



---

PPG Ecologia & Conservação



Universidade Estadual de Santa Cruz

---

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SANTA CRUZ**  
**PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO DA**  
**BIODIVERSIDADE**

**MARIANA SILVA CAMPELO**

**ATIVIDADE VOCAL DOS CANTORES DE BALEIA-JUBARTE**  
**(*Megaptera novaeangliae*) EM UMA ÁREA REPRODUTIVA NO SUL DA BAHIA:**  
**CONSTRUINDO UMA LINHA DE BASE ANTES DA INSTALAÇÃO DE UM**  
**COMPLEXO PORTUÁRIO**

**ILHÉUS – BAHIA**

**2020**

**MARIANA SILVA CAMPELO**

**ATIVIDADE VOCAL DOS CANTORES DE BALEIA-JUBARTE  
(*Megaptera novaeangliae*) EM UMA ÁREA REPRODUTIVA NO SUL DA BAHIA:  
CONSTRUINDO UMA LINHA DE BASE ANTES DA INSTALAÇÃO DE UM  
COMPLEXO PORTUÁRIO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Santa Cruz para obtenção do título de Mestre em Ecologia e Conservação da Biodiversidade.

Área de concentração: Ecologia e Conservação de Populações

Orientador: Prof. Dr. Júlio Ernesto Baumgarten

Coorientadora: Dr<sup>a</sup>. Maria Isabel Carvalho Gonçalves

**ILHÚES – BAHIA**

**2020**

C193

Campelo, Mariana Silva.

Atividade vocal dos cantores de baleia-jubarte (*Megaptera novaeangliae*) em uma área reprodutiva no sul da Bahia: construindo uma linha de base antes da instalação de um complexo portuário / Mariana Silva Campelo. – Ilhéus BA: UESC, 2020.  
63f. : il.

Orientador: Júlio Ernesto Baumgarten.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Santa Cruz. Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da Biodiversidade.  
Inclui referências.

1. Baleia-jubarte. 2. Baleia-jubarte – Monitorização. 3. Canto. 4. Reprodução animal. 5. Monitorização ambiental. 6. Vocalização animal. I. Título.

CDD 599.525

**MARIANA SILVA CAMPELO**

**ATIVIDADE VOCAL DOS CANTORES DE BALEIA-JUBARTE  
(*Megaptera novaeangliae*) EM UMA ÁREA REPRODUTIVA NO SUL DA BAHIA:  
CONSTRUINDO UMA LINHA DE BASE ANTES DA INSTALAÇÃO DE UM  
COMPLEXO PORTUÁRIO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Santa Cruz para obtenção do título de Mestre em Ecologia e Conservação da Biodiversidade.

Ilhéus, 28 de maio de 2020.

---

Prof. Dr. Júlio Ernesto Baumgarten  
Universidade Estadual de Santa Cruz – UESC  
(Orientador)

---

Prof. Dr. Marcos Roberto Rossi dos Santos  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB

---

Dr. Thiago Orion Simões Amorim  
Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF

Dedico este trabalho aos meus pais. A minha mãe, Ilcléa por sempre abraçar minhas decisões e se fazer presente em todos os momentos, e ao meu pai, José por ter despertado meu interesse no estudo das grandes baleias com suas histórias no mar.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço aos meus familiares, meus pais, meus avós, minhas tias, minha irmã e a minha prima/irmã, por serem um ponto de conforto no qual eu pude contar, pela torcida a meu favor. Vocês são a base de tudo que sou.

Agradeço a meu companheiro Arthur Gomes por ter sido tão presente nesta jornada, por ter me ajudado em todos os momentos em que precisei, por toda paciência, por todo apoio e por todo amor. Obrigada por tudo meu preto.

Ao meu orientador, Júlio Baumgarten, agradeço por todo apoio fornecido durante estes anos, por estar sempre disposto a ouvir e encontrar uma boa solução para todos, por sua paciência, compreensão e acima de tudo, pela confiança em mim na realização deste trabalho.

A minha coorientadora, Maria Isabel Carvalho, agradeço a oportunidade de ter estado com as jujubas desde o início da minha graduação, por ter confiado em mim na realização deste trabalho e também por toda dedicação que me foi oferecida estes anos.

Agradeço a todos os envolvidos na execução do Projeto Baleias na Serra:

Ao Giulio Lombardi, por ter disponibilizado o espaço para o ponto fixo e ao Davi Santiago, Sr. Nelson Cangirana e Sr. Raimundo Gomes por todo auxílio dado durante esses anos.

Ao Rafael Murakami e Fernando Murakami da Água Viva Sub e Erik Tedesco, pelo planejamento, organização e concretização do campo.

Ao professor Niel Teixeira pela colaboração no ponto fixo e ao professor Linilson Padovese pela parceria que tornou possível a gravação do canto das jujubas.

Ao pessoal do ponto fixo, meu muito obrigada pela contribuição na coleta dos dados visuais: Stella Tomás, Bianca Righi, Naiane Silva, Fernanda Tonolli, Tamires Fernandes, Evelyn Froés, Winnie Silva, Luana Pini, Érica Lopes, Juliede Nonato, Andrea Tribulato e Rayane Tomaselli (Ray, obrigada por todas as outras ajudas também!).

Ao Programa de Pós Graduação em Ecologia e Conservação da Biodiversidade (PPGECB/UESC) por toda estrutura e apoio acadêmico.

Ao suporte oferecido pela CAPES – “O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001”.

Ao CNPq pela bolsa de mestrado e aos demais suportes financeiros que tornaram possível a realização deste trabalho: Arim Componentes, CAPES, FAPESB, UESC, Viva Instituto Verde Azul, patrocinadores anônimos e em especial, Rufford Foundation e Cetacean Society International pela colaboração direta ao meu projeto de pesquisa.

Um obrigada muito especial ao professor Neander Heming, pela disposição e acima de tudo, paciência durante nossas conversas e troca de ideias sobre as análises estatísticas. Sua ajuda foi muito importante.

A professora Renata Sousa Lima, por esclarecer minhas dúvidas nas análises acústicas.

Aos meus amigos e colegas de turma por estarem sempre dispostos a ajudar no que fosse possível, em especial à Lidiane Gomes pela orientação e ajuda, Bianca Righi pela parceria estes anos, Melyna Lyra pela preocupação e conselhos, Fernando César, Clemensou Reis, Diego Flores, Yasmim Mendes, Óliver Barreto e Jonathan Mucherino por todas às vezes em que precisei de um suporte estatístico.

Aos meus amigos dabilio, por serem tão presentes e por terem me ajudado muito, mesmo distantes, em especial Bianca Farias, Thomas Vieira, Thayná Barreto, Emily Bronze, Geiseane Velozo e também ao Lucas Cerqueira que conheci por meio de vocês.

Obrigada também a todos os demais que acabei não citando, mas que de alguma forma me deram suporte!!

“Se você quiser ver uma baleia,  
vai precisar de uma janela  
e de um oceano,  
vai precisar  
de tempo para esperar  
de tempo para olhar  
de tempo para pensar,  
“será que é uma baleia?”

[...]

Se você quiser ver uma baleia,  
vai precisar manter os olhos no mar  
e esperar  
esperar  
esperar”

Julie Fogliano

**ATIVIDADE VOCAL DOS CANTORES DE BALEIA-JUBARTE  
(*Megaptera novaeangliae*) EM UMA ÁREA REPRODUTIVA NO SUL DA BAHIA:  
CONSTRUINDO UMA LINHA DE BASE ANTES DA INSTALAÇÃO DE UM  
COMPLEXO PORTUÁRIO**

**RESUMO**

A baleia-jubarte (*Megaptera novaeangliae*) é uma espécie migratória que anualmente realiza longas migrações entre as áreas de alimentação, localizadas em altas latitudes durante o verão, e as reprodutivas, em baixas latitudes durante o inverno. Um dos comportamentos mais marcantes exibidos por esta espécie é o canto, exclusivo dos machos, que se destaca em duração e complexidade, e que embora possa ser registrado ao longo de todo ano, é mais frequentemente observado nas áreas reprodutivas. Sugere-se que o canto esteja envolvido com o sistema de acasalamento da espécie, e dentre as possíveis funcionalidades, pode ser utilizado para atrair fêmeas ou para estabelecer classificação de dominância entre machos. Ao longo da temporada reprodutiva, algumas alterações podem ser observadas na atividade vocal dos cantores, como flutuações na abundância ao longo dos dias, influência de fatores cíclicos como a hora do dia e fases da lua, além de alterações provocadas por perturbações sonoras, sejam elas naturais ou antrópicas. Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo descrever os padrões temporais e cíclicos: dia da temporada, hora do dia e fases da lua, bem como possíveis alterações provocadas por diferentes graus de agitação do mar, logo alterações na paisagem acústica local, na atividade vocal dos machos cantores de baleia-jubarte em Serra Grande, uma área reprodutiva de reocupação no sul do estado da Bahia. Unidades acústicas de gravação autônomas submarinas (*oceanpods*) foram instaladas entre 2,5 – 2,7 km da costa, e 16 – 22 m de profundidade. Registros visuais por meio de ponto fixo foram realizados a fim de detectar as flutuações na abundância de adultos, além da obtenção dos dados de estado do mar. O canto foi registrado em todos os dias amostrados, contudo flutuações sazonais similares as observadas para abundância de adultos foram documentadas, sendo caracterizadas por um aumento contínuo do início da temporada até o pico, registrado entre o final de agosto e início de setembro, e após um decréscimo gradual até final de outubro. A atividade vocal dos cantores também exibiu tendências no que diz respeito às fases da lua e diferentes graus de agitação do mar, além dos padrões diários observados, havendo uma maior ocorrência nos períodos de pouca luz, do final da tarde ao início da manhã, assim como identificado em outras populações. Este estudo descreve a atividade vocal dos cantores em uma área reprodutiva que até o presente momento apresenta poucas atividades antrópicas, contudo é alvo de empreendimentos futuros com potencial para alterar a paisagem acústica da região. Considerando os possíveis impactos provenientes de atividades desta natureza na comunicação acústica das baleias, os dados apresentados neste estudo, podem ser utilizados como uma linha de base para estudos futuros que visem avaliar os efeitos da futura alteração da paisagem acústica no comportamento acústico da espécie.

