

Bianca Romeu

**CONTRIBUIÇÕES DO COMPORTAMENTO ACÚSTICO DO
BOTO-DA-TAINHA (*Tursiops truncatus*) PARA O
ENTENDIMENTO DA INTERAÇÃO ENTRE BOTOS E
PESCADORES EM LAGUNA, SANTA CATARINA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós Graduação em Ecologia da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do grau de Mestre em Ecologia.

Orientador: Prof. Dr. Fábio G. Daura-Jorge.

Co-orientador: Prof. Dr. Paulo C. Simões-Lopes.

Florianópolis
2015

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Romeu, Bianca

Contribuições do comportamento acústico do boto-da-tainha (*Tursiops truncatus*) para o entendimento da interação entre botos e pescadores em Laguna, Santa Catarina / Bianca Romeu ; orientador, Fábio Gonçalves Daura-Jorge ; coorientador, Paulo César Simões-Lopes. - Florianópolis, SC, 2015.
100 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Ecologia.

Inclui referências

1. Ecologia. 2. Bioacústica. 3. Pesca cooperativa. 4. Forrageio. 5. Comportamento. I. Daura-Jorge, Fábio Gonçalves. II. Simões-Lopes, Paulo César. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ecologia. IV. Título.

Este trabalho é dedicado aos meus colegas de mestrado (turma de 2013), que compartilharam as alegrias e tristezas destes dois anos de trabalho.

AGRADECIMENTOS

Estes dois últimos anos foram os melhores da minha vida acadêmica, por dois motivos: poder trabalhar com o que eu gosto e poder “só estudar”, graças à bolsa do CNPq. Mas estes dois anos não teriam sido assim tão bons se não fossem as pessoas que fizeram parte deles. Então, estas pessoas são o terceiro motivo da minha satisfação em ter feito (e concluído) esta etapa da vida acadêmica.

Antes de agradecer a todas elas, agradeço primeiramente a Deus, por ter colocado cada uma delas no meu caminho, por ser o acaso que me protege enquanto eu ando distraída, por ser a sorte que compensa a minha falta de juízo.

Como não podia deixar de ser, agradeço à minha família, por sempre ter incentivado a nossa geração a estudar, e por não ficar perguntando quando eu ia começar a trabalhar de verdade.

Agradeço a todos os colegas e amigos do Lamaq, pelos cafés e pela ajuda com o transporte e preparo das carcaças (das toninhas às jubartes, das mais decompostas às mais frescas). Sou imensamente feliz por poder fazer parte deste laboratório, e arrisco dizer que gosto até do cheiro que ele tem, porque ele sempre me trará boas lembranças.

Agradeço aos meus colegas de mestrado, e aos agregados da nossa turma de 2013, por todas as risadas no (finado) Bar da Nina, e em outros bares e festas. Por terem me deixado menos anti-social. Por ajudarem a aliviar a tensão durante o curso de campo, deixando as duas semanas na Lagoa do Peri muito mais divertidas. Por nos desesperarmos juntos quando não conseguíamos entender a estatística, ou não sabíamos qual teste aplicar nos nossos dados e, quando finalmente descobríamos, percebíamos que os resultados às vezes não eram significativos porque o n amostral era pequeno demais. Felizmente nós superamos isso. Espero que estas amizades jamais se desfaçam.

Agradeço à minha colega de casa, Monike Bley, pelos momentos de procrastinação que aliviaram o período de tiragem dos sons, análise dos dados e escrita da dissertação. Obrigada por sempre me convidar pra ver as séries do Netflix na tua baita televisão.

Agradeço ao sr. Sebastião, especialista em equipamentos de som, por ter concertado pela segunda vez o hidrofone sem ter me cobrado nada. Nem meu TCC eu teria feito sem a ajuda dele.

Agradeço aos professores que aceitaram avaliar este trabalho antes e durante a defesa. Certamente a contribuição de vocês é de grande valia, não só para futuras publicações, mas principalmente para o aprimoramento do meu conhecimento sobre o assunto.

Antes de finalizar esta lista, que se fosse preenchida com o nome de todos teria quase tantas páginas quanto a dissertação em si, tenho dois agradecimentos especiais a fazer.

Este trabalho não teria sido concluído no prazo se não fosse a ajuda da minha colega e amiga Carol Bezamat. Sua ajuda foi inestimável. O trabalho de campo foi muito mais produtivo com a ajuda dela, e também muito mais divertido. As conversas durante as viagens, os campos e na pousada renderam muitas risadas e histórias engraçadas. E as coletas renderam belíssimas fotos.

Por fim, mas longe de ser o menos importante, agradeço aos meus queridos orientadores, Fábio e prof. Paulo. E quando chamo eles de queridos não é só força de expressão. Eles sempre foram muito queridos, com todos os seus orientados. Mesmo quando uma chamada de atenção ou bronca eram necessárias, isso sempre foi feito com muito cuidado e paciência. Se nos esforçamos para sermos bons orientados e fazermos bons trabalhos é porque queremos que vocês se orgulhem de nós. Muito obrigada por terem aceitado me orientar durante a graduação e a pós. Independente do caminho que eu escolha seguir depois do mestrado, espero poder continuar trabalhando com vocês.

RESUMO

Após décadas de estudos em cativeiro, nos últimos anos os avanços no conhecimento sobre a bioacústica dos odontocetos têm contado com estudos com animais de vida livre. Tais estudos permitem a investigação da influência de aspectos comportamentais e sociais no repertório acústico destes animais, possibilitando a compreensão sobre como os sinais acústicos são usados e como o comportamento e as relações sociais os influenciam. Buscando contribuir com estas investigações, o presente trabalho estudou uma população residente de *Tursiops truncatus* que apresenta um comportamento peculiar e tem sua organização social conhecida. Os botos-da-tainha, como são conhecidos na região, habitam o complexo estuarino situado na cidade de Laguna, sul do Brasil. O nome popular da espécie se deve ao comportamento de pesca cooperativa que realizam, interagindo com pescadores artesanais. Somente alguns botos realizam este comportamento, determinando parte da estrutura social modular da população. Assim, esta população representa um excelente modelo para se investigar a influência dos fatores comportamentais e sociais no repertório acústico da espécie. Para tanto, entre 2010 e 2011, foram gravados os sons produzidos pelos botos durante com e sem a participação dos pescadores, para avaliar possíveis variações nas emissões sonoras. Os registros foram feitos com um hidrofone Aquarium AQ-9, com capacidade de captação de frequência entre 0,01 e 100 kHz, e um gravador Sony DAT PCM-M1 (48 kHz), com frequência de amostragem em 22 kHz. Os sons foram digitalizados e analisados através do programa Raven Lite versão 1.0. Posteriormente, entre 2013 e 2014, os registros da população foram feitos com o mesmo hidrofone acoplado a um gravador digital portátil Sony PCM-M10 (96 kHz), com frequência de amostragem em 48 kHz, associado ao registro fotográfico dos botos gravados, para posterior foto-identificação. Os sons deste período foram analisados através do programa Raven Pro 1.5. As análises de ambos os períodos focaram em dois tipos de emissões sonoras: ecolocalização e assobios, e os resultados são aqui apresentados em dois capítulos. No primeiro capítulo, os assobios foram analisados através do teste do qui-quadrado (χ^2), para verificar se há diferença na taxa de emissão de cada tipo de assobio que permita distinguir situações de forrageio com e sem interação com os pescadores; e através dos testes de PCA, DFA e MANOVA, para investigar se os assobios da pesca cooperativa podem ser diferenciados, por parâmetros acústicos, dos assobios produzidos durante outras estratégias de forrageio, bem como a possibilidade de diferenciação dos

assobios por módulo social da população. Os resultados mostram que a maioria dos assobios produzidos pelos botos-da-tainha são descendentes e ascendentes, com o predomínio de assobios descendentes durante a pesca cooperativa. Os parâmetros acústicos analisados (frequência inicial, frequência final, frequência máxima, frequência mínima, duração, número de pontos de inclinação e número de inflexões) permitiram distinguir os assobios por módulos sociais e estratégia de forrageio. Para o segundo capítulo, a ecolocalização foi avaliada pelo teste de permutação e pelo teste t pareado. Como resultado, encontrou-se que a ecolocalização foi mais utilizada durante a pesca cooperativa e, neste comportamento, houve mais emissão deste som em momentos em que as redes de pesca foram lançadas na água. Tal padrão de uso de ecolocalização deve-se ao comportamento de pesca cooperativa, não sendo uma característica de caráter individual. Assim, havendo modelagem do repertório acústico dos botos-da-tainha devido à pesca cooperativa, estes resultados se somam aos esforços para compreender as características desta interação entre botos e pescadores, bem como servem para subsidiar medidas de conservação da população e do comportamento peculiar que apresentam, principalmente no que se refere a ameaças acústicas causadas por poluição sonora antrópica. Além disso, conhecendo os parâmetros acústicos dos assobios que variam entre as atividades de forrageio e na manutenção das relações sociais dos botos, é possível avançar na compreensão da transmissão de informações através destes sons.

Palavras chave: bioacústica, ecolocalização, assobios

ABSTRACT

After decades of studies in captivity, the progresses in knowledge about bioacoustics of odontoceti in last years have counting with studies with free-ranging animals. These studies permit the investigation about behavioral and social influence in acoustic repertoire of these animals, enabling the comprehension about how acoustics signals are used and in which aspects they vary on the behavior and social relations influence. In collaboration to these investigations, the present paper studied a *Tursiops truncatus* resident population, that present a unique behavior and their social organization is known. “Botos-da-tainha”, how are called the bottlenose dolphins in the region, inhabit the estuarine complex localized in Laguna city, south Brazil. The popular name of specie is due to cooperative fishery behavior that they present, interacting with artisanal fishermen. Only some bottlenose dolphins present this behavior, determining part of social modulated structure of population. Thus, these bottlenose dolphins are an excellent model to investigate influence of both factors behavioral and social in the acoustic repertoire. In this way, initially, between 2010 and 2011, were recorded sounds produced by bottlenose dolphins during cooperative fishery and foraging without fishermen participation, to evaluate possible variations in sonorous emissions. The records were made with a hydrophone Aquarium AQ-9, with frequency response at 0.01 to 100 kHz, and a recorder Sony DAT PCM-M1 (48 kHz), with upper frequency limit of 22 kHz. The sounds were digitized and analyzed through software Raven Lite version 1.0. Posteriorly, between 2013 and 2014, population records were made with the same hydrophone connected to digital portable recorder Sony PCM-M10 (96 kHz), with upper frequency limit of 48 kHz, and associated with photographic records of recorded bottlenose dolphins, to posterior photo-identification. The sounds of this period were analyzed through software Raven Pro 1.5. Analysis of both periods focus on two kinds of sonorous emissions: echolocation and whistles, and results are here presented in two chapters. In the first chapter, whistles were analyzed through of qui-square test (χ^2), to verify if there is difference in repertoire used during cooperative fishery comparing with foraging without interaction with fishermen; and through PCA, DFA and MANOVA tests, to investigate if cooperative fishery whistles could be differentiated, by their acoustics parameters, of whistles produced during others foraging strategies, as well as possible differentiation of whistles by social module of population. We found

that bottlenose dolphins emit, principally, descending and ascending whistles, with prevalence of descending whistles during cooperative fishery. Acoustic parameters used (beginning frequency, end frequency, maximum frequency, minimum frequency, duration, number of inclination points and number of inflections) permit distinguish whistles by social module and foraging strategy. For second chapter, echolocation was evaluated by permutation test and paired t test. As a result, we found that echolocation was more used during cooperative fishery and, in this behavior, there been more emission of this sound in moments that fishery nets were casted in water. This use pattern of echolocation is due to behavior of cooperative fishery, do not being an individual character characteristic. Thus, there being acoustic repertoire modelling of “botos-da-tainha” due to cooperative fishery, these results sum at effort to understand characteristics of this interaction between dolphins and fishermen, as well as help to subsidize conservation measures to the population and unique behavior that they present, principally with relation to acoustic threats caused by anthropic sonorous pollution. Moreover, known the acoustical parameter that varies between foraging activities and in relationship maintenance of bottlenose dolphins, it is possible progressing in transmission comprehension of information through these sounds.

Keywords: bioacoustics, echolocation, whistles

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** Foto-identificação do boto conhecido pelos pescadores como “Caroba” (indivíduo #15 do catálogo de botos da população de Laguna/SC). Seu reconhecimento é feito pela marca branca na parte frontal da base da nadadeira dorsal. (Introdução)..... 25
- Figura 2:** Pescadores com as tarrafas em mão, posicionados lado a lado às margens do canal do estuário (Praia da Tesoura), aguardando a aproximação e sinalização do boto para lançarem as redes (Introdução)..... 26
- Figura 3:** Momento do lance das tarrafas, imediatamente após a aproximação e sinalização feita pelo boto (Introdução)..... 26
- Figura 4:** Complexo lagunar Santo Antônio dos Anjos-Imaruí-Mirim. Em detalhe, pontos de gravação por terra: 1- Praia da Tesoura, 2- Praia do Quarto, 3- Toca da Bruxa, 4- Iate Clube (Capítulo 1)..... 48
- Figura 5:** Vista panorâmica das praias da Tesoura e do Quarto, no canal de desembocadura do estuário de Laguna (Canal da Barra). As flechas contínuas indicam a presença dos molhes de pedras, que atenuam os sons provenientes dos locais posteriores a estes molhes, a partir do referencial da Praia da Tesoura (parte central da imagem), representados pelas flechas pontilhadas. Usando como referencial a praia do Quarto (à direita na imagem), o som atenuado seria aquele proveniente da Fonte sonora 2 e 3 (Capítulo 1)..... 50
- Figura 6:** Sonogramas ilustrativos dos assobios de cada categoria: A - assobio ascendente; B - assobio descendente, simultâneo à ecolocalização; C - assobio convexo, simultâneo à ecolocalização em menor frequência; D - assobio concavo, com harmônico parcial; E - assobio múltiplo, com harmônico parcial e simultâneo à ecolocalização; F – assobio tonal, simultâneo à ecolocalização. (Sonogramas ilustrativos, elaborados utilizando o pacote *seewave* no ambiente R (Sueur *et al.*, 2008)) (Capítulo

1)..... 53

Figura 7: Rede social da população de botos-da-tainha (*Tursiops truncatus*) de Laguna, SC, apresentando os três módulos, definidos pelo comportamento de pesca cooperativa. Módulo 1 – símbolos brancos, composto os botos cooperativos (círculos); Módulo 2 – símbolos cinza, composto predominantemente por botos não cooperativos, a exceção do indivíduo 20; Módulo 3 – símbolos pretos, composto por botos não cooperativos (Daura-Jorge *et al.*, 2012) (Capítulo 1)..... 55

Figura 8: Assobio múltiplo com indicação dos parâmetros considerados para as medidas de frequências, duração, mudanças de inclinação e pontos de inflexão. Sonograma ilustrativo elaborado usando o pacote *seewave* no ambiente R (Sueur *et al.*, 2008) (Capítulo 1)..... 56

Figura 9: Distribuição total dos assobios por categoria, em cada estratégia de forrageio: PC – pesca cooperativa; NC – forrageio sem interação (Capítulo 1)..... 59

Figura 10: Distribuição dos dados referente aos assobios, emitidos em pesca cooperativa e em forrageio não cooperativo, no eixo da função discriminante. Precebe-se marcadamente a sobreposição dos valores, o que sugere fraca consistência dos grupos (Capítulo 1)..... 61

Figura 11: Distribuição dos dados referente aos assobios, emitidos por botos cooperativos e por botos não cooperativos, no eixo da função discriminante. Precebe-se um deslocamento à esquerda dos valores para os botos cooperativos, e um deslocamento à direita dos valores para os botos não cooperativos (Capítulo 1)..... 62

Figura 12: Distribuição dos dados dos assobios, emitidos por botos cooperativos durante a pesca cooperativa (C), por botos cooperativos em forrageio não cooperativo (N) e por botos não cooperativos (D), nos eixos das discriminantes lineares (LD1 e LD2). Precebe-se uma distinção entre N e D, com sobreposição de C (Capítulo 1)..... 63

Figura 13: Distribuição dos dados referente aos assobios, emitidos por botos cooperativos em pesca cooperativa, por botos não cooperativos e por botos cooperativos em forrageio não cooperativo, no eixo da função discriminante (Capítulo 1)...	64
Figura 14: Boxplot representando a mediana da quantidade de cliques de ecolocalização por indivíduo, em amostras de 55 segundos, durante a pesca cooperativa (PC) e o forrageio sem interação (NC) (Capítulo 2).....	82
Figura 15: Boxplot representando a mediana da quantidade de cliques de ecolocalização, por indivíduo, emitidos por indivíduos solitários (botos: #15, #16, #B19) e grupos de dois indivíduos (botos: #B19 e #B27; #B19 e #03) durante pesca cooperativa (PC) e forrageio sem interação com os pescadores (NC) (Capítulo 2).....	84
Figura 16: Quantidade de cliques de ecolocalização por indivíduo, com representação da mediana, emitidos pelos indivíduos solitários (botos: #15, #24, #33 e #49) e grupos de dois indivíduos (botos: #02 e #02Fi; #15 e #24; #24 e #B30; #49 e #B09) durante a pesca cooperativa em registros com lances de tarrafas na água (ID) e sem lances de tarrafas (II) (Capítulo 2).....	86

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1:** *Loadings* dos três primeiros Componentes Principais, da análise de componentes principais (PCA), mostrando as variáveis acústicas que melhor explicam a ordenação dos assobios e a porcentagem de explicação da variação por cada Componente. Em destaque, as variáveis, e seus respectivos valores, que mais se correlacionam com a medida de cada Componente: mudança de inclinação para o Componente 1, frequência mínima para o Componente 2 e inflexão para o Componente 3 (Capítulo 1)..... 60
- Tabela 2:** Pareamento de amostras de ecolocalização, de grupos de um e dois indivíduos, durante a pesca cooperativa (PC) e forrageio sem interação (NC). Valores em número total de cliques de ecolocalização durante cinco minutos de gravação (Capítulo 2) 83
- Tabela 3:** Pareamento de amostras de ecolocalização, de grupos de um e dois indivíduos, durante a interação direta (ID) e a interação indireta (II). Valores em número total de cliques de ecolocalização durante cinco minutos de gravação (Capítulo 2)..... 85

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	21
OBJETIVO GERAL.....	31
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	31
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	33
CAPÍTULO 1 - Uso e funções da ecolocalização durante interação positiva entre botos-da-tainha (<i>Tursiops truncatus</i>) e pescadores artesanais	
Resumo.....	43
Abstract.....	44
Introdução.....	44
Material e métodos.....	47
Variação do repertório acústico.....	49
Variações nos parâmetros acústicos.....	53
Análise estatística.....	57
Resultados.....	58
Variação do repertório acústico.....	58
Variações nos parâmetros acústicos.....	59
Discussão.....	64
Conclusões.....	71
Referências bibliográficas.....	72
CAPÍTULO 2 – Estratégias de forrageio e uma estrutura social modular influenciam características acústicas dos assobios dos botos-da-tainha (<i>Tursiops truncatus</i>)?	
Resumo.....	77

Abstract.....	78
Introdução.....	78
Material e métodos.....	81
Resultados.....	82
Discussão.....	86
Conclusões.....	91
Referências bibliográficas.....	92
CONCLUSÕES GERAIS.....	99

INTRODUÇÃO

Trabalhos sobre a acústica dos odontocetos em ambiente natural se tornaram mais frequentes a partir da década de 1980, somando-se aos trabalhos exclusivamente com animais de cativeiro realizados desde os primórdios do desenvolvimento dos estudos de bioacústica. Três tipos genéricos de sons foram estabelecidos e vem sendo investigados: cliques de ecolocalização, sons pulsados e assobios (Lily e Miller, 1961a; Wells e Scott, 2002; Lammers *et al.*, 2006). Estes sons costumam ser separados em duas categorias funcionais: cliques de ecolocalização usados para orientação e navegação, e sons pulsantes e assobios usados na comunicação (Herzing, 2000; Nowacek, 2005; Au *et al.*, 2007). Porém, alguns trabalhos mostram que tais funções não são tão limitadas, com cada som podendo estar associado a comportamentos como forrageio, socialização, deslocamento e interações agonísticas (e.g., Lily e Miller, 1961b; dos Santos *et al.*, 1991; dos Santos *et al.*, 1995; Barrett-Lennard *et al.*, 1996; Herzing, 1996; Janik, 2000a; Lammers *et al.*, 2003; Blomqvist e Amundim, 2004). Estes resultados contribuem para a compreensão das funções da acústica nos diferentes contextos comportamentais.

Estudos com animais de cativeiro fornecem informações valiosas sobre a forma como os sons são produzidos, emitidos e recebidos pelos odontocetos (Lily e Miller, 1961a; Norris *et al.*, 1961; Au *et al.*, 2006; Au e Lammers, 2007; Au e Simmons, 2007; Raybov, 2014). Também demonstram as potencialidades do sistema sonoro destes animais. A ecolocalização dos golfinhos foi posta à prova inúmeras vezes, através de testes da capacidade de detecção de objetos e discriminação de formas, texturas e densidades (Au, 1993; Au, 2003). Os assobios tiveram sua mais conhecida teoria, a do “assobio assinatura”, elaborada, apoiada e refutada a partir do estudo com animais em cativeiro (e. g., Caldwell e Caldwell, 1965; Caldwell *et al.*, 1990; McCowan e Reiss, 1995; McCowan e Reiss, 2001). O que ainda nos falta entender são os usos e funções de cada um destes sinais sonoros em contextos como o forrageio (Nowacek, 1999; Herzing e dos Santos, 2004; Au *et al.*, 2009), comportamento de importância vital, mas que em cativeiro é alterado, ou mesmo inibido, pela forma como os animais são alimentados.

