o tipo 11D₁ foi compartilhado pela maioria dos indivíduos (N=11); seguido pelo tipo 13D₁ produzido por 7 baleias. Para os demais tipos, o número de animais contabilizados variou de 1 até 5. Em relação ao número de tipos diferentes emitidos por cada baleia, o indivíduo G apresentou 13 tipos, seguidos pelos indivíduos L, J e O com 11, 10 e 9 tipos diferentes respectivamente. Para os demais animais, esse número variou de 1 a 7 (Tabela 4).

Tabela 4. Compartilhamento de codas por 16 indivíduos. O gradiente de azul está associado a produção de um tipo específico por uma baleia.

Tipos	Indivíduos																	# indivíduos emissores
	A	B	C	D	EF	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q		
1+2										3		1						2
3R				1				1	1	1								4
1+3 _A									1		1				1			3
1+3 _B						1												1
5D						2	2		1		1			1				5
6D ₁		1				1					1							3
6D ₂							1				1							2
7D ₁						4			2		1			1				4
8R					1						1			1				3
8D						1	1							1				3
9D ₁					1	1			1						1			4
9D ₂	1		1		2				1	1								5
9R									1									1
10D ₁						4		1		1	1				2			5
10D ₂					1	2			1						1			4
11D ₁		1			2	4	2	6	1	3	2	3		2		1		11
11D ₂						1		1						1				3
12D ₁						1		2			1							3
12D ₂					2	2	2	1						1				5
13D ₁						1	1	1	1	3	3			1				7
13D ₂				2	1		1				1							4
# tipos por indivíduos	1	2	1	2	7	13	7	7	10	6	11	2	2	9	1	1		

4. DISCUSSÃO

O repertório de codas foi compartilhado pelo grupo estudado, especialmente os tipos 11D₁ e 13D₁. Estudos no Pacífico (Rendell & Whitehead 2004) e Atlântico Norte (Moore et al. 1993, Schulz et al. 2011) mostraram que indivíduos dentro de uma mesma unidade compartilham certos tipos de codas. A estrutura multi-pulsada característica dos clicks das cachalotes (Norris & Harvey 1972) gerada pelas reflexões do som na cabeça do animal podem sofrer interferências da pressão atmosférica e temperatura do espermacete (Clark 1978, Goold 1996, Madsen et al. 2002, Rendell & Whitehead 2004). Madsen et al. (2002) em um estudo utilizando tags acústicos, mostraram que a variação de um IPI é menor do que ± 0.02 ms para codas registrados a 250 m do início da coluna d'água. Goold (1996) mostrou que uma queda de 1.5°C a partir de 33°C (relativo a 1 atmosfera), gera uma mudança de 0.02 ms no IPI.

Devido ao fato de que o registro (com duração de 57 minutos) utilizado nesse estudo de compartilhamento foi feito quando os cachalotes estavam socializando na superfície, é improvável que a pressão e temperatura do espermacete tenha sido um fator significativo na variação dos IPIs. De acordo com Rendell & Whitehead (2004), considerando que as funções primordiais do espermacete são a produção e transmissão sonora, num período de 57 minutos é razoável assumir que a temperatura se manteve em um valor ideal para o desempenho dessas funções. Portanto, sugerimos que as variações encontradas dentro dos codas com IPIs instáveis foram resultantes das diferenças na orientação relativa de cada baleia emissora ao hidrofone (posições *off-axis* e *on-axis*), apontado como um fator gerador de variação de acordo com a teoria “Bent Horn” (Møhl et al. 1981, Møhl et al. 2003); ou até mesmo resultante da sobreposição de clicks e não à mudanças no IPI verdadeiro.

Em um estudo do uso de codas por uma unidade social, Rendell & Whitehead (2004) registraram 879 codas em 11 dias (total de 60 minutos e 36 segundos) e consideraram estáveis somente 94 codas. No presente estudo, a eliminação da maioria dos codas, deve ser levada em

consideração ao se fazer qualquer generalização. Mesmo que o processamento dos IPIs tenha resultado em 16 indivíduos coincidindo com o número de animais estimados visualmente em campo, é provável que os resultados apresentados na tabela 4 não contemplem todo o repertório específico de cada indivíduo. Por exemplo, foi contabilizado para as baleias A, C, P e Q apenas um tipo de coda, mas é provável que esse animais estavam orientados mais off-axis do que as demais baleias. Da mesma forma, não se pode afirmar que apenas 1 indivíduo emitiu os tipos 1+3_B e 9R. No entanto é notável que as baleias do grupo em questão compartilham seu repertório, principalmente quando consideramos a emissão dos tipos 11D₁ e 13D₁ por 11 e 7 animais respectivamente. Esse compartilhamento, pode funcionar na manutenção de laços sociais dentro do grupo, atendendo aos contextos de cooperação social como cuidado aloparental (Whitehead 1996, Gero et al. 2009) e defesa conjunta contra predadores (Pitman et al. 2001, Whitehead 2003). Além disso, o uso comum desses tipos pode funcionar na manutenção do clã vocal (Rendell & Whitehead 2004, Schulz et al. 2008, Schulz et al. 2011, Gero et al. 2016). De fato, outros grupos do mesmo clã (clã Sul) mostraram em seus repertórios emissões relativamente prevalentes desses tipos (Capítulo 1).

Portanto, apesar das limitações geradas pela exclusão de muitos codas com IPIs instáveis e de resultados que não revelam o repertório individual de cada animal, podemos observar que cachalotes diferentes dentro do mesmo grupo estudado no Atlântico Sul Ocidental compartilham com mais frequência certos tipos de codas. Esse comportamento sugere que o uso comum desses codas opere no reforço dos laços sociais culminando no cuidado aloparental e na manutenção do clã vocal.

REFERÊNCIAS

Adler-Fenchel, H.S. 1980. Acoustically derived estimate of the size distribution for a sample

of sperm whales (*Physeter catodon*) in the Western North Atlantic. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 37(12): 2358–2361.

Antunes, R.; Schulz, T.; Gero, S.; Whitehead, H.; Jonathan Gordon, J. & Rendell, L. 2011. Individually distinctive acoustic features in sperm whale codas. Animal Behaviour, 81: 723–730.

Backus, R. & Schevill, W. 1966. *Physeter* clicks. Whales, dolphins and porpoises. 510–528pp.

Beecher, M.D. 1982. Signature systems and kin recognition. American Zoologist, 22: 477–490.

Beecher, M.D. 1989. Signalling systems for individual recognition: an information theory approach. Animal Behaviour, 38: 248–252.

Caldwell, M.C. & Caldwell, D.K. 1965. Individualized whistle contours in bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). Nature, 207: 434–435

Caldwell, M.C.; Caldwell, D.K. & Tyack, P.L. 1990. A review of the signature whistle hypothesis for the Atlantic bottlenose dolphin, *Tursiops truncatus*. Em: Leatherwood, S. & Reeves, R.R. (eds.). The bottlenose dolphin: Recent progress in research. Academic Press, San Diego, CA. 99–234pp.

Cantor, M.; Shoemaker, L.G.; Cabral, R.B.; Flores, C.O.; Varga, M. & Whitehead, H. 2015. Multilevel animal societies can emerge from cultural transmission. Nature Communications,

6: 8091.

Caruso, F.; Sciacca, V.; Bellia, G.; De Domenico, E.; Larosa, G. & Papale, E. 2015. Size distribution of sperm whales acoustically identified during long term deep-sea monitoring in the Ionian. Sea. PLoS ONE, 10(12): 1-16

Clarke, M.R. 1978. Bouyancy control as a function of the spermaceti organ in the sperm whale. Journal of the Marine Biological Association of the U.K., 58: 27-71.

Cranford, T.W. 1999. The sperm whale's nose: sexual selection on a grand scale? Marine mammal science, 15(4): 1133–1157.

Dugatkin, L.A. & Earley, R.L. 2004. Individual recognition, dominance, hierarchies and winner and loser effects. Proceedings of Royal Society of London, Series B, 271: 1537-1540

Gero, S.; Engelhaupt, D.; Rendell, L. & Whitehead, H. 2009. Who cares? Between-group variation in alloparental care-giving in sperm whales. Behavioral Ecology, 20: 838-843.

Gero, S.; Whitehead, H. & Rendell, L. 2016. Individual, unit and vocal clan level identity cues in sperm whales codas. Royal Society Open Science, 3: 150372

Gordon, J.C.D. 1991. Evaluation of a method for determining the length of sperm whales (*Physeter macrocephalus*) from their vocalizations. Journal of Zoology, 224: 301–314.

Growcott, A.; Miller, B.; Sirguyev, P.; Sooten, E. & Dawson, S. 2011 Measuring body length of male sperm whales from their clicks: the relationship between inter-pulse intervals and

photogrammetrically measured lengths. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 130(1): 568–573.

Janik, V.M.; Sayigh, L.S. & Wells, R.S. 2006. Signature whistle shape conveys identity information to bottlenose dolphins. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103: 8293–8297.

Laplanche, C.; Adam, O.; Lopatka, M. & Motsch, J.F. 2006. Measuring the off-axis angle and the rotational movements of phonating sperm whales using a single hydrophone. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 119(6): 4074–4082.

Maestriperi, D. 2005. Gestural communication in three species of macaques (*Macaca mulata*, *M. nemestrina*, *M. arctoides*): Use of signals in relation to dominance and social context. *Gesture*, 5: 57-73

Madsen, P.; Payne, R.; Kristiansen, N.; Wahlberg, M.; Kerr, I. & Møhl, B. 2002. Sperm whale sound production studied with ultrasound time/depth-recording tags. *Journal of Experimental Biology*, 205(13): 1899–1906.

Madsen, P.T. 2012. Foraging with the biggest nose on record. *Whale watcher: Journal of the American Cetacean Society*, 41(1): 9–15.

Marcoux, M.; Whitehead, H. & Rendell, L. 2006. Coda vocalizations recorded in breeding areas are almost entirely produced by mature female sperm whales (*Physeter macrocephalus*). *Canadian Journal of Zoology*, 84: 609–614.

McComb, K.; Reby, D.; Baker, L.; Moss, C. & Sayialel, S. 2003. Long distance communication of acoustic cues to social identity in African elephants. *Animal Behaviour*, 65: 317–329.

Melendez, K.V. & Feng, A.S. 2010. Communication calls of little brown bats display individual-specific characteristics. *Journal of Acoustical Society of the America*, 128(2): 919–923.