Palavras-chave: Monitoramento acústico; Canto; Estratégia reprodutiva; Variação sazonal; Fases da lua.

**VOCAL ACTIVITY OF HUMPBACK WHALE'S SINGERS (*Megaptera novaeangliae*)  
IN A BREEDING GROUND IN SOUTHERN OF BAHIA: BUILDING A BASE LINE  
BEFORE INSTALLING A PORT COMPLEX**

**ABSTRACT**

The humpback whale is a migratory species that annually performs long migrations between feeding grounds, located in high latitudes during the summer, and the reproductive in low latitudes during the winter. One of the most remarkable behaviors exhibited by this species is the singing, males-exclusive, that stands out in duration and complexity, what although can be registered throughout the year, it is often observed in the reproductive areas. It has been suggested that the singing would be related to the mating system of the species, and among the possible functionalities, it may be used to attract females or to establish dominance classification among the males. Throughout the reproductive season, some alterations can be observed in the vocal activity of the singers, as the fluctuation in the abundance all over the days, influence of cyclic factors as day hour and phases of the moon, moreover alterations caused by sound disturbances, which can be natural or anthropic. In this context, this present study had as object describe the seasonal and cyclical patterns: day of the season, time of day and moon phases, as well possible alterations caused in different levels of sea agitation, thus alterations in the local acoustic landscape, in the vocal activity of male singers of humpback whale in Serra Grande, a reproductive area in reoccupation in the south of Bahia state. Acoustic unites of autonomous submarine recordings (oceanpods) were installed among 2,5 – 2,7 km of coast and among 16 – 22 m of depth. Visual records through fixed spots were carried out in order to detect the fluctuation in the adult's abundance, besides obtaining the data on the state of the sea. The singing was recorded in every sampled day, however, seasonal fluctuations, similar to that were observed to adults abundance, were documented being characterized by a continual increase of the beginning of the season to the peak, registered between the end of August and the beginning of September, and after a gradual decrease to end of October. The vocal activity of the singers also exhibited trends with regard to the phases of the moon and different degrees of sea agitation, in addition to the daily patterns observed, with a higher occurrence in the periods of low light, from late afternoon to early morning, as identified in other populations. This study describes the vocal activity of singers in a breeding ground that so far has few anthropic activities, however, it is the target of future ventures with the potential to change the acoustic landscape of the region. Considering the possible impacts of such activities on the acoustic communication of whales, the data presented in this study may be used as a baseline for future studies that aim the effects of the future alteration of the acoustic landscape on the acoustic behavior of the species.

Key-words: Acoustic monitoring; Song; Reproductive strategy; Seasonal variation; Moon phases.

## LISTA DE FIGURAS

- Fig.1.** Localização da área de estudo em Serra Grande, Bahia, região nordeste do Brasil. O triângulo identifica a plataforma terrestre de observação (Ponto fixo), a uma altura de 93 m. A área tracejada corresponde a região coberta pelo monitoramento visual, com 224.5 km<sup>2</sup>, onde foram instaladas as unidades acústicas de gravação autônoma, com as respectivas localizações sinalizadas por um círculo com a identificação do ano a qual corresponde .....33
- Fig.2.** Período da temporada coberto pelo monitoramento acústico nos anos de 2014, 2015, 2018 e 2019 na região de Serra Grande (Uruçuca, Bahia) .....35
- Fig.3.** Atividade vocal dos cantores de baleia-jubarte, na região de Serra Grande (Uruçuca) durante as temporadas reprodutivas de 2014, 2015, 2018 e 2019. Estão expressas as médias em cada ano e o erro padrão associado a estimativa .....39
- Fig.4.** Flutuações do número médio de cantores de baleia-jubarte ao longo dos dias da temporada reprodutiva, expressos em Dia Juliano, na região de Serra Grande (Uruçuca) nos anos de 2014, 2015, 2018 e 2019, com identificação do intervalo de confiança associado a estimativa.....39
- Fig.5.** A esquerda: número médio de cantores de baleia-jubarte por dia Juliano em uma escala de 0 – 4, extraídos dos registros acústicos. A direita: número de adultos de baleia-jubarte obtidos por hora ao longo dos dias Juliano, observados por ponto fixo, ambos em Serra Grande, Bahia nos anos de 2014 (A), 2018 (B) e 2019 (C) .....41
- Fig.6.** Número médio de adultos registrados por hora na região de Serra Grande (Uruçuca) durante as temporadas reprodutivas de 2014, 2015, 2018 e 2019. Estão expressas as médias em cada ano e o erro padrão associado a estimativa .....41
- Fig.7.** Média e erro padrão para o número de cantores de baleia-jubarte nas diferentes classes de estado do mar (Escala Beaufort), ao longo da temporada reprodutiva, na região de Serra Grande (Uruçuca, Bahia). Em A: temporada reprodutiva de 2014; em B: temporada reprodutiva de 2015; em C: temporada reprodutiva de 2018 e em D: temporada reprodutiva de 2019.....42
- Fig.8.** Número médio de cantores por hora do dia na região de Serra Grande (Bahia), nos anos de 2015, 2018 e 2019 .....45

## LISTA DE TABELAS

<b>Tab.1.</b> Descrição das variáveis independentes do modelo .....	37
<b>Tab.2.</b> Esforço amostral para os dados de abundância relativa de adultos ( <i>surveys</i> ) e estado do mar (escala de Beaufort) obtidos em cada uma das temporadas reprodutivas .....	38
<b>Tab.3.</b> Esforço amostral para os dados acústicos em cada uma das temporadas reprodutivas...	38
<b>Tab.4.</b> Resultados da seleção de 8 modelos mistos generalizados mais plausíveis (ranqueados por AIC). O melhor modelo está destacado em negrito .....	43
<b>Tab.5.</b> Resumo do melhor modelo com estimativas e P valor para as variáveis independentes incluídas. Os asteriscos indicam o nível de significância para cada variável em uma confiabilidade de 95% (**<math><0,001</math>, **<math><0,01</math>, *<math><0,05</math>) .....	44

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL.....	12
1.1	Contextualização: comunicação acústica.....	12
1.2	Comunicação acústica em cetáceos.....	13
1.3	Baleia- jubarte: características e comportamento de canto.....	15
1.4	Impactos do ruído antropogênico no nicho acústico da espécie.....	17
1.5	REFERÊNCIAS.....	20
2.	Capítulo 1: INFLUÊNCIA DE CONDIÇÕES AMBIENTAIS E ECOLÓGICAS SOBRE OS PADRÕES DE ATIVIDADE VOCAL DOS CANTORES DE BALEIA-JUBARTE ( <i>Megaptera novaeangliae</i> ) EM UMA ÁREA REPRODUTIVA NO SUL DA BAHIA.....	28
	Resumo.....	29
	Abstract.....	30
2.1	Introdução.....	31
2.2	Materiais e Métodos.....	33
2.3	Resultados.....	38
2.4	Discussão.....	46
	Referências.....	53
3.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	59

## **1. INTRODUÇÃO GERAL**

### **1.1. Contextualização: comunicação acústica**

A comunicação entre animais, seja ela, inter ou intraespecífica, envolve a produção de um sinal, por um ou mais indivíduos, o qual se propaga no ambiente aquático, aéreo ou sólido, e é reconhecido por um ou mais receptores, que como resposta, alteram o seu comportamento (KREBS; DAVIES, 1996). A informação contida em um sinal pode ser transmitida de forma visual, como por exemplo, por meio de cores gritantes; auditiva, por meio da produção de sons; química, envolvendo por exemplo feromônios; ou táteis, baseadas em toques (SEBEOK, 1965). Dentre os tipos de sinais emitidos, o acústico ou onda sonora, é um dos quais possui maior potencial de propagação no ambiente, podendo alcançar longas distâncias, assim, possibilitando uma comunicação mais abrangente em termos espaciais (GERHARD; HUBER, 2002). Dessa forma, ele pode transmitir informações como a identidade, a localização, o tamanho corporal e o estado sexual do sinalizador (GERHARD; HUBER, 2002).

A distância alcançada na propagação de um sinal acústico é influenciada pelo tipo de frequência emitida, onde frequências mais altas com ondas menores alcançam curtas distâncias, e o contrário acontece com frequências mais baixas e de ondas maiores, que são utilizadas para comunicação a longas distâncias (BRADBURY; VEHRENCAMP, 2011). Outro fator de influência a ser levado em consideração, relaciona-se às propriedades físicas do meio, por exemplo, a densidade do meio aquático é maior do que a do meio atmosférico, como resultado, a velocidade e distância de propagação do som na água é cerca de cinco vezes maior do que no ar, podendo sob certas condições viajar milhares de quilômetros no oceano (HAWKINS; MYRBERG, 1983; RICHARDSON et al., 1995). Além disso, durante o processo de propagação, os sinais acústicos estão susceptíveis a alguns efeitos, como o da atenuação e o da degradação. Na atenuação, ocorre uma diminuição progressiva da intensidade do sinal, como resultado da absorção da energia sonora pelos obstáculos presentes no meio, inclusive o solo (FORREST, 1994), enquanto na degradação, o sinal sofre alterações estruturais, tais como, mudanças na frequência, presença de ecos e reverberações, decorrentes do espalhamento ou refração do sinal em obstáculos à medida que o som se propaga (MORTON, 1986; BRADBURY; VEHRENCAMP, 2011).

O entendimento de como os animais lidam com estas distorções sonoras durante a propagação é importante para compreender a evolução da comunicação acústica, visto que, fatores que são capazes de alterar a composição, bem como a estrutura de um sinal sonoro, podem ter moldado e/ou restringido a evolução da produção de sons em muitas espécies

(BRADBURY; VEHRENCAMP, 2011). Somando a vantagem da propagação acústica, às limitações visuais impostas pelo ambiente aquático, dentre elas: turbidez da água (AU, 2000); atenuação da luminosidade (URICK, 1983); espaçamento entre indivíduos e o fato de muitas espécies serem solitárias ou viajarem em grupos pequenos por grande parte do ano (STERN, 2000), podemos entender que o desenvolvimento do uso de sinais acústicos como mediadores da comunicação em muitas espécies de hábitat aquático, pode ser mais vantajoso que outros meios de comunicação (RICHARDSON et al., 1995). Por exemplo, os cetáceos utilizam primariamente a comunicação acústica em suas interações sociais, sejam para coesão de grupos ou para transmitir informações sobre a aptidão de um parceiro em potencial (AU, 2000).