Alguns estudos mostram que a ecolocalização de *Tursiops truncatus* e *Phocoena phocoena* lhes permite distinguir espécies de peixes (Au *et al.*, 2009; Yovel e Au, 2010) e rastreá-los a longas distâncias (Au *et al.* 2007), reforçando a ideia de que a ecolocalização é

utilizada durante o comportamento de forrageio para a localização e perseguição de presas (Au, 1993). Contudo, evidências da ausência ou o uso reduzido da ecolocalização durante o forrageio de alguns odontocetos, inclusive em ambientes de pouca visibilidade, revelam a importância da audição passiva (dos Santos *et al.*, 1991; Barrett-Lennard *et al.*, 1996; Nowacek, 1999; dos Santos e Almada, 2004; Gannon *et al.*, 2005), e induzem ao questionamento sobre até que ponto a ecolocalização se faz necessária durante o forrageio. A audição passiva e a ecolocalização não são mutuamente excludentes e os odontocetos parecem fazer uso equilibrado destas duas habilidades, procurando uma estratégia acústica ótima para cada situação, considerando tipo de presa, de habitat e a estratégia de forrageio adotada (Herzing, 2004; Gannon *et al.*, 2005; Nowacek, 2005).

Apesar de não sabermos os custos energéticos e ecológicos da ecolocalização (Nowacek, 1999; Herzing e dos Santos, 2004), o uso parcimonioso deste som nos leva a considerar algumas possibilidades. Ecológicamente, a ecolocalização pode ser custosa por alertar as presas, atrair predadores e/ou coespecíficos (Nowacek, 1999; Gannon *et al.*, 2005). Barratt-Lennard *et al.* (1996) relatam que orcas que se alimentam de mamíferos ecolocalizam menos, de modo irregular e com menor intensidade sonora do que aquelas que se alimentam de peixes. Isto porque certos mamíferos aquáticos, diferentemente dos peixes, têm audição adaptada a frequências correspondentes àquelas dos cliques de ecolocalização das orcas, permitindo aos mamíferos fugirem dos seus predadores ao interceptarem tais sinais acústicos. Além disso, as orcas são capazes de perceber, entre outros sons, a ecolocalização de suas presas a partir da audição passiva, o que justificaria, para os demais odontocetos, a redução do uso de sua própria ecolocalização em determinadas situações para evitar a atração deste predador (Barrett-Lennard *et al.*, 1996).

A redução do uso da ecolocalização durante o forrageio, como observado nas orcas, pode ser uma técnica aplicada por outros odontocetos que se alimentam de peixes. Isto porque, apesar da maioria das espécies de peixes ter limitação auditiva em baixas frequências, algumas espécies demonstram capacidade de percepção de sons de altas frequências (e.g. Nestler *et al.*, 1992; Astrup e Møhl, 1993; Ross *et al.*, 1993; Mann *et al.* 2001), indicando a possibilidade de percepção de sinais acústicos como a ecolocalização. Tal capacidade seria um paralelo ecológico com o caso das mariposas, predadas por morcegos, que são capazes de perceber sons de alta frequência, sugerindo ser esta

característica o resultado de pressão seletiva favorecendo o desenvolvimento da detecção da ecolocalização e, conseqüentemente, permitindo a adaptação de comportamentos de fuga (Rydell, 2004).

As evidências acima demonstram a importância de estudos com animais em ambiente natural, para entendermos os usos e funções que fazem dos sinais acústicos para além do que se sabe até o momento, não só a respeito da ecolocalização, mas também quanto aos outros sons. No caso dos assobios, ainda há uma lacuna sobre a frequência de uso e os parâmetros sonoros do comportamento acústico, no que se refere a estes sons, durante o forrageio. A maioria dos trabalhos sobre os assobios têm focado em características acústicas que variam em nível de espécie, população e indivíduo, com menor enfoque na variação do comportamento acústico entre os diferentes estados comportamentais. Desde a proposição da teoria do “assobio assinatura” (Caldwell e Caldwell, 1965), vários pesquisadores buscaram evidências, estudando animais cativos e de vida livre, de que a identificação individual dos golfinhos de um grupo é feita através do assobio único e estereotipado que cada um possui (e. g., Janik, 1999; Sayigh *et al.*, 2007; Janik *et al.*, 2013; Kriesell *et al.*, 2014). Em contrapartida, outros trabalhos discutem a fragilidade da teoria e propõem opções alternativas, como a hipótese da “informação assinatura”, que defende a identificação individual dos golfinhos por variações sutis no contorno dos assobios, medidas através dos valores de frequência em diferentes pontos ao longo do assobio e não apenas pela forma do assobio (McCowan e Reiss, 1995; McCowan *et al.*, 1999; McCowan e Reiss, 2001). Diferenças em parâmetros acústicos permitem, também, a distinção de espécies pelos assobios (e.g., Rendell *et al.*, 1999; Oswald *et al.*, 2003; Bazúa-Durán, 2004; Azzolin *et al.*, 2014) e, de modo mais refinado, a diferenciação de populações (e.g., Ding *et al.*, 1995; Bazúa-Durán e Au, 2004; Rossi-Santos e Podos, 2006; Azevedo e Van Sluys, 2013; Papale *et al.*, 2013), com a possibilidade de desenvolvimento de softwares que sejam capazes de diferenciar grupos de golfinhos da mesma espécie, que compartilham a mesma área de vida, através das características de seus assobios (Datta e Sturtivant, 2002). Porém, ainda nos falta investigar as variações dessas emissões sonoras no contexto do comportamento acústico em que elas são emitidas.

As características acústicas dos assobios variam não apenas por fatores individuais, mas também pelo hábitat, ecologia, grupo social e contexto comportamental (Díaz-Lopes, 2011). A distinção dos assobios de diferentes populações pode justamente refletir as características

físicas do local em que vivem, assim como o “assobio assinatura” parece ser condicionado a contextos como isolamento de indivíduos, agrupamento de mãe e filhote e início de interações sociais (Smolker *et al.*, 1993; Janik e Slater, 1998; Quick e Janik, 2012; King *et al.*, 2014). Numa sociedade de fissão-fusão, como as formadas por *T. truncatus* (Smolker *et al.*, 1992; Connor *et al.*, 2000; Lusseau *et al.*, 2006), a comunicação é importante não apenas para a identificação individual, mas também para a transmissão de informações (Herzing, 2000). Desse modo, o contexto comportamental pode afetar a taxa com que os assobios são emitidos (Lily e Miller, 1961b; Nowacek, 1999; Díaz-Lopes, 2011), bem como suas características acústicas, havendo associações entre tipos de assobios e comportamentos (Hawkins e Gartside, 2010; Díaz-Lopes, 2011).

A complexidade de estudar as funções e usos dos sons nos odontocetos é maximizada pela gama comportamental que apresentam, principalmente no que se refere às diferentes técnicas de forrageio (e.g. Leatherwood, 1975; Shane, 1990; Sargeant *et al.*, 2005). Sendo assim, avanços no conhecimento sobre os sinais acústicos destes animais só acontecerá com o desenvolvimento de mais trabalhos com diferentes espécies, nos mais variados ambientes e circunstâncias. Neste sentido, as oportunidades de se estudar populações costeiras (e.g. dos Santos *et al.*, 1991; Janik, 2000b; Hoffmann, 2004; Nowacek, 2005) colaboram para ampliar nosso entendimento quanto a acústica destes animais.

A partir disso, o presente trabalho se propõe a investigar o comportamento acústico de *T. truncatus* no Complexo Lagunar de Santo Antônio dos Anjos-Imarui-Mirim, em Laguna, sul do Brasil. Esta população, pequena e com alto nível de residência, é formada por aproximadamente 54 indivíduos, número que se mantém praticamente constante desde o final da década de 1990 (Simões-Lopes e Fábian, 1999; Daura-Jorge *et al.*, 2013). Apesar da aparente estabilidade, o tamanho populacional reduzido e o alto grau de isolamento tornam esta população extremamente vulnerável às múltiplas ameaças antrópicas existentes na região (Daura-Jorge e Simões-Lopes, 2011; Daura-Jorge *et al.*, 2013). O risco de extinção desta população não representa apenas a perda dos indivíduos em si, mas de uma das técnicas mais sofisticadas de forrageio já descritas para a espécie.

Os *T. truncatus* de Laguna, conhecidos localmente como botos-da-tainha, realizam um comportamento de forrageio peculiar, desenvolvido por aproximadamente 20 indivíduos, que envolve a interação com pescadores artesanais que fazem uso da tarrafa como

artefato de pesca (Simões-Lopes, 1991; Daura-Jorge *et al.*, 2013). A interação é iniciada pelos botos, os quais são reconhecidos individualmente pelos pescadores e recebem nomes dados por eles (Fig. 1) (Simões-Lopes, 1991). Aqueles que auxiliam na pesca são chamados genericamente pelos pescadores de “botos bons”, enquanto os demais são chamados de “botos ruins” ou “botos preguiçosos” (Daura-Jorge, 2011). Os botos que cooperam na pesca arrebanham o cardume e o conduzem para a margem da laguna. Com a aproximação deles, os pescadores pegam suas tarrafas e entram na água, posicionando-se lado a lado (Fig. 2). A ação de botos e pescadores é sincronizada, e as tarrafas só são lançadas quando ocorre a aproximação e sinalização feita pelos botos. Esta sinalização acontece por movimentos estereotipados, que diferem do movimento realizado normalmente para a respiração, e que são identificados pelos pescadores como sinal para que lancem as tarrafas (Fig. 3). As tarrafas cobrem a área entre os pescadores e os botos, capturando os peixes que estão disponíveis para ambos os predadores. Esta “parceria” acontece na região há décadas, garantindo recurso (peixes) em maior quantidade e de maior tamanho, para pescadores e botos. Sendo aparentemente benéfica para ambos, a interação é conhecida como pesca cooperativa (Simões-Lopes, 1991; Simões-Lopes *et al.*, 1998; Simões-Lopes, 2005).



Fig. 1 – Foto-identificação do boto conhecido pelos pescadores como “Caroba” (indivíduo #15 do catálogo de botos da população de Laguna/SC). Seu reconhecimento é feito pela marca branca na parte frontal da base da nadadeira dorsal.



Fig. 2 – Pescadores com as tarrafas em mão, posicionados lado a lado às margens do canal do estuário (Praia da Tesoura), aguardando a aproximação e sinalização do boto para lançarem as redes.



Fig. 3 – Momento do lance das tarrafas, imediatamente após a aproximação e sinalização feita pelo boto.

Doze locais são reconhecidos como pontos de pesca cooperativa, a qual pode ser realizada com os pescadores dentro da água ou em pequenos barcos de madeira, sempre às margens da laguna (Fig. 2 e 3)

ou da entrada do Rio Tubarão, o qual desemboca no estuário (Simões-Lopes *et al.*, 1998; Peterson *et al.*, 2008). Uma gama de espécies de peixes pode ser capturada durante a pesca cooperativa, contudo as tainhas (*Mugil spp.*) são as espécies mais representativas nas capturas. A interação acontece o ano todo, com maior frequência e intensidade no período entre abril e junho, quando as tainhas migram do sul para o norte, entrando no estuário (Simões-Lopes *et al.*, 1998; Herbst e Hanazaki, 2014). Esta relação com a migração das tainhas justifica o uso do nome botos-da-tainha aos *T. truncatus* residentes na região.

O comportamento de pesca cooperativa dos botos é aparentemente transmitido de mãe para filhote (Simões-Lopes *et al.*, 1998) e define parte da estrutura social da população. Daura-Jorge *et al.* (2012), ao investigarem a organização social dos botos-da-tainha, verificaram que a população apresenta três módulos sociais, apesar da estrutura social de fissão-fusão característica da espécie que se apresenta também nesta população. Um destes módulos é formado apenas por botos que participam da pesca cooperativa, sendo que estes indivíduos passam mais tempo juntos do que com os demais botos.

Dado o comportamento peculiar de forrageio dos botos-da-tainha, associado ao conhecimento sobre a estrutura social que apresentam, esta população oferece uma oportunidade única de investigar o comportamento acústico de uma estratégia de forrageio única e a importância das relações sociais nos parâmetros acústicos dos sons emitidos. Assim, inicialmente investigou-se a existência de uma variação no uso da ecolocalização e dos assobios pelos botos devido a realização do comportamento de pesca cooperativa. A princípio, é esperado que o comportamento de pesca cooperativa exija alguma especificidade dos assobios usados para este comportamento, pois um comportamento tão especializado deve necessitar de transmissão de informações específicas entre os botos envolvidos, como posicionamento de cada indivíduo e localização do cardume. Para a ecolocalização, espera-se encontrar alguma variação na frequência de uso, colaborando com os relatos de adaptação do uso da ecolocalização conforme a estratégia de forrageio adotada. Neste sentido, talvez a pesca cooperativa necessite menos do uso da ecolocalização, comparado ao forrageio sem a interação com os pescadores, pois o espaço que os peixes teriam para fugir é reduzido devido a menor profundidade nas margens da laguna e pela barreira formada pelos pescadores, de modo que os botos não necessitariam da ecolocalização para saber a localização das presas. Em um segundo momento, será investigada a

influência dos módulos sociais apresentados pela população nas características dos assobios. Apesar de se tratar de uma população única, espera-se que alguns destes parâmetros reflitam a estrutura social modular dos botos, que representem o estreitamento das relações sociais dentro de cada módulo, ou ao menos alguma diferenciação acústica nos assobios utilizados durante a pesca cooperativa, que possa representar a transmissão refinada de informações durante este comportamento.

Assim, para verificar se existe variação no repertório dos assobios dos botos-da-tainha durante a pesca cooperativa, se esta estratégia peculiar de forrageio influencia a emissão dos cliques de ecolocalização e se o comportamento de pesca cooperativa ou os módulos sociais da população são refletidos em parâmetros acústicos dos assobios, algumas questões serão investigadas no presente trabalho, estruturado em dois capítulos. O primeiro capítulo explorará a associação do comportamento de pesca cooperativa com o repertório de assobios apresentado durante este comportamento, comparando esta estratégia de forrageio com outras estratégias que não envolvem a presença dos pescadores. Ainda no mesmo capítulo será abordada a influência da pesca cooperativa e também dos módulos sociais encontrados na população, nos parâmetros acústicos dos assobios, verificando a existência de padrões acústicos que possam diferir entre os assobios usados pelos botos que participam da pesca cooperativa daqueles que não participam desta interação, bem como características acústicas que possam diferir os assobios usados durante a pesca cooperativa daqueles usados em momentos de forrageio sem a presença dos pescadores. No segundo capítulo, proposto como uma nota científica, será abordada a variação do uso da ecolocalização durante a pesca cooperativa, comparado ao forrageio sem interação com os pescadores, e também será investigado se esta variação é influenciada apenas pelo comportamento de pesca cooperativa ou se é resultado de um viés individual. Caso a pesca cooperativa, ou o forrageio sem interação com os pescadores, exija uso mais frequente da ecolocalização, é esperado que os botos que participam da pesca cooperativa emitam mais ecolocalização em apenas uma destas situações: interagindo ou não com os pescadores. Porém, se a estratégia de forrageio não for um fator determinante na taxa de emissão de cliques de ecolocalização, o mesmo boto utilizará taxas de emissão de cliques semelhantes para ambas as estratégias de forrageio utilizadas.

Entender o papel da acústica na pesca cooperativa fornece embasamento para estratégias de conservação desta população, principalmente no que se refere a ruídos antrópicos que podem

influenciar na comunicação sonora dos botos. Exemplo de ameaça real neste sentido é a recente discussão, por autoridades e comunidade de Laguna, quanto à liberação de áreas de pesca cooperativa, e adjacências, para a prática de esportes náuticos envolvendo veículos ruidosos. Evidências da existência de padrões diferenciados no repertório acústico dos botos-da-tainha durante a pesca cooperativa indicarão a necessidade do uso específico dos sons para este comportamento, de modo que ruídos antrópicos podem ameaçar a realização da pesca cooperativa por atrapalhar a comunicação entre os animais que a realizam. Os riscos à interação entre botos e pescadores, bem como outras ameaças a esta população, podem levar a extinção destes animais e, conseqüentemente, de um comportamento único que dificilmente será reaprendido caso desapareça.

OBJETIVO GERAL

Entender o comportamento acústico dos botos-da-tainha (*Tursiops truncatus*) na interação entre botos e pescadores, avaliando as variações do repertório e de parâmetros acústicos entre estratégias de forrageio e considerando a estrutura social da população.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1 - Avaliar se o repertório de assobios dos botos-da-tainha difere entre a pesca cooperativa e o forrageio sem a interação com os pescadores;

2 - Avaliar se os parâmetros acústicos dos assobios são diferentes durante a pesca cooperativa em comparação ao forrageio sem interação;

3 - Avaliar se os parâmetros acústicos dos assobios variam entre os módulos sociais da população;

4 - Avaliar se a taxa de emissão de cliques de ecolocalização é diferente na pesca cooperativa em comparação ao forrageio sem interação;

5 - Avaliar se a diferença na taxa de emissão da ecolocalização é uma característica do comportamento de pesca cooperativa ou se é uma característica individual de cada boto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Astrup, J., Møhl, B. (1993). "Detection of intense ultrasound by the cod *Gadus morhua*," J. exp. Biol., **80**, 71–80.
- Au, W. W. L. (1993). *The Sonar of Dolphins* (Springer-Verlag, New York), 227 pp.
- Au, W. W. L. (2003). "Detection and classification of underwater targets by echolocating dolphins," J. Acoust. Soc. Am., **114**, 2447–2454.
- Au, W. W. L., Kastelein, R. A., Benoit-Bird, K. J., Cranford, T. W., and McKenna, M. F. (2006). "Acoustic radiation from the head of echolocating harbor porpoises (*Phocoena phocoena*)," J. Exp. Biol., **209**, 2726–33.
- Au, W. W. L., Benoit-Bird, K. J., and Kastelein, R. A. (2007). "Modeling the detection range of fish by echolocating bottlenose dolphins and harbor porpoises," J. Acoust. Soc. Am., **121**, 3954–62.
- Au, W. W.L., and Lammers, M. O. (2007). "Cetacean Acoustics," in *Handbook of Acoustics*, edited by T. D. Rossing (Springer-Verlang, New York), pp. 805–837.
- Au, W. W. L., and Simmons, J. A. (2007). "Echolocation in dolphins and bats," Phys. Today, **60**, 40–45.
- Au, W. W. L., Branstetter, B. K., Benoit-Bird, K. J., and Kastelein, R. A. (2009). "Acoustic basis for fish prey discrimination by echolocating dolphins and porpoises," J. Acoust. Soc. Am., **126**, 460–7.
- Azevedo, A. F., and Van Sluys, M. (2005). "Whistles of tucuxi dolphins (*Sotalia fluviatilis*) in Brazil: Comparisons among populations," J. Acoust. Soc. Am., **117**, 1456.
- Azzolin, M., Gannier, A., Lammers, M. O., Oswald, J. N., Papale, E., Buscaino, G., Buffa, G., Mazzola, S., and Giacoma, C. (2014). "Combining whistle acoustic parameters to discriminate

- Mediterranean odontocetes during passive acoustic monitoring,” *J. Acoust. Soc. Am.*, **135**, 502–12.
- Barrett-Lennard, L. G., Ford, J. K. B., and Heise, K. A. (1996). “The mixed blessing of echolocation: differences in sonar use by fish-eating and mammal-eating killer whales,” *Anim. Behav.*, **51**, 553–565.
- Bazúa-Durán, C. (2004). “Differences in the whistle characteristics and repertoire of Bottlenose and Spinner Dolphins,” *An. Acad. Bras. Cienc.*, **76**, 386–392.
- Bazúa-Durán, C., and Au, W. W. L. (2004). “Geographic variations in the whistles of spinner dolphins (*Stenella longirostris*) of the Main Hawaiian Islands,” *J. Acoust. Soc. Am.*, **116**, 3757–3769.
- Blomqvist, C., and Amundin, M. (2004). “High-frequency burst-pulse sounds in agonistic/aggressive interactions in bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*,” in *Echolocation in bats and dolphins*, edited by J. A. Thomas, C. F. Moss, and M. Vater (The University of Chicago Press, Chicago), pp. 425–431.
- Caldwell, M. C., and Caldwell, D. K. (1965). “Individualized whistle contours in bottlenose dolphin, *Tursiops truncatus*,” *Nature*, **207**, 434.
- Caldwell, M. C., Caldwell, D. K., and Tyack, P. L. (1990). “Review of the signature-whistle hypothesis for the Atlantic bottlenose dolphin,” in *The bottlenose dolphin*, edited by S. Leatherwood, , and R. R. Reeves (Academic Press, San Diego), pp.199-233
- Connor, R. C., Wells, R. S., Mann, J., and Read, A. J. (2000). “The bottlenose dolphin: social relationships in a fission-fusion society,” in *Cetacean societies: field studies of dolphins and whales*, edited by J. Mann, R. C. Connor, P. L. Tyack and H. Whitehead (The University of Chicago Press, Chicago), pp. 91-126.
- Datta, S., and Sturtivant, C. (2002). “Dolphin whistle classification for determining group identities,” *Signal Processing*, **82**, 251 – 258.