Møhl, B.; Larsen, E. & Amundin, M. 1981. Sperm whale size determination: outlines of an acoustic approach. *Mammals in the seas*, 3: 327–331.

Møhl, B.; Wahlberg, M.; Madsen, P.T.; Miller, L.A. & Surlykke, A. 2000. Sperm whale clicks: directionality and source level revisited. *Journal of the Acoustical Society of America*, 107: 638-648.

Møhl, B. 2001. Sound transmission in the nose of the sperm whale *Physeter catodon*. A post mortem study. *Journal of Comparative Physiology A*, 187: 335–340.

Møhl, B.; Wahlberg, M.; Madsen, P.T.; Heerfordt, A. & Lund, A. 2003. The monopulsed nature of sperm whale clicks. *Journal of the Acoustical Society of America*, 114: 1143-1154.

Moore, K.E.; Watkins, W.A. & Tyack, P.L. 1993. Pattern similarity in shared codas from sperm whales (*Physeter catodon*). *Marine Mammal Science*, 9: 1-9.

Nousek, A.E.; Slater, P.J.B.; Wang, C. & Miller, P.J.O. 2006. The influence of social affiliation on individual vocal signatures of northern resident killer whales (*Orcinus orca*). *Biology Letters*, 2: 481–484.

Norris, K.S. & Harvey, G.W. 1972. A theory for the function of the spermaceti organ of the sperm whale (*Physeter catodon* L). *NASA Special Publication*, 262:397.

Pitman, R.L.; Ballance, L.T.; Mesnick, S.L. & Chivers, S.J. 2001. Killer whale predation on sperm whales: Observations and implications. *Marine Mammal Science*, 17: 494–507.

Quick, N.J. & Janik, V.M. 2012. Bottlenose dolphins exchange signature whistles when meeting at sea. *Proceedings of the Royal Society of London B*, 279: 2539-2545

R Core Team 2013 R: A language and environment for statistical computing. R Found. Stat. Comput. Vienna, Austria , URL <http://www.R-project.org/>.

Rendell, L. & Whitehead H. 2003a. Comparing repertoires of sperm whales: a multiple methods approach. *Bioacoustics*, 14: 61-81.

Rendell, L. & Whitehead H. 2003b. Vocal clans in sperm whales (*Physeter macrocephalus*). *Proceedings of the Royal Society of London B*, 270: 225-231

Rendell, L.E. & Whitehead, H. 2004. Do sperm whales share coda vocalizations? Insights into coda usage from acoustic size measurements. *Animal Behaviour*, 67: 845–874.

Rhineland, M.Q. & Dawson, S.M. 2004. Measuring sperm whales from their clicks: Stability of interpulse intervals and validation that they indicate whale length. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 115(4): 1826–1831.

Schulz, T.M.; Whitehead, H.; Gero, S. & Rendell, L. 2008. Overlapping and matching of codas in vocal interactions between sperm whales: insights into communication function. *Animal Behaviour*, 76: 1997-1988

Schulz, T.M.; Whitehead, H.; Gero, S. & Rendell, L. 2011. Individual vocal production in a sperm whale (*Physeter macrocephalus*) social unit. *Marine Mammal Science*, 27: 149–166.

Teloni, V.; Zimmer, W.M.; Wahlberg, M.; Madsen, P.T. 2007. Consistent acoustic size estimation of sperm whales using clicks recorded from unknown aspects. *Journal of Cetacean Research and Management*, 9(2): 127–136.

Tooze, Z.J.; Harrington, F.H. & Fentress, J.C. 1990. Individually distinct vocalizations in timber wolves, *Canis lupus*. *Animal Behaviour*, 40:723–730

Tyack, P. 1986. Population biology, social behavior and communication in whales and dolphins. *Trends in Ecology and Evolution*, 1: 144–150

Tyack, P.L. & Sayigh, L.S. 1997. Vocal learning in cetaceans. Em: Snowdon, C.T. & Hausberger, M. (eds.). *Social influences on vocal development*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 208–233pp.

Watkins, W.A. & Schevill, W.E. 1977. Sperm whale codas. *Journal of Acoustical Society of America*. 62: 1486-1490.

Watkins, W.A.; Moore, K.E. & Tyack, P. 1985. Sperm whale acoustic behaviors in the southeast Caribbean. *Cetology*, 49:1-15

Wilson, E.O. 2000. *Sociobiology: the new synthesis*. The Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge MA.

Wilkinson, G.S. 2003. Social and vocal complexity in bats. Em: De Waal, F.B.M. & Tyack, P. (eds.). *Animal social complexity: intelligence, culture, and individualized societies*. Cambridge, MA: Harvard University Press. 322–341pp.

Whitehead, H. 1996. Babysitting, dive synchrony, and indications of alloparental care in sperm whales. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 38: 237–244.

Whitehead, H. 2003. Society and culture in the deep and open ocean: the sperm whale. In: *Animal Social Complexity: Intelligence, Culture and Individualized Societies*. Waal, F.B.M & Tyack, P. (eds), Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press, 444-464 pp.

Whitehead, H.; Antunes, R.; Gero, S.; Wong, S.; Engelhaupt, D. & Rendell, L. 2012. Multilevel Societies of Female Sperm Whales (*Physeter macrocephalus*) in the Atlantic and Pacific: Why Are They So Different? *Int. Journal of Primatology*, 33: 1142-1164

Zimmer, W.M.; Tyack, P.L.; Johnson, M.P. & Madsen, P.T. 2005a. Three-dimensional beam pattern of regular sperm whale clicks confirms bent-horn hypothesis. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 117(3): 1473–1485

Zimmer, W.M.X.; Madsen, P.T.; Teloni, V.; Johnson, M.P. & Tyack, P.L. 2005b. Off-axis effects on the multipulse structure of sperm whale usual clicks with implications for sound production. *Journal of the Acoustical Society of America*, 118: 3337-3345

CAPÍTULO 3

ESTIMATIVA DO TAMANHO DE BALEIAS CACHALOTES ATRAVÉS DA ACÚSTICA NO ATLÂNTICO SUL OCIDENTAL.

Resumo

Cachalotes apresentam dimorfismos físico e comportamental que são refletidos nos seus padrões vocais. A utilização de dados acústicos para estudar a distribuição de tamanhos de cachalotes permite acessar parâmetros populacionais como maturidade sexual e idade dos indivíduos. Nesse capítulo, a distribuição do tamanho de baleias cachalotes no Atlântico Sul ocidental foi apresentada e comparada com dados de tamanhos de baleias caçadas no Brasil entre 1960 e 1979 proveniente da Comissão Baleeira Internacional (IWC). Através das fórmulas propostas por Gordon (1991) e Growcott (2011) utilizamos as medidas dos intervalos entre pulsos (IPIs) dos codas e *slow clicks* para estimar o tamanho de fêmeas/imaturos e machos respectivamente. Medidas dos IPIs dos codas resultaram em tamanhos que variam de 7.74 a 11.15 metros, os quais 1.5% correspondem a animais imaturos e 98.5% à fêmeas adultas. *Slow clicks* resultaram em tamanho que variam de 10.24 a 17.36 metros, correspondendo a 27.1% de machos jovens e 72.9% de adultos, dentre os quais 49.7% correspondem a machos maiores que 14 metros. Dados da IWC mostraram que os machos foram mais intensamente caçados totalizando 9424 animais, com maioria medindo entre 12 e 14 metros. A maior distribuição de tamanho para os machos, que foram mais impactados com a caça, pode estar relacionada com a maior disponibilidade de alimento gerada pela diminuição na competição, aumentando a taxa de crescimento individual. Logo, é esperado encontrar animais maiores, como nesse estudo, em populações que ainda se recuperam da exploração. Nossos resultados ressaltam a importância da Bioacústica para abordar questões ecológicas e comportamentais com vistas à conservação.

ACOUSTIC SIZE ESTIMATION OF SPERM WHALES IN WESTERN SOUTH ATLANTIC.

Abstract

Sperm whales exhibit physical and behavioural dimorphisms that are identified in the vocal patterns. The use of acoustical data to study the length distribution of sperm whales allows to access population parameters such as sexual maturity and age of individuals. Herein, the size distribution of sperm whales in the western South Atlantic was presented and compared to the length data of Brazilian whaling between 1960 and 1979 provided by The International Whaling Commission (IWC). Using the formulae proposed by Gordon (1991) and Growcott (2011), we estimated the size of females/immature and males through measurements of inter-pulse interval (IPI) of codas and slow clicks respectively. IPIs of codas resulted in length ranging from 7.74 to 11.15 meters, in which 1.5% corresponds to immature whales and 98.5% to adult females. Slow clicks resulted in length from 10.24 to 17.36 meters, corresponding to 27.1% of juvenile males and 72.9% of adult males among which 49.7% are males larger than 14 meters. The IWC data showed greater number of male catches, totalizing 9424 whales, with most of them measuring between 12 and 14 meters. The increased length distribution of males, which were more exploited, is potentially related to the greater availability of food resulted in decrease of competition and increase of individual growth. Therefore, recovering populations, such as the one we studied, are expected to contain larger animals. Our findings highlight the importance of Bioacoustics to address ecological and behavioural issues with a view to conservation.

1. INTRODUÇÃO

A comunicação vocal é essencial para sociedades animais, pois pode mediar competição, coesão do grupo, reprodução (Bradbury & Vehrencamp 1998) e retratar diferenças sexuais. Por exemplo, em elefantes africanos as fêmeas (*Loxodonta africana*) e

seus filhotes vivem em grupos matrilineares, enquanto adultos machos geralmente permanecem solitários (Moss & Poole 1983). As fêmeas possuem um repertório vocal maior do que os machos (Poole 1994), sendo que a maioria dos chamados emitidos por elas estão relacionados com a manutenção dos laços familiares, coesão e coordenação do grupo, e comunicação com machos em períodos de reprodução (Poole 1994).

Os cachalotes exibem dimorfismo sexual físico e comportamental. Machos maduros possuem três vezes a massa corporal das fêmeas (Rice 1989) e se dispersam de suas unidades maternas com cerca de 6 anos (Whitehead & Weilgart 2000) quando medem cerca de 8.5 metros (Rice 1989), com destino a altas latitudes, culminando em uma vida solitária. O retorno para as áreas de reprodução acontece quando eles medem cerca de 13 metros e aos 20 anos aproximadamente (Best 1979). Por outro lado, as fêmeas permanecem em suas unidades natais (Best 1979, Whitehead 1993, Christal & Whitehead 1997, Whitehead & Weilgart 2000, Whitehead 2003), e atingem maturidade sexual quando medem aproximadamente 8.3 a 9.2 metros, com cerca de 7 a 13 anos e são fisicamente maduras com aproximadamente 10.4 a 11 metros (Rice 1989).