## 1.2. Comunicação acústica em cetáceos

Possuindo mais de 80 espécies, a ordem Cetacea pode ser dividida em dois grupos: os Odontoceti, sendo representado pelos cetáceos que possuem dentes, como os botos e golfinhos e os Mysticeti, onde estão os cetáceos que possuem barbatanas, como é o caso das grandes baleias, também chamadas de baleias verdadeiras (REEVES et al., 2002; WILSON; REEDER, 2005). Esta ordem possui representantes em todos os oceanos do mundo, além de mares internos e algumas bacias fluviais (LODI; BOROBIA, 2013), o que reflete na variedade de tipos de sons produzidos e suas diferentes finalidades, podendo destacar-se dois tipos: os sons produzidos por atividades aéreas e os sons produzidos por órgãos especializados.

Acredita-se que muitos cetáceos se comuniquem por sons gerados por meio de atividades aéreas, que são realizadas através de saltos ou batidas com alguma parte do corpo, como a nadadeira peitoral ou caudal na superfície da água (NORRIS; DOHL, 1980; WHITEHEAD, 1985a; NORRIS et al., 1994). Esses eventos têm sido descritos para várias espécies de odontocetos, tais como o golfinho-rotador (*Stenella longirostris*) (NORRIS et al., 1994; SILVA-JR, 1996), o boto-cinza (*Sotalia guianensis*) (ANDRADE et al., 1987) e o cachalote (*Physeter macrocephalus*) (WATERS; WHITEHEAD, 1990), assim como para os misticetos, como a baleia-jubarte (*Megaptera novaeangliae*) (WHITEHEAD, 1985b), a baleia-franca-do-sul (*Eubalaena australis*) (CLARK, 1983) e a baleia-franca-da-Groelândia (*Balaena mysticetus*) (WURSIG et al., 1989). A informação contida no sinal sonoro gerado por cada tipo de atividade aérea ainda é incerta e tema de discussão por muitos pesquisadores, que sugerem que estes comportamentos possam transmitir informações, como a localização do emissor para outros indivíduos no grupo e/ou demonstrar agressividade (MARTINEZ; KLINGHAMMER, 1978; NASCIMENTO et al., 2008), embora alguns trabalhos direcionem as atividades aéreas a

outras funcionalidades, como remoção de ectoparasitas do corpo (PERRIM; GILPATRICK, 1994) e forrageio (NASCIMENTO, 2006). Contudo, existem evidências de que o som gerado durante os comportamentos aéreos (NORRIS; MØHL, 1983; CLARK 1990) atua como um meio de comunicação importante no ambiente aquático, pois pode alcançar vários quilômetros de distância (HERMAN; TAYOLGA, 1980). Dunlop et al. (2010), por exemplo, relataram que as baleias-jubarte gradualmente deixaram de usar vocalizações para usar sons gerados por atividades aéreas em resposta ao aumento do ruído ambiental provocado pelo aumento da velocidade do vento e conseqüente maior agitação do mar, como já havia sido proposto Whitehead (1985b).

Os sons produzidos por órgãos especializados, por sua vez, são amplamente estudados (e.g.: PAYNE; MCVAY, 1971; HERMAN; TAVOLGA, 1980; CLARK, 1983; SANTOS, 1989; SHARPE et al., 1998; GEDAMKE et al., 2001; DUNLOP et al., 2007; HERMAN, 2016; SOUSA-LIMA et al., 2018) e diferem entre odontocetos e mysticetos. No geral os odontocetos vocalizam em uma ampla faixa de frequência, entre 5kHz até mais de 135 kHz, enquanto os mysticetos produzem sons em frequências mais baixas, entre 14Hz a cerca de 5kHz (AU, 2000).

Os Odontocetos produzem emissões sonoras que comumente podem ser classificadas em três categorias: os assobios, os sons explosivos e os cliques de ecolocalização (RICHARDSON et al., 1995). Os assobios e os sons explosivos podem ser utilizados em diversos contextos sociais, sendo que, os assobios são mais frequentemente observados em grupos com uma distribuição mais espaçada entre os indivíduos e pode ser utilizado para transmitir informação de identidade individual, enquanto os sons explosivos são observados em grupos com espaçamento mais agregado, tendo como possível objetivo, a manutenção da coesão nos grupos (LAMMERS et al., 2006). Diferentemente do que acontece com os sons produzidos em contexto social, os cliques de ecolocalização são utilizados para se obter informação a respeito do ambiente, funcionando como uma espécie de sonar, assim, um sinal enviado por um indivíduo se propaga na água, colidindo com os obstáculos no ambiente e como um eco, volta para o emissor com informações do meio à sua volta, sendo frequentemente produzido durante a navegação e o forrageamento (AU, 1993; LAMMERS et al., 2003).

Os mysticetos também são capazes de produzir emissões vocais, as quais podem ser classificadas em duas categorias: chamados e canto (AU, 2000). Os chamados são definidos como sons isolados, de curta duração, exibidos por ambos os sexos e presentes em atividades como por exemplo, o forrageio (WINN et al., 1979; MOBLEY et al., 1988; SHARPE et al.,

1998). Entretanto, a classificação destes sons em categorias funcionais ainda é muito incerta, pois existe uma grande variedade de vocalizações entre indivíduos e entre espécies, que são emitidas em diferentes contextos, sendo o mais aconselhável estudar a variação de cada emissão separadamente (WINN et al., 1979; CLARK 1983; MOBLEY et al., 1988; DUNLOP et al., 2007). O canto por sua vez é caracterizado por emissões vocais longas e complexas, que são estruturadas hierarquicamente e acredita-se que sejam utilizadas em interações mais específicas (PAYNE; MCVAY, 1971). Foi primeiramente descrito para baleia-jubarte e associado a um comportamento reprodutivo e seleção sexual (PAYNE; MCVAY, 1971; SMITH et al., 2008). O mesmo foi proposto para as outras espécies de mysticetos no qual este comportamento também foi identificado, dentre elas, a baleia-azul (*Balaenoptera musculus*) (CUMMINGS; THOMPSON, 1971; OLESON et al., 2007), a baleia-fim (*Balaenoptera physalus*) (WATKINS et al., 1987; CROLL et al., 2002), a baleia-da-Groelândia (*Balaena mysticetus*) (TERVO et al., 2009) e a baleia-minke (*Balaenoptera oculatora*) (GEDAMKE et al., 2001). Contudo, pode não se tratar de um comportamento acústico comum a todas as baleias, podendo ser ausente em algumas espécies, como é o caso da baleia-franca (*Eubalaena sp.*) (CLARK, 1983). Por muito tempo a espécie foi conhecida por emitir apenas os sons de chamado, entretanto estudos recentes evidenciaram o canto em uma população do Pacífico Norte, contudo ainda não se sabe se trata-se de um caso isolado ou da falta de documentação do canto em outras populações (CRANCE et al., 2019). Dentre estas espécies na qual o canto já foi documentado, a baleia-jubarte é a qual o repertório acústico apresenta um número maior de estudos (e.g.: PAYNE; MCVAY, 1971; WINN; WINN, 1978; WINN et al., 1981; CATO 1991; NOAD et al., 2000; ARRAUT; VIELLIARD, 2004; AU et al., 2006; SOUSA-LIMA; CLARK, 2008; SOUSA-LIMA et al., 2018).

### **1.3. Baleia-jubarte: características e comportamento de canto**

A baleia-jubarte pertence à família Balaenopteridae, e semelhante a outras baleias verdadeiras, realiza migrações anuais entre as áreas de alimentação, localizadas em altas latitudes no verão e as áreas de reprodução, localizada em baixas latitudes no inverno (DAWBIN, 1966; CLAPHAM, 2000; HORTON et al., 2011). No Hemisfério Sul, são reconhecidos sete estoques reprodutivos para a espécie, com áreas de alimentação correspondentes na região da Antártica (IWC, 1998; IWC, 2005). A população que migra para costa brasileira pertence ao Estoque Reprodutivo A e tem definida como sua área de alimentação as regiões das Ilhas Geórgia do Sul e Sanduiche do Sul (ZERBINI et al., 2006). No Brasil, a espécie possui uma ampla distribuição de padrão não uniforme, apresentando

diferentes densidades (ANDRIOLO et al., 2010). A região de maior concentração, e considerada a principal área de ocorrência da espécie na costa brasileira é o Banco de Abrolhos (Bahia) (SICILIANO, 1997; MARTINS et al., 2001; ANDRIOLO et al., 2006), mas os registros de ocorrência vão desde o estado do Rio de Janeiro, até o Rio Grande do Norte (ANDRIOLO et al., 2010). Entretanto, a distribuição da espécie na costa brasileira ainda é subestimada, havendo registros de coletas não sistemáticas e encalhes que sugerem que a distribuição possa ser mais ampla, desde o Rio Grande do Sul (PINEDO 1985, PIZZORNO et al., 1998) até o Maranhão, onde a carcaça de um filhote recém-nascido indicou a costa maranhense como área reprodutiva (RISTAU et al., 2019).