- Daura-Jorge, F. G. (2011). *Quantos? Onde? Como? Múltiplos aspectos ecológicos de uma população do boto-da-tainha (Tursiops truncatus) em Laguna, sul do Brasil: implicações para conservação* Universidade Federal do Paraná, p. 265.
- Daura-Jorge, F. G., and Simões-Lopes, P. C. (2011). “Lobomycosis-like disease in wild bottlenose dolphins *Tursiops truncatus* of Laguna, southern Brazil - monitoring of a progressive case,” *Diseases Aquat. Org.*, **93**, 163–170.
- Daura-Jorge, F. G., Cantor, M., Ingram, S. N., Lusseau, D., and Simões-Lopes, P. C. (2012). “The structure of a bottlenose dolphin society is coupled to a unique foraging cooperation with artisanal fishermen,” *Biol. Lett.*, **8**, 702–5.
- Daura-Jorge, F. G., Ingram, S. N., and Simões-Lopes, P. C. (2013). “Seasonal abundance and adult survival of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in a community that cooperatively forages with fishermen in southern Brazil,” *Mar. Mammal Sci.*, **29**, 293–311.
- Ding, W., Wursig, B., and Evans, W. E. (1995). “Whistles of bottlenose dolphins: comparisons among populations,” *Aquat. Mamm.*, **21**, 65–77.
- dos Santos, M. E., Caporin, G., Moreira, H. O., Ferreira, A. J., and Coelho, J. L. B. (1991). “Acoustic behavior in a local population of Bottlenose Dolphins,” in *Sensory abilities of cetaceans: Laboratory and field evidences*, edited by Thomas, J. A., and Kastelein, R. A. (Springer Science+Business Media, New York), pp. 585–598.
- dos Santos, M. E., Ferreira, A. J., and Harzen, S. (1995). “Rhythmic sound sequences emitted by aroused bottlenose dolphins in the Sado estuary, Portugal,” in *Sensory systems of aquatic mammals*, edited by R. Kastelein, J. A. Thomas, and P. Nachtigall (De Spil Publishers, The Netherlands), pp. 325–334.
- dos Santos, M. E., and Almada, V. C. (2004). “A case for passive sonar: analysis of click train production patterns by bottlenose dolphins in a turbid estuary,” in *Echolocation in bats and dolphins*, edited by J. A.

Thomas, C. F. Moss, and M. Vater (The University of Chicago Press, Chicago), pp. 400-404.

Gannon, D. P., Barros, N. B., Nowacek, D. P., Read, A. J., Waples, D. M., and Wells, R. S. (2005). "Prey detection by bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*: an experimental test of the passive listening hypothesis," *Anim. Behav.*, **69**, 709–720.

Hawkins, E. R., and Gartside, D. F. (2010). "Whistle emissions of Indo-Pacific bottlenose dolphins (*Tursiops aduncus*) differ with group composition and surface behaviors," *J. Acoust. Soc. Am.*, **127**, 2652–63.

Herbst, D. F., and Hanazaki, N. (2014). "Local ecological knowledge of fishers about the life cycle and temporal patterns in the migration of mullet (*Mugil liza*) in Southern Brazil," *Neotrop. Ichthyol.*, **12**, 879-890.

Herzing, D. L. (1996). "Vocalizations and associated underwater behavior of free-ranging Atlantic spotted dolphins, *Stenella frontalis* and bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*," *Aquat. Mamm.*, **22**, 61–79.

Herzing, D. L. (2000). "Acoustics and social behavior of wild dolphins: implications for a sound society," in *Hearing in whales and dolphins*, edited by W. W. L. Au, A. N. Popper, and R. R. Fay (Springer-Verlag, New York), pp. 225-272.

Herzing, D. L., and dos Santos, M. E. (2004). "Functional aspects of echolocation in dolphins," in *Echolocation in bats and dolphins*, edited by J. A. Thomas, C. F. Moss, and M. Vater (The University of Chicago Press, Chicago), pp. 386-393.

Herzing, D. L. (2004). "Social and nonsocial uses of echolocation in free-ranging *Stenella frontalis* and *Tursiops truncatus*," in *Echolocation in bats and dolphins*, edited by J. A. Thomas, C. F. Moss, and M. Vater (The University of Chicago Press, Chicago), pp. 404-410.

- Hoffmann, L. S. (2004). *Um estudo de longa duração de um grupo costeiro de golfinhos *Tursiops truncatus* (Montagu, 1821) (Cetacea, Delphinidae) no sul do Brasil: Aspectos de sua biologia e bioacústica* Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 290.
- Janik, V., and Slater, P. (1998). “Context-specific use suggests that bottlenose dolphin signature whistles are cohesion calls,” *Anim. Behav.*, **56**, 829–838.
- Janik, V. (1999). “Pitfalls in the categorization of behaviour: a comparison of dolphin whistle classification methods,” *Anim. Behav.*, **57**, 133–143.
- Janik, V. M. (2000a). “Food-related bray calls in wild bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*),” *Proc. Biol. Sci.*, **267**, 923–927.
- Janik, V. M. (2000b). “Source levels and the estimated active space of bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) whistles in the Moray Firth, Scotland,” *J Comp Physiol*, **186**, 673–680.
- Janik, V. M., King, S. L., Sayigh, L. S., and Wells, R. S. (2013). “Identifying signature whistles from recordings of groups of unrestrained bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*),” *Mar. Mammal Sci.*, **29**, 109–122.
- King, S. L., Harley, H. E., and Janik, V. M. (2014). “The role of signature whistle matching in bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*,” *Anim. Behav.*, **96**, 79–86.
- Kriesell, H. J., Elwen, S. H., Nastasi, A., and Gridley, T. (2014). “Identification and characteristics of signature whistles in wild bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) from Namibia,” *PLoS One*, **9**, 1-13.
- Lammers, M. O., Au, W. W. L., and Herzing, D. L. (2003). “The broadband social acoustic signaling behavior of spinner and spotted dolphins,” *J. Acoust. Soc. Am.*, **114**, 1629.

- Lammers, M. O., Schotten, M., and Au, W. W. L. (2006). "The spatial context of free-ranging Hawaiian spinner dolphins (*Stenella longirostris*) producing acoustic signals," *J. Acoust. Soc. Am.*, **119**, 1244-1250.
- Leatherwood, S. (1975). "Some observations of feeding behavior of bottle-nosed dolphins (*Tursiops truncatus*) in the northern Gulf of Mexico and (*Tursiops* cf. *T. gilli*) off southern California, Baja California, and Nayarit, Mexico," *Mar. Fish. Rev.*, **37**, 10–16.
- Lilly, J. C., and Miller, A. M. (1961a). "Sounds emitted by the bottlenose dolphin," *Science*, **133**, 1689–1693.
- Lilly, J. C., and Miller, A. M. (1961b). "Vocal Exchanges between dolphins," *Science*, **134**, 1873–1876.
- Lusseau, D., Wilson, B., Hammond, P. S., Grellier, K., Durban, J. W., Parsons, K. M., Barton, T. R., and Thompson, P. M. (2006). "Quantifying the influence of sociality on population structure in bottlenose dolphins," *J. Anim. Ecol.*, **75**, 14–24.
- Mann, D. A., Higgs, D. M., Tavolga, W. N., Souza, M. J., and Popper, A. N. (2001). "Ultrasound detection by clupeiform fishes," *J. Acoust. Soc. Am.*, **109**, 3048.
- Mccowan, Brenda, and Reiss, D. (1995). "Quantitative comparison of whistle repertoires from captive adult bottlenose dolphins: a re-evaluation of the signature whistle hypothesis," *Ethology*, **100**, 194–209.
- McCowan, B., Hanser, S., and Doyle, L. (1999). "Quantitative tools for comparing animal communication systems: information theory applied to bottlenose dolphin whistle repertoires," *Anim. Behav.*, **57**, 409–419.
- McCowan, B., and Reiss, D. (2001). "The fallacy of 'signature whistles' in bottlenose dolphins: a comparative perspective of 'signature information' in animal vocalizations," *Anim. Behav.*, **62**, 1151–1162.

- Nestler, J. M., Ploskey, G. R., Pickens, J., Menzies, J. K., and Schilt, C. R. (1992). "Responses of blueback herring to high-frequency sound and implications for reducing entrainment at hydropower dams," *North Am. J. Fish. Manag.*, **12**, 667-683.
- Norris, K. S., Prescott, J. H., Asa-Dorian, P. V., and Perkins, P. (1961). "An experimental demonstration of echolocation behavior in the porpoise, *Tursiops truncatus* (Montagu)," *Biol. Bull.*, **120**, 163-176.
- Nowacek, D. P. (1999). *Sound use, sequential behavior and ecology of foraging bottlenose dolphins, Tursiops truncatus* Massachusetts Institute of Technology, p. 201.
- Nowacek, P. (2005). "Acoustic ecology of foraging bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*), habitat-specific use of three sound types," *Mar. Mammal Sci.*, **21**, 587-602.
- Oswald, J. Nm, Barlow, J., and Norris, T. F. (2003). "Acoustic identification of nine delphinid species in the eastern tropical Pacific Ocean," *Mar. Mammal Sci.*, **19**, 20-37.
- Papale, E., Azzolin, M., Cascão, I., Gannier, a., Lammers, M. O., Martin, V. M., Oswald, J., Perez-Gil, M., Prieto, R., Silva, M. A., and Giacoma, C. (2013). "Acoustic divergence between bottlenose dolphin whistles from the Central-Eastern North Atlantic and Mediterranean Sea," *Acta Ethol.*, **17**, 155-165.
- Peterson, D., Hanazaki, N., and Simões-Lopes, P. (2008). "Natural resource appropriation in cooperative artisanal fishing between fishermen and dolphins (*Tursiops truncatus*) in Laguna, Brazil," *Ocean Coast. Manag.*, **51**, 469-475.
- Pivari, D. (2004). *Caracterização das emissões sonoras de Sotalia fluviatilis (Gervais, 1853) (Cetacea, Delphinidae) durante o comportamento alimentar em duas praias do estuário de Cananéia, São Paulo* Universidade de São Paulo, p. 139.

- Quick, N. J., and Janik, V. M. (2012). "Bottlenose dolphins exchange signature whistles when meeting at sea," *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.*, **279**, 2539–2545.
- Rendell, L. E., Matthews, J. N., Gill, A., Gordon, J. C. D., and Macdonald, D. W. (1999). "Quantitative analysis of tonal calls from five odontocete species, examining interspecific and intraspecific variation," *J. Zool. Lond.*, **249**, 403–410.
- Ross, Q. E., Dunning, D. J., Thorne, R., Menzes, J. K., Tiller, G. W., and Watson, J. K. (1993). "Response of alewives to high frequency sound at a power plant intake on Lake Ontario". *North Am. J. Fish. Manag.*, **13**, 291-303.
- Rossi-Santos, M., and Podos, J. (2006). "Latitudinal variation in whistle structure of the estuarine dolphin *Sotalia guianensis*," *Behaviour*, **143**, 347–364.
- Ryabov, V. A. (2014). "Acoustic signals and echolocation system of the dolphin," *Biophysics (Oxf.)*, **59**, 135–147.
- Rydell, J. (2004). "Evolution of bat defense in lepidoptera: alternatives and complements to ultrasonic hearing," in *Echolocation in bats and dolphins*, edited by J. A. Thomas, C. F. Moss, and M. Vater (The University of Chicago Press, Chicago), pp. 331-339.
- Sargeant, B. L., Mann, J., Berggren, P., and Krützen, M. (2005). "Specialization and development of beach hunting, a rare foraging behavior, by wild bottlenose dolphins (*Tursiops* sp.)," *Can. J. Zool.*, **83**, 1400–1410.
- Sayigh, L. S., Esch, H. C., Wells, R. S., and Janik, V. M. (2007). "Facts about signature whistles of bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*," *Anim. Behav.*, **74**, 1631–1642.
- Shane, S. H. (1990). "Behavior and ecology of the bottlenose dolphin at Sanibel Island, Florida," in *The bottlenose dolphin*, edited by S. Leatherwood, and R. R. Reeves, (Academic Press, San Diego), pp. 245-265.

- Simões-Lopes, P. C. (1991). "Interaction of coastal populations of *Tursiops truncatus* with the mullet artisanal fisheries in southern Brazil," *Biotemas*, **4**, 83–94.
- Simões-Lopes, P. C., Fábian, M. E., and Menegheti, J. O. (1998). "Dolphin interactions with the mullet artisanal fishing on southern Brazil," *Rev. Bras. Zool.*, **15**, 709–726.
- Simões-lopes, P. C., and Fábian, M. E. (1999). "Residence patterns and site fidelity in bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus* (Montagu) (Cetacea, Delphinidae) off southern Brazil," *Rev. Bras. Zool.*, **16**, 1017–1024.
- Simões-Lopes, P. C. (2005). *O luar do delphim: a maravilhosa aventura da história natural* (Editora Letradágua, Joinville), 304 pp.
- Smolker, R.A., Richards, A., Connor, R.C., and Popper, R. (1992). "Sex differences in patterns of association among Indian Ocean bottlenose dolphins," *Behaviour*, **123**, 37–69.
- Smolker, R. A., Mann, J., and Smuts, B. B. (1993). "Use of signature whistles during separations and reunions by wild bottlenose dolphin mothers and infants," *Behav. Ecol. Sociobiol.*, **33**, 393–402.
- Yovel, Y., and Au, W. W. L. (2010). "How can dolphins recognize fish according to their echoes? A statistical analysis of fish echoes," *PLoS One*, **5**, 1 – 10.
- Wells, R. S., and Scott, M. D. (2002). "Bottlenose dolphin," in *Encyclopedia of marine mammals*, edited by W. F. Perrin, B. Würsig, and J. G. M. Thewissen (Academic Press, London), pp. 122-128.

CAPÍTULO 1

Estratégias de forrageio e uma estrutura social modular influenciam características acústicas dos assobios dos botos-da-tainha (*Tursiops truncatus*)?

Resumo

A influência das relações sociais e do contexto comportamental nas características dos assobios emitidos por *Tursiops truncatus* de vida livre foi estudada para a população residente em Laguna, sul do Brasil. Localmente conhecidos como botos-da-tainha, devido ao comportamento peculiar de interagir com pescadores artesanais, esta população apresenta uma estrutura social modular conhecida. Estes módulos são definidos, em parte, pelo comportamento de interação com os pescadores na chamada pesca cooperativa, a qual é realizada por aproximadamente 40% da população. Assim, os assobios destes animais foram coletados e analisados quanto ao comportamento de forrageio e módulo social. Seis classes de assobios foram definidas – ascendente, descendente, côncavo, convexo, múltiplo e tonal - e submetidas ao teste de qui-quadrado, para verificar possível variação de frequência de uso entre estratégias de forrageio: com e sem interação com pescadores. Mostraram-se predominantes na população os assobios descendentes e ascendentes, com variação do repertório acústico influenciado pela pesca cooperativa. A influência do comportamento e dos módulos sociais nos parâmetros acústicos dos assobios foi verificada para as variáveis: duração, frequência inicial, frequência final, frequência máxima, frequência mínima, número de pontos de inclinação e número de inflexões. Tais parâmetros permitiram a distinção, através de uma Análise de Função Discriminante (DFA) e uma Análise Multivariada de Variância (MANOVA), tanto dos módulos sociais quanto dos comportamentos de forrageio, distinguindo a pesca cooperativa das demais estratégias de forrageio. As variáveis que melhor explicam os agrupamentos social e comportamental foram a duração e o número de inflexões dos assobios. Estes resultados mostram que o estado comportamental e as relações sociais influenciam diretamente o uso do repertório e os parâmetros acústicos dos assobios.

Palavras chaves: Acústica, pesca cooperativa, estrutura social, comportamento de forrageio.

Abstract

Influence of social relations and behavioral context in the whistles characteristics emitted by free-ranging *Tursiops truncatus* was studied for a resident population in Laguna, south of Brazil. Locally called “botos-da-tainha”, due the unique behavior of interacting with artisanal fishermen, this population presents a known social modular structure. These modules are defined, in part, by interactive behavior with fishermen in the called cooperative fishery that is realized by approximately 40% of population. Thus, whistles of these animals were collected and analyzed as to foraging behavior and social module. Six whistles classes were defined - ascending, descending, concave, convex, multiple and tonal - and submitted to qui-square test, to verified possible variation in use frequency between foraging strategies: with and without interaction with fishermen. Been predominant in population the whistles descending and ascending, with acoustic repertoire variation due to cooperative fishery. Behavior and social modules influences in acoustic parameters of whistles were verified for the variables: duration, beginning frequency, end frequency, maximum frequency, minimum frequency, number of inclination points, and number of inflections. With these parameters was possible to distinguish, through of Discriminant Function Analysis (DFA) and Multivariate Analysis of Variance (MANOVA), either social modules as foraging behavior, distinguishing the cooperative fishery of other foraging strategy. The variables that explain better both behavioral and social grouping were duration and number of inflections of whistles. These results shown behavioral state and social relationships influence directly repertoire use and acoustics parameters of whistles.

Keywords: Acoustics, cooperative fishery, social structure, foraging behavior.

Introdução

Várias espécies de delfínídeos, entre elas *Tursiops truncatus*, apresentam uma organização social dinâmica e flexível, conhecida como fissão-fusão (Smolker *et al.*, 1992; Connor *et al.*, 2000; Lusseau *et al.* 2006). Porém, apesar de se relacionarem com todos os indivíduos dentro da população, espécies como *Sotalia guianensis* e *T. truncatus* apresentam certo grau de organização em módulos sociais dentro de

uma mesma população (Cantor *et al.*, 2012; Daura-Jorge *et al.* 2012). Diante disso, é esperado que a acústica destas espécies seja influenciada pela organização social que apresentam, visto que estes animais utilizam o som como forma de comunicação (e.g., Herzing, 2000).

Existe uma aparente relação entre o repertório acústico e a estrutura social apresentada pelos cetáceos (Tyack, 1986). Espécies menos gregárias, como baleias, ou espécies com grupos sociais estáveis, como as orcas, apresentam predominantemente sons compartilhados entre os indivíduos, enquanto espécies com estrutura social mais dinâmica e que vivem em grandes grupos tendem a apresentar sons personalizados, como é o caso de algumas espécies de delfínidos (Tyack, 1986). Para os delfínidos, um dos tipos sonoros relacionados à comunicação em diferentes contextos são os assobios (Herzing, 2000), os quais vêm sendo amplamente estudados. O assobio assinatura (Caldwell e Caldwell, 1965; Caldwell *et al.*, 1990) representaria justamente a identidade sonora dos golfinhos, que permitiria o reconhecimento de cada indivíduo dentro da população. Porém, mesmo havendo assinaturas sonoras, para que as relações sociais sejam estabelecidas e mantidas alguns sons, ou parâmetros acústicos, são compartilhados. Neste sentido, estudos mostram a existência de características acústicas dos assobios que permitem a distinção entre populações (Rendell *et al.*, 1999; Bazúa-Dúran, 2004; Bazúa-Dúran e Au, 2004; Azevedo e Van Sluys, 2005; Rossi-Santos e Podos, 2006; Papale *et al.*, 2013).

Assim, a relação entre repertório acústico e a estrutura social parece ser tão variável quanto as próprias relações sociais apresentadas pelos cetáceos. Resta investigar até que nível estas duas características se associam. No caso das populações de delfínidos que apresentam módulos sociais, os assobios poderiam ser distintos, em algum aspecto, em nível destes módulos? Poucos estudos investigaram tal questão, sendo necessário estudar uma população que tenha sua estrutura social conhecida.

Em Laguna, sul do Brasil, uma população residente de *T. truncatus* apresenta um comportamento de forrageio singular que modula sua estrutura social. Os botos-da-tainha, como são conhecidos, participam da chamada pesca cooperativa. Este comportamento consiste no cerco e condução dos cardumes até os pescadores artesanais, nas margens da laguna. Os pescadores, com suas tarrafas, aguardam a aproximação e “sinalização” dos botos para lançar as redes (Simões-Lopes, 1991; Simões-Lopes *et al.*, 1998). A interação requer sincronia

entre botos e pescadores, para que a captura dos peixes aconteça no momento certo, rendendo peixes em maior quantidade e de maior tamanho para ambos (Simões-Lopes et al., 1998). Porém, nem todos os botos realizam este comportamento, o que determina os módulos sociais identificados na população. Os botos que cooperam com os pescadores, chamados de botos cooperativos, passam mais tempo entre si do que com botos que não cooperam com os pescadores (Daura-Jorge *et al.*, 2012). As peculiaridades e informações que se têm desta população fazem dela um excelente modelo para verificar não só a hipótese da relação de características acústicas dos assobios com módulos sociais, como também a influência do comportamento nos parâmetros acústicos destes sons.

O contexto comportamental tem se mostrado importante na definição do repertório e nos parâmetros acústicos dos assobios, com certos tipos de assobios relacionados a determinados comportamentos (Janik *et al.*, 1994; Hawkins e Gartside, 2010; Díaz López, 2011). Este tema ainda é pouco explorado pelos estudos de acústica e deve ser investigado principalmente para comportamentos que são exclusivos de certas populações, para que possamos ampliar nossos conhecimentos sobre as características acústicas que são importantes na transmissão de informações.

A partir do que se conhece sobre os fatores social e comportamental da população de botos-da-tainha de Laguna, e considerando as lacunas preexistentes no conhecimento quanto à influência de tais fatores nas características dos assobios, este trabalho visa responder às seguintes perguntas: (1) o repertório dos assobios é utilizado de modo diferenciado durante a pesca cooperativa, em comparação a outras estratégias de forrageio dos botos? (2) As características dos assobios dos botos-da-tainha são influenciadas pelo comportamento de pesca cooperativa, pelo módulo social ao qual os botos pertencem, ou tanto pelo comportamento quanto pelo módulo social? As respostas a estas perguntas podem contribuir para o entendimento de processos de transmissão de informações através dos assobios, além de colaborar para a compreensão do comportamento complexo de interação entre botos e pescadores. Encontrar um tipo predominante de assobio para a pesca cooperativa e os parâmetros acústicos que permitem diferenciar os assobios deste comportamento das demais estratégias de forrageio, fortalece a hipótese de que o desenvolvimento e a persistência da interação entre botos e pescadores dependem também do processo de transmissão de informações entre os

botos. E a distinção dos assobios entre os módulos sociais da população, os quais são influenciados pela pesca cooperativa, reforça a importância da comunicação para a manutenção e estreitamento das relações sociais destes animais.