A estimativa de tamanho em mamíferos marinhos tem um papel importante no acesso ao tamanho do grupo e pode ser utilizada para deduzir a idade e estágio de maturidade sexual dos indivíduos (Angliss et al. 1995, Koski et al. 1993). A fotometria geralmente é utilizada para medir o tamanho das baleias (Cosens & Anders 2003, Dawson et al. 1995, Gordon 1990, Jaquet 2006, Miller et al. 2004), porém requer boas condições de tempo e um considerável esforço para que uma fração razoável da população seja amostrada, especialmente em espécies de longos mergulhos (Watkins et al. 1999).

A estrutura multi-pulsada dos clicks dos cachalotes oferecem uma alternativa para estimar o tamanho do animal através da acústica (Teloni et al. 2007). Esse potencial foi inicialmente reconhecido por Norris & Harvey (1972) que ao combinar observações da

estrutura do click com sua anatomia nasal, propuseram a estrutura multi-pulsada do click. O conceito fundamental da estimativa acústica do tamanho das cachalotes, apoia-se no fato de que o intervalo entre pulsos (IPI) é dado pela distância entre o refletores sonoros (sacos aéreos distal e frontal) e pela velocidade do som dentro do espermacete, calculada por Flewelling & Morris (1978) e Goold et al. (1996) ($\approx 1430 \text{ m s}^{-1}$). Uma vez que o pulso 1 e os pulsos subsequentes são emitidos na mesma área dentro da cabeça e possuem o mesmo caminho de propagação, o IPI é estável (Teloni et al. 2007) e, então, a partir da relação alométrica entre a cabeça e o tamanho total do animal (Clark 1978), o tamanho total de um indivíduo pode ser estimado acusticamente.

O valor do IPI aumenta ao longo dos anos acompanhando a taxa de crescimento do animal (Pavan et al. 1999, Rhinelanders & Dawson 2004, Miller et al. 2013). Entretanto, o quanto o IPI varia em relação à profundidade ainda é incerto. As cachalotes podem mergulhar por mais de 2000 metros (Zimmer et al. 2003) com velocidade entre 75 e 120 m/minuto (Gordon 1987). Pouca variação no IPI foi encontrada durante mergulhos, em decorrência de mudanças na pressão hidrostática e temperatura da água. Goold et al. (1996) simulou variações na velocidade do som no espermacete em relação com condições ambientais profundidade-dependentes e encontrou uma diferença de aproximadamente 0.7 ms para um IPI de 7.2 ms durante um mergulho de 900 metros. Madsen et al. (2002a) observou um valor consideravelmente constante, com variação de menos de 0.2 ms para um IPI de 3.4 ms em um mergulho de 700 metros.

Neste capítulo, as medidas do IPI foram utilizadas para estimar os tamanhos de cachalotes registradas no Atlântico Sul ocidental. A utilização de dados acústicos para estudar a distribuição de tamanhos de cachalotes permite acessar parâmetros populacionais (Norris & Harvey 1972, Møhl et al. 1981, Waters & Whitehead, 1990, Kahn et al. 1993, Goold 1996, Marcoux et al. 2007, Teloni et al. 2007), principalmente por indicar a maturidade sexual e

idade dos indivíduos (Gaskin & Cawthorn, 1973, Miller et al. 2013) que podem revelar como a população de cachalotes do Atlântico Sul ocidental respondeu ao período pós-caça.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O cálculo do IPI estável para os codas ocorreu da mesma forma descrita no Capítulo 2, considerando o valor da mediana para os codas que apresentaram $IQR \leq 0.01$ ms. Os codas tem sido estudados principalmente em grupos sociais de fêmeas e imaturos (Watkins & Schevill 1977, Whitehead & Weilgart 1991, Moore et al. 1993, Weilgart & Whitehead 1993, 1997, Rendell & Whitehead 2003a, 2003b, Drouot et al. 2004b, Marcoux et al. 2006, Schulz et al. 2008, Schulz et al. 2011, Gero et al. 2015, Gero et al. 2016) e pouco se conhece sobre a emissão desse tipo vocal em machos (ex.: Marcoux et al. 2006). Portanto, para assegurar estimativas de comprimento de machos, utilizamos medidas do IPI de *slow clicks*, associados com a comunicação entre machos e possivelmente transmissão de informação sobre identidade individual (Whitehead 1993, 2003, Oliveira et al. 2013).

Como os *slow clicks* apresentam longos intervalos entre clicks (Whitehead 2003), dificultando a marcação de cadeias pelo Rainbow Click, os IPIs relativos aos *slow clicks* foram mensurados manualmente pelo software Raven Pro 1.5. Através da inspeção visual do espectrograma e da *waveform*, selecionamos somente os clicks que apresentaram uma clara definição dos pulsos (Figura 1) como um indicativo de IPI estável. A designação de indivíduos específicos aos codas ou *slow clicks* não se aplica nesse estudo, logo indivíduos com IPI próximos irão compor a mesma classe de comprimento total do animal o que atende ao objetivo de verificar a distribuição dos tamanhos. A figura 2 mostra os locais de registro dos *slow clicks*.

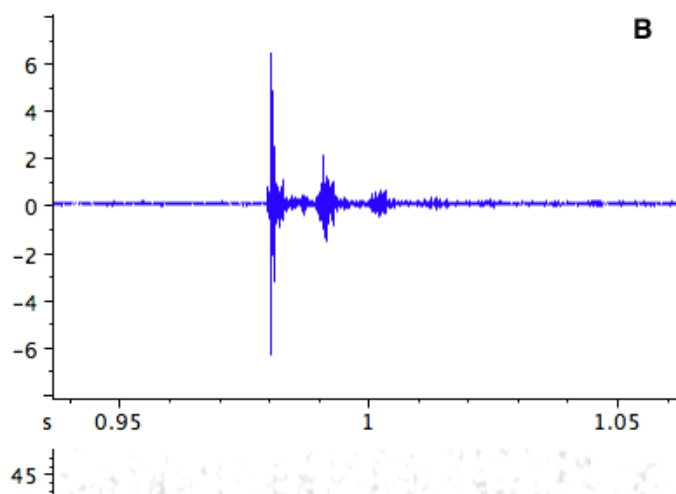
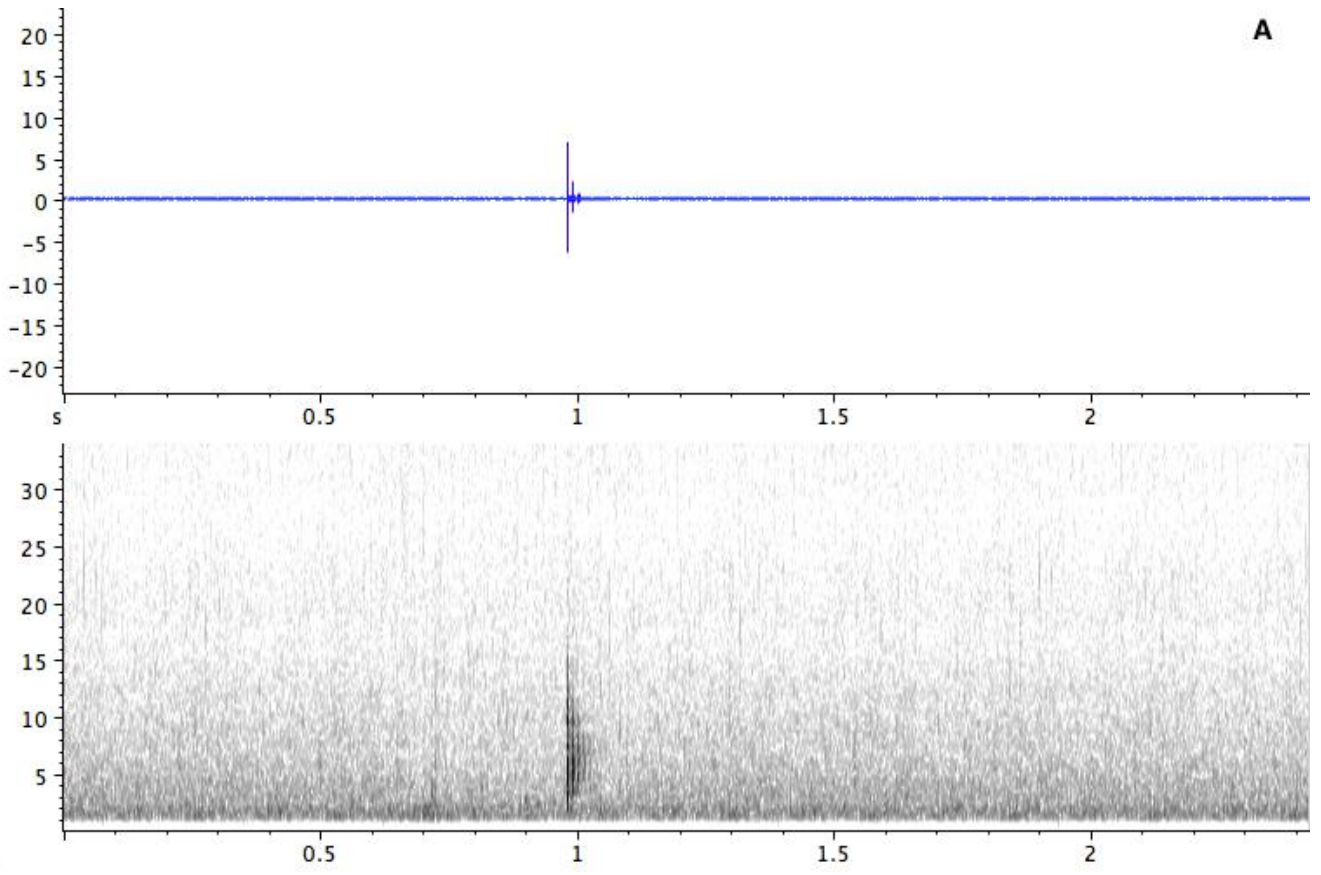


Figura 1. Exemplo de slow click utilizado no cálculo do IPI estável. A figura B mostra um zoom evidenciando a clara estrutura de pulsos. As partes superiores mostram a *waveform* (eixo x – Tempo (s) e eixo y – Amplitude (Ku)); e as partes inferiores o espectrograma (eixo x – Tempo (s) e eixo y – Frequência (kHz)).