Além da variação de densidade entre áreas ao longo da costa, a espécie também apresenta uma variação de densidade temporal, sendo observado um aumento contínuo da abundância de indivíduos a partir do início do mês de julho, com picos entre os meses de agosto e setembro (MARTINS et al., 2001; MORETE et al., 2008). Após o pico, as baleias começam a deixar os sítios reprodutivos em direção as áreas de alimentação na Antártica, e sua densidade é reduzida até o mês de novembro, quando os indivíduos já retornaram (MORETE et al., 2008). Esse padrão foi observado no Banco de Abrolhos (MARTINS et al., 2001; MORETE et al., 2008), contudo resultados similares foram encontrados em outras áreas reprodutivas, como por exemplo, em Serra Grande (Bahia), uma região de reocupação da espécie localizada ao norte do Banco de Abrolhos (GONÇALVES et al., 2018a)

Durante a temporada reprodutiva, os machos de baleia-jubarte realizam mais frequentemente o canto (PAYNE; MCVAY, 1971). As hipóteses mais aceitas voltadas a funcionalidade deste comportamento sugerem que: 1 – o canto é usado para atrair fêmeas para um cantor em específico; 2 – o canto é usado para atrair fêmeas para vários cantores em uma arena (sistema de *lekking*); 3 – o canto é usado como forma de mediar interações entre machos (HERMAN, 2016). O canto da baleia-jubarte é constituído por uma sequência variada de diferentes sons de curta duração, denominados “unidades”, que juntos em uma sequência compõem uma “frase”, a qual se repete por um número variável de vezes e a série de repetições constitui o “tema”. Dentro de uma sessão de canto, vários temas podem ser observados, e no geral são produzidos em uma ordem específica (PAYNE; MCVAY, 1971). A duração da sessão de canto é variável, quando não perturbado um cantor pode repetir os mesmos temas por horas (WINN; WINN, 1978; SOUSA-LIMA et al., 2018). Todos os cantores foram identificados como sendo do sexo masculino (i.e.: GLOCKNER, 1983; DARLING et al., 2006; SMITH et al., 2008) e cada população apresenta um padrão de canto por temporada, comum a todos os

indivíduos de uma mesma população, o qual sofre mudanças graduais ao longo dos anos, sugerindo uma transmissão cultural (WINN; WINN, 1978; WINN et al., 1981; PAYNE et al., 1983; CATO 1991; NOAD et al., 2000; ARRAUT; VIELLIARD, 2004). Além das variações graduais nos componentes estruturais do canto ao longo dos anos, alguns autores sugerem também que este comportamento pode variar dentro de uma mesma temporada reprodutiva, no que diz respeito a frequência de ocorrência entre os meses, bem como devido a influência de ritmos, definido como um agente modificador de padrão repetitivo periódico (HALBERG, 1969), dentre eles, o circadiano e o ciclo lunar (AU et al., 2000; CERCHIO et al., 2010; ESPANOL-JIMENEZ; SCHAAR, 2018). Alguns fatores ambientais podem se relacionar ao estabelecimento e manutenção dos ritmos biológicos, como por exemplo, variação de luminosidade, temperatura, salinidade e perturbação (HALBERG, 1969). Estes fatores são chamados de agentes sincronizadores (HALBERG, 1960) e podem fazer com que o organismo modifique a expressão do ritmo em resposta a um estímulo (HALBERG, 1969). Dessa forma, torna-se importante entender como estes fatores atuam sobre a atividade vocal dos machos cantores em estudos que visem descrever este comportamento ao longo de um período, como por exemplo, durante a temporada reprodutiva.

#### **1.4. Impactos do ruído antropogênico no nicho acústico da espécie**

Atualmente a baleia-jubarte está classificada como menos preocupante pela *International Union for the Conservation of Nature – IUCN* (COOKE, 2018), resultado do aumento populacional registrado após a moratória internacional decretada em 1986 que proibiu a caça comercial das baleias (IWC, 1998). No Brasil, o Estoque Reprodutivo A, é protegido pelo Decreto Lei nº 7643 de 18 de dezembro de 1987 (BRASIL, 1987) que proíbe a caça e molestamento intencional de qualquer cetáceo em águas brasileiras. A recuperação do estoque A, tem sido documentada em diversos trabalhos (ROSSI-SANTOS et al., 2008; ANDRIOLO et al., 2010; BORTOLOTTTO et al., 2016; PAVANATO et al., 2017; GONÇALVES et al., 2018a), sendo sugerido por Rossi-Santos et al. (2008) uma reocupação de áreas que eram utilizadas antes de serem afetados pela caça. Atualmente a recuperação deste estoque reprodutivo aproximam-se em 93% da abundância estimada anteriormente a caça (período pré-exploratório) (ZERBINI et al., 2019). Entretanto, as baleias-jubarte ainda não estão isentas dos impactos relacionados as atividades antrópicas, dentre elas, a poluição sonora geradas por atividades como o transporte marítimo, pesquisas sísmicas para exploração de petróleo e gás, utilização de sonares em exercícios militares e tráfego de embarcações de pesca e/ou lazer (HATCH; WRIGHT, 2007; ROSSI- SANTOS, 2012). O ruído subaquático gerado por estas

atividades tem potencial para mascarar os sons produzidos pelas baleias, sendo o mascaramento acústico definido como um ruído que ocorre no mesmo intervalo de tempo e nas mesmas bandas de frequência de um sinal de interesse, dessa forma, reduzindo a eficiência da percepção e decodificação do mesmo por um receptor (WATSON, 1987; CLARK, et al., 2009). Estas interferências acústicas podem provocar respostas comportamentais nos indivíduos, dentre elas: alteração na frequência e amplitude dos sinais emitidos, como relatado por Di Lorio; Clark (2010) para baleia-azul e por Helble et al. (2020) para baleia-minke e abandono temporal ou permanente de área, como sugerido para baleia-cinzenta (*Eschrichtius robustus*) por Bryant et al. (1984). Para a baleia-jubarte, alguns registros de impactos causados por perturbações sonoras já foram identificados, podendo se destacar a interrupção do canto, registrado na principal área de ocorrência da espécie na costa brasileira, onde machos cantores cessaram o canto na presença de ruídos provocados por embarcações (SOUSA-LIMA; CLARK, 2009; SOUSA-LIMA et al., 2018); lesões físicas, as quais são mais difíceis de identificar, tendo registros de ruptura de estruturas no ouvido, dentre elas, a janela redonda e a cadeia ossicular, identificadas em carcaças de baleias-jubarte que foram expostas a explosões subaquáticas (KETTEN; TODD, 1993) e registros de mortalidade incomum e emalramento em redes de pesca, que foram relacionadas a realização de atividades sísmicas na área (TODD et al., 1996; ENGEL et al., 2004).

O ambiente marinho por si só é uma fonte de ruído, e nele, fatores naturais como o vento, chuva e ondas, estão presentes no histórico evolutivo de muitas espécies, e são uma pressão de seleção para adaptações e/ou estratégias, que ao longo dos anos moldaram seu sistema de comunicação e nicho acústico a fim de otimizar a utilização dos sinais acústicos, logo eficiência da comunicação neste ambiente (RICHARDSON et al., 1995). A influência destes fatores pode ser observada, por exemplo, em Cummings e Holliday (1987), que ao analisarem as emissões acústicas da baleia-da-Groelândia no Alasca (EUA), descreveram o aumento na velocidade do vento como principal agente sonoro modificador da paisagem, devido a produção de ondas. Enquanto Kavanagh et al. (2016), observaram que o mesmo provocou alterações no comportamento acústico realizado pelas baleias-jubarte em uma área reprodutiva na costa leste da Austrália, onde a espécie investiu mais frequentemente na realização de atividades aéreas, especificamente, batidas de peitoral, a medida em que a velocidade do vento aumentava.

Considerando as variações naturais que ocorrem no comportamento de canto dos machos de baleia-jubarte ao longo da temporada reprodutiva, dentre elas: alteração na

frequência de ocorrência entre meses (ESPANOL-JIMENEZ; SCHAAR 2018); influência de ritmos (AU et al., 2000; CERCHIO et al., 2010; ESPANOL-JIMENEZ; SCHAAR 2018) e os possíveis efeitos causados por perturbações sonoras, como o aumento do ruído provocado por uma maior agitação do mar (DUNLOP et al., 2010; KAVANAGH et al., 2016), entendemos como importante que estes fatores sejam usados para descrever características e padrões do comportamento de canto da espécie ao longo de um período. Assim, neste estudo, avaliamos as alterações na atividade vocal dos machos cantores de baleia-jubarte ao longo da temporada reprodutiva, na região de Serra Grande (Bahia), uma área reprodutiva de reocupação, que até o presente momento apresenta poucas atividades antrópicas (GONÇALVES et al., 2018b). Entretanto, está próxima (cerca de 10 km) de futuros empreendimentos, estando prevista a construção de um complexo portuário – Complexo Logístico e Intermodal Porto Sul, com capacidade de escoamento de grandes volumes de minério de ferro e infraestrutura para se tornar o terceiro maior porto do Brasil (BAMIN, 2011; TCU, 2012). Dessa forma a região de Serra Grande irá receber um grande fluxo de embarcações, incluindo as de grande porte, como navios de carga.

Neste contexto, o objetivo geral deste estudo foi caracterizar os padrões da atividade vocal dos cantores de baleia-jubarte na região de Serra Grande ao longo de 4 temporadas reprodutivas, previamente à construção do maior complexo portuário da região nordeste do Brasil. Consideramos variáveis descritas como moduladoras da atividade vocal dos cantores para a caracterização destes padrões. Assim, investigamos a influência das variáveis:

1 – Dia da temporada, onde esperávamos encontrar flutuações na abundância de cantores à medida que a temporada reprodutiva progride, como resposta à variação na abundância de adultos ao longo da mesma. Tínhamos como predição que uma maior atividade de canto seria registrada no meio da temporada, período em que maior número de indivíduos é observado e possivelmente um maior número de adultos sexualmente ativos também;

2 – Estado do mar (Escala Beaufort), onde esperávamos encontrar alterações na atividade vocal dos cantores nas diferentes classes de estado do mar. Tínhamos como predição que a atividade vocal dos cantores iria diminuir gradualmente do estado 1 ao 4, como resposta ao aumento do ruído ambiental provocado por um maior grau de agitação do mar.

3 – Hora do dia, onde esperávamos encontrar flutuações na atividade vocal dos cantores entre os períodos do dia, tendo como predição que uma maior atividade de canto seria registrada durante os períodos de pouca luz, entre o final da tarde e início da manhã, assim como

documentado em outras populações (AU et al., 2000; CERCHIO et al., 2010; ESPANOL-JIMENEZ; SCHAAR 2018).