Material e métodos

O estudo foi realizado com a população de botos-da-tainha (*Tursiops truncatus*) que habita o complexo estuarino Santo Antônio do Anjos-Imaruí-Mirim, localizado em Laguna, Estado de Santa Catarina (28°28'54" S; 48°46'56" W) (Fig. 1). As gravações foram realizadas a partir de pontos de terra e de barco, no período entre 7h00min e 18h00min. Os registros a partir dos pontos de terra foram feitos em quatro locais na margem norte do Canal da Barra, onde ocorre a pesca cooperativa: Praia da Tesoura, Praia do Quarto, Toca da Bruxa e Iate Clube (Fig. 1). Estas coletas foram feitas mediante a presença dos botos, cooperando ou não com os pescadores. Os grupos registrados eram simultaneamente fotografados e gravados. No interior da Lagoa, as coletas foram realizadas com barco de alumínio de 5 metros de comprimento e motor de popa de 15 hp. Os botos eram procurados ativamente e, quando encontrados, aproximava-se o barco para a realização do registro fotográfico. Assim que todos os indivíduos do grupo tivessem sido fotografados, e não havendo afastamento ou chegada de novos indivíduos no grupo, o motor da embarcação era desligado e iniciava-se a gravação. Tanto para as coletas feitas por terra quanto para as coletas realizadas por barco, caso houvesse aproximação de um ou mais botos que não pertenciam ao grupo amostrado durante o período de registro fotográfico ou durante a sessão de gravação, a amostra era posteriormente descartada, não sendo utilizada para as análises.

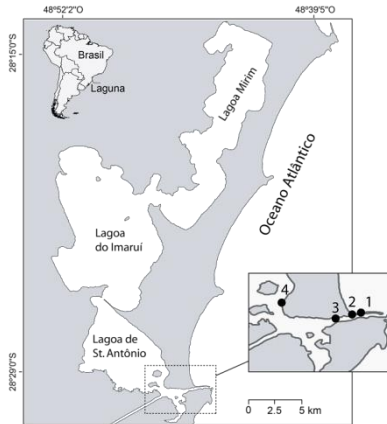


Fig. 1 – Complexo lagunar Santo Antônio dos Anjos-Imaruí-Mirim. Em detalhe, pontos de gravação por terra: 1- Praia da Tesoura, 2- Praia do Quarto, 3- Toca da Bruxa, 4- Iate Clube.

As coletas realizadas em um mesmo dia eram feitas de modo que após o registro de um grupo de botos aguardava-se a partida deste e chegada de outro grupo, nas coletas feitas por terra, ou a partir de busca ativa por outros grupos, nas coletas feitas por barco. Dada a dinâmica de deslocamento e ocupação da área de estudo pelos botos, principalmente no interior da laguna, nem sempre foi possível garantir, em campo, que os grupos registrados eram diferentes dos já registrados anteriormente no mesmo dia. Porém, a partir dos registros fotográficos dos grupos, foi possível posteriormente confirmar a composição de cada grupo e, se necessário, excluir algumas das amostras de grupos registrados mais de uma vez.

Para cada grupo amostrado registrou-se o número de botos e se estavam interagindo com pescadores. Foram considerados comportamentos de pesca cooperativa apenas as ocasiões em que houve pelo menos uma aproximação dos botos frente aos pescadores, seguida de lance de tarrafas, durante todo o período de permanência do grupo no local onde se encontravam os pescadores.

Os registros sonoros da população foram coletados em dois períodos. Os primeiros registros visavam a avaliação da variação do repertório de assobios utilizado durante a pesca cooperativa, em

comparação a momentos de forrageio sem a interação com os pescadores (chamado simplesmente de forrageio sem interação). Posteriormente, os registros foram feitos associados à foto-identificação, para reconhecimento individual dos botos e identificação dos botos cooperativos e dos botos não cooperativos. A partir disso foi possível comparar os parâmetros acústicos dos assobios dos botos cooperativos durante a pesca cooperativa com os assobios destes mesmos botos em forrageio sem interação, e assobios dos botos cooperativos com aqueles dos botos não cooperativos em forrageio. A identificação dos botos também possibilitou verificar a existência de variação nos parâmetros acústicos que possam distinguir os assobios conforme o módulo social do qual os botos fazem parte.

Varição no repertório acústico

Para avaliar a variação do repertório acústico foram realizados registros sonoros entre março/2010 a setembro/2011, totalizando 11 dias de campo. Utilizou-se um hidrofone Aquarium AQ-9, com frequência de amostragem de 0,01 a 100 kHz, sensibilidade de -180 dB re: 1 V/ μ Pa; um gravador Sony DAT PCM-M1, que grava a uma taxa de 48 kHz, permitindo uma frequência máxima de gravação de 22 kHz; fitas de áudio digital (DAT), com capacidade de 60 minutos de gravação; um fone de ouvido. Nesta fase do trabalho os botos não foram fotografados, visto que o objetivo era apenas coletar os assobios da população durante o forrageio, sem a necessidade da identificação dos indivíduos que compunham os grupos.

Cada grupo de botos foi registrado por um tempo máximo de 20 minutos. Na tentativa de garantir gravações apenas da atividade de forrageio, foram considerados pertencentes a um grupo os botos que se encontravam interagindo com os pescadores e no entorno também em atividade de forrageio, dentro de um raio de 200 metros (avaliado visualmente), durante a pesca cooperativa, e botos em atividade de forrageio dentro de um raio de 100 metros (avaliado visualmente) e sem outros indivíduos nas proximidades, para forrageio sem interação. Estas distâncias foram definidas após algumas observações em campo quanto à capacidade de captação do equipamento de gravação e a distância em que os botos se encontravam deste. Durante as gravações feitas de barco, o afastamento do grupo de botos que estava sendo registrado a uma distância maior do que 100 metros reduzia consideravelmente a captação de suas emissões sonoras. A partir disso, concluiu-se que, mesmo não havendo garantias de não estar registrando o som de outros

botos que se encontravam no interior da laguna, os registros de sons de animais a distâncias maiores do que 100 metros seriam de baixa intensidade sonora e, conseqüentemente, descartada durante a triagem das amostras. Também se constatou que a presença de pedras adentrando as águas da laguna, como pequenos molhes, reduzia consideravelmente a intensidade sonora do som proveniente da região posterior a estas pedras (Fig. 2). Estes molhes encontram-se principalmente nos pontos de gravação por terra: Praia da Tesoura, Praia do Quarto e Toca da Bruxa.

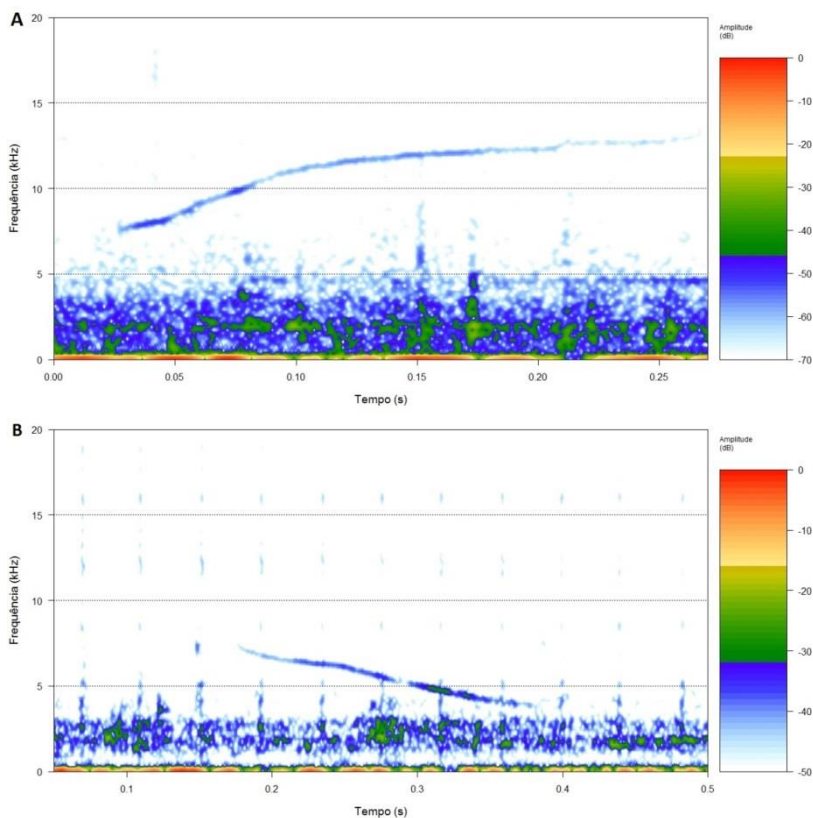


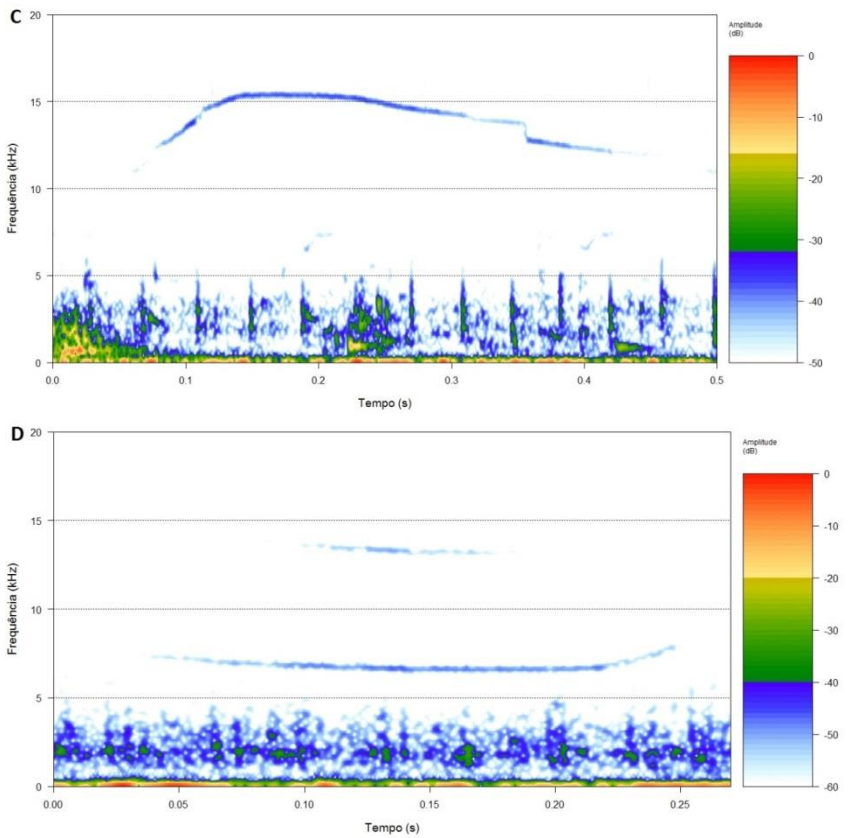
Fig. 2 – Vista panorâmica das praias da Tesoura e do Quarto, no canal de desembocadura do estuário de Laguna (Canal da Barra). As flechas contínuas indicam a presença dos molhes de pedras, que atenuam os sons provenientes dos locais posteriores a estes molhes, a partir do referencial da Praia da Tesoura (parte central da imagem), representados pelas flechas pontilhadas. Usando como referencial a praia do Quarto (à direita na imagem), o som atenuado seria aquele proveniente da Fonte sonora 2 e 3.

Outra precaução adotada para reduzir a amostragem de sons não pertencentes ao grupo de botos amostrado foi a exclusão das análises de qualquer amostra em que houve aproximação de outros botos, não pertencentes ao grupo amostrado, durante o período de gravação.

Após as coletas as gravações foram digitalizados das fitas DAT para o computador através do programa Raven Lite versão 1.0, sendo salvos em formato WAVE (.wav) com frequência de amostragem de 44.100 Hz e 24 bit. Na digitalização, cada gravação foi separada em segmentos de 60 segundos, posteriormente editadas em segmentos de 55 segundos, que passaram a constituir as amostras analisadas. Grupos de botos com mais de 10 minutos de gravação tiveram no máximo 12 amostras analisadas, excluindo-se as amostras do início e do final da gravação do grupo, ou excluindo-se amostras com ruído de fundo intenso, causado pela passagem de embarcações durante a gravação. O uso de no máximo 12 amostras dos grupos gravados por mais de 10 minutos teve por objetivo evitar a superamostragem destes grupos.

Através de sonogramas criados pelo programa Raven os assobios presentes nas gravações foram contados e categorizados quanto à sua forma em: ascendente (frequência inicial menor do que a frequência final) (Fig. 3A), descendente (frequência inicial maior do que a frequência final) (Fig. 3B), convexo (início ascendente e final descendente) (Fig. 3C), côncavo (início descendente e final ascendente) (Fig. 3D), múltiplo (mais de uma mudança de descendente para ascendente, ou vice-versa, podendo iniciar como descendente ou ascendente) (Fig. 3E), tonal (sem variação de frequência) (Fig. 3F) (e.g., Bazúa-Dúran, 2004; Azevedo e Van Sluys, 2005; Azevedo *et al.*, 2007; Díaz López, 2011).





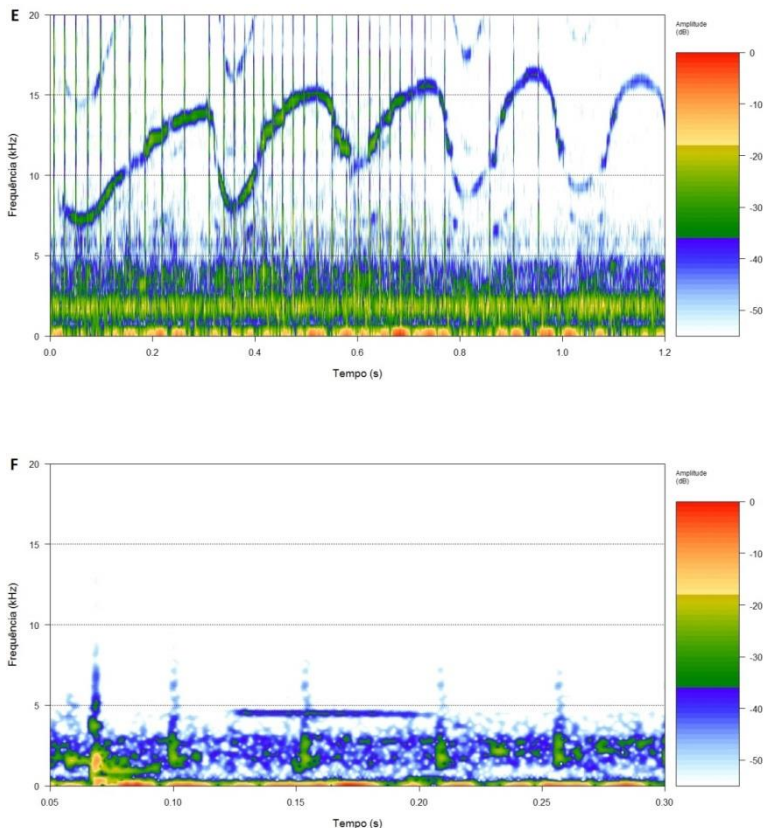


Fig. 3 – Sonogramas ilustrativos dos assobios de cada categoria: A - assobio ascendente; B - assobio descendente, simultâneo à ecolocalização; C - assobio convexo, simultâneo à ecolocalização em menor frequência; D - assobio concavo, com harmônico parcial; E - assobio múltiplo, com harmônico parcial e simultâneo à ecolocalização; F – assobio tonal, simultâneo à ecolocalização. (Sonogramas ilustrativos, elaborados utilizando o pacote *seewave* no ambiente R (Sueur *et al.*, 2008)).

Variação nos parâmetros acústicos

Para avaliação dos parâmetros acústicos os registros foram realizados entre junho/2013 a maio/2014, totalizando 30 dias de coletas. Utilizou-se o mesmo hidrofone das primeiras coletas, porém acoplado a um gravador digital portátil Sony PCM-M10. Todas as gravações foram

feitas no formato WAVE, a uma taxa de 96 kHz e 24 bit, permitindo uma frequência máxima de gravação a 48 kHz. Cada grupo gravado teve a nadadeira dorsal de todos os seus indivíduos fotografados com uma câmera fotográfica digital Cannon (EOS 60D), com lente AF Cannon 35-300 mm ou lente Cannon EF 100-400 mm.

Os registros por terra foram feitos principalmente na Praia da Tesoura e Praia do Quarto (Fig. 1 e 2), dada a maior frequência de ocorrência da pesca cooperativa nestes locais. Os grupos registrados, tanto por terra quanto por barco, apresentavam-se a uma distância máxima de 100 metros do hidrofone e não foram observados quaisquer outros botos em um raio de 200 metros, minimizando o registro sonoro de outros indivíduos pelo equipamento, conforme relatado anteriormente. Além disso, os pontos de gravação por terra onde a maioria das gravações foi realizada neste período do trabalho, que são a Praia da Tesoura e a Praia do Quarto, caracterizam-se pela presença dos molhes de pedras, descritos anteriormente (Fig. 2), o que reduz a intensidade sonora de sons provenientes de fora do perímetro delimitado pelos molhes destas praias. Os possíveis registros de sons de outros indivíduos não pertencentes ao grupo gravado, localizados além do raio de 200 metros, foram minimizados na triagem e avaliação dos sons, onde apenas os assobios com boa visualização (intensidade sonora do assobio maior do que o ruído de fundo) foram considerados. Cada gravação teve duração aproximada de 5 minutos.

A identificação dos botos foi feita por comparação da nadadeira dorsal com um catálogo pré-existente. Cada boto foi identificado individualmente e classificado como sendo “boto cooperativo” ou “boto não cooperativo”, conforme a estrutura social descrita para a população por Daura-Jorge *et al.* (2012) (Fig. 4), porém sem a separação dos dois módulos sociais formados por botos não cooperativos. Para casos em que o boto não pode ser reconhecido na estrutura descrita, por ser um animal novo ou apresentar novas marcas que antes não permitiam sua identificação, a classificação foi feita com base no registro de participação do indivíduo na pesca cooperativa durante o período do presente estudo.

A classificação dos grupos de botos como cooperativos ou não cooperativos foi feita a partir dos botos que compunham cada grupo. Porém, nem todos os grupos eram formados apenas por botos de um mesmo módulo social. Para minimizar este problema, foram usadas as gravações apenas de grupos os quais 75% ou mais dos botos pertenciam ao mesmo módulo social. No caso dos botos cooperativos, somente um

grupo de botos cooperativos, com três indivíduos, apresentava um boto não cooperativo.

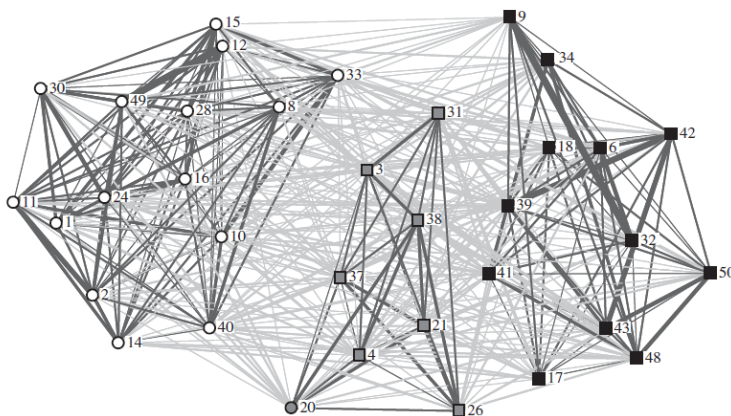


Fig. 4 – Rede social da população de botos-da-tainha (*Tursiops truncatus*) de Laguna, SC, apresentando os três módulos, definidos pelo comportamento de pesca cooperativa. Módulo 1 – símbolos brancos, composto os botos cooperativos (círculos); Módulo 2 – símbolos cinza, composto predominantemente por botos não cooperativos, a exceção do indivíduo 20; Módulo 3 – símbolos pretos, composto por botos não cooperativos (Daura-Jorge *et al.*, 2012).

As gravações foram analisadas através do software Raven Pro 1.5. Para cada grupo foram analisados no máximo 5 minutos de gravação, padronizando assim o tamanho amostral. Através de sonograma gerado pelo software, foram analisados assobios com boa visualização (intensidade sonora do assobio maior do que o ruído de fundo). Destes assobios foram medidos: duração (em segundos), frequência inicial, frequência final, frequência máxima, frequência mínima (em Hz, para todos os valores de frequência), número de pontos de inclinação (avaliação visual de pontos onde a modulação da frequência altera sua inclinação, sem necessariamente mudar de ascendente para descendente, ou vice-versa) e número de inflexões (avaliação visual de pontos onde a modulação do assobio muda de ascendente para descendente ou vice-versa) (Fig. 5).

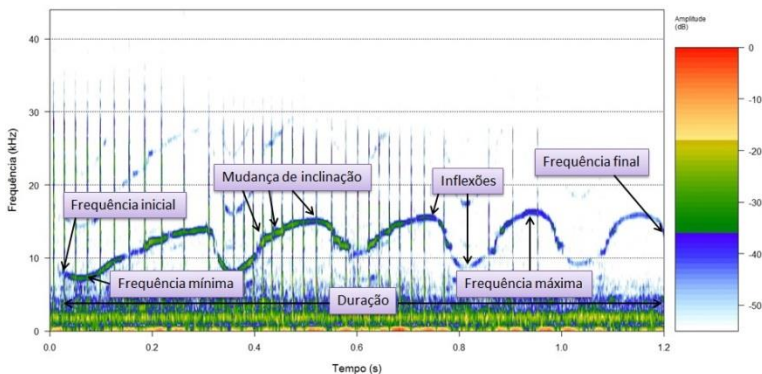


Fig. 5 – Assobio múltiplo com indicação dos parâmetros considerados para as medidas de frequências, duração, mudanças de inclinação e pontos de inflexão. Sonograma ilustrativo elaborado usando o pacote *seewave* no ambiente R (Sueur *et al.*, 2008).