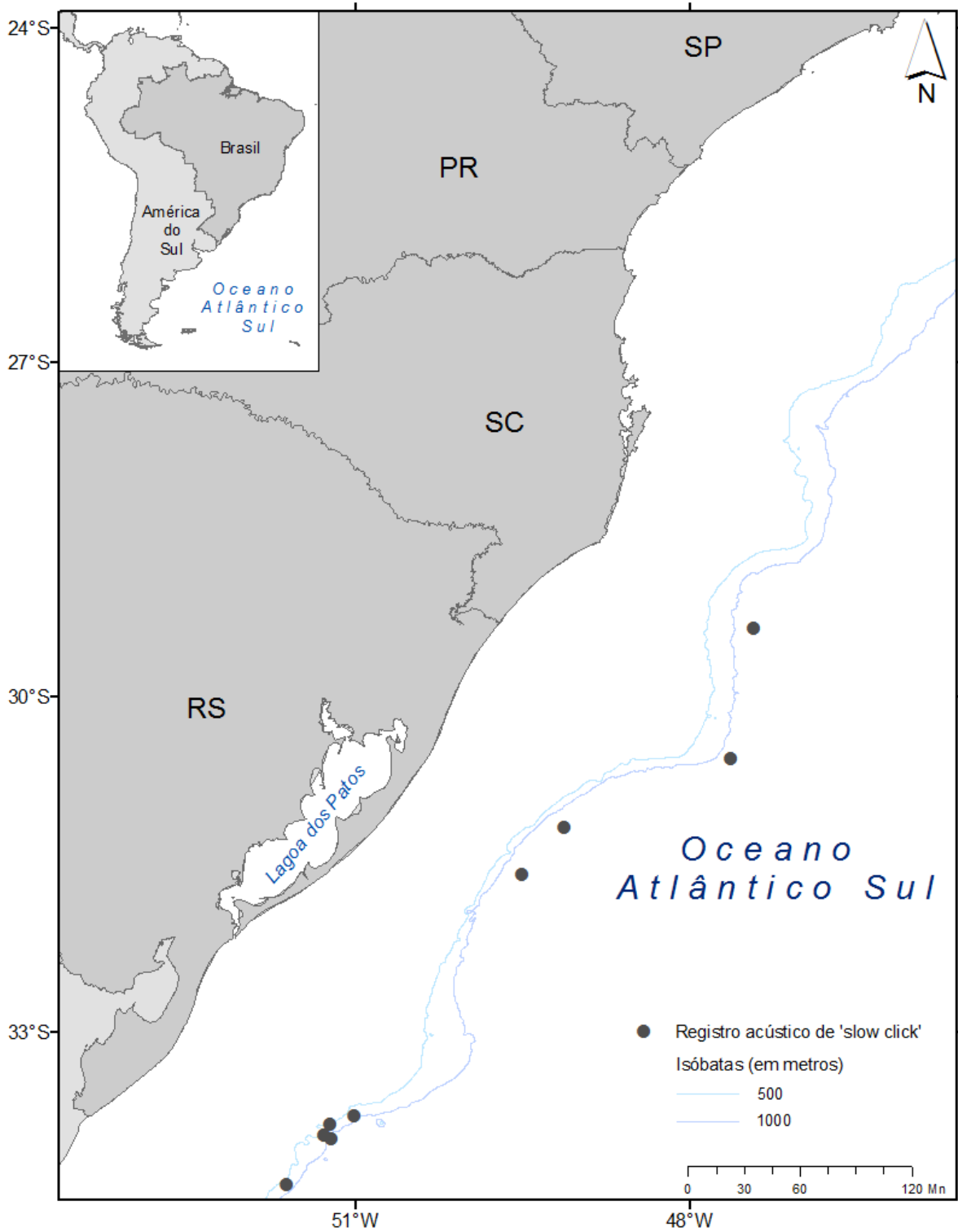


Figura 2. Registros acústicos de slow clicks no Oceano Atlântico Sul ocidental.

Gordon (1991) propôs uma equação baseada na relação empírica entre o tamanho total (TL) de uma baleia e seu IPI:

$$TL = 4.833 + 1.453 \times IPI - 0.001 \times IPI^2$$

Gordon testou essa fórmula com gravações de 11 animais que foram medidos através de fotogrametria no Açores e Sri Lanka. A maioria dos animais eram juvenis e somente um apresentava comprimento maior do que 12 metros. Portanto a fórmula de Gordon é confiável para medidas de cachalotes ≤ 11 metros que equivale a um IPI ≤ 4 ms (Madsen et al. 2002a, Mathias et al. 2009, Caruso et al. 2015). Em 2011, Growcott e colaboradores estudaram a mesma relação entre o IPI e o tamanho para animais medidos por fotogrametria e sugeriram uma nova fórmula para animais maiores do que 11 metros equivalente um IPI > 4 ms:

$$TL = 1.258 \times IPI + 5.736$$

Após a os cálculos dos IPIs de codas e slow clicks, as duas equações foram utilizadas para a estimativa do tamanho de uma baleia, considerando a melhor aplicabilidade de cada uma em relação à medida do IPI. Em seguida, a curva de crescimento descrita por Rice (1989) foi utilizada para inferir o sexo e a respectiva maturidade sexual de uma baleia através de três classes de tamanho:

- 1 – Machos imaturos ou fêmeas: TL < 9m;
- 2 – Fêmeas adultas ou machos juvenis: 9m < TL < 12m;
- 3 – Machos adultos: TL > 12m.

Dados provenientes da Comissão Baleeira Internacional (IWC – International Whaling Commission) referentes à caça de cachalotes no Brasil entre 1960 e 1979, que estão inclusos no período de maior atividade baleeira (Tønnessen & Johnsen 1982, Gosho et al. 1984, Whitehead et al. 1997, Whitehead & Gero 2014), foram utilizados para comparação do tamanho dos animais caçados com os tamanhos estimados pelos métodos descritos acima.

3. RESULTADOS

Para a estimativa de tamanho, foram utilizados 196 codas distribuídos em 10 encontros e 221 slow clicks distribuídos em 8 encontros (Tabela 1). De forma geral, os IPIs variaram de 2.00 a 9.24 ms que, de acordo com as equações de Gordon (1991) e Growcott (2011), correspondem a variação de tamanho de 7.74 a 17.36 metros (Figura 3).

Tabela 1. Registros de cachalotes no Atlântico Sul ocidental, número de codas com IQR (intervalo inter-quartis) ≤ 0.01 ms e slow clicks utilizados para estimar o tamanho dos animais acusticamente.

Data	Localidade	lat/long	Encontro	Codas analisados	Codas com IQR ≤ 0.01 ms	Slow clicks analisados
20/05/11	Sul	32°02'53.4"S/49°57'11.4"O	S1	34	5	0
08/12/12	Sul	33°45'10.8"S/51°00'43.2"O	S2	16	4	110
09/12/12	Sul	33°57'36.0"S/51°12'46.8"O	Slow1	0	0	9
10/12/12	Sul	33°20'38.4"S/50°14'27.6"O	S3	5	0	0
14/12/12	Sul	32°46'40.8"S/50°21'00.0"O	S4	12	5	0
14/12/12	Sul	31°35'24.0"S/49°30'32.4"O	S5	608	159	2
18/12/12	Sul	30°32'38.4"S/47°37'51.6"O	S6	14	7	3
13/05/13	Sul	33°49'40.8"S/51°13'26.4"O	S7	20	8	10
21/05/13	Sul	31°09'36.0"S/49°07'40.8"O	S8	6	1	18
25/05/13	Sul	29°22'33.6"S/47°25'33.6"O	Slow2	0	0	62
12/11/14	Sul	34°21'54.0"S/51°37'08.4"O	Slow3	0	0	7
25/11/14	Sul	31°12'14.4"S/48°56'24.0"O	S9	37	5	0
04/12/14	Sul	29°24'03.6"S/47°31'40.8"O	S10	6	1	0
04/05/16	Norte	02°37.05'N/46° 42.41'O	N1	94	1	0
TOTAL					196	221

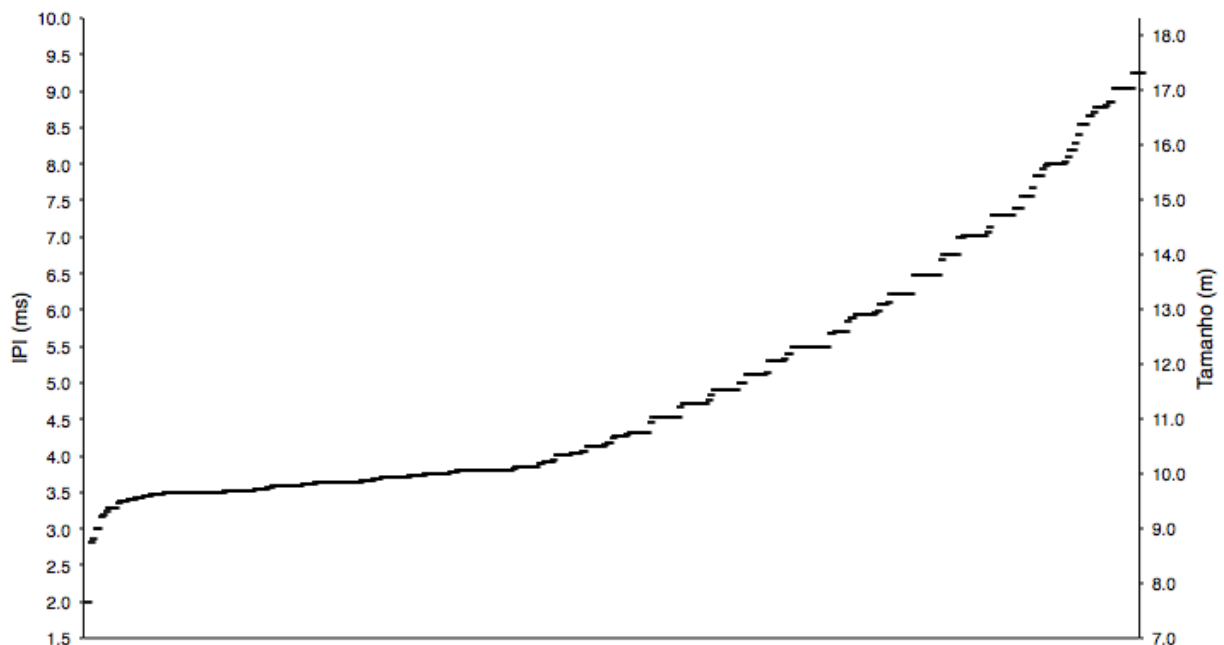


Figura 3. Relação entre as medidas do IPI e os tamanhos obtidos pelas fórmulas de Gordon (1991) e Growcott (2011). Os traços correspondem aos IPIs considerados estáveis.