4 – Fases da lua, onde esperávamos encontrar uma maior atividade vocal na lua nova, como já havia sido proposto por Gonçalves et al. (2018a) para região de Serra Grande. Tínhamos como predição que uma menor intensidade luminosa observada nesta fase seria um fator limitante em termos visuais para realização de outras estratégias reprodutivas, logo, os machos investiriam mais frequentemente na realização do canto neste período.

## 1.5. REFERÊNCIAS

ANDRADE, L., SICILIANO, S. & CAPISTRANO, L. 1987. Movimentos e atividades do boto *Sotalia guianensis* (Cetacea, Delphinidae) na Baía de Guanabara – Rio de Janeiro. In: Reunião de trabalho de especialistas em mamíferos aquáticos da América do Sul, 2. Fundação Brasileira para a Conservação da Natureza, Rio de Janeiro, pp 49-55.

ANDRIOLO, A., MARTINS, C.C.A., ENGEL, M.H., PIZZORNO, J.L., MÁRSOSA, S., FREITAS, A.C., MORETE, M.E. & KINAS, P.G. 2006. The first aerial survey of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) to estimate abundance in the breeding ground off Brazil (Breeding Stock A). *Journal of Cetacean Research and Management* 8, 307-311.

ANDRIOLO, A., ENGEL, M.H., KINAS, P. & MARTINS, C.C.A. 2010. Humpback whales within the Brazilian breeding ground: distribution and population size estimate. *Endangered Species Research* 11, 233-243.

ARRAUT, E.M. & VIELLIARD, J.M.E. 2004. The song of the Brazilian population of Humpback Whale *Megaptera novaeangliae*, in the year 2000: individual song variations and possible implications. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences* 76(2), 373-380.

AU, W.W.L. 2000. Hearing in whales and dolphins: An overview. In: Au, W.L.A., Popper, N.A. & Fay, R.R. (Eds.). *Hearing by Whales and Dolphins*. New York: Springer, 2000, 1-42.

AU, W.W., PACK, A.A., LAMMERS, M.O., HERMAN, L.M., DEAKOS, M.H. & ANDREWS, K. 2006. Acoustic properties of humpback whale songs. *The Journal of the Acoustical Society of America* 120(2), 1103-1110.

BRASIL. Lei nº 7.643, de 18 de dezembro de 1987. Proíbe a pesca de cetáceo nas águas jurisdicionais brasileiras, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, 1987, p. 22079, 21 dez.1987. Disponível em:

<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1980-1987/lei-7643-18-dezembro-1987-368104-publicacaooriginal-1-pl.html>.

BORTOLOTTO, G.A., DANILEWICZ, D., ANDRIOLO, A., SECCHI, E.R. & ZERBINI, A.N. 2016. Whale, whale, everywhere: increasing abundance of western South Atlantic humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) in their wintering grounds. *PLoS One* 11(10), e0164596.

BRADBURY, J.V. & VEHCAMP, S.L. 1998. Principles of Animal Communication. *Sinauer, Sunderland, MA*.

BRYANT, P.J., LAFFERTY, C.M. & LAFFERTY, S.K. 1984. Reoccupation of Laguna Guerrero Negro, Baja California, Mexico, by gray whales. In: Jones, M.L., Swartz, S.L. & Leatherwood, S. (Eds.) *The gray whale *Eschrichtius robustus**. Academic Press, Orlando, FL, pp 375–387.

CATO, D.H. 1991. Songs of Humpback Whales: the Australian perspective. *Mem Queensl Mus*, 277-290.

CERCHIO, S., COLLINS, T., STRINDBERG, S., BENNETT, C., & ROSENBAUM, H. 2010. Humpback whale singing activity off northern Angola: an indication of the migratory cycle, breeding habitat and impact of seismic surveys on singer number in Breeding Stock B1. *International Whaling Commission Scientific Committee*, Agadir, Morocco, pp 11-21.

CLAPHAM, P.J. 2000. The Humpback Whale: Seasonal Feeding and Breeding in a Baleen Whale. In: Mann, J., Connor, R.C., Tyack, P.L. & Whitehead, H. (Eds) *Cetacean Societies: Field Studies of Dolphins and Whales*. Chicago: *The University of Chicago Press*, 173-196.

CLARK, C.W. 1983. Acoustic communication and behavior of the southern right whale (*Eubalaena australis*). *Communication and behavior of whales*, 163-198.

CLARK, C.W. 1990. Acoustic behavior of mysticete whales. In: Thomas, J.A. & Kastelein R.A. (Eds) *Sensory Abilities of Cetaceans*. Springer Science+Business Media, New York, pp 571-584.

CLARK, C.W., ELLISON, W.T., SOUTHALL, B. L., HATCH, L., VAN PARIJS, S.M., FRANKEL, A. & PONIRAKIS, D. 2009. Acoustic masking in marine ecosystems: intuitions, analysis, and implication. *Marine Ecology Progress Series* 395, 201-222.

COOKE, J.G. 2018. *Megaptera novaeangliae*. The IUCN Red List of Threatened Species 2018, e.T13006A50362794.

CRANCE, J.L., BERCHOK, C.L., WRIGHT, D.L., BREWER, A.M., & WOODRICH, D.F. 2019. Song production by the North Pacific right whale, *Eubalaena japonica*. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 145(6), 3467-3479.

CROLL, D.A., CLARK, C.W., ACEVEDO, A., TERSHY, B., FLORES, S., GEDAMKE, J., URBAN, J. 2002. Bioacoustics: Only male fin whales sing loud songs. *Nature* 417(6891), 809.

CUMMINGS, W.C. & HOLLIDAY, D.V. 1987. Sounds and source levels from bowhead whales off Pt. Barrow, Alaska. *The Journal of the Acoustical Society of America* 82(3), 814–821.

CUMMINGS, W.C. & THOMPSON, P.O. 1971. Underwater sounds from the blue whale, *Balaenoptera musculus*. *The journal of the Acoustical Society of America* 50(4B), 1193-1198.

DARLING, J.D., JONES, M.E. & NICKLIN, C.P. 2006. Humpback whale songs: Do they organize males during the breeding season? *Behaviour* 143, 1051-1101.

DAWBIN, W.H. 1966. The seasonal migratory cycle of humpback whales. In: Norris, K.S. (Eds). *Whales, dolphins, and porpoises*. Berkeley: *University of California Press*, 145-170.

DI LORIO, L. & CLARK, C.W. 2010. Exposure to seismic survey alters blue whale acoustic communication. *Biology Letters* 6, 51-54.

DUNLOP, R.A., NOAD, M.J., CATO, D.H. & STOKES, D. 2007. The social vocalization repertoire of east Australian migrating humpback whales (*Megaptera novaeangliae*). *The Journal of the Acoustical Society of America* 122(5), 2893.

DUNLOP, R.A., CATO, D.H. & NOAD, M.J. 2010. Your attention please: increasing ambient noise levels elicits a change in communication behavior in humpback whales (*Megaptera novaeangliae*). *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 277(1693), 2521-2529.

ENGEL, M.H., MARCONDES, M.C.C., MARTINS, C.C.A., LUNA, F.O., LIMA, R.P. & CAMPOS, A. 2004. Are seismic surveys responsible for cetacean strandings? An unusual mortality of adult humpback whales in Abrolhos Bank, Northeastern coast of Brazil. *Paper submitted to the IWC Scientific Committee SC/56 E*, pp 28.

ESPAÑOL-JIMÉNEZ, S. & VAN DER SCHAAR, M. 2018. First record of humpback whale songs in Southern Chile: Analysis of seasonal and diel variation. *Marine Mammal Science* 34(3), 718-733.

FORREST, T.G. 1994. From sender to receiver: propagation and environmental effects on acoustic signals. *American Zoologist* 34, 644-654.

GEDAMKE, J., COSTA, D.P. & DUNSTAN, A. 2001. Localization and visual verification of a complex minke whale vocalization. *The Journal of the Acoustical Society of America* 109(6), 3038-3047.

GERHARDT, H.C. & HUBER, F. 2002. Acoustic Communication in Insects and Anurans: Common Problems and Diverse Solutions. *The University of Chicago Press*, 531.

GLOCKNER, D.A. 1983. Determining the sex of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) in their natural environment. *Communication and behavior of whales*, 447-464.

GONÇALVES, M.I.C., SOUSA-LIMA, R.S., TEIXEIRA, N.N., MORETE, M.E., CARVALHO, G.H., FERREIRA, H.M. & BAUMGARTEN, J.E. 2018a. Low latitude habitat uses patterns of a recovering population of humpback whales. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 98(5), 1087-1096.

GONÇALVES, M.I.C., SOUSA-LIMA, R., TEIXEIRA, N.N., CARVALHO, G.H., SCHIAVON, D.D. & BAUMGARTEN, J. 2018b. Movement patterns of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) reoccupying a Brazilian breeding ground. *Biota Neotropica* 18, e20180567.

HALBERG, F. 1960. The 24-hour scale: A time dimension of adaptive functional organization. *Perspectives in biology and medicine* 3(4), 491-527.

HALBERG, F. 1969. Chronobiology. *Annual review of physiology* 31(1), 675-726.

HAWKINS, A.D. & MYRBERG, A.A. 1983. Hearing and sound communication underwater. In: Lewis B. (Eds). *Bioacoustics, a Comparative Approach*. Academic Press London, 347-405.

HELBLE, T.A., GUAZZO, R.A., MARTIN, C.R., DURBACH, I.N., ALONGI, G.C., MARTIN, S.W., BOYLE, J.K. & HENDERSON, E.E. 2020. Lombard effect: Minke whale

boing call source levels vary with natural variations in ocean noise. *The Journal of the Acoustical Society of America* 147(2), 698-712.

HERMAN, L.M. 2016. The multiple functions of male song within the humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) mating system: review, evaluation, and synthesis. *Biological Reviews* 92(3), 1795-1818.

HERMAN, L.M. & TAVOLGA, W.N. 1980. The communication systems of cetaceans. In: Herman, L.M. (Eds). *Cetacean behavior: Mechanisms & Functions*. Wiley Interscience. New York, 149-209.

HORTON, T.W., HOLDAWAY, R.N., ZERBINI, N.A., HAUSER, N., GARRIGUE, C., ANDRIOLO, A. & CLAPHAM, P.J. 2011. Straight as an arrow: humpback whales swim constant course tracks during long-distance migration. *Biology Letters* 7, 674-679.