Após a análise e mensuração das variáveis de todos os assobios presentes nas gravações, apenas uma parte do total dos assobios foi utilizada nas análises estatísticas, visto que assobios produzidos dentro de um curto intervalo de tempo, pelo mesmo indivíduo, podem ser repetições do mesmo assobio (e.g., Kershenbaum *et al.*, 2014), o que consistiria em pseudo-réplicas. Para minimizar este problema, apenas dois assobios de cada boto em um mesmo dia de coleta foram aleatoriamente selecionados e utilizados. A aleatorização se deu de modo que o primeiro assobio encontrado na gravação e o assobio registrado após metade do total de assobios registrados na gravação foram utilizados para as análises estatísticas. No caso de grupos, foram utilizados dois assobios por indivíduo do grupo de um mesmo dia de coleta. Ou seja, grupos com quatro indivíduos, por exemplo, tiveram oito assobios de sua gravação aleatoriamente amostrados. Nestes casos ao menos um assobio, entre um e outro selecionado para as análises, foi excluído da amostragem, não sendo utilizados assobios registrados sequencialmente na gravação. Não é possível garantir que os assobios amostrados nestas situações são de botos diferentes do grupo, porém caso estes grupos tivesse a mesma quantidade de assobios amostrados para os indivíduos solitários provavelmente haveria uma sub-amostragem da variedade de assobios, de modo que, para estes casos, assumiu-se o risco de pseudo-réplicas na tentativa de obter maior variabilidade de assobios.

Análises estatísticas

Na avaliação da variação do repertório de assobios, a diferença na distribuição dos assobios em cada categoria (ascendente, descendente, côncavo, convexo, tonal e múltipo) para os comportamentos de pesca cooperativa e forrageio sem interação foi analisada através do teste do qui-quadrado (χ^2).

Para análise da variação dos parâmetros acústicos, para diferenciação de grupos, todas as variáveis medidas dos assobios foram previamente testadas quanto à normalidade pelo teste de Shapiro-Wilks. Como alguns dados não apresentavam distribuição normal, os mesmos foram transformados para $\log(x+1)$, buscando uma aproximação adequada da normalidade. Na sequência, utilizou-se primeiramente uma análise de componentes principais (PCA), a partir de uma matriz de covariância, para confirmar a independência das variáveis medidas e verificar qual delas melhor explica a ordenação dos assobios. Nessa avaliação todas as variáveis dos assobios foram utilizadas (duração, frequência inicial, frequência final, frequência máxima, frequência mínima, pontos de inclinação e inflexões). Em seguida, para testar se as características dos assobios respondem ao comportamento e/ou aos módulos sociais, utilizou-se uma análise de função discriminante (DFA) aplicada em três situações: 1- comparação entre os assobios de pesca cooperativa e forrageio sem interação, independente do módulo social ao qual pertencem os botos gravados em cada um dos comportamentos; 2- comparação entre os assobios de botos cooperativos e botos não cooperativos, independente do comportamento de forrageio apresentado no momento da gravação; 3- comparação entre os assobios de botos cooperativos em pesca cooperativa, de botos cooperativos em forrageio sem interação e de botos não cooperativos, ou seja, considerando comportamento associado ao módulo social. Além de testar a consistência dos grupos propostos, a DFA também revela a principal diferença acústica entre os grupos, pois define uma combinação linear que melhor caracteriza a separação entre os grupos a partir das variáveis quantitativas preditoras. Por isso, para a DFA também se utilizou todas as sete variáveis medidas dos assobios. Por fim, para testar a consistência dos grupos selecionados e submetidos à DFA, uma análise multivariada de variância (MANOVA) foi aplicada pelo teste T^2 de Hotelling para cada uma das situações testadas pela DFA. Neste caso, apenas cinco variáveis foram utilizadas, sendo elas a duração e as frequências (inicial, final, máxima e mínima). Esta opção foi feita para

que a ausência de pontos de inclinação e inflexões não fosse considerada como semelhança entre os assobios dos grupos testados. Todos os testes estatísticos foram realizados através do programa R versão 3.1.1 (R Core Team, 2014), utilizando os pacotes MASS e Vegan.

Resultados

Variação no repertório acústico

Analisou-se 3,5 h de gravações, referentes a 32 grupos: cinco indivíduos solitários, sete grupos de dois botos, seis grupos de três botos e 15 grupos com quatro ou mais botos. Em pesca cooperativa foram registrados 16 grupos, com o máximo de cinco indivíduos. Em forrageio sem interação alguns dos 16 grupos registrados apresentaram até sete indivíduos.

Foram registrados 1.708 assobios, dos quais 1.691 puderam ser classificados quanto à modulação de frequência (forma). Deste total, 695 assobios foram coletados em pesca cooperativa e 996 em forrageio sem interação.

De modo geral, assobios descendentes foram mais frequentes, seguidos pelos ascendentes (Fig. 6). Estas duas categorias resultaram em 69,2% de todos os assobios avaliados. Porém, assobios ascendentes foram mais frequentes no forrageio sem interação (36,9% dos assobios emitidos durante este comportamento), bem como assobios côncavos (10,2%) foram mais numerosos do que os convexos (7,9%). Um padrão diferente foi encontrado para a pesca cooperativa, onde os assobios descendentes (43,3% dos assobios emitidos durante a pesca cooperativa) somaram o dobro dos assobios ascendentes (21,4%), e os convexos (13,4%) foram mais frequentes do que os côncavos (11,4%) (Fig. 6) ($\chi^2_{0,05; 5} = 64,9, P < 0,001$).

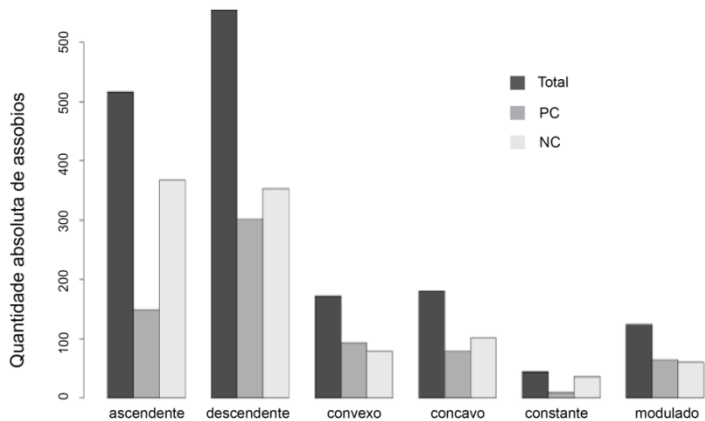


Fig. 6 – Distribuição total dos assobios por categoria, em cada estratégia de forrageio: PC – pesca cooperativa; NC – forrageio sem interação.

Variação nos parâmetros acústicos

Foram analisados 364 assobios de 4,3 horas de gravação de 32 grupos: nove indivíduos solitários, doze grupos de dois indivíduos, cinco de três indivíduos e seis de quatro ou mais botos. Do total de assobios, 120 foram utilizados para os testes estatísticos: 70 assobios de botos cooperativos durante a pesca cooperativa, 18 assobios de botos cooperativos em forrageio sem interação, e 32 assobios de botos não cooperativos.

Os fatores comportamento e módulo social mostraram-se relevantes para a distinção dos parâmetros acústicos dos assobios avaliados.

A PCA gerou sete componentes, dos quais os três primeiros explicam 91,25% da variação total apresentada pelo conjunto de assobios. O Componente 1 explica 52,34% desta variação, tendo as mudanças de inclinação como variável mais correlacionada com a medida deste Componente. Para o Componente 2, que explicou 32,36% da variação, a variável mais correlacionada com sua medida foi a frequência mínima. O Componente 3 apresentou a variável inflexão mais correlacionada com a sua medida, e explicou 6,55% da variação total dos dados (Tabela 1).

Tabela 1 – *Loadings* dos três primeiros Componentes Principais, da análise de componentes principais (PCA), mostrando as variáveis acústicas que melhor explicam a ordenação dos assobios e a porcentagem de explicação da variação por cada Componente. Em destaque, as variáveis, e seus respectivos valores, que mais se correlacionam com a medida de cada Componente: mudança de inclinação para o Componente 1, frequência mínima para o Componente 2 e inflexão para o Componente 3.

Variáveis acústicas	Componentes principais		
	1	2	3
duracao (s)	-0,128		
finitial (Hz)		-0,516	0,406
ffinal (Hz)	-0,160	-0,501	-0,442
fmaxima (Hz)	-0,321	-0,320	-0,233
fminima (Hz)		-0,542	0,201
mudinc	0,810	0,260	-0,261
inflexao	-0,429	0,125	0,688
% explicação da variação	52,34	32,36	6,55

fmaxima = frequência máxima, fminima = frequência mínima, mudinc = mudanças de inclinação.

A análise por DFA encontrou agrupamentos mais consistentes para as propostas de grupos definidos pelos módulos sociais e para a proposta de grupos que associa comportamento e módulo social (Fig. 6 a 9).

A separação dos grupos definidos pelo comportamento, “pesca cooperativa” e “forrageio não cooperativo” (Fig. 7), apresentou habilidade de separação dos grupos pela LDA de apenas 0,3270. Tal valor demonstra que a consistência destes grupos é fraca, o que foi confirmado pelo resultado da MANOVA ($p = 0,126$).

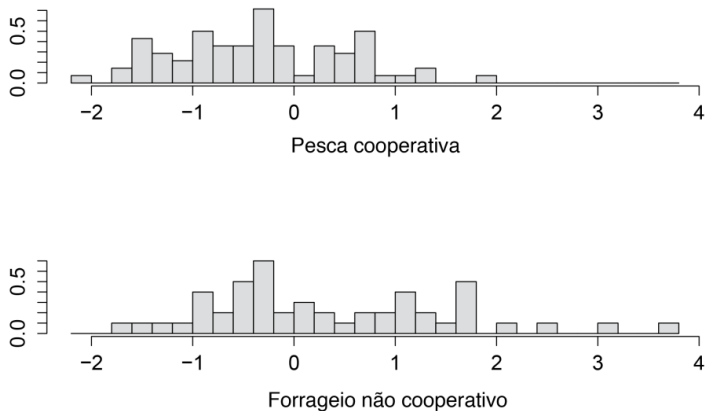


Fig. 7 – Distribuição dos dados referente aos assobios, emitidos em pesca cooperativa e em forrageio não cooperativo, no eixo da função discriminante. Percebe-se marcadamente a sobreposição dos valores, o que sugere fraca consistência dos grupos.

Para os grupos definidos por módulo social, “botos cooperativos” e “botos não cooperativos” (Fig. 8), a habilidade de separação da LDA foi de 0,6419. O modelo final, proposto pela LDA como modelo que melhor separa os dois grupos, exclui as variáveis frequência inicial e frequência mínima. Neste mesmo modelo, as variáveis que melhor explicam a separação dos grupos são as inflexões e a duração do assobio. A MANOVA confirmou os agrupamentos por módulos sociais ($p < 0,001$).

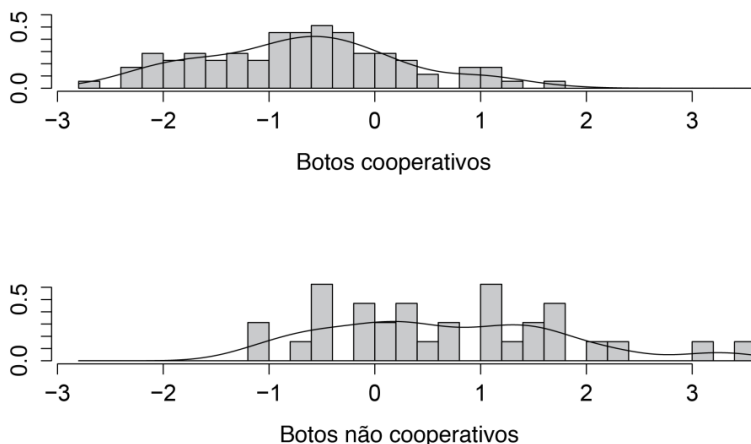


Fig. 8 - Distribuição dos dados referente aos assobios, emitidos por botos cooperativos e por botos não cooperativos, no eixo da função discriminante. Percebe-se um deslocamento à esquerda dos valores para os botos cooperativos e um deslocamento à direita dos valores para os botos não cooperativos.

Na proposta de três grupos, “botos cooperativos cooperando”, “botos cooperativos não cooperando” e “botos não cooperativos” (Fig. 9 e 10), a habilidade de separação apresentada pela LDA foi de 0,5085. O modelo final, proposto pela LDA, que melhor explica a separação dos grupos exclui a variável frequência inicial. Este mesmo modelo indica que, novamente, as variáveis inflexão e duração são as que melhor explicam os grupos propostos. A MANOVA confirmou a consistência destes agrupamentos ($p < 0,001$).

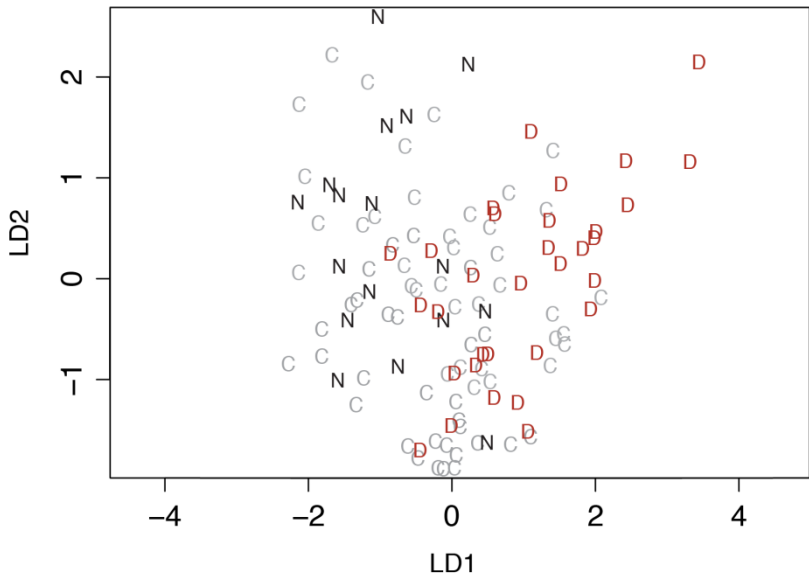


Fig. 9- Distribuição dos dados dos assobios, emitidos por botos cooperativos durante a pesca cooperativa (C), por botos cooperativos em forrageio não cooperativo (N) e por botos não cooperativos (D), nos eixos das discriminantes lineares (LD1 e LD2). Percebe-se uma distinção entre N e D, com sobreposição de C.

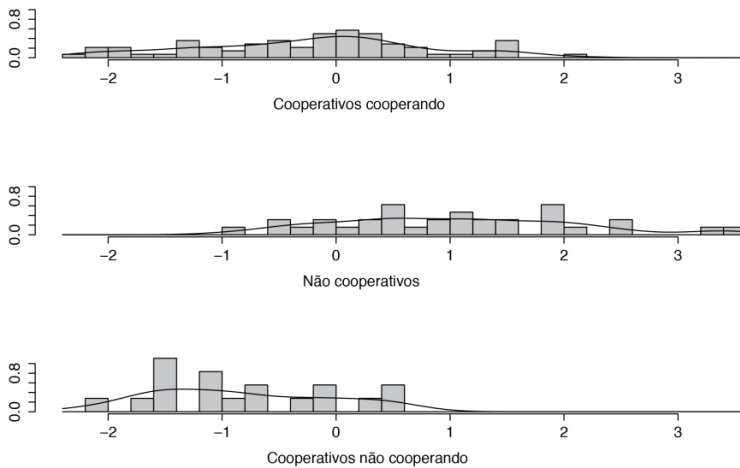


Fig. 10 - Distribuição dos dados referente aos assobios, emitidos por botos cooperativos em pesca cooperativa, por botos não cooperativos e por botos cooperativos em forrageio não cooperativo, no eixo da função discriminante.

Discussão

Os assobios ascendentes e descendentes foram predominantes no repertório da população de botos-da-tainha durante as atividades de forrageio. O repertório associado à pesca cooperativa caracteriza-se pela maior ocorrência de assobios descendentes e os parâmetros acústicos dos assobios são distintos entre as estratégias de forrageio e os módulos sociais apresentados pela população.

O predomínio de determinados tipos de assobios no repertório de *Tursiops truncatus* é relatado para outras populações (e.g., Díaz López, 2011; Azevedo *et al.*, 2007; Hoffmann, 2004), de modo que a maior emissão de assobios descendentes e ascendentes pelos botos-da-tainha pode ser uma particularidade do repertório desta população. Também lhes é peculiar a associação do repertório à estratégia de forrageio da pesca cooperativa. Há relatos da associação do repertório de assobios para outras populações de *Tursiops* spp. de acordo com o estado comportamental apresentado. *Tursiops truncatus* da Sardinia, Itália, emitem mais assobios ascendentes quando estão socializando e mais

assobios múltiplos durante o forrageio (Díaz López, 2011). Para *T. aduncus*, de New South Wale, Austrália, os assobios ascendentes também foram associados à socialização, juntamente com assobios tonais, enquanto assobios convexos apresentaram-se relacionados a deslocamentos e assobios côncavos foram mais frequentes durante momentos de descanso (Hawkins e Gartside, 2010). Contudo, nenhum estudo até então avaliou a associação do repertório acústico para variações de um mesmo contexto comportamental, como no caso de diferentes estratégias de forrageio. Portanto, os resultados aqui encontrados, de assobios ascendentes predominantes durante o forrageio sem interação e assobios descendentes mais frequentes durante a pesca cooperativa, indicam que a relação entre tipo de assobio e comportamento pode chegar a níveis mais específicos, acompanhando variações dentro de cada contexto comportamental.

Com o uso do repertório de assobios associado à estratégia de forrageio adotada, é esperado que os parâmetros acústicos dos assobios também sejam influenciados pelo comportamento de pesca cooperativa. Contudo, a avaliação do agrupamento dos assobios por comportamento não se mostrou consistente. Isto não significa que o comportamento não tenha influência sobre as características acústicas. Díaz López (2011), ao investigar a relação entre comportamento e parâmetros acústicos de assobios, encontrou significância nesta relação ao considerar a composição social dos grupos em sua análise. Assim, avaliar os assobios apenas pelo contexto no qual são emitidos não é suficiente para que haja distinção entre seus parâmetros acústicos. É necessário considerar também o fator social.

O conhecimento da estrutura social dos botos-da-tainha de Laguna permitiu que se testasse o agrupamento dos assobios por módulo social. A princípio, por fazerem parte de uma mesma população e apresentarem organização social de fissão-fusão (Daura-Jorge *et al.*, 2012), é esperado que seus assobios tenham características semelhantes, o que é de extrema importância para a manutenção de suas relações sociais e interações. Porém, um padrão de agrupamento por módulo social foi encontrado e mostrou-se consistente, apesar do valor moderado apresentado pela DFA.

Diferenças significativas entre assobios geralmente são encontradas entre populações distintas (Rendell *et al.*, 1999; Bazúa-Dúran, 2004; Bazúa-Dúran e Au, 2004; Azevedo e Van Sluys, 2005; Rossi-Santos e Podos, 2006; Papale *et al.*, 2013). Algumas propostas para explicar tais diferenças são a influência das relações sociais no

desenvolvimento do repertório de assobios, com assobios mais semelhantes entre indivíduos socialmente mais próximos (Tyack e Sayigh, 1997; Watwood *et al.*, 2004), e a adaptação dos assobios às características ambientais (Rendell *et al.*, 1999; Morisaka *et al.*, 2005). Neste sentido, os resultados aqui encontrados apontam para a importância das relações sociais na distinção dos assobios. Isto porque diferenças, mesmo que sutis, nos parâmetros acústicos de assobios de uma população, que vive sob as mesmas características ambientais, descarta para este caso a possibilidade de variações nos sons devido a características ambientais.

O reflexo da estrutura social nos parâmetros dos assobios indica a relevância das características acústicas na manutenção das relações sociais, colaborando com o que já vem sendo demonstrado por alguns trabalhos. Em Shark Bay, Austrália, três machos que formaram aliança (alto nível de associação e comportamento sincrônico) demonstraram convergência, ao longo dos anos, para um tipo comum de assobio, com a redução da variabilidade no repertório de seus assobios (Smolker e Pepper, 1999). Cinco fêmeas cativas também apresentaram correlação entre os parâmetros de seus assobios e o grupo ao qual pertenciam no cativeiro. As semelhanças entre os assobios não foram significativas quando a comparação foi feita entre os repertórios das fêmeas de mesmo local de captura (McCowan *et al.*, 1998). Deste modo, as semelhanças acústicas entre indivíduos do mesmo módulo social da população de Laguna podem refletir o estreitamento de relações sociais entre os botos que têm em comum o comportamento de cooperação com os pescadores.

Assim, com os resultados apresentados até aqui, temos que o comportamento de pesca cooperativa em si não é suficiente para separar os assobios desta estratégia de forrageio das demais, apesar de influenciar diretamente na frequência de uso de cada tipo de assobio, comprovado pelo predomínio dos assobios descendentes durante a pesca cooperativa. Porém, os módulos sociais são importantes na distinção dos assobios por seus parâmetros acústicos, permitindo o agrupamento conforme o módulo ao qual os botos pertencem. Diante disso, e considerando o resultado do trabalho de Díaz López (2011), citado anteriormente, para avançarmos na compreensão do quebra-cabeça da interação entre botos e pescadores, foi necessário considerar a interação dos fatores comportamental e social na análise dos agrupamentos dos assobios.

A proposta de agrupamento por comportamento e módulo social, simultaneamente, apresentou como resultado a consistência dos grupos propostos, permitindo a confirmação de que o comportamento de pesca cooperativa influencia em uma escala fina as características dos assobios dos botos que a realizam. Indo além da forma do assobio, ao separar os assobios dos botos não cooperativos dos assobios dos botos cooperativos, foi possível confirmar que os botos cooperativos utilizam características acústicas diferentes quando estão realizando a pesca cooperativa.