Os codas apresentaram IPIs entre 2.00 e 4.30 ms (3.64 ± 0.25 ms) correspondentes a tamanhos que variam de 7.74 até 11.15 m (10.12 ± 0.39 m). Os slow clicks tiveram os valores do IPI variando de 3.73 até 9.24 ms (6.18 ± 1.50 ms) equivalente a tamanhos de 10.24 a 17.36 m (13.51 ± 1.90) (Figura 4).

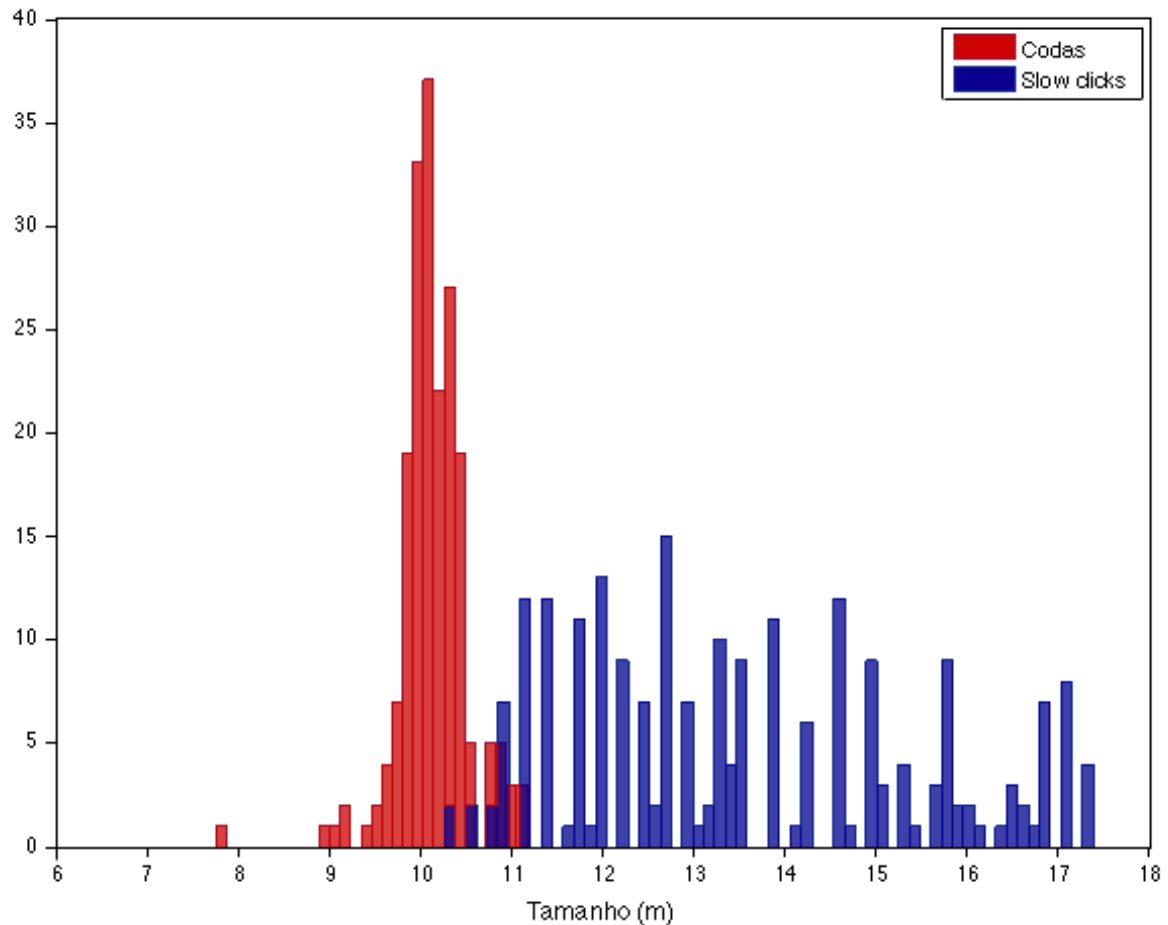


Figura 4. Distribuição dos tamanhos para codas e slow clicks.

De acordo com a curva de crescimento de Rice (1989), 1.5% dos codas se referem a animais imaturos e 98.5% à fêmeas adultas ou machos jovens. Os slow clicks ficaram distribuídos nas categorias de machos jovens com 27.1% e de machos adultos com 72.9% do total de slow clicks (Figura 5).

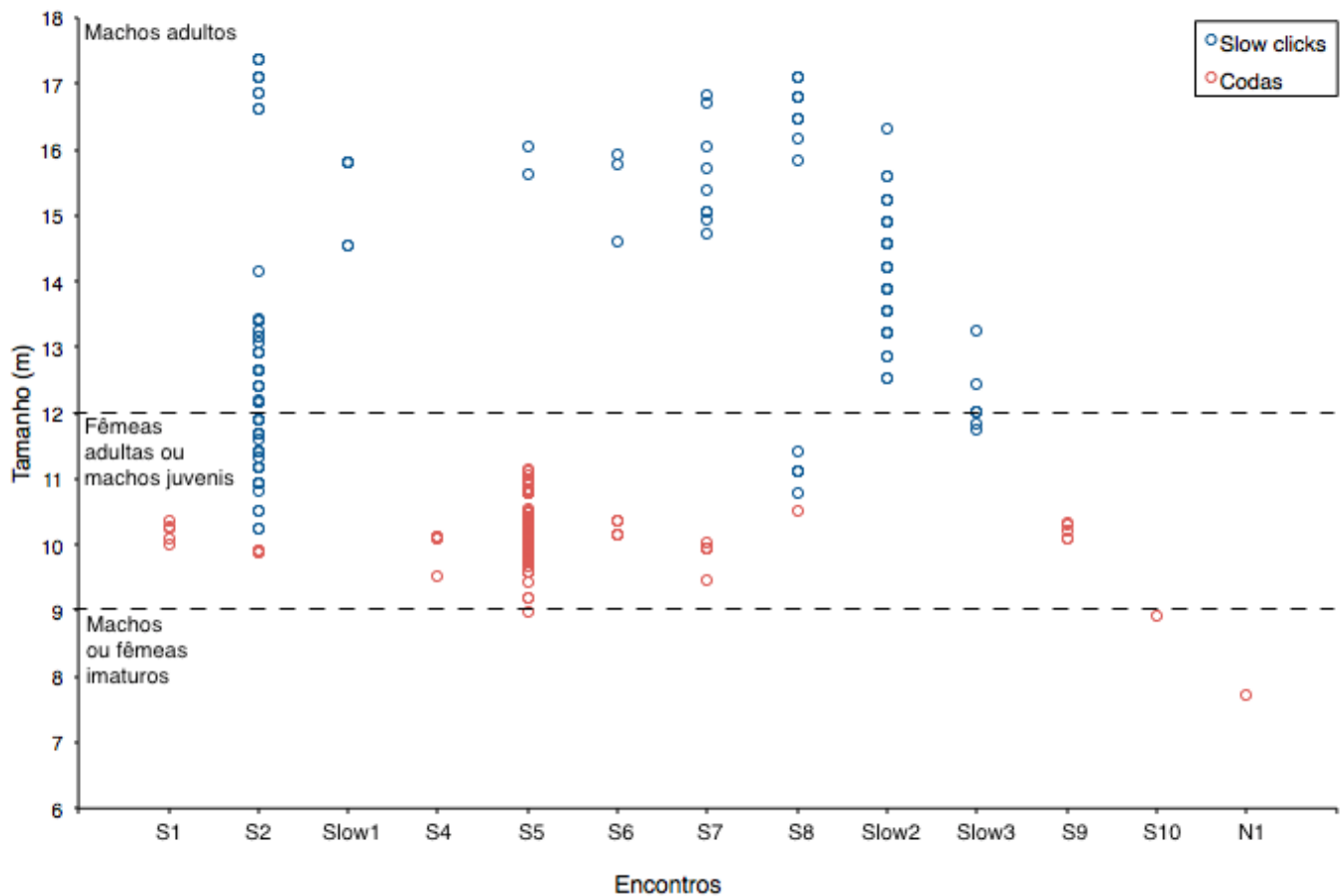


Figura 5. Distribuição de codas e slow clicks em três classes de sexo e maturidade sexual de acordo com a curva de crescimento de Rice (1989).

Os dados da IWC mostraram que entre 1960 e 1979, 6658 fêmeas foram caçadas com a maioria medindo entre 10 e 11 metros, e 9424 machos com a maioria medindo entre 12 e 14 metros (Figura 6).