IWC. 1998. International Whaling Commission. Report of the Scientific Committee. *Rep Int Whal Commn* 48, 53-118.

IWC. 2005. International Whaling Commission. Report of the Scientific Committee. Annex H - Report of the sub-committee on other southern hemisphere whale stocks. *Journal of Cetacean Research and Management* 7, 235-246.

KAVANAGH, A.S., OWEN, K., WILLIAMSON, M.J., BLOMBERG, S.P., NOAD, M.J., GOLDIZEN, A.W., KNIEST, E., CATO, D.H. & DUNLOP, R.A. 2016. Evidence for the functions of surface-active behaviors in humpback whales (*Megaptera novaeangliae*). *Marine Mammal Science* 33(1), 313-334.

KETTEN, D.R., LIEN, J. & TODD, S. 1993. Blast injury in humpback whale ears: evidence and implications. *The Journal of the Acoustical Society of America* 94(3), 1849-1850.

KREBS, J.R. & DAVIES, N.B. 1996. *Introdução à ecologia comportamental*. Atheneu, Editora. São Paulo, Brasil.

LAMMERS, M.O., AU, W.W.L. & HERZING, D.L. 2003. The broadband social acoustic signaling behavior of spinner and spotted dolphins. *The Journal of the Acoustical Society of America* 114(3), 1629-1639.

LAMMERS, M.O., SCHOTTEN, M. & AU, W.W.L. 2006. The spatial context of free-ranging Hawaiian spinner dolphins (*Stenella longirostris*) producing acoustic signals. *The Journal of the Acoustical Society of America* 119(2), 1244-1250.

LODI, L. & BOROBIA, M. 2013. *Baleias, botos e golfinhos do Brasil: guia de identificação*. Tecnical Books Editora. Rio de Janeiro, Brasil.

MARTINEZ, D.R. & KLINCHAMMER, E. 1969. A partial ethogram of the killer whale (*Orcinus orca*). *Carnivore* 1, 13-27.

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

MOBLEY, J.R., HERMAN, L.M. & FRANKEL, A.S. 1988. Responses of wintering humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) to playback of recordings of winter and summer vocalizations and of synthetic sounds. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 23, 211-223.

MORETE, M.E., BISI, T.L., PACE, R.M. & ROSSO, S. 2008. Fluctuating abundance of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) in a calving ground off coastal Brazil. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 88(6), 1229-1235.

MORTON, E.S. 1986. Predictions from the ranging hypothesis for the evolution of long distance signals in birds. *Behaviour* 99, 65–86.

NASCIMENTO, L.F. 2006. Boto cinza ("*Sotalia guianensis*" van Bénédén, 1864) (Cetacea, Delphinidae): Atividade aérea, forrageio e interações interespecíficas, na Praia de Pipa (Tibau do Sul-RN) e um estudo comparativo entre duas populações do Nordeste do Brasil. *Tese de Doutorado em Psicobiologia não-publicada, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN.*

NASCIMENTO, L.F., MEDEIROS, P.I.A.P. & YAMAMOTO, M.E. 2008. Descrição do comportamento de superfície do boto cinza, *Sotalia guianensis*, na Praia de Pipa-RN. *Psicologia: Reflexão e Crítica* 21, 509-517.

NOAD, M.J., CATO, D.H., BRYDEN, M.M., JENNER, M.N. & JENNER, C.S. 2000. Cultural revolution in whale songs. *Nature* 408, 537.

NORRIS, K.S. & DOHL, T.P. 1980. Behavior of the Hawaiian spinner dolphin, *Stenella longirostris*. *Fisheries Bulletin* 77, 821-849.

NORRIS, K.S. & MØHL, B. 1983. Can odontocetes debilitate prey with sound? *The American Naturalist* 122, 85–104.

NORRIS, K.S., WÜRSIG, B. & WELLS, R.S. 1994. Aerial behavior. In: Norris, K.S., Würsig, B., Wells, R.S. & Würsig M. (Eds). *The Hawaiian Spinner Dolphin*. California: *The Regents of the University of California*, 103-121.

OLESON, E.M., CALAMBOKIDIS, J., BURGESS, W.C., MCDONALD, M.A., LEDUC, C. A. & HILDEBRAND, J.A. 2007. Behavioral context of call production by eastern North Pacific blue whales. *Marine Ecology Progress Series* 330, 269-284.

PAVANATO, H.J., WEDEKIN, L.L., GUILHERME-SILVEIRA, F.R., ENGEL, M.H. & KINAS, P.G. 2017. Estimating humpback whale abundance using hierarchical distance sampling. *Ecological Modelling* 358, 10-18.

PAYNE, K.B., TYACK P. & PAYNE, R.S. 1983. Progressive changes in the songs of Humpback Whales (*Megaptera novaeangliae*): a detailed analysis of two seasons in Hawaii. In: Payne R.S. (Eds). *Communication and behavior of whales*. Boulder, Colorado: *Westview Press*, 9-57.

PAYNE, R.S. & MCVAY, S. 1971. Songs of humpback whales. *Science* 173, 585–597.

PERRIM, W.F. & GILKPATRICK JR., J.W. 1994. Spinner dolphin *Stenella longirostris* (Gray, 1828. In: Ridgway, S.H. & Harrison, R. (Eds). *Handbook of marine mammals: the first book of dolphins*. *Academic Press London*, 99-120.

PINEDO, M.C. 1985. A note on a stranding of the humpback whale on the southern coast of Brazil. *The Scientific Reports of the Whales Research Institute* 36: 165–168.

PIZZORNO, J.L.A., LAÍLSON-BRITO, J.L., DORNELES, P.R., AZEVEDO, A.F. & GURGEL, I.M.G.N. 1998. Review of strandings and additional information on humpback

whales, *Megaptera novaeangliae*, in Rio de Janeiro, southeastern Brazilian coast (1981–1997). *Rep Int Whaling Comm* 48, 443-446.

REEVES, R.R., STEWART, B.S., CLAPHAM, P.J. & POWELL, J.A. 2002. Guide to marine mammals of the world. *National Audubon Society*. New York: Chanticleer Press, pp 528.

RICHARDSON, W.J., GREENE, C.R.J., MALME, C.I. & THOMPSON, D.H. 1995. Marine Mammals and Noise. *Academic Press*, 576.

RISTAU, N. G., MARTINS, C.C.A., LUVIZOTTO-SANTOS, R., BALENSIEFER, D., SOUSA, G., MARMONTEL, M. & FARIAS, I. P. 2019. Sharing the space: Review of humpback whale occurrence in the Amazonian Equatorial Coast. *Global Ecology and Conservation*, 22, e00584.

ROSSI-SANTOS, M.R. 2012. Comportamento e ecologia acústica da baleia Jubarte (*Megaptera novaeangliae*) na região Nordeste do Brasil. Tese (Doutorado em Psicobiologia) – *Centro de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Norte*.

ROSSI-SANTOS, M.R., NETO, E.S., BARACHO, C.G., CIPOLOTTI, S.R., MARCOVALDI, E. & ENGEL, M.H. 2008. Occurrence and distribution of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) on the north coast of the State of Bahia, Brazil, 2000–2006. *ICES Journal of Marine Science* 65(4), 667-673.

SANTOS, M.E.D. 1989. Aspectos Acústicos do comportamento dos golfinhos. *Análise Psicológica* 7, 133-147.

SEBEOK, T.A. 1965. Animal Communication: A communication network model for languages is applied to signaling behavior in animals. *Science* 147(3661), 1006-1014.

SHARPE, F.A., DILL, L.M., BEAVER, V. & SPELLMAN, B. 1998. Killing me softly: feeding calls of the Alaskan humpback whale. *Abstracts of the World Marine Mammal Science Conference*. Monaco, pp 20-24.

SICILIANO, S. 1997. Características da população de baleias-jubarte (*Megaptera novaeangliae*) da costa brasileira, com especial referência aos Bancos de Abrolhos. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, pp 113.

SILVA-JR, J.M., SILVA, F.J.L. & PEREIRA, J.A. 1996. Aspectos do golfinho rotador, *Stenella longirostris* (Gray, 1828), no Arquipélago de Fernando de Noronha. Dissertação de mestrado. *Universidade Federal de Pernambuco*, Recife-PE.

SMITH, J.N., GOLDIZEN, A.W., DUNLOP, R.A. & NOAD, M.J. 2008. Songs of male humpback whales, *Megaptera novaeangliae*, are involved in intersexual interactions. *Animal Behaviour* 76(2), 467-477.

SOUSA-LIMA, R.S. & CLARK, C.W. 2008. Modeling the effect of boat traffic on the fluctuation of humpback whale singing activity in the Abrolhos National Marine Park, Brazil. *Canadian Acoustics* 36(1), 174-181.

SOUSA-LIMA, R.S., ENGEL, M.H., SÁBATO, V., LIMA, B.R., QUEIRÓZ, T.S., BRITO, M.R., FERNANDES, D.P., MARTINS, C.A.C., HATUM, O.S., CASAGRANDE, T., HONDA, R.K., GONÇALVES, M.I.C., BAUMGARTEN, J.E., ANDRIOLO, A., RIBEIRO, M.C. & CLARK, C.W. 2018. Acoustic ecology of humpback whales in Brazilian

waters investigated with basic and sophisticated passive acoustic technologies over 17 years. *Western Indian Ocean Journal of Marine Science*, 23-40.

STERN, S.J. 2000. Migration and Movement Patterns. In: Marine Mammal Encyclopedia, *Academic Press*, San Diego, pp 742-748.

TCU - TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO. 2012. Relatório de fiscalização – Sintético. Fiscalização 377/2012. TC (010.207), 2012-0.

TERVO, O.M., PARKS, S.E. & MILLER, L.A. 2009. Seasonal changes in the vocal behavior of bowhead whales (*Balaena mysticetus*) in Disko Bay, Western-Greenland. *The Journal of the Acoustical Society of America* 126(3), 1570-1580.

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

TYACK, P. 1981. Interactions between singing humpback whales and conspecifics nearby. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 8, 105–116.