Neste ponto, vale destacar que, curiosamente, os assobios dos botos cooperativos em forrageio sem interação (não cooperando) são mais divergentes (menos semelhantes) dos assobios dos botos não cooperativos, e os assobios dos botos não cooperativos são menos divergentes (mais semelhantes) dos assobios dos botos cooperativos em pesca cooperativa (cooperando) (Fig. 9 e 10). Dois fatores interessantes podem ser considerados a partir desta observação. Primeiro, o fato dos assobios da pesca cooperativa terem sido gravados principalmente em dois pontos por terra, a Praia da Tesoura e do Quarto, poderia ter influenciado as características dos assobios devido às diferenças ambientais, de relevo e profundidade, destes locais em relação ao restante da laguna, onde os botos não cooperativos foram gravados. Contudo, se os assobios da pesca cooperativa são menos divergentes (mais semelhantes) daqueles dos botos não cooperativos, isto significa que variações ambientais entre os pontos de gravação não são significativas para as diferenças encontradas na estrutura acústica dos assobios. Segundo, os assobios dos botos cooperativos não cooperando sendo mais divergentes (menos semelhantes) daqueles dos botos não cooperativos pode representar o estreitamento de relações sociais entre os botos cooperativos durante um comportamento de forrageio que não é exclusivo deste grupo, visto que durante a pesca cooperativa a própria estratégia de forrageio já acaba por excluir os botos não cooperativos.

Neste ponto é possível perceber o quanto o comportamento de pesca cooperativa e a definição dos módulos sociais da população estão diretamente interligados, não só com relação às próprias relações sociais, mas também no que se refere à comunicação acústica. O próximo passo, que permitirá entender melhor a importância da pesca cooperativa nos parâmetros acústicos dos assobios, e talvez até mesmo compreender a sua influência no módulo social dos botos cooperativos, será a comparação dos assobios entre os três módulos sociais existentes na população, separando os dois módulos que são constituídos

principalmente por botos não cooperativos (Fig. 4). Caso não haja distinção dos assobios entre os módulos sociais formados apenas por botos não cooperativos, isto será um indício de que a interação com os pescadores é um fator determinante em nível de comunicação sonora, sendo responsável pela distinção dos botos cooperativos por parâmetros acústicos dos assobios próprios deste grupo.

De qualquer modo, a partir do resultado aqui encontrado para os agrupamentos considerando simultaneamente módulo social e comportamento, aparentemente a pesca cooperativa como estratégia de forrageio influencia os parâmetros acústicos dos assobios, permitindo a distinção dos assobios dos botos cooperativos quando estão ou não interagindo com os pescadores. A influência do comportamento nos parâmetros acústicos dos assobios é relatada para *T. truncatus* em outra população e em cativeiro. Na Sardenia, a frequência máxima e a duração dos assobios são as variáveis que melhor refletem o estado comportamental (Díaz López, 2011). Em cativeiro, a avaliação do assobio assinatura de um indivíduo durante a realização da tarefa de identificação de objetos apresentou variações na taxa de emissão do assobio e nos parâmetros de frequência e duração (Janik *et al.*, 1994). Ou seja, deve haver um refinamento da informação transmitida pelo assobio que seja importante no desenvolvimento dos comportamentos. No caso da pesca cooperativa, provavelmente uma estratégia de forrageio tão especializada quanto essa requer a transmissão de informações específicas entre os botos. Neste ponto, talvez a pergunta que caiba é quais dos vários parâmetros acústicos dos assobios estão mais relacionado às mudanças comportamentais no forrageio dos botos-da-tainha, e se estes parâmetros são semelhantes em outras populações, sendo adequados para análise e comparação entre diferentes populações ou mesmo entre espécies.

Entre as variáveis definidas para serem testadas para os assobios dos botos-da-tainha, o número de pontos de inclinação foi apontada como principal variável na ordenação apresentada pela PCA, seguida pela variável frequência mínima. Estas variáveis diferem daquelas resultantes da PCA feita por Díaz López (2011), o qual identificou a frequência máxima e a duração como principais responsáveis pela ordenação encontrada. Contudo, o autor não utilizou as mudanças de inclinação como variável, além de ter avaliado diferentes comportamentos ao invés de variações de um mesmo comportamento. A variável pontos de inclinação foi uma das dez variáveis utilizadas por Papale *et al.* (2013) na distinção de assobios de populações de *T.*

truncatus do Atlântico norte e Mar Mediterrâneo, sendo a segunda variável que mais contribuiu para o agrupamento encontrado pelos autores, após a frequência final. Esta variável foi uma das escolhidas para avaliar os assobios dos botos-da-tainha por representar variações mais sutis na estrutura acústica, o que talvez signifique informações mais específicas transmitidas por estes sons. Porém, na avaliação dos agrupamentos pela DFA, os pontos de inclinação não são apontados como variáveis que melhor explicam os modelos.

Os melhores modelos apresentados pela DFA, para explicar os agrupamentos por módulo social e por comportamento e módulo social, apresentaram como principais variáveis explicativas as inflexões e duração dos assobios. Esta última coincide com uma das variáveis que reflete o estado comportamental dos *T. truncatus* da Sardinia, juntamente com a frequência máxima. Ambas as variáveis, inflexão e duração, apresentam maior coeficiente de variação em comparações entre diferentes espécies de golfinhos e entre populações da mesma espécie, para *T. truncatus*, *Sotalia guianensis* e *Stenella longirostris*. Também apresentaram maior variabilidade nos assobios dentro de populações de *T. truncatus*. Em contrapartida, as variáveis de frequência apresentaram menor coeficiente de variação nestes mesmos trabalhos (Steiner, 1981; Ding *et al.*, 1995; Bazúa-Dúran e Au, 2004; Azevedo e Van Sluys, 2005). Para o presente estudo, o modelo mais ajustado para o agrupamento por módulos sociais excluiu as variáveis frequência inicial e frequência mínima. A variável frequência inicial também foi excluída do modelo mais ajustado aos agrupamentos que consideraram comportamento e módulos sociais. Ding *et al.* (1995) sugerem que as inflexões e duração dos assobios refletem a transmissão adicional de informações e que as variáveis de frequência seriam relativamente estáveis, devido em parte a adaptações evolutivas ao ambiente e às limitações de emissão sonora devido ao tamanho corporal.

No caso dos botos-da-tainha, a exclusão das frequências inicial e mínima dos modelos encontrados pode ter outra explicação. É importante lembrar que se apresentam como predominantes na população durante o forrageio os assobios descendentes e ascendentes. Nos assobios descendentes a frequência inicial é a mesma que a frequência máxima, enquanto a frequência final é igual à frequência mínima. O contrário é válido para os assobios ascendentes, nos quais a frequência inicial é igual a frequência mínima e a frequência final igual a máxima. Ou seja, com a exclusão das frequências inicial e mínima dos modelos explicativos da DFA e a indicação das inflexões e duração

como variáveis importantes para os agrupamentos, os modelos acabam por minimizar o efeito dos assobios predominantes na diferenciação dos grupos. Assim, as características dos assobios que diferenciam módulos sociais e comportamentos parecem estar mais relacionadas com os assobios menos frequentes usados pela população. Isto explicaria a consistência moderada encontrada para a distinção dos agrupamentos testados, com padrões que permitem a distinção dos assobios, porém sem deixar de haver semelhanças nas características acústicas para a manutenção das relações sociais da população como um todo.

A consistência dos agrupamentos por módulo social e módulo social associado ao comportamento foram confirmados pela MANOVA, para a qual se utilizou somente as variáveis duração e frequências (inicial, final, máxima e mínima). Estas variáveis vêm sendo usadas em trabalhos de distinção de assobios entre populações de *T. truncatus*, *Sotalia guianensis* e *S. longirostris* (e.g., Rendell et al., 1999; Bazúa-Dúran, 2004; Bazúa-Dúran e Au, 2004; Azevedo e Van Sluys, 2005; Rossi-Santos e Podos, 2006) e em estudos de contextos comportamentais (Díaz López, 2011). Desse modo, os resultados aqui apresentados indicam que mesmo características acústicas menos sutis dos assobios são sensíveis à estrutura social de uma população e a variações comportamentais para um mesmo estado de comportamento, como o forrageio. Além disso, é possível usar certa variedade de assobios para verificar estas relações, de modo mais simplificado em comparação ao trabalho de McCowan *et al.* (1998), que utilizaram apenas um tipo de assobio e avaliaram 38 variáveis para testar as semelhanças acústicas entre fêmeas de *T. truncatus* em cativeiro.

Com os indícios de que estratégia de forrageio e módulos sociais são fatores influentes na determinação dos parâmetros acústicos dos assobios dentro da mesma população, esta relação deve ser melhor explorada por trabalhos futuros, verificando se há uma relação consistente entre assobios e os três módulos sociais dos botos-da-tainha, além de acompanhar mudanças nos parâmetros acústicos da população devido a alterações ambientais e populacionais que influenciem a pesca cooperativa ou a organização da rede social. Para tanto, o acompanhamento dos assobios da população e, principalmente, dos indivíduos separadamente, ao longo do tempo, permitirá a compreensão do progresso nas mudanças dos assobios conforme ocorram mudanças no comportamento de forrageio e nos módulos sociais, possibilitando a compreensão da importância de cada parâmetro acústico na transmissão de informações ou mesmo no estabelecimento e estreitamento de

relações sociais. O estudo continuado dos parâmetros acústico dos assobios também ajudará a somar peças ao quebra-cabeça da pesca cooperativa, colaborando na busca da compreensão da natureza e desenvolvimento desta interação.

Conclusões

Os assobios descendentes e ascendentes caracterizam o repertório acústico dos botos-da-tainha durante o forrageio. A associação do repertório com o comportamento de pesca cooperativa, quando os botos interagem com os pescadores artesanais, é evidente. Durante a pesca cooperativa os assobios predominantes são os descendentes, relação que não é mantida quando o forrageio dos botos acontece sem a presença dos pescadores e os assobios ascendentes são os mais frequentes. Os parâmetros acústicos dos assobios também sofrem influência do contexto comportamental, bem como dos módulos sociais apresentados pela população. É possível diferir os assobios dos botos que participam da pesca cooperativa daqueles dos botos que não realizam tal comportamento. Ainda para os botos cooperativos, há variação nas características acústicas dos assobios conforme estes animais estejam realizando a pesca cooperativa. As variáveis que podem melhor representar tanto as relações sociais quanto as variações comportamentais no forrageio são as inflexões e duração dos assobios. Tais variáveis também aparecem como importantes nas comparações de repertórios de assobios entre populações e entre comportamentos, sugerindo a importância delas na transmissão de informações. As variáveis de frequência, tanto neste quanto em outros trabalhos, aparentam serem mais estáveis, com menor variação relacionada aos fatores social e comportamental. O acompanhamento da acústica desta população e de possíveis mudanças em sua estrutura social ou no desenvolvimento da pesca cooperativa é de grande relevância para a compreensão não só das características acústicas importantes na transmissão de informações, mas também poderão ajudar na compreensão do comportamento peculiar de interação com os pescadores que esta população desenvolveu.

Referências

- Au, Whitlow W.L.; Lammers, M. O. (2007). "Cetacean Acoustics," in *Handbook of Acoustics*, edited by T. D. Rossing (Springer-Verlang, New York), pp. 805–837.
- Azevedo, A. F., and Van Sluys, M. (2005). "Whistles of tucuxi dolphins (*Sotalia fluviatilis*) in Brazil: Comparisons among populations," *J. Acoust. Soc. Am.*, **117**, 1456-1464.
- Azevedo, A. F., Oliveira, A. M., Rosa, L. D., and Lailson-Brito, J. (2007). "Characteristics of whistles from resident bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in southern Brazil," *J. Acoust. Soc. Am.*, **121**, 2978-2983.
- Bazúa-Durán, C. (2004). "Differences in the whistle characteristics and repertoire of bottlenose and spinner dolphins," *An. Acad. Bras. Cienc.*, **76**, 386–392.
- Bazúa-Durán, C., and Au, W. W. L. (2004). "Geographic variations in the whistles of spinner dolphins (*Stenella longirostris*) of the Main Hawaiian Islands," *J. Acoust. Soc. Am.*, **116**, 3757-3769.
- Caldwell, M. C., and Caldwell, D. K. (1965). "Individualized whistle contours in bottlenose dolphin, *Tursiops truncatus*," *Nature*, **207**, 434.
- Caldwell, M. C., Caldwell, D. K., and Tyack, P. L. (1990). "Review of the signature-whistle hypothesis for the Atlantic bottlenose dolphin," in *The bottlenose dolphin*, edited by Leatherwood, S., and Reeves, R. R. (Academic Press, San Diego), pp.199-233.
- Cantor, M., Wedekin, L. L., Guimarães, P. R., Daura-Jorege, F. G., Rossi-Santos, M. R., and Simões-Lopes, P. C. (2012). "Disentangling social networks from spatiotemporal dynamics: the temporal structure of a dolphin society," *Anim. Behav.*, **84**, 641-651.
- Connor, R. C., Wells, R. S., Mann, J., and Read, A. J. (2000). "The bottlenose dolphin: social relationships in a fission-fusion society," in *Cetacean societies: field studies of dolphins and whales*, edited by J.

- Mann, R. C. Connor, P. L. Tyack and H. Whitehead (The University of Chicago Press, Chicago), pp. 91-126.
- Daura-Jorge, F. G., Cantor, M., Ingram, S. N., Lusseau, D., and Simões-Lopes, P. C. (2012). “The structure of a bottlenose dolphin society is coupled to a unique foraging cooperation with artisanal fishermen,” *Biol. Lett.*, **8**, 702–705.
- Díaz López, B. (2011). “Whistle characteristics in free-ranging bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in the Mediterranean Sea: Influence of behaviour,” *Mamm. Biol.*, **76**, 180–189.
- Ding, W., Wursig, B., and Evans, W. E. (1995). “Whistles of bottlenose dolphins: comparisons among populations,” *Aquat. Mamm.*, **21**, 65–77.
- Hawkins, E. R., and Gartside, D. F. (2010). “Whistle emissions of Indo-Pacific bottlenose dolphins (*Tursiops aduncus*) differ with group composition and surface behaviors,” *J. Acoust. Soc. Am.*, **127**, 2652–2663.
- Herzing, D. L. (2000). “Acoustics and social behavior of wild dolphins: implications for a sound society,” in *Hearing in whales and dolphins*, edited by W. W. L. Au, A. N. Popper and R. R. Fay (Springer-Verlag, New York), pp. 225-272.
- Hoffmann, L. S. (2004). *Um estudo de longa duração de um grupo costeiro de golfinhos Tursiops truncatus (Montagu, 1821) (Cetacea, Delphinidae) no sul do Brasil: Aspectos de sua biologia e bioacústica* Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 290.
- Janik, V. M., Dehnhardt, G., and Todt, D. (1994). “Signature whistle variation in a bottlenosed dolphin, *Tursiops truncatus*,” *Behav Ecol Sociobiol.*, **35**, 243–248.
- Kershenbaum, A., Bowles, A. E., Freeberg, T. M., Jin, D. Z., Lameira, A. R., and Bohn, K. (2014). “Animal vocal sequences: not the Markov chains we thought they were animal vocal sequences: not the Markov chains we thought they were,” *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.*, **281**, 1–9.

- Lusseau, D., Wilson, B., Hammond, P. S., Grellier, K., Durban, J. W., Parsons, K. M., Barton, T. R., and Thompson, P. M. (2006). “Quantifying the influence of sociality on population structure in bottlenose dolphins,” *J. Anim. Ecol.*, **75**, 14–24.
- McCowan, B., Reiss, D., and Gubbins, C. (1998). “Social familiarity influences whistle acoustic structure in adult female bottlenose dolphins,” *Aquat. Mamm.*, **24**, 27 – 40.
- Morisaka, T., Shinohara, M., Nakahara, F., and Akamatsu, T. (2005). “Effects of ambient noise on the whistles of Indo-Pacific bottlenose dolphins populations,” *J. Mammal.*, **86**, 541 – 546.
- Papale, E., Azzolin, M., Cascão, I., Gannier, a., Lammers, M. O., Martin, V. M., Oswald, J., Perez-Gil, M., Prieto, R., Silva, M. A., and Giacomini, C. (2013). “Acoustic divergence between bottlenose dolphin whistles from the Central–Eastern North Atlantic and Mediterranean Sea,” *Acta Ethol.*, **17**, 155–165.
- Rendell, L. E., Matthews, J. N., Gill, A., Gordon, J. C. D., and Macdonald, D. W. (1999). “Quantitative analysis of tonal calls from five odontocete species, examining interspecific and intraspecific variation,” *J. Zool. Lond.*, **249**, 403–410.
- Rossi-Santos, M., and Podos, J. (2006). “Latitudinal variation in whistle structure of the estuarine dolphin *Sotalia guianensis*,” *Behaviour*, **143**, 347–364.
- Smolker, R., and Pepper, J. W. (1999). “Whistle convergence among allied male bottlenose dolphins (Delphinidae, *Tursiops* sp.),” *Ethology*, **105**, 595–617.
- Steiner, W. W. (1981). “Species-specific differences in pure tonal whistle vocalizations of five western North Atlantic dolphin species,” *Behav. Ecol. Sociobiol.*, **9**, 241–246.
- Sueur, J., Aubin, T., Simonis, C. (2008). “Seewave: a free modular tool for sound analysis and synthesis,” *Bioacoustics*, **18**, 213-226.

Tyack, P. L. (1986). "Population biology, social behavior and communication in whales and dolphins," *Trends Ecol. e Evol.*, **1**, 144–150.

Tyack, P. L., and Sayigh, L. S. (1997). "Vocal learning in cetaceans," in *Social influences on vocal development*, edited by Snowdon, C. T., and Hausberger, M. (Cambridge University Press, Cambridge), pp.208-233.

Watwood, S. L., Tyack, P. L., and Wells, R. S. (2004). "Whistle sharing in paired male bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*," *Behav. Ecol. Sociobiol.*, **55**, 531 – 543.

CAPÍTULO 2

Uso e funções da ecolocalização durante a pesca cooperativa entre botos-da-tainha (*Tursiops truncatus*) e pescadores artesanais.

Resumo

O forrageio é um comportamento de importância vital, e para os odontocetos a função de localização das presas é atribuída à ecolocalização. Para verificar se a estratégia de forrageio adotada causa variações na taxa de emissão da ecolocalização, uma população residente de *Tursiops truncatus* no sul do Brasil foi estudada. Tal população, conhecida localmente como botos-da-tainha, apresenta um comportamento de forrageio peculiar, que permite investigar possíveis usos da ecolocalização durante este evento. Os botos interagem com os pescadores artesanais cercando e conduzindo os cardumes até às margens da laguna, onde se encontram os pescadores. Com a aproximação e sinalização dos botos para que joguem as redes de pesca na água, os pescadores capturam mais peixes, e os botos são beneficiados pela captura facilitada das presas, que fogem assustadas das redes lançadas. Através de testes de permutação baseados em reamostragens de Monte Carlo, verificou-se que durante a interação com os pescadores ocorre maior emissão de ecolocalização, e a taxa de emissão aumenta durante os momentos em que acontece o lance das redes. A partir da comparação de emissões de ecolocalização dos mesmos botos nas diferentes situações de forrageio, com e sem interação com os pescadores, através de teste t pareado, a alteração na taxa de emissão da ecolocalização foi comprovada ser motivada pelo comportamento de pesca cooperativa. Algumas sugestões para tal achado são o uso da ecolocalização para identificar a posição dos pescadores na água e para rastrear dos peixes que tentam fugir das redes.

Palavras-chave: Pesca cooperativa, comportamento, forrageio, acústica, interação

Obs.: Citações e referências conforme padrão da revista *The Journal of the Acoustical Society of America*.

The foraging is a vital importance behavior, and for odontoceti the prey location function is attributed to echolocation. To verify if adopted foraging tactics motivates variation in echolocation rate, a resident population of *Tursiops truncatus* was studied in south Brazil. This population, locally called “botos-da-tainha”, present a unique foraging behavior, that permit investigating possible use of echolocation in this event. Botos-da-tainha interacts with artisanal fishermen, surrounding and leading fish schools until the lagoon margin, where fishermen are. With approaching and signaling made by botos-da-tainha to casting the fishery nets in the water, fishermen catch more fishes, and botos-da-tainha are benefited for facilitated catch of prey, that flee frightened of fishery nets. Through permutation tests based on Monte Carlo resampling, we verified that during interaction with fishermen occur biggest echolocation emission, and emission rate increased during moments that the nets are cast. From comparison of echolocation emission of same botos-da-tainha in different foraging situation, with and without interaction with fishermen, through the paired test t, the alterations in use frequency of echolocation were comproved be motivated by cooperative fishery behavior. Some suggestions for this finding are the echolocation use to identify fishermen position in the water and the tracking of fishes that try escape of nets.

Keywords: Cooperative fishery, behavior, foraging, acoustics, interaction

Introdução

Estudos com animais em cativeiro contribuem para um razoável entendimento sobre a capacidade do sistema de ecolocalização dos golfinhos. Testes da capacidade do sonar destes animais, feitos com objetos que não são familiares a eles, como esferas, cilindros, discos e placas (e.g. Nachtigall, 1980; Au, 1994; Harley *et al.*, 2003), nos fornece conhecimento sobre as funções básicas da ecolocalização e a respeito da incrível capacidade de identificação e discriminação dos golfinhos, mas pouco revelam sobre a ecolocalização durante atividades de animais em vida livre. O forrageio, por exemplo, é um comportamento de importância vital e que apresenta ampla variação para espécies como *Tursiops truncatus* (Shane, 1990). Todavia, persiste uma lacuna na interpretação sobre como o uso da ecolocalização pode

variar entre as diferentes estratégias de forrageio (Nowacek, 1999; Herzing e dos Santos, 2004; Au *et al.*, 2009).