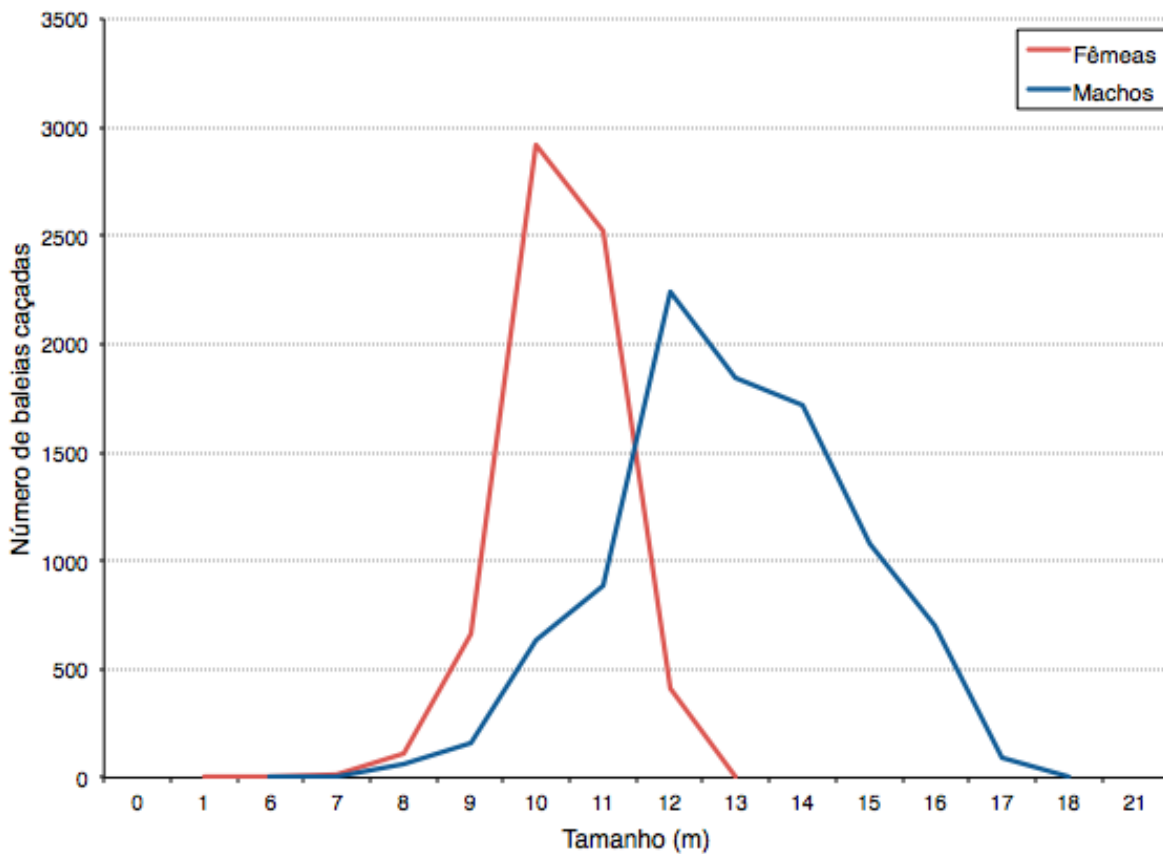


Figura 6. Distribuição do número baleias cachalotes caçadas por tamanho entre 1960 e 1979.

Dados provenientes da Comissão Baleeira Internacional.

4. DISCUSSÃO

O acesso à distribuição dos tamanhos de grandes cetáceos tem sido utilizado para responder questões ecológicas importantes relacionadas aos parâmetros populacionais (Waters & Whitehead 1990, Angliss et al. 1995, Marcoux et al. 2007, Teloni 2007, Miller et al. 2013, Whitehead & Gero 2014). Técnicas de fotogrametria tem contribuído para esses estudos (Gordon 1990, Dawson et al. 1995, Cosens & Anders 2003, Miller et al. 2004, Jaquet 2006), porém requerem boas condições de tempo e um considerável esforço para se alcançar resultados confiáveis, especialmente para espécies que realizam longos mergulhos como as cachalotes (Watkins et al. 1999); além de certa proximidade e posição do animal (Dawson et al. 1995). Em contraste, dados acústicos possibilitam maior flexibilidade para tais medições, considerando que as gravações podem ser feitas em distâncias maiores, fornecendo resultados precisos quanto os por fotogrametria (Growcott et al. 2011).

De forma geral, os tamanhos das cachalotes nesse estudo variaram de 7.74 até 17.36 metros. Para os codas, somente três medidas de tamanho (1.5%) corresponderam a animais imaturos, sendo o restante referente a fêmeas adultas ou machos juvenis que não ultrapassaram 11.5 metros. Esses resultados estão em concordância com o trabalho de Marcoux et al. (2006) que estimaram tamanhos através de medidas do IPIs e fotografia, e observaram que animais imaturos não produziram codas com frequência, sendo as fêmeas maduras responsáveis pela maioria das emissões. De acordo com os mesmo autores, é improvável que os machos produzam codas. Isso pode estar associado com o fato de que eles deixam suas unidade maternas com cerca de 6 anos (8.5 metros) em direção a altas latitudes, retornando quando atingem a maturidade sexual com 20 anos (13 metros).

Os slow clicks ficaram distribuídos nas categorias de machos jovens (27.1%) e de machos adultos (72.9%). Os slow clicks tem um papel na comunicação entre machos e fêmeas nas áreas de reprodução (Gordon 1987, Weilgart & Whitehead 1988, Mullins et al.

1988, Christal & Whitehead 1997, Goold 1999, Jaquet et al 2001, Madsen 2002b, Wahlberg 2002). Como o tempo entre pulsos consecutivos é proporcional ao tamanho corporal do emissor, é provável que as fêmeas utilizem essa informação para acessarem a qualidade do emissor e selecionarem seus parceiros (ex.: Clutton-Brock & Albon 1979, Tyack & Clark 2000, Reby & Charlton 2012).

As cachalotes foram os principais alvos de baleeiros desde o século 18 até 1970 com centenas de milhares de animais caçados (Tønnessen & Johnsen 1982, Gosho et al. 1984, Whitehead & Gero 2014). Em 1986, a Comissão Baleeira Internacional instituiu uma moratória proibindo a baleação comercial. Quando uma ameaça é removida, espera-se a recuperação populacional (Whitehead et al. 1997, Gero & Whitehead 2016). Para as cachalotes existem poucas evidências desse crescimento (Whitehead 2002, Andriolo et al. 2010, Carrol et al. 2014, Moore & Barlow 2014). Os dados provenientes da IWC para o sul do Brasil, mostraram que os machos foram mais intensamente caçados, principalmente aqueles medindo entre 12 e 14 metros. Os resultados da estimativa de tamanho (Figuras 4 e 5) mostraram que 72.9% dos machos estão na categoria de machos adultos e, dentro dessa categoria, 49.7% correspondem a machos maiores que 14 metros. Provavelmente, essa maior distribuição de tamanho para os machos, que foram mais impactados com a caça, está relacionado com a maior disponibilidade de alimento gerada pela diminuição na competição entre os indivíduos. Essa diminuição na competição gera um aumento no sucesso individual na alimentação que pode aumentar a taxa de crescimento e afetar potencialmente a distribuição do tamanho (Fowler 1984, Kasuya 1991, Kahn et al. 1993).

Cachalotes são k-estrategistas e a taxa de crescimento das populações é lenta, aproximadamente 1% p.a. (Whitehead 2003). Como a população global em 1999 foi estimada em um terço do número pré-caça (Whitehead 2002), é improvável que as populações tenham se recuperado suficientemente para que o aumento na densidade acarrete na diminuição do

crescimento individual por competição. Portanto, é esperado encontrar animais maiores, como nesse estudo, em populações que ainda se recuperam da exploração.

REFERÊNCIAS

- Adler-Fenchel, H.S. 1980. Acoustically derived estimate of the size distribution for a sample of sperm whales (*Physeter catodon*) in the Western North Atlantic. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37(12): 2358–2361.
- Andriolo, A.; Rocha, J.M.; Zerbini, A.N.; Simões-Lopes, P.C.; Moreno, I.B.; Lucena, A.; Danilewicz, D. & Bassoi, M. 2010. Distribution and relative abundance of large whales in a former Whaling ground off eastern South America. *Zoologia*, 27 (5): 741-750.
- Angliss, R.P.; Rugh, D.J.; Withrow, D.E. & Hobbs, R.C. 1995. Evaluations of aerial photogrammetric length measurements of the Bering-Chukchi-Beaufort Seas stock of bowhead whales (*Balaena mysticetus*). *Reports - International Whaling Commission*, 45: 313-24.
- Antunes, R.; Rendell, L. & Gordon, J. 2010. Measuring inter-pulse intervals in sperm whale clicks: Consistency of automatic estimation methods. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 127(5): 3239–3247.
- Best, P.B. 1979. Social organization in sperm whales, *Physeter macrocephalus*. Em: *Behavior of marine animals*, vol. 3, Winn, H.E. & Olla., B.L. (Eds.) Plenum, New York. 227-289pp.
- Bradbury, J.W. & Vehrencamp, S.L. 1998. *Principles of animal communication*. Sinauer Associate, Inc., Sunderland, Mass.

Carroll, G.; Hedley, S.; Bannister, J.; Ensor, P. & Hardcourt, R. 2014. No evidence for recovery in the population of sperm whale bulls off Western Australia, 30 years post-whaling. *Endangered Species Research*, 24: 33-43

Caruso, F.; Sciacca, V.; Bellia, G.; De Domenico, E.; Larosa, G. & Papale, E. 2015. Size distribution of sperm whales acoustically identified during long term deep-sea monitoring in the Ionian. Sea. *PLoS ONE*, 10(12): 1-16

Christal, J. & Whitehead., H. 1997. Aggregations of mature male sperm whales on the Galapagos Islands breeding ground. *Marine Mammal Science*, 13: 59-69.

Clarke, M.R. 1978. Structure and proportions of the spermaceti organ in the sperm whale. *Journal of the Marine Biological Association of the UK*, 58: 1-17.

Clutton-Brock, T.H. & S.D. Albon. 1979. The Roaring of Red Deer and the Evolution of Honest Advertisement. *Behaviour*, 69:145-170.

Cosens, S. & Anders, B. 2003. Size- and age-class segregation of bowhead whales summering in northern Foxe Basin: a photogrammetric analysis. *Marine Mammal Science*, 19(2): 284-96.

Dawson, S.M.; Chessum, C.J.; Hunt, P.J. & Slooten, E. 1995. An inexpensive, stereophotographic technique to measure sperm whales from small boats. *Reports - International Whaling Commission*, 45: 431-36.

Drouot, V.; Gannier, A. & Goold, J.C. 2004a. Summer social distribution of sperm whales (*Physeter macrocephalus*) in the Mediterranean Sea. Journal of the Marine Biological Association of the UK. 2004; 84(03):675– 680.

Drouot, V.; Goold, J.C. & Gannier, A. 2004b. Regional diversity in the social vocalizations of sperm whale in the Mediterranean Sea. Revue d Ecologie, 59: 545–558.

Flewellen, C. & Morris, R.J. 1978. Sound velocity measurements on samples from the spermaceti organ of the sperm whale (*Physeter catodon*). Deep Sea Research, 25: 269-77.

Gaskin, D.E. & Cawthorn, M.W. 1973. Sperm whales *Physeter catodon* L. in the Cook Strait region of New Zealand: Some data on age, growth, and mortality. Norwegian Journal of Zoology, 21: 45–50.

Gero, S.; Whitehead, H. & Rendell, L. 2016a. Individual, unit and vocal clan level identity cues in sperm whales codas. Royal Society Open Science, 3: 150372

Gero, S.; Bottcher, A.; Whitehead, H & Madsen, P.T. 2016b. Socially segregated sympatric sperm whale clans in the Atlantic Ocean. Royal Society Open Science, 3: 160061.