URICK, R.J. 1983. Principles of underwater sound, 3rd edition. *Peninsula Publishing Los Atlos, California*, 423.

WALTERS, S. & WHITEHEAD, H. 1990. Aerial behaviour in sperm whales. *Canadian Journal of Zoology* 68, 2076-2082.

WATKINS, W.A., TYACK, P., MOORE, K.E. & BIRD, J.E. 1987. The 20-Hz signals of finback whales (*Balaenoptera physalus*). *The Journal of the Acoustical Society of America* 82(6), 1901–1912.

WATSON, C.S. 1987. Uncertainty, informational masking, and the capacity of immediate auditory memory. *Auditory processing of complex sounds*, 267-277.

WEDEKIN, L.L., NEVES, M.C., MARCONDES, M.C., BARACHO, C., ROSSI-SANTOS, M.R., ENGEL, M.H. & SIMÕES-LOPES, P.C. 2010. Site fidelity and movements of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) on the Brazilian breeding ground, southwestern Atlantic. *Marine Mammal Science* 26, 787-802.

WHITEHEAD, H.P. 1985a. Why whales leap. *Scientific American* 252, 84-93.

WHITEHEAD, H.P. 1985b. Humpback whales breaching. *Investigation on Cetacean* 17, 117-155.

WILSON, D.E. & REEDER, D.M. 2005. Mammal species of the world: a taxonomic and geographic reference. *The Johns Hopkins University Press*.

WINN, H.E. & WINN, L.K. 1978. The song of the Humpback Whale *Megaptera novaeangliae* in the West Indies. *Marine Biology* 47, 97-114.

WINN, H.E., BEAMISH, P. & PERKINS, P.J. 1979. Sounds of two entrapped humpback whales *Megaptera novaeangliae* in Newfoundland. *Marine Biology* 55, 151–155.

WINN, H.E., THOMPSON, T.J., CUMMINGS, W.C., HAIN, J., HUDNALL, J., HAYS, H. & STEINER, W.W. 1981. Song of the humpback whale — population comparisons. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 8, 41–46.

WRIGHT, A.J., SOTO, N.A., BALDWIN, A.L., BATESON, M., BEALE, C.M., CLARK, C., DEAK, T., EDWARDS, E.F., FERNÁNDEZ, A., GODINHO, A., HATCH, L.T., KAKUSCHKE, A., LUSSEAU, D., MARTINEAU, D., ROMERO, M.L., WEILGART, L.S., WINTLE, B.A., NOTARBARTOLO-DI-SCIARA, G. & MARTIN, V. 2007. Do Marine Mammals Experience Stress Related to Anthropogenic Noise? *International Journal of Comparative Psychology* 20(2), 274-316.

WÜRSIG, B., DORSEY, E.M., RICHARDSON, W.J. & WELLS, R.S. 1989. Feeding, aerial and play behaviour of the bowhead whales, *Balaena mysticetus*, summering in the Beaufort Sea. *Aquatic Mammals* 15, 27-37.

ZERBINI, A.N., ANDRIOLO, A., HEIDE-JØRGENSEN, M.P., PIZZORNO, J.L., MAIA, Y.G., VANBLARICOM, G.R., DEMASTER, D.P., SIMÕES-LOPES, P.C., MOREIRA, S. & BETHLEM, C. 2006. Satellite-monitored movements of humpback whales *Megaptera novaeangliae* in the Southwest Atlantic Ocean. *Marine Ecology Progress Series* 313, 295-304.

ZERBINI, N.A., ADAMS, G., BEST, J., CLAPHAM, P.J., JACKSON, J.Á. & PUNT, A.E. 2019. Assessing the recovery of an Antarctic predator from historical exploitation. *Royal Society Open Science* 6(10), 190368.

## **CAPÍTULO 1:**

### **INFLUÊNCIA DE CONDIÇÕES AMBIENTAIS E ECOLÓGICAS SOBRE OS PADRÕES DE ATIVIDADE VOCAL DOS CANTORES DE BALEIA-JUBARTE (*Megaptera novaeangliae*) EM UMA ÁREA REPRODUTIVA NO SUL DA BAHIA**

A estrutura do artigo segue formatação para ser publicado na revista *Marine Mammal Science*

**INFLUÊNCIA DE CONDIÇÕES AMBIENTAIS E ECOLÓGICAS SOBRE OS  
PADRÕES DE ATIVIDADE VOCAL DOS CANTORES DE BALEIA-JUBARTE  
(*Megaptera novaeangliae*) EM UMA ÁREA REPRODUTIVA NO SUL DA BAHIA**

**RESUMO**

O canto realizado pelos machos de baleia-jubarte (*Megaptera novaeangliae*) é um dos comportamentos mais marcantes exibido por esta espécie e se destaca por duração e complexidade. Embora possa ser registrado ao longo de todo ano, é mais frequentemente observado em áreas reprodutivas, durante os meses de inverno e acredita-se que esteja relacionado ao sistema de acasalamento da espécie. O objetivo deste estudo foi caracterizar os padrões da atividade vocal dos cantores de baleia-jubarte ao longo da temporada reprodutiva em Serra Grande (Bahia), uma área de reocupação da espécie na costa brasileira. Unidades de gravação autônomas submarinas foram utilizadas para gravar o canto continuamente em quatro temporadas reprodutivas e levantamentos visuais a partir de um ponto fixo foram realizados para coleta de dados de estado do mar e abundância de adultos. Nossos resultados evidenciaram que o canto ocorreu em todos os dias amostrados e a maior atividade coincidiu com o período de maior abundância de adultos, indicando que o pico da atividade de canto corresponde ao pico da temporada reprodutiva. A atividade vocal dos cantores exibiu tendências no que diz respeito às fases da lua e diferentes graus de agitação do mar, além dos padrões diários observados, havendo uma maior ocorrência nos períodos de pouca luz, do final da tarde ao início da manhã. Este estudo descreve a atividade vocal dos cantores de baleia-jubarte em uma área reprodutiva que até o presente momento apresenta poucas atividades antrópicas, contudo é alvo de empreendimentos futuros com potencial para alterar a paisagem acústica da região. Considerando os possíveis impactos provenientes de atividades desta natureza na comunicação acústica das baleias, os dados apresentados neste estudo, podem ser utilizados como uma linha de base para estudos futuros que visem avaliar os efeitos deste novo empreendimento no comportamento acústico da espécie.

Palavras-chave: Monitoramento acústico; Canto; Estratégia reprodutiva; Variação sazonal; Fases da lua.

**INFLUENCE OF ENVIRONMENTAL AND ECOLOGICAL CONDITIONS ON THE VOCAL ACTIVITY PATTERNS OF HUMPBACK WHALES (*Megaptera novaeangliae*) SINGERS IN A BREEDING GROUND IN SOUTHERN BAHIA**

**ABSTRACT**

The singing carried out by the male humpback whale is one of the most remarkable behavior exhibited for this species and stands out for the duration and the complexity. Although it may be recorded throughout each year, it is often observed in breeding grounds, during winter months and it is believed to be related to the system mating of the species. The object of this study was characterizing the vocal activity patterns of the singer of humpback whale all over the breeding season in Serra Grande (Bahia), a reoccupation area of the specie in the Brazilian coast. Acoustic unites of autonomous submarine recordings were used to record the singing continually in four reproductive seasons and visual surveys from a fixed spot were executed to obtaining the data on the state of the sea and adults' abundance. Our results revealed that the singing happened every sampled day and the most activity matched with the most adult's abundance period, indicating that the singing activity peak corresponds to the reproductive season peak. The vocal activity of the singers also exhibited trends with regard to the phases of the moon and different degrees of sea agitation, in addition to the daily patterns observed, with a higher occurrence in the periods of low light, from late afternoon to early morning. This study describes the vocal activity of humpback whale singers in a reproductive area that so far has few anthropic activities, however, it is the target of future enterprises with the potential to change the acoustic landscape of the region. Considering the possible impacts of such activities on the acoustic communication of whales, the data presented in this study may be used as a baseline for future studies that aim the effects of this new enterprise on the acoustic behavior of the species.

Key-words: Acoustic monitoring; Song; Reproductive strategy; Seasonal variation; Moon phases.

## INTRODUÇÃO

A baleia-jubarte (*Megaptera novaeangliae*) assim como outras baleias da família Balaenopteridae, apresenta um padrão migratório anual, deslocando-se das áreas de alimentação utilizadas durante o verão em altas latitudes, em direção as áreas reprodutivas localizadas em baixas latitudes no inverno (Dawbin, 1966; Clapham, 2000; Horton et al., 2011). No Hemisfério Sul, são reconhecidos sete estoques reprodutivos para a espécie, e cada um apresenta uma região distinta utilizada para alimentação e reprodução (IWC, 1998, 2005). A população que migra para costa brasileira pertence ao Estoque Reprodutivo A, e tem definida como área de alimentação as regiões das Ilhas Geórgia do Sul e Sanduiche do Sul (Zerbini et al., 2006). No Brasil, entre os meses de julho a novembro (Martins et al., 2001) a espécie se distribui amplamente, apresentando um padrão não uniforme de densidade (Rossi- Santos et al., 2008; Andriolo et al., 2010), onde o Banco de Abrolhos (Bahia) é a região de maior concentração (Siciliano, 1997; Martins et al., 2001; Andriolo et al., 2006).