Experimentos mostram que através da ecolocalização *T. truncatus* e *Phocoena phocoena* podem localizar presas a longas distâncias e diferenciar espécies de peixes, permitindo um forrageio seletivo (Au *et al.*, 2007; Ford e Ellis, 2006; Au *et al.*, 2009; Yovel e Au, 2010). Porém, considerar a localização de presas como função primária da ecolocalização durante o forrageio pode ser uma conclusão simplista. Trabalhos com golfinhos de vida livre apontam para variações de uso da ecolocalização conforme o tipo de presa e o habitat, com estratégias de forrageio sendo acompanhadas por diferentes estratégias acústicas (Herzing, 2004; Nowacek, 2005; Johnson *et al.*, 2008). Baleias-bicudas alteram o intervalo entre os cliques de ecolocalização conforme o tamanho da presa (Madsen *et al.*, 2005; Johnson *et al.*, 2008). *Tursiops truncatus* emitem menos cliques de ecolocalização quando forrageiam em bancos de algas, comparado a ambientes de areia e borda dos bancos de algas (Nowacek, 2005). Além disso, há registros de redução do uso da ecolocalização durante o forrageio de odontocetos mesmo em ambientes de águas turvas, sugerindo o uso dos sinais sonoros dos peixes para sua localização, o que se caracteriza como audição passiva (dos Santos *et al.*, 1990; Barrett-Lennard *et al.*, 1996; Nowacek, 1999; dos Santos e Almada, 2004; Gannon *et al.*, 2005). Ainda, algumas espécies de peixes têm capacidade de perceber sinais acústicos de alta frequência (Astrup e Møhl, 1993), fazendo com que a ausência da ecolocalização, em certas circunstâncias, seja uma alternativa de forrageio para evitar que a presa perceba o predador (dos Santos e Almada, 2004).

Estes resultados indicam que a função do sistema de ecolocalização dos golfinhos é mais complexo do que o paradigma do seu uso para localização das presas (Nowacek, 2005), havendo um balanço entre ecolocalização e audição passiva, permitindo o desenvolvimento de uma estratégia acústica ótima conforme as condições no momento do forrageio (Gannon *et al.*, 2005). Deste modo, a análise do padrão de ecolocalização em diferentes estratégias de forrageio ajuda a entender as funções deste som para além do que supomos até agora, bem como proporcionam uma melhor interpretação das múltiplas táticas de forrageio.

Em Laguna, sul do Brasil, uma população residente de *T. truncatus*, conhecidos na região como botos-da-tainha, apresenta um comportamento de forrageio singular. Os botos-da-tainha participam da

chamada pesca cooperativa, interagindo com pescadores artesanais que usam a tarrafa como artefato de pesca (Simões-Lopes, 1991). O evento consiste no cerco dos cardumes, feito pelos botos, e condução dos peixes até os pescadores nas margens da laguna. Os pescadores aguardam a aproximação e “sinalização” dos botos para lançar as tarrafas na água (Simões-Lopes, 1991; Simões-Lopes *et al.*, 1998). O ganho dos pescadores é evidente, pois os botos conduzem os peixes e sinalizam o momento exato para ser feita a captura. Para os botos o benefício é a quebra do cardume, facilitando a captura dos peixes assustados pelo lance das redes na água (Simões-Lopes *et al.*, 1998). As especificidades desta população de botos fazem dela um excelente modelo para verificar o uso da ecolocalização em uma estratégia singular de forrageio, testando a hipótese de que o comportamento acústico varia juntamente com a estratégia de forrageio adotada e entendendo outras possíveis funções da ecolocalização.

Assim, o presente estudo propõe responder a duas perguntas principais: 1) a pesca cooperativa, como estratégia de forrageio, motiva alterações na taxa de emissão de cliques de ecolocalização, comparado ao forrageio sem a participação dos pescadores? 2) Havendo alteração na taxa de emissão de cliques de ecolocalização, esta variação é uma característica individual ou devido ao comportamento de pesca cooperativa? Para a primeira pergunta, espera-se encontrar variações no uso da ecolocalização, com menor emissão desta durante a pesca cooperativa, onde as presas são encurraladas tanto pela redução da profundidade nas margens da laguna quanto pela barreira formada pelos pescadores. Nesta situação, a localização das presas no momento da captura seria facilitada, dispensando o uso da ecolocalização. A partir desta ideia, a variação encontrada no uso da ecolocalização entre as estratégias de forrageio provavelmente será devida à estratégia adotada. E, neste caso, os mesmos botos quando em pesca cooperativa emitirão menos cliques de ecolocalização do que em forrageio sem interação com os pescadores.

A partir da investigação das respostas às perguntas propostas avançamos no conhecimento sobre o uso que os botos fazem da ecolocalização, além de colaborar para a compreensão da complexidade do comportamento de pesca cooperativa.

Material e Métodos

Conforme relatado no capítulo 1, o foco deste trabalho foi a população de botos-da-tainha residente no complexo estuarino situado em Laguna, Estado de Santa Catarina.

As coletas foram realizadas simultaneamente às dos assobios, de modo que a forma como os dados foram coletados, bem como o equipamento utilizado e os cuidados tomados para as gravações, foram os mesmos, diferindo apenas na análise durante a triagem das amostras.

O parâmetro de medida para a ecolocalização utilizado na triagem das amostras foi a quantidade absoluta de cliques emitidos durante um intervalo de tempo determinado (tempo de 55 segundos, para as amostras coletadas em 2010/2011 e 5 minutos, para as amostras coletadas em 2013/2014). Este parâmetro foi escolhido por ser mais preciso do que a contagem de sequência de cliques, não sendo possível precisar o início e o fim de cada ecolocalização, além de permitir o uso de amostras de grupos de botos em que houvesse sobreposição de emissões de ecolocalização. Além disso, para o primeiro período de amostragem foi calculada a taxa de emissão de cliques por indivíduo, de modo que o total absoluto de cliques de cada amostra foi dividido pelo número de botos presentes durante a amostragem.

A comparação da ecolocalização entre pesca cooperativa e forrageio sem interação com os pescadores (forrageio sem interação) foi feita com as coletas de 2010/2011. Devido à limitação de frequência do gravador usado neste período (22 kHz), nem todos os cliques de ecolocalização foram registrados, visto que para a espécie em questão os cliques de ecolocalização apresentam concentração de energia em frequências entre 33 e 109 kHz (Wahlberg et al., 2011). Contudo, devido à nova comparação da taxa de emissão de cliques de ecolocalização feita no segundo período do estudo, com equipamento de maior frequência de amostragem (48 kHz), este problema foi minimizado e os resultados foram confirmados para valores maiores de frequência.

Os dados coletados em 2013/2014, associados à foto-identificação, foram usados para verificar se a variação encontrada foi devido ao comportamento *per se* ou a uma característica individual. Para tanto, foram registradas informações sobre a interação com pescadores durante a pesca e a ocorrência de lances de tarrafas durante a gravação.

A verificação da variação da ecolocalização entre os comportamentos de forrageio foi feita por teste de permutação (Berry et

al., 2011) da quantidade de cliques de ecolocalização por indivíduo baseado em 9999 re-amostragem de Monte Carlo, usando o pacote *coin* no ambiente R (R Development Core Team, 2014). Para verificar se o fator comportamental ou individual influenciam na emissão de ecolocalização, apenas as amostras de botos que apresentam o comportamento de interação com os pescadores (botos cooperativos) foram usadas. Estas amostras tiveram o número de cliques de ecolocalização comparado através do teste t pareado, para cada indivíduo ou grupo, entre as seguintes situações: 1) pesca cooperativa e forrageio sem interação, e 2) pesca cooperativa durante o cerco do cardume pelos botos (“interação indireta”) e durante a aproximação dos botos seguida pelo lance das tarrafas (“interação direta”).

Resultados

A emissão de cliques de ecolocalização durante a pesca cooperativa foi significativamente maior do que durante o forrageio sem interação (teste de permutação, $p < 0,001$) (Fig. 1).

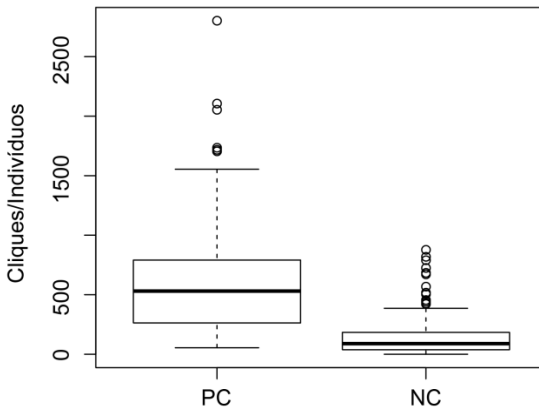


Fig. 1 – Boxplot representando a mediana da quantidade de cliques de ecolocalização por indivíduo, em amostras de 55 segundos, durante a pesca cooperativa (PC) e o forrageio sem interação (NC).

Para verificar se a maior emissão de cliques de ecolocalização durante a pesca cooperativa foi devida ao comportamento, comparou-se a quantidade de cliques de ecolocalização de três indivíduos solitários

(botos #15, #16 e #B19) e dois grupos, formados por dois botos cada (#B19 e #B27; #B19 e #03) (Tabela 1).

Tabela 1. Pareamento de amostras de ecolocalização, de grupos de um e dois indivíduos, durante a pesca cooperativa (PC) e forrageio sem interação (NC). Valores em número total de cliques de ecolocalização durante cinco minutos de gravação.

Indivíduos	Cliques PC	Cliques NC
#15	5417	718
#15	4444	2273
#15	6696	1752
#15	3171	3402
#15	3250	1915
#16	8096	2535
#16	5130	2925
#B19	2042	3535
#B19	2505	1162
#B19, #B27	6346	687
#B19, #03	6931	681

A diferença média encontrada na produção de cliques entre pesca cooperativa e forrageio sem interação (diferença média = $(\sum \text{cliques PC} - \text{cliques NC}) / \text{total de pareamentos}$) foi de 2281 e 5954 cliques, para indivíduos solitários e grupos, respectivamente, com maior emissão de cliques durante a pesca cooperativa, tanto para indivíduos solitários ($t = 2,85$, $p < 0,05$) quanto para indivíduos em grupos ($t = 20,15$, $p < 0,05$) (Fig.2).

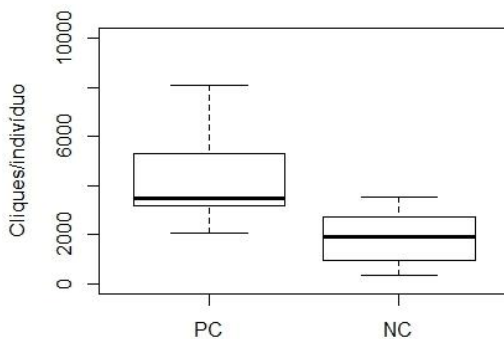


Fig. 2 – Boxplot representando a mediana da quantidade de cliques de ecolocalização, por indivíduo, emitidos por indivíduos solitários (botos: #15, #16, #B19) e grupos de dois indivíduos (botos: #B19 e #B27; #B19 e #03) durante pesca cooperativa (PC) e forrageio sem interação com os pescadores (NC).

Dada a grande variação na quantidade de cliques de ecolocalização emitida durante a pesca cooperativa (Fig. 2), decidiu-se por investigar o que poderia causar tal variação. Pensando nas etapas da interação, é possível distinguir dois momentos durante a pesca cooperativa. Primeiro os botos precisam encontrar o cardume e arrebanhá-lo. Em seguida é feita a condução do cardume até os pescadores e a “sinalização” para que as tarrafas sejam lançadas. A partir disso, distinguiram-se as gravações da pesca cooperativa em duas categorias. Quando não houve aproximação dos botos e lance de tarrafas durante a amostragem, a amostra foi classificada como sendo de “interação indireta”. Caso a gravação tenha registrado um ou mais momentos de lance de tarrafas, a amostra foi classificada como sendo de “interação direta”.

A produção de cliques de ecolocalização em amostras de “interação direta” foi comparada com a quantidade de cliques de ecolocalização em amostras de “interação indireta” para indivíduos solitários (#15, #24, #33 e #49) e grupos de dois indivíduos (#02 e #02Fi; #15 e #24; #24 e #B30; #49 e #B09) (Tabela 2).

Tabela 2. Pareamento de amostras de ecolocalização, de grupos de um e dois indivíduos, durante a interação direta (ID) e a interação indireta (II). Valores em número total de cliques de ecolocalização durante cinco minutos de gravação.

Indivíduos	Cliques ID	Cliques II
#15	5417	3171
#15	6696	4444
#24	6304	2645
#24	7082	2709
#33	6747	1712
#49	5759	2323
#49	7413	2261
#49	3085	2128
#02, #02Fi	11874	3727
#15, #24	5055	2183
#24, #B30	3266	1077
#49, #B09	4786	1511

A diferença média entre amostras de interação direta e indireta (diferença média = $(\sum \text{cliques ID} - \text{cliques II}) / \text{total de pareamentos}$) foi de 3389 cliques para indivíduos solitários, com mais cliques sendo produzidos em amostras de interação direta ($t= 6,47$, $p < 0,05$; Fig.3). Para os grupos de dois indivíduos comparados, também houve mais cliques em amostras de interação direta, com uma diferença média de 4136 cliques a mais, comparado à interação indireta. Porém esta diferença não foi significativa ($t= 3,05$, $p > 0,05$) (Fig. 3).

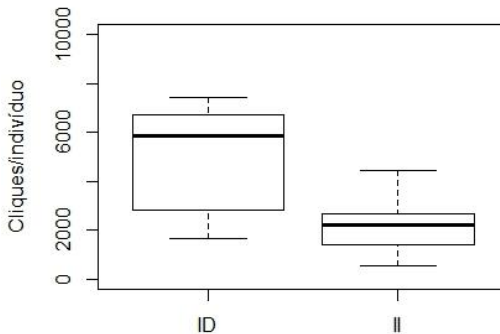


Fig. 3 – Quantidade de cliques de ecolocalização por indivíduo, com representação da mediana, emitidos pelos indivíduos solitários (botos: #15, #24, #33 e #49) e grupos de dois indivíduos (botos: #02 e #02Fi; #15 e #24; #24 e #B30; #49 e #B09) durante a pesca cooperativa em registros com lances de tarrafas na água (ID) e sem lances de tarrafas (II).

Discussão

Há mais emissão de cliques de ecolocalização durante a pesca cooperativa e, neste comportamento, mais cliques de ecolocalização são produzidos em momentos em que ocorrem lances de tarrafas na água. Este padrão resulta do comportamento de interação, não sendo uma característica individual dos botos cooperativos. Isto porque, ao parear as amostras dos mesmos indivíduos em cada situação analisada, todos os grupos registrados emitiram mais cliques de ecolocalização durante a pesca cooperativa e em momentos em que as tarrafas foram lançadas. Mesmo para os grupos com mais de um indivíduo os cliques foram mais frequentes durante a interação direta, apesar desta diferença não ser significativa.

O aumento da emissão de cliques de ecolocalização é entendido como a aproximação do golfinho do objeto/presa ao qual ele está “analisando” ou perseguindo (Au, 1993; Pivari, 2004), pois o intervalo entre os cliques geralmente é definido pelo tempo que o som leva para atingir o objeto e retornar, como eco, somado a um curto intervalo, considerado como tempo necessário para que a informação do eco seja processada pelo animal (Au, 1993; Jensen *et al.*, 2009). Assim, durante a alimentação, a ecolocalização deve variar conforme o estágio da

predação: localização, perseguição, aproximação e captura (Pivari, 2004). Porém, isso não explica variações deste som encontradas em diferentes estratégias de forrageio que podem ser adotadas pelos odontocetos. Exemplo disso são as baleias-bicudas, que emitem seqüências de cliques de ecolocalização com intervalo entre cliques que não condiz com a distância da presa, mas sim com o tamanho desta (Madsen *et al.*, 2005; Johnson *et al.*, 2008).

Para compreender os usos e funcionalidades da ecolocalização é importante entender as sutilezas das estratégias de forrageio, bem como características ambientais e mesmo características da presa em questão. Na maioria das vezes estas informações não estão disponíveis em estudos com animais em ambiente natural, devido, entre outros fatores, à visualização restrita dos comportamentos dos cetáceos em baixo da água e à dificuldade em saber a espécie da presa alvo durante o forrageio (Pivari, 2004). Estes problemas em parte são contornados ao se estudar os botos-da-tainha porque, apesar da baixa visibilidade da água, são conhecidas as principais etapas do forrageio dos botos durante a pesca cooperativa. Também se conhece a principal presa dos botos devido às capturas feitas pelos pescadores durante a interação.

Na pesca cooperativa, a estratégia desenvolvida pelos botos inclui o “uso” dos pescadores como uma barreira dinâmica, para encurrular os peixes e desfazer o cardume (Simões-Lopes *et al.*, 1998). A posição dos pescadores na água é pré-definida, com pouca variação. Cada espaço ocupado é chamado de “vaga” e é classificado hierarquicamente pelos pescadores conforme esteja posicionada em um melhor local para acessar o recurso, ou seja, pescar com os botos e capturar os peixes arrebanhados por eles (Peterson *et al.*, 2008). Porém, nem sempre todas as vagas são ocupadas. Como os pescadores representam a barreira utilizada pelos botos, eles precisam saber a localização exata dos pescadores na água para saber aonde devem levar o cardume. Isso pode ser feito por avistagem à superfície (*spyhope*), quando o boto observa fora da água a posição dos pescadores na margem (Simões-Lopes *et al.*, 1998), ou através da ecolocalização, justificando o uso mais frequente deste som durante a pesca cooperativa.

A pesca cooperativa é um evento que requer sincronia de ambas as partes para acontecer (Simões-Lopes *et al.*, 1998). O pescador deve estar atento à sinalização do boto para lançar sua tarrafa no momento certo. Os botos, por sua vez, já devem ter ciência do lançamento das redes na água. Devem, inclusive, ser capazes de perceber o momento exato e o local onde as redes são lançadas, pelo som produzido na água

devido ao impacto dos pesos de chumbo presos na borda da rede (e.g. Peterson *et al.*, 2008). Contudo, a possibilidade de emalhe nesta situação existe, havendo relatos de botos capturados acidentalmente pelas tarrafas (Simões-Lopes *et al.*, 1998). Assim, é possível que a ecolocalização seja utilizada na percepção e localização das redes, para evitar o emalhe, explicando a maior emissão de cliques de ecolocalização durante a interação direta dos botos com os pescadores. Estudos em cativeiro e observações de golfinhos de vida livre mostram que espécies como *T. truncatus*, *Phocoenoides dalli* e *Phocoena phocoena* são capazes de detectar redes de pesca a distâncias seguras para evitarem o emalhe (Hatakeyama e Soeda, 1990; Au e Jones, 1991). Além disso, a capacidade de detecção dos artefatos de pesca aumenta consideravelmente com a adição de itens na rede (argolas, boias, pesos) (Au e Jones, 1991). Portanto, os botos-da-tainha podem fazer uso da ecolocalização para a detecção das tarrafas, o que é facilitado pela presença de chumbo na borda das redes, e pelo som que estes pesos produzem ao atingirem a água.

Não se sabe qual o custo energético da ecolocalização para golfinhos (Cole e Speakman, 1993; Nawacek, 1999; Herzing e dos Santos, 2004). Sabe-se menos ainda do custo ecológico da ecolocalização no alerta a presas, atração de predadores e de competidores (Nowacek, 1999; Gannon *et al.* 2005). O potencial custo da ecolocalização durante o forrageio seria alertar a presa, considerando-se que ela seja capaz de perceber o predador pelo som emitido (Nawacek, 1999). Alguns estudos reforçam esta hipótese. *Tursiops truncatus* de vida livre em forrageio ecolocalizam menos do que o esperado em ambiente de pouca visibilidade e reagem à emissão de sons de peixes, sugerindo a audição passiva para a localização das presas (dos Santos e Almada, 2004; Gannon *et al.* 2005). Além disso, *T. truncatus* e *Stenella frontalis* adaptam o uso da ecolocalização conforme a estratégia de forrageio, o habitat e a espécie de presa, podendo intensificar ou reduzir a emissão deste som devido ao conjunto destas variáveis no momento do forrageio (Nowacek, 1999; Herzing, 2004). Estas evidências corroboram a adequação do uso da ecolocalização pelos botos-da-tainha, conforme eles estejam forrageando na presença ou ausência dos pescadores. Considerando o ambiente onde residem, o custo ecológico da ecolocalização seria apenas o alerta das presas e a atração de coespecíficos para o local de alimentação, visto que o estuário não apresenta risco de predadores para os botos. Durante o forrageio sem a presença dos pescadores, talvez seja de interesse a

atração de outros botos para o local onde se encontra o cardume, na tentativa de desenvolver uma estratégia de capturar os peixes com menor esforço (e.g., Rossbach, 1999; Rossi-Santos e Flores, 2009). Porém, na situação de pesca cooperativa a atração de mais botos não seria tão interessante, pois o pescador já estaria participando na estratégia de forrageio do boto. Neste caso, pode-se supor que o uso da ecolocalização durante a pesca cooperativa tenha por objetivo provocar alguma reação nos peixes.

Apesar da percepção da ecolocalização pelos peixes ainda ser praticamente desconhecida, a variação na taxa de emissão da ecolocalização durante o forrageio é um indicativo de que as presas podem reagir à sinalização acústica dos golfinhos. Algumas espécies de peixe já tiveram sua habilidade de detecção de sons de alta frequência, como a ecolocalização, testada (e.g. Nestler *et al.*, 1992; Astrup e Møhl, 1993; Ross *et al.*, 1993; Mann *et al.* 2001). Inclusive é possível que esta capacidade tenha se desenvolvido por pressão seletiva de predadores que fazem uso da ecolocalização (Astrup e Møhl, 1993; Mann *et al.*, 2001), assim como acontece para presas de morcegos (Rydell, 2004).