Gero, S. & Whitehead, H. 2016. Critical decline of the Eastern Caribbean sperm whale population. Plos ONE, 11: 1-11

Goold, J.C. 1996. Signal processing techniques for acoustic measurement of sperm whale body lengths. The Journal of the Acoustical Society of America, 100(5):3431–3441.

Goold, J.; Bennel, J.D. & Jones, S.E. 1996. Sound velocity measurements in spermaceti oil under the combined influences of temperature and pressure. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 43(7): 961–969.

Goold, J.C. 1999. Behavioural and acoustic observations of sperm whales in Scapa Flow, Orkney Islands. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 79: 541–550.

Gordon, J.C.D. 1987. The behaviour and ecology of sperm whales off Sri Lanka. University of Cambridge.

Gordon, J.C.D. 1990. A simple photographic technique for measuring the length of whales from boats at sea. *Reports - International Whaling Commission*, 40: 581-88.

Gordon, J.C. 1991. Evaluation of a method for determining the length of sperm whales (*Physeter catodon*) from their vocalizations. *Journal of Zoology*, 224(2): 301–314.

Gosho, M.E.; Rice, D.W. & Breiwick, J.M. 1984. The Sperm Whale *Physeter macrocephalus*. *Marine Fisheries Review*, 46(4): 54–64.

Growcott, A.; Miller, B.; Sirguy, P.; Slooten, E. & Dawson, S. 2011. Measuring body length of male sperm whales from their clicks: the relationship between inter-pulse intervals and photogrammetrically measured lengths. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 130(1): 568–573.

Jaquet, N.; Dawson, S. & Douglas, L. 2001. Vocal behavior of male sperm whales: why do they click? *Journal of Acoustical Society of America*, 109: 2254–2259.

Jaquet, N. 2006. A simple photogrammetric technique to measure sperm whales at sea. *Marine Mammal Science* 22: 862–79.

Kahn, B.; Whitehead, H. & Dillon, M. 1993. Indications of density-dependent effects from comparisons of sperm whale populations. *Marine Ecology Progress Series*, 93(1): 1–7.

Kasuya, T. 1991. Density dependent growth in north Pacific sperm whales. *Marine Mammal Science*, 7(3): 230–257.

Koski, W.R.; Davis, R.A.; Miller, G.W. & Withrow, D.E. 1993. Reproduction. pp.239–74. Eds: Burns, J.J.; Montague, J.J. & Cowles, C.J. (eds). *The Bowhead Whale*. Special Publication No.2. The Society for Marine Mammalogy, Lawrence, Kansas. 787pp.

Madsen, P.; Payne, R.; Kristiansen, N.; Wahlberg, M.; Kerr, I. & Møhl, B. 2002a. Sperm whale sound production studied with ultrasound time/depth-recording tags. *Journal of Experimental Biology*, 205(13): 1899–1906.

Madsen, P.T.; Wahlberg, M. & Møhl, B. 2002b. Male sperm whale (*Physeter macrocephalus*) acoustics in a high-latitude habitat: implications for echolocation and communication. *Behavioural Ecology and Sociobiology*, 52: 31–41.

Marcoux, M.; Whitehead, H. & Rendell, L. 2006. Coda vocalizations recorded in breeding areas are almost entirely produced by female sperm whales (*Physeter macrocephalus*). Canadian Journal of Zoology, 84: 609–614.

Marcoux, M.; Rendell, L. & Whitehead, H. 2007 Indication of fitness differences among vocal clans of sperm whales. Behavioural Ecology and Sociobiology, 61: 1093-1098

Mathias, D., Thode, A., Straley, J. & Folkert, K. 2009. Relationship between sperm whale (*Physeter macrocephalus*) click structure and size derived from videocamera images of a depredating whale (sperm whale prey acquisition). Journal of the Acoustical Society of America, 125(5): 3444–3453.

Miller, P.J.O.; Johnson, M.P.; Tyack, P. & Terray, E.A. 2004. Swimming gaits, passive drag and buoyancy of diving sperm whales *Physeter macrocephalus*. Journal of Experimental Biology, 207: 1953-67.

Miller, B.S.; Growcott, A.; Slooten, E. & Dawson, S.M. 2013. Acoustically derived growth rates of sperm whales (*Physeter macrocephalus*) in Kaikoura, New Zealand. The Journal of the Acoustical Society of America, 134(3):2438–2445

Møhl, B.; Larsen, E. & Amundin, M. 1981. Sperm whale size determination: outline of an acoustic approach. FAO Fisheries Series No. 5 Mammals in the Seas, 3: 327-32.

Moore, K.E.; Watkins, W.A. & Tyack, P.L. 1993. Pattern similarity in shared codas from sperm whales (*Physeter catodon*). Marine Mammal Science, 9: 1–9.

Moore, J.E. & Barlow, J.P. 2014. Improved abundance estimates and trend estimates for sperm whales in the eastern North Pacific from Bayesian hierarchical modeling. *Endangered Species Research*, 25: 141-150

Moss, C.J. & Poole, J.H. 1983. Relationships and social structure of African elephants. In *Primate social relationships: an integrated approach*. Blackwell Scientific, London. 315–325pp.

Mullins, J.; Whitehead, H. & Weilgart, L.S. 1988. Behaviour and vocalizations of two single sperm whales, *Physeter macrocephalus*, off Nova Scotia. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 45: 1736–1743.

Norris, K.S. & Harvey, G.W. 1972. A theory of the function of the spermaceti organ of the sperm whale (*Physeter catodon*). pp.397-417. In: Galler, S.R.; Schmidt-Koering, K.; Jacobs, G.J. & Belleville, R.E. (eds). *Animal Orientation and Navigation*. NASA, Washington DC. Special Publication 262.

Oliveira, C.; Wahlberg, M.; Johnson, M.; Miller, P.J.O. & Madsen, P.T. 2013. The function of male sperm whales slow clicks in a high latitude habitat: communication, echolocation, or prey debilitation? *Journal of Acoustical Society of America*, 133(5): 3135 – 3144.

Pavan, G.; Priano, M.; Manghi, M. & Fossati, C. 1997. Software tools for real-time IPI measurements on sperm whale sounds. *Proceedings—Institute of Acoustics*. 19: 157–164.

Pavan, G.; Fossati, C.; Manghi, M. & Priano, M. 1999. Acoustic measure of body growth in a photo-identified sperm whale. *European Research on Cetaceans*, 12: 254–258.

Pavan, G.; Hayward, T.; Borsani, J.F.; Priano, M.; Manghi, M.; Fossati, C. & Gordon, J. 2000. Time Pattern of Sperm Whale Codas Recorded in the Mediterranean Sea 1985–1996. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 107(6): 3487–3495

Poole, J.H. 1994. Sex differences in the behaviour of African elephants. Em: The differences between the sexes. Short, R.V. & Balaban, E. (eds.). Cambridge University Press, New York. 331–346 pp.

Reby, D. & B. Charlton. 2012. Attention grabbing in red deer sexual calls. *Animal Cognition*, 15: 265-270.

Rendell, L. & Whitehead H. 2003a. Comparing repertoires of sperm whales: a multiple methods approach. *Bioacoustics*, 14: 61-81.

Rendell, L. & Whitehead H. 2003b. Vocal clans in sperm whales (*Physeter macrocephalus*). *Proceedings of the Royal Society of London, Series B*, 270: 225-232.

Rhineland, M.Q. & Dawson, S.M. 2004. Measuring sperm whales from their clicks: Stability of interpulse intervals and validation that they indicate whale length. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 115(4): 1826–1831.

Rice, D.W. 1989. Sperm whale *Physeter macrocephalus* Linnaeus, 1758. Em: Handbook of marine mammals. Vol. 4. Ridgway, S.H. & Harrison, R. (eds.). Academic Press, London.

177–233pp.

Schulz, T.M.; Whitehead, H.; Gero, S. & Rendell, L. 2008. Overlapping and matching of codas in vocal interactions between sperm whales: insights into communication function. *Animal Behaviour*, 76: 1997-1988

Schulz, T.M.; Whitehead, H.; Gero, S. & Rendell, L. 2011. Individual vocal production in a sperm whale (*Physeter macrocephalus*) social unit. *Marine Mammal Science*, 27: 149–166.

Teloni, V. 2005. Patterns of sound production in diving sperm whales in the northwestern Mediterranean. *Marine Mammal Science*, 21: 446 - 457.

Teloni, V.; Zimmer, W.M.; Wahlberg, M.; Madsen, P.T. 2007. Consistent acoustic size estimation of sperm whales using clicks recorded from unknown aspects. *Journal of Cetacean Research and Management*, 9(2): 127–136.

Tønnessen, J.N. & Johnsen, A.O. 1982. The history of modern whaling. University of California Press, Berkeley, CA.

Tyack, P. & C.W. Clark. 2000. Communication and acoustic behaviour of whales and dolphins. Em: Au, W.W.L.; Popper, A.N. & Fay, R.R. (eds). *Hearing by whales and dolphins. Handbook on Auditory Research*. Springer, Berlin Heidelberg New York.

Waters, S. & Whitehead, H. 1990. Population and growth parameters of Galapagos sperm whales estimated from length distributions. Reports – International Whaling Commission, 40: 225–235.

Watkins, W.A. & Schevill, W.E. 1977. Sperm whale codas. Journal of Acoustical Society of America, 62: 1485–1490.

Watkins, W.A.; Daher, M.A.; DiMarzio, N.A.; Samuels, A.; Wartzok, D.; Fristrup, K.M.; Gannon, D.P.; Howey, P.W.; Maiefski, R.R. & Spradlin, T.R. 1999. Sperm whale surface activity from tracking by radio and satellite tags. Marine Mammal Science, 15(4): 1,158-80.

Weilgart, L. & Whitehead, H. 1993. Coda communication by sperm whales (*Physeter macrocephalus*) off the Galapagos Islands. Canadian Journal of Zoology, 71: 744–752.

Weilgart, L. & Whitehead, H. 1997. Group-specific dialects and geographical variation in coda repertoire in South Pacific sperm whales. Behaviour Ecology and Sociobiology, 40: 277–285.

Wahlberg, M. 2002. The acoustic behaviour of diving sperm whales observed with a hydrophone array. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 281: 53–62.