Além da percepção auditiva, a bexiga natatória dos peixes é sensível ao estímulo da pressão sonora (Alexander, 1966; Sand e Hawkins, 1973; Enger, 1983), sendo outra via de percepção da sinalização acústica do predador, e é capaz de promover um comportamento de fuga no peixe (Canfield e Eaton, 1990). Para *Mugil* spp., principais espécies predadas pelos botos-da-tainha em Laguna durante a pesca cooperativa (Simões-Lopes *et al.*, 1998), não há estudos que avaliem sua capacidade auditiva, mas as espécies possuem bexiga natatória. Mais evidências são necessárias para entender se, e como, estas espécies percebem e respondem aos sons produzidos pelos botos, porém não se podem descartar as possibilidades evidenciadas para outras espécies de peixe. Se a presa é capaz de perceber acusticamente o predador, o uso do som durante o forrageio é desvantajoso, pois condicionaria comportamentos de fuga das presas. Contudo, o boto poderia usar isto a seu favor durante a pesca cooperativa, induzindo o cardume a fugir na direção dos pescadores. Pescadores que interagem com os botos dizem que os botos “desentocam” os peixes, tirando-os de suas tocas entre as pedras, e então conduzem os peixes até eles. A fuga dos peixes que estão entre as pedras poderia ser provocada pela ecolocalização dos botos. A estratégia de afugentar os peixes pelo som é proposta para *T. truncatus* em Sarasota, onde os golfinhos tentam assustar, através de emissão sonora chamadas de “pops” (cliques com

energia concentrada em baixas frequências e maior de duração, comparado aos cliques de ecolocalização), os peixes dos bancos de algas, onde eles são mais difíceis de serem detectados, para que na fuga eles possam ser percebidos pelos golfinhos visual ou acusticamente (Nawacek, 1999; Nawacek, 2005).

A condução do cardume até os pescadores também poderia ser feita por desorientação acústica. A desorientação acústica de peixes já foi relatada para *T. truncatus* e *Stenella longirostris* de cativeiro (Hult, 1982 *apud* Norris e Møhl, 1983; Norris e Møhl, 1983), bem como há relatos de peixes emergirem desorientados do fundo arenoso durante o forrageio de *T. truncatus* e *S. frontalis* (Herzing, 1996). Observações em campo, associando registros de vídeo e som, registraram a produção de “buzzes”, emitidos por *S. frontalis*, e “bangs”, emitidos por *T. truncatus* e *Orcinus orca*, durante forrageio, com aparente atordoamento ou morte dos peixes. Somados, tais registros deram origem à Teoria do Big Bang (Marten *et al.*, 2001). O som chamado de “bang” é descrito como semelhante aos cliques de ecolocalização, porém a sequência dos cliques é mais duradoura e de menor frequência, geralmente até 5 kHz, com energia concentrada principalmente em torno de 1 kHz. Enquanto os “buzzes” são sequências de cliques com taxa de repetição de 200 Hz, finalizando com 500 Hz (Marten *et al.*, 2001). Para o presente trabalho, medidas de frequência máxima, frequência da concentração de energia e quantidade de energia dos cliques de ecolocalização não foram medidas, devido à limitação do registro de frequência do equipamento usado e imprecisão da direcionalidade da ecolocalização em relação ao hidrofone durante as gravações, mesmo em pesca cooperativa. A falta de direcionalidade do som emitido com relação ao equipamento receptor acaba por alterar as características do som (Au, 1993), impossibilitando a realização das medidas destes parâmetros. Assim, não é possível afirmar que os “bangs” sejam usados pelos botos-da-tainha. Porém, sons repentinos, mesmo que não causem danos às presas podem alterar o comportamento delas, fazendo com que fujam ou fiquem estáticas, por exemplo (Mackay *et al.*, 1988), ou mesmo se agrupem em cardume, conforme especulado para os “buzzes” produzidos por baleias-bicudas (Johnson *et al.*, 2008). Então, a ecolocalização, se não causa injúria aos peixes, poderia ser usada para alterar o comportamento das presas antes ou depois do lance das tarrafas, induzindo a fuga dos peixes em direção aos pescadores, como no relato do “desentocamento” dos peixes que estão entre as pedras, ou desorientando-os após o lance das tarrafas, de modo a facilitar a captura, o que justificaria a maior emissão de cliques

de ecolocalização durante a interação direta. Para confirmar esta possibilidade, trabalhos futuros associarão registros de imagens e sons, para verificar a reação dos peixes à ecolocalização dos botos-da-tainha.

Independente da percepção que os peixes tenham dos sinais acústicos dos botos, a utilização da ecolocalização para a localização de suas presas é inegável (Au, 1993) e não deve ser desconsiderada. Os golfinhos adaptam não só suas estratégias de forrageio, mas também sua estratégia acústica conforme o habitat e a espécie de peixe a ser predada, prevendo o comportamento e monitorando a fuga das suas presas (Herzing, 2004; Au e Simmons, 2007). Assim, outra possibilidade para a intensificação do uso da ecolocalização durante a pesca cooperativa, principalmente durante a interação direta, seria simplesmente para monitorar os peixes em fuga, quando o cardume é desfeito pelo lance das tarrafas.

Todas as possibilidades do uso da ecolocalização sugeridas acima se aplicam para botos participando da pesca cooperativa, estejam sozinhos ou em grupos. Contudo, a maior emissão de cliques de ecolocalização durante a interação direta não foi significativa para os grupos com mais de um indivíduo, comparada às situações de interação indireta destes mesmos grupos.

De modo geral, é relatado que grupos apresentem menor emissão de som, proporcionalmente, do que indivíduos solitários (Barrett-Lennard *et al.*, 1996; Nowacek, 1999; Nowacek, 2005), o que gerou a hipótese do uso compartilhado da ecolocalização. Esta hipótese trata da capacidade dos golfinhos de ouvir os cliques e os ecos dos cliques produzidos por outros membros do grupo, obtendo informações detalhadas do ambiente a partir da ecolocalização dos companheiros, não havendo a necessidade da emissão de som por todos os indivíduos (Gregg *et al.*, 2007). O uso compartilhado da ecolocalização responde a diferença não significativa do uso da ecolocalização durante os eventos de interação direta pelos grupos com mais de um indivíduo amostrados, visto que qualquer das propostas apresentadas para as funções e usos da ecolocalização durante a interação direta beneficiaria todos os indivíduos do grupo de botos.

Conclusões

As possibilidades discutidas aqui para o uso da ecolocalização exigem estudos complementares, porém é fato que o comportamento de

interação com os pescadores faz com que os botos utilizem mais seus sinais de ecolocalização. Diante disso, as opções mais prováveis para responder esta evidência são a localização dos pescadores nas margens da laguna e o rastreamento dos peixes após o lance das tarrafas, para não perder sua localização enquanto eles tentam fugir. A localização das tarrafas, para evitar o emalhe, a princípio poderia dispensar a ecolocalização, se os botos forem capazes de identificá-las apenas pelo som dos pesos de chumbo das tarrafas ao atingirem a água. O atordoamento dos peixes, ou alteração de comportamento deles promovido pela ecolocalização, seja induzindo a fuga em direção aos pescadores ou promovendo uma paralisia momentânea para facilitar sua captura após o lance das tarrafas, pode ser confirmado a partir da medida dos parâmetros acústicos dos cliques de ecolocalização, da associação de registros de vídeos e sons, que permitam uma análise da reação dos peixes à ecolocalização, e/ou mais estudos sobre a fisiologia e etologia principalmente das espécies de *Mugil*. Por fim, independente da função que a ecolocalização tenha durante a pesca cooperativa, o aumento da frequência de uso deste som evidencia a importância do comportamento acústico para a interação entre botos e pescadores. Desse modo, para que a pesca cooperativa seja preservada é preciso que a poluição sonora antrópica seja minimizada, a partir da regulamentação da circulação de veículos aquáticos de esporte náutico, que produzam ruído excessivo, nas áreas onde ocorre a interação.

Referências

- Alexander, R. M. (1966). "Physical aspects of swimbladder function," *Biol. Rev.*, **41**, 141-176.
- Astrup, J., and Møhl, B. (1993). "Detection of intense ultrasound by the cod *Gadus morhua*," *J. exp. Biol.*, **80**, 71-80.
- Au, W. W. L., and Jones, L. (1991). "Acoustic reflectivity of nets: implications concerning incidental take of dolphins," *Mar. Mammal Sci.*, **7**, 258-273.
- Au, W. W. L. (1993). *The Sonar of Dolphins* (Springer-Verlag, New York), 227 pp.

- Au, W. W. L. (1994). "Comparison of sonar discrimination: Dolphin and an artificial neural network," *J. Acoust. Soc. Am.* **95**, 2728–2735.
- Au, W. W. L., and Simmons, J. A. (2007). "Echolocation in dolphins and bats," *Phys. Today*, **60**, 40–45.
- Au, W. W. L., Branstetter, B. K., Benoit-Bird, K. J., and Kastelein, R. a (2009). "Acoustic basis for fish prey discrimination by echolocating dolphins and porpoises," *J. Acoust. Soc. Am.*, **126**, 460–467.
- Barrett-Lennard, L. G., Ford, J. K. B., and Heise, K. A. (1996). "The mixed blessing of echolocation: differences in sonar use by fish-eating and mammal-eating killer whales," *Anim. Behav.*, **51**, 553–565.
- Berry, K. J., Johnston, J. E., and Mielke Jr., P.W. (2011). "Permutation methods," *Wiley Interdiscip. Rev. Comput. Stat.*, **3**, 527-542.
- Canfield, J. G., and Eaton, R. C. (1990). "Swimbladder acoustic pressure transduction initiates Mauthner-mediated escape," *Nature*, **347**, 760–762.
- Cole, K. R., and Speakman, J. R. (1993). "Do cetaceans have elevated resting metabolic rates?," *Tenth Bienn. Conf. Biol. Mar. Mamm.*, 36.
- dos Santos, M. E., Caporin, G., Moreira, H. O., Ferreira, A. J., and Coelho, J. L. B. (1991). "Acoustic behavior in a local population of Bottlenose Dolphins," in *Sensory abilities of cetaceans: Laboratory and field evidences*, edited by J. A. Thomas and R. A. Kastelein (Springer Science+Business Media, New York), pp. 585-598.
- dos Santos, M. E., and Almada, V. C. (2004). "A case for passive sonar: analysis of click train production patterns by bottlenose dolphins in a turbid estuary," in *Echolocation in bats and dolphins*, edited by J. A. Thomas, C. F. Moss, and M. Vater (The University of Chicago Press, Chicago), pp. 400-404.
- Enger, P. S. (1983). "Frequency discrimination in teleosts – Central or Peripheral?," in *Hearing and sound communication in fishes. Fisheries*

Research, edited by W. N. Tavolga, A. N. Popper, and R. R. Fay (Spring-Verlag, New York), pp. 243-256.

Ford, J., and Ellis, G. (2006). "Selective foraging by fish-eating killer whales *Orcinus orca* in British Columbia," *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **316**, 185–199.

Gannon, D. P., Barros, N. B., Nowacek, D. P., Read, A. J., Waples, D. M., and Wells, R. S. (2005). "Prey detection by bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*: an experimental test of the passive listening hypothesis," *Anim. Behav.*, **69**, 709–720.

Gregg, J. D. (2007). "Do dolphins eavesdrop on the echolocation signals of conspecifics?," *Int. J. Comp. Psychol.*, **20**, 65 – 88.

Harley, H. E., Putman, E. A., and Roitblat, H. L. (2003). "Bottlenose dolphins perceive object features through echolocation," *Nature*, **424**, 667–669.

Hatakeyama, Y., and Soeda, H. (1990). "Studies on echolocation of porpoises taken in salmon gillnet fisheries," in *Sensory abilities of cetaceans: Laboratory and field evidences*, edited by J. A. Thomas and R. A. Kastelein, (Springer Science+Business Media, New York), pp. 269-282.

Herzing, D. L. (1996). "Vocalizations and associated underwater behavior of free-ranging Atlantic spotted dolphins, *Stenella frontalis* and bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*," *Aquat. Mamm.*, **22**, 61–79.

Herzing, D. L. (2004). "Social and nonsocial uses of echolocation in free-ranging *Stenella frontalis* and *Tursiops truncatus*," in *Echolocation in bats and dolphins*, edited by J. A. Thomas, C. F. Moss, and M. Vater (The University of Chicago Press, Chicago), pp. 404-410.

Herzing, D. L., and dos Santos, M. E. (2004). "Functional aspects of echolocation in dolphins," in *Echolocation in bats and dolphins*, edited

- by J. A. Thomas, C. F. Moss, and M. Vater (The University of Chicago Press, Chicago), pp. 386-393.
- Jensen, F. H., Bejder, L., Wahlberg, M., and Madsen, P. T. (2009). "Biosonar adjustments to target range of echolocating bottlenose dolphins (*Tursiops* sp.) in the wild," *J. Exp. Biol.*, **212**, 1078–1086.
- Johnson, M., Hickmott, L. S., Soto, N. A., and Madsen, P. T. (2008). "Echolocation behaviour adapted to prey in foraging Blainville's beaked whale (*Mesoplodon densirostris*)," *Proc. Biol. Sci.*, **275**, 133–139.
- Madsen, P. T., Johnson, M., Soto, N. A., Zimmer, W. M. X., and Tyack, P. (2005). "Biosonar performance of foraging beaked whales (*Mesoplodon densirostris*)," *Th J. Exp. Biol.*, **208**, 181–194.
- Mann, D. A., Higgs, D. M., Tavalga, W. N., Souza, M. J., and Popper, A. N. (2001). "Ultrasound detection by clupeiform fishes," *J. Acoust. Soc. Am.*, **109**, 3048-3054.
- Marten, K., Herzing, D., Poole, M., and Allman, K. N. (2001). "The acoustic predation hypothesis: linking underwater observations and recordings during odontocete predation and observing the effects of loud impulsive sounds on fish," *Aquat. Conserv. Mar. Freshw. Ecosyst.*, **27**, 56–66.
- Mackay, R. S., and Pegg, J. (1988). "Debilitation of prey by intense sounds," *Mar. Mammal Sci.*, **4**, 356–359.
- Nachtigall, P. E. (1980). "Odontocete echolocation performance on object size, shape and material," in *Animal sonar systems*, edited by R. G. Busnel and J. F. Fish (Plenum, New York), pp. 71–95.
- Nestler, J. M., Ploskey, G. R., Pickens, J., Menzies, J. K., and Schilt, C. R. (1992). "Responses of blueback herring to high-frequency sound and implications for reducing entrainment at hydropower dams," *North Am. J. Fish. Manag.*, **12**, 667-683.

- Norris, K. S., and Møhl, B. (1983). “Can odontocetes debilitate prey with sound?” *Am. Nat.*, **122**, 85-104.
- Nowacek, D. P. (1999). *Sound use, sequential behavior and ecology of foraging bottlenose dolphins, Tursiops truncatus* Massachusetts Institute of Technology, p. 201.
- Nowacek, P. (2005). “Acoustic ecology of foraging bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*), habitat-specific use of three sound types,” *Mar. Mammal Sci.*, **21**, 587–602.
- Peterson, D., Hanazaki, N., and Simões-Lopes, P. (2008). “Natural resource appropriation in cooperative artisanal fishing between fishermen and dolphins (*Tursiops truncatus*) in Laguna, Brazil,” *Ocean Coast. Manag.*, **51**, 469–475.
- Pivari, D. (2004). *Caracterização das emissões sonoras de Sotalia fluviatilis (Gervais, 1853) (Cetacea, Delphinidae) durante o comportamento alimentar em duas praias do estuário de Cananéia, São Paulo* Universidade de São Paulo, p. 139.
- Ross, Q. E., Dunning, D. J., Thorne, R., Menezes, J. K., Tiller, G. W., and Watson, J. K. (1993). “Response of alewives to high frequency sound at a power plant intake on Lake Ontario”. *North Am. J. Fish. Manag.*, **13**, 291-303.
- Rossbach, K. A. (1999). “Cooperative feeding among bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) near Grand Bahama Island, Bahamas,” *Aquat. Mamm.*, **25**, 163-167.
- Rossi-Santos, M. R., and Flores, P. A. C. (2009). “Feeding strategies of Guiana dolphin *Sotalia guianensis*,” *Open Mar. Biol. J.*, **3**, 70-76.
- Rydell, J. (2004). “Evolution of bat defense in lepidoptera: alternatives and complements to ultrasonic hearing,” in *Echolocation in bats and dolphins*, edited by J. A. Thomas, C. F. Moss, and M. Vater (The University of Chicago Press, Chicago), pp. 331-339.

- Sand, B. Y. O., and Hawkins, A. D. (1973). "Acoustic properties of the cod swimbladder," *J. Exp. Biol.*, **58**, 797–820.
- Shane, S. H. (1990). "Behavior and ecology of the bottlenose dolphin at Sanibel Island, Florida," in *The bottlenose dolphin*, edited by S. Leatherwood, and R. R. Reeves (Academic Press, San Diego), pp. 245-265.
- Simões-Lopes, P. C. (1991). "Interaction of coastal populations of *Tursiops truncatus* with the mullet artisanal fisheries in southern Brazil," *Biotemas*, **4**, 83–94.
- Simões-Lopes, P. C., Fábian, M. E., and Menegheti, J. O. (1998). "Dolphin interactions with the mullet artisanal fishing on southern Brazil," *Rev. Bras. Zool.*, **15**, 709–726.
- Yovel, Y., and Au, W. W. L. (2010). "How can dolphins recognize fish according to their echoes? A statistical analysis of fish echoes," *PLoS One*, **5**, 1–10.
- Wahlberg, M., Jensen, F. H., Soto, N. A., Beedholm, K., Bejder, L., Oliveira, C., Rasmussen, M., Simon, M., Villadsgaard, A., and Madsen, P. T. (2011). "Source parameters of echolocation clicks from wild bottlenose dolphins (*Tursiops aduncus* and *Tursiops truncatus*)," *J. Acoust. Soc. Am.*, **130**(4), 2263–2274.

CONCLUSÕES GERAIS

As variações no repertório acústico da espécie *Tursiops truncatus* estão presentes não apenas em estados comportamentais, como forrageio, deslocamento e socialização. Os resultados encontrados no presente trabalho mostram a adaptação acústica a variações dentro de cada estado comportamental, mais precisamente quando se trata de forrageio.

O comportamento único da pesca cooperativa, realizada pelos botos-da-tainha em Laguna, é acompanhado por um repertório acústico diferente daquele usado pelos mesmos indivíduos em outras situações de forrageio. Esta evidência indica que tanto a ecolocalização quando os assobios podem ter outras funções durante o forrageio além da simples localização das presas ou identificação individual de cada boto.

A ecolocalização apresentou resultados inesperados, com maior taxa de emissão durante a pesca cooperativa e, neste comportamento, a emissão é ainda maior nos momentos em que as tarrafas são lançadas na água. Dada a importância da presença dos pescadores e suas tarrafas na realização desta estratégia de forrageio dos botos, é possível que o uso mais frequente da ecolocalização durante tal interação seja devida a necessidade dos botos de identificarem a posição dos pescadores na água, para saber para onde devem direcionar o cardume. Também é possível que usem a ecolocalização para precisar o local onde as tarrafas são lançadas e, assim, evitar serem emalhados. Além disso, algumas evidências de outros estudos sugerem que os sons emitidos pelos odontocetos podem provocar reações em suas presas. Neste sentido, é possível que os botos utilizem a ecolocalização para induzir a fuga dos peixes, conduzindo-os em direção aos pescadores, ou mesmo para atordoá-los após o lance das tarrafas, facilitando a captura. Outra opção seria o uso da ecolocalização para rastrear os peixes em fuga, após o lance das tarrafas. Com o que se tem relatado até o momento na literatura e com os resultados encontrados neste estudo, por hora é possível sustentar as hipóteses de localização dos pescadores e rastreamento das presas para explicar a maior taxa de ecolocalização durante a pesca cooperativa.

Não só a ecolocalização apresentou variações de uso para a pesca cooperativa. O repertório de assobios também foi influenciado por este comportamento, de modo que os assobios descendentes foram predominantes durante a interação. Mesmo os parâmetros acústicos dos assobios puderam ser diferenciados entre as estratégias de forrageio,

com e sem a presença de pescadores. Os botos que participam da pesca cooperativa emitem assobios com variações nos parâmetros acústicos, comparado aos assobios que usam em forrageio sem interação com os pescadores. Além disso, os assobios também mostraram padrões de agrupamento que refletem a estrutura social modular apresentada pela população. Os assobios dos botos cooperativos puderam ser diferenciados dos assobios dos botos que não realizam a pesca cooperativa. Este resultado reforça a influência do comportamento único que é a pesca cooperativa não só na organização social dos botos-da-tainha, mas também na sua comunicação. Para avançarmos, neste sentido, no entendimento da interação entre botos e pescadores, trabalhos futuros devem investigar se os módulos sociais da população que são compostos prioritariamente por botos não cooperativos também têm parâmetros acústicos distintos em seus assobios. Com esta investigação, será possível esclarecer melhor o quanto a pesca cooperativa é relevante no desenvolvimento da comunicação dos botos que a realizam, ou se estas características acústicas estão mais relacionadas aos módulos sociais em si.

Sendo parte integrante e certamente indispensável para a realização e desenvolvimento do comportamento peculiar que é a pesca cooperativa, o comportamento acústico dos botos-da-tainha deve ser considerado no planejamento de ações que objetivem a conservação desta população. Perturbações, principalmente acústicas, podem atrapalhar e mesmo inibir esta interação entre botos e pescadores que é tradicional na região. O resultado deste e de outros estudos ajudam a nortear políticas públicas para a conservação do habitat dos botos-da-tainha e a manutenção deste evento singular.