Whitehead, H. & Weilgart, L. 1991. Patterns of visually observable behaviour and vocalizations in groups of female sperm whales. Behaviour, 118: 275–296.

Whitehead, H. 1993. The behaviour of mature male sperm whales on the Galápagos breeding grounds. *Canadian Journal of Zoology*, 71: 689-699.

Whitehead, H.; Christal, J. & Dufault, S. 1997. Past and distant Whaling and rapid decline of sperm whales off the Galápagos Islands. *Conservation Biology*, 11(6): 1387-1396

Whitehead, H. & Weilgart, L. 2000. The sperm whale: social females and roving males. Em: *Cetacean societies: field studies of whales and dolphins*. Mann, J.; Connor, R.C.; Tyack, P.L.; Whitehead, H. (eds). University of Chicago Press, Chicago. 154-172pp.

Whitehead, H. 2002. Estimates of the current global population size and historical trajectory for sperm whales. *Marine Ecology Progress Series*, 242: 295-304

Whitehead, H. 2003. *Sperm whales: social evolution in the ocean*. University of Chicago Press, Chicago.

Whitehead, H. & Gero, S. 2014. Using social structure to improve mortality estimates: an example with sperm whales. *Methods in Ecology and Evolution*, 5: 27-36

Zimmer, W.M.; Johnson, M.P.; D'Amico, A. & Tyack, P.L. 2003. Combining data from a multisensor tag and passive sonar to determine the diving behavior of a sperm whale (*Physeter macrocephalus*). *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 28(1): 13–28.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho abordou pela primeira vez um estudo bioacústico de cachalotes no Atlântico Sul ocidental e contemplou três tópicos:

1 – Estrutura social: através da descrição do repertório vocal, observamos que as cachalotes no oceano Atlântico Sul ocidental são organizadas em dois clãs vocalmente distintos – Clã Sul e Clã Norte.

2 – Comportamento acústico: através do estudo de compartilhamento de codas, observamos que os indivíduos de um grupo social compartilham seu repertório e apresentam correspondência vocal (mesmo tipo de coda produzido por mais de uma baleia). Esse comportamento provavelmente está relacionado com o reforço dos laços sociais.

3 – Estrutura populacional: a estimativa dos tamanhos utilizando vocalizações indicou que a população de cachalotes do Atlântico Sul ainda se recuperam da caça. Isso é indicado pela presença de grandes animais, principalmente considerando os machos (72.9% medindo de 12 a 17.36 metros) que foram mais intensamente caçados.

Cetáceos são adaptados a usarem a produção sonora como sentido primordial para sua sobrevivência. O estudo desses sons e o papel que eles desempenham no comportamento e ecologia é fundamental para compreendermos aspectos básicos da história de vida dos animais. Embora cetáceos sejam encontrados em todos os oceanos, eles são altamente móveis e algumas espécies, como os cachalotes, realizam longos mergulhos. Estudos clássicos utilizaram métodos visuais (avistagem) para detectar os animais, mas é reconhecido que muitas espécies são mais fáceis de serem ouvidas do que vistas. Por isso, as pesquisas com cetáceos lançam mão do Monitoramento Acústico Passivo (*PAM – Passive Acoustic Monitoring*) para estudar os cetáceos no seu ambiente natural. O uso do PAM é importante pois baleias e golfinhos utilizam o som para todas suas atividades, e também pode ser a única

ferramenta disponível nos estudos de comportamento dos animais submersos e não disponíveis visualmente (Zimmer 2011).

O PAM fornece elementos fundamentais para o estudo de estrutura social de baleias cachalotes. Dentre esses elementos encontramos a identificação de comportamentos entre entidades sócias que são consistentes ao longo do tempo e variam entre grupos simpátricos, identificação de indivíduos e classificação dos animais em classes de tamanho e sexo (Whitehead 2003). No capítulo 1 encontramos que os cachalotes do Atlântico Sul ocidental estão organizados, a princípio, em dois clãs. O clã Sul apresenta emissões de codas longas, muitos deles não encontrados no clã Norte, que por sua vez, apresenta predominância de emissão de codas regulares (5R). Esses codas regulares são produzidos extensamente pelos clãs do Caribe, e considerando a proximidade dessa região com a região Norte do Brasil, concluímos que aprendizagem vocal enviesada também está ocorrendo no Atlântico Sul, e que a conformidade na produção desse tipo de coda provavelmente funciona como um marcador do clã. É provável ainda, que o clã Norte seja um clã diferente daqueles encontrados no Caribe onde as baleias emitem o tipo 1+1+3, 6R e padrões crescentes de codas (6I, 7I, 8I, 9I e 10I). O que corrobora com a hipótese de Gero et al (2016b) de que assim como no Pacífico, os cachalotes do Atlântico também se organizam em clãs simpátricos. Para elucidar melhor essa questão, são necessários estudos em outras áreas ao longo da costa Brasileira.

No capítulo 2, observamos que como no Pacífico (Rendell & Whitehead 2004) e Caribe (Schulz et al. 2008) também compartilham tipos de codas entre indivíduos diferentes. Os cachalotes adultos realizam grandes mergulhos para forragearem no ambiente pelágico, enquanto que os filhotes possuem capacidade de mergulho restrita (Whitehead 2003). O compartilhamento de codas parece ser evolutivamente vantajoso para atender a esses comportamentos, uma vez que filhotes que permanecem na superfície precisam identificar outras fêmeas, que não sua mãe, engajadas no cuidado aloparental, como a amamentação de

filhotes de outras fêmeas da mesma unidade social. Além disso, considerando o grupo em sua totalidade, as baleias devem ser aptas a identificarem umas as outras, o que possibilitaria a defesa conjunta contra predadores e culminaria na manutenção dos laços sociais. Para elucidar mais esse tópico, são necessários estudos identificando a dinâmica temporal da produção do mesmo tipo de coda por indivíduos diferentes (dueto), se o mesmo coda é respondido por outro animal por um padrão temporal (*vocal matching*) e qual(is) tipo(s) de codas são sobrepostos (*overlapping coda*) por diferentes baleias. Para um refinamento maior do repertório individual dos cachalotes no Atlântico Sul e como cada indivíduo contribui com o repertório de sua unidade, necessita-se de estudos voltados a gravação direta de um indivíduo, bem como o registro dos primeiros *clicks* de ecolocalização juntamente com sua foto-identificação.

No capítulo 3, encontramos a presença de grandes animais como um provável indicativo de que a população do Atlântico Sul ocidental ainda está em processo de recuperação da intensa caça nessa região. A estimativa visual do tamanho dos grupos resultou em grupos contendo entre 4 e 90 baleias. Grandes tamanhos de grupos foram encontrados no Pacífico – média entre 27.2 e 31.3 animais (ex.: Whitehead & Kahn 1992, Coakes & Whitehead 2004, Jaquet & Gendron 2009) – ao passo que no Atlântico Norte esses valores variam de 6.6 a 11.5 animais (ex.: Antunes 2009, Gero et al. 2009, Jaquet & Gendron 2009). Assim como no Pacífico, a população do Atlântico Sul sofreu grande impacto da caça, e a destruição das unidades sociais nessas regiões talvez tenha feito suas unidades menos matrilineares, levando ao aumento do tamanho das unidades e grupos e ao aumento da homogeneidade dentro das unidades. Tal fusão podem ter constituído tentativas de manter os comportamentos sociais necessários para a defesa contra predadores (como as orcas), assim como garantir comportamentos de cria e proteção dos filhotes. A pressão da caça também pode ter diminuído a taxa de nascimentos através da mudança da estrutura sexual, pelo fato de

que grandes machos foram os principais alvos da atividade baleeira (Whitehead et al. 2012). Ainda nesse capítulo, encontramos a emissão de *slow clicks* que em altas latitudes são produzidos na comunicação entre machos e sinalização de sua presença; e em latitudes mais baixas são produzidos em contexto reprodutivo na sinalização para as fêmeas receptoras. Portanto, é provável que o Atlântico Sul ocidental, mais especificamente a região sul seja uma área de reprodução, o que pode subsidiar estratégias conservacionistas. Assim como no capítulo 2, o registro acústico sistemático de indivíduos pode elucidar a real produção e proporção da emissão de codas por fêmeas e filhotes.

Os resultados desse estudo ressaltam a importância da Bioacústica para responder questões ecológicas e comportamentais com vistas à conservação.

REFERÊNCIAS

Antunes, R.N.C. 2009. Variation in sperm whale (*Physeter macrocephalus*) coda vocalizations and social structure in the North Atlantic Ocean. Ph.D. thesis, University of St. Andrews, St. Andrews, Scotland.

Coakes, A.K. & Whitehead, H. 2004. Social structure and mating system of sperm whales off northern Chile. *Canadian Journal of Zoology*, 82: 1360–1369.

Gero, S.; Engelhaupt, D.; Rendell, L. & Whitehead, H. 2009. Who cares? Between-group variation in alloparental caregiving in sperm whales. *Behavioral Ecology*, 20: 838–843.

Gero, S.; Bottcher, A.; Whitehead, H & Madsen, P.T. 2016b. Socially segregated sympatric sperm whale clans in the Atlantic Ocean. *Royal Society Open Science*, 3: 160061.

Jaquet, N. & Gendron, D. 2009. The social organization of sperm whales in the Gulf of California and comparisons with other populations. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 89: 975–983.

Rendell, L. & Whitehead H. 2004. Do sperm whales share coda vocalizations? Insights into coda usage from acoustic size measurements. *Animal Behaviour*, 67: 845-874.

Schulz, T.M.; Whitehead, H.; Gero, S. & Rendell, L. 2008. Overlapping and matching of codas in vocal interactions between sperm whales: insights into communication function. *Animal Behaviour*, 76: 1997-1988

Whitehead, H. & Kahn, B. 1992. Temporal and geographical variation in the social structure of female sperm whales. *Canadian Journal of Zoology*, 70: 2145–2149.

Whitehead, H. 2003. *Sperm whales: social evolution in the Ocean*. University of Chicago Press, Chicago.

Whitehead, H.; Antunes, R.; Gero, S.; Wong, S.; Engelhaupt, D. & Rendell, L. 2012. Multilevel Societies of Female Sperm Whales (*Physeter macrocephalus*) in the Atlantic and Pacific: Why Are They So Different? *Int. Journal of Primatology*, 33: 1142-1164.

Zimmer, W.M.X. *Passive Acoustic Monitoring of Cetaceans*. Cambridge University Press, New York, USA. 368 pp.