Um dos comportamentos mais marcantes desta espécie, são as emissões vocais do canto, exclusiva dos machos (Glockner, 1983; Darling et al., 2006; Smith et al., 2008), que embora tenham sido frequentemente associadas as áreas de reprodução (e.g.: Payne & McVay 1971; Payne, Tyack & Payne, 1983; Darling & Sousa-Lima 2005; Mercado et al., 2005) e as rotas migratórias (e.g.: Clapham & Mattila 1990; Norris et al., 1999; Charif et al., 2001), registros em área de alimentação (Mattila et al., 1987; McSweeney et al., 1989; Clarck & Clapham, 2004) evidenciam que o canto pode ser emitido durante todo ano. A funcionalidade do canto foi associada ao sistema de acasalamento da espécie (Herman, 2016), podendo se destacar que é utilizado para: (i) atrair fêmeas para um macho específico (Cato, 1978); (ii) atrair fêmeas para uma arena com vários machos (Herman & Tavolga, 1980) ou (iii) estabelecer classificações de dominância entre machos (Darling & Bérube, 2001; Darling et al., 2006). Constituído por diferentes níveis hierárquicos que se repetem de forma previsível ao longo do tempo (Payne & McVay, 1971), o canto da baleia-jubarte é considerado um dos mais complexos do reino animal (Wilson, 1975). Muitos estudos voltaram esforços na caracterização dos componentes estruturais do canto, que em ordem crescente foram definidos como “unidades”, “frases” e “temas” (e.g.: Payne & McVay, 1971; Helweg et al., 1998; Arraut & Vielliard, 2004), entretanto, aspectos voltados a sua ecologia acústica, como as variações na atividade vocal dos cantores ao longo da temporada reprodutiva ainda possuem poucos estudos, com alguns resultados divergentes entre populações (e.g.: Au et al., 2000; Sousa-Lima et al., 2018). Algumas das alterações observadas foram associadas a fatores como: o período da temporada

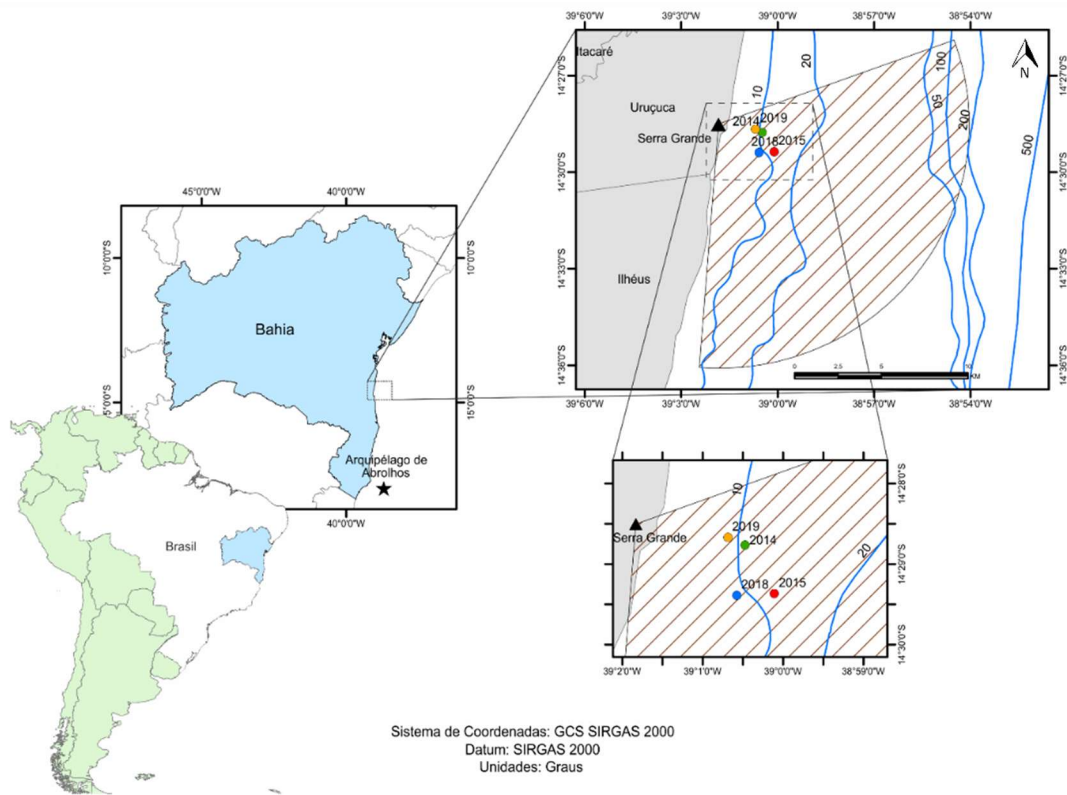
reprodutiva, sendo documentada flutuações na abundância de cantores ao longo dos dias (Au et al., 2000; Sousa-Lima et al., 2018); a influências de ritmos, como o circadiano e ciclos lunares (Au et al., 2000; Cerchio et al., 2010; Espanol-Jimenez & Schaar, 2018); além das alterações que podem ser provocadas por agentes perturbadores, como o aumento do ruído ambiental, causado por fontes naturais, dentre eles o aumento da velocidade do vento (Dunlop et al., 2010; Kavanagh et al., 2016), e antrópicos, tal como o tráfego de embarcações (Sousa-Lima & Clark, 2008; Sousa-Lima et al., 2018). Assim, ao longo de um período, vários fatores modulam a atividade vocal dos cantores e compreender de que forma eles lidam com estas influências ajuda a elucidar lacunas no conhecimento sobre este comportamento. Por exemplo, uma maior atividade de canto durante o período noturno observada por Au et al. (2000) reforçou a hipótese de que o canto faz parte de uma estratégia reprodutiva da espécie e que ele pode ser a principal estratégia utilizada quando a visibilidade é limitada.

Neste contexto, o presente estudo foi realizado em Serra Grande, uma área reprodutiva de reocupação das baleias-jubarte que apresenta poucas atividades antrópicas (Gonçalves et al., 2018a), entretanto, é alvo de novos empreendimentos com potencial para alterar a paisagem acústica da região, sendo prevista a construção de um complexo portuário a cerca de 10 km ao sul da nossa área de estudo (BAMIN, 2011). Considerando os possíveis impactos destas atividades no uso da área pelas baleias-jubarte, além dos efeitos na atividade vocal dos cantores, dentre eles, sobreposição do nicho acústico (Rossi-Santos, 2015) ou o cessamento do canto (Sousa-Lima & Clark, 2008; Sousa-Lima et al., 2018), logo, a interrupção de um comportamento importante para o sucesso reprodutivo da espécie, o objetivo deste estudo foi descrever a atividade vocal dos cantores de baleia-jubarte ao longo de quatro temporadas reprodutivas, em um contexto ecológico e ambiental previamente a construção e instalação do complexo portuário. Avaliamos o efeito dos fatores: 1 – dia da temporada (considerando as flutuações na abundância de adultos ao longo dos dias); 2 – estado do mar; 3 – hora do dia e 3 – fases da lua, ambos descritos como moduladores da atividade vocal dos cantores. Os resultados obtidos neste trabalho podem dar suporte a estudos futuros que visem identificar os efeitos da construção e instalação deste novo empreendimento, na atividade vocal dos cantores de baleia-jubarte.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Área de estudo

Os dados foram coletados em Serra Grande (município de Uruçuca), localizado no sul da Bahia, cerca de 34 km ao norte do município de Ilhéus. A região está inserida em um trecho no qual a plataforma atinge sua menor largura na costa brasileira, chegando a aproximadamente 5 km (Freire & Dominguez, 2006), o que facilitou as observações visuais a partir de ponto fixo, devido a uma maior aproximação dos animais à costa em relação à outras áreas de ocorrência da espécie durante o período reprodutivo (Gonçalves et al., 2018b).



**Figura 1** – Localização da área de estudo em Serra Grande, Bahia, região nordeste do Brasil. O triângulo identifica a plataforma terrestre de observação (Ponto fixo), a uma altura de 93 m. A área tracejada corresponde a região coberta pelo monitoramento visual, com 224.5 km<sup>2</sup>, onde foram instaladas as unidades acústicas de gravação autônoma, com as respectivas localizações sinalizadas por um círculo com a identificação do ano a qual corresponde.

### Coleta de dados

#### *Monitoramento visual*

Os dados visuais foram coletados a partir de um ponto fixo (14°28'30" S, 39°01'50" W), localizado a 315 m da costa e elevado a 93 metros do nível do mar. A altura favoreceu o campo visual, contudo o monitoramento da região nordeste da área foi bloqueado devido a orientação

do litoral e presença de vegetação e rochas (Gonçalves et al., 2018b). Dessa forma, consideramos um raio de 15 km partindo do ponto de observação, entre 70 e 184° (Verdadeiros) para definirmos a área de estudo, com total de 224.5 km<sup>2</sup> (Figura 1).

Os levantamentos a partir de ponto fixo ocorreram nos anos de 2014, 2015, 2018 e 2019, entre os meses de julho a outubro, período que corresponde a temporada reprodutiva das baleias-jubarte em Serra Grande (Gonçalves et al. 2018b). As coletas foram realizadas cerca de duas vezes por semana, entre as 07:00 e as 16:00 horas, limitadas a boas condições de visibilidade, dentre elas: estado do mar  $\leq 4$  na escala Beaufort, horizonte sem neblina e ausência de chuva, para garantir que todos os grupos presentes na área fossem amostrados. O objetivo do monitoramento visual foi registrar a flutuação da abundância de adultos ao longo das temporadas reprodutivas. Para tal, utilizamos o método de *survey*, adaptado de Mann (1999), que consistiu na busca ativa pelos grupos de baleias-jubarte na área durante uma hora e no máximo duas vezes ao dia, sendo uma no período da manhã e outra no período da tarde, com intervalo médio entre levantamentos de 3,22 horas para evitar superestimativas na abundância relativa de adultos (Gonçalves et al., 2018b). Neste período, realizamos as buscas com auxílio de binóculos (7X50) ou a olho nu, utilizando pistas como borrifos ou comportamento aéreos, tais como saltos que são característicos desta espécie, especialmente em áreas reprodutivas (Clapham, 2000).

Após avistagem, utilizamos uma Estação Total SPECTRA PRECISION Focus 2 com luneta de ampliação de 30X para registrar a localização do grupo, obtida por meio de um cálculo trigonométrico que considera a localização do grupo na área em relação a dois ângulos previamente definidos, o ângulo vertical: localização do grupo em relação ao observado na estação total, e o ângulo horizontal: localização do grupo em relação a um ponto de referência terrestre conhecido. Informações como o estado comportamental no momento do registro (ativo, natação e repouso) (Morete et al., 2003; Morete, 2007), e direção de deslocamento foram considerados para evitar que um mesmo grupo fosse registrado mais de uma vez. A equipe de observação foi composta por três pessoas, sendo uma responsável por operar a Estação Total e as demais pelo registro dos dados e busca dos indivíduos na área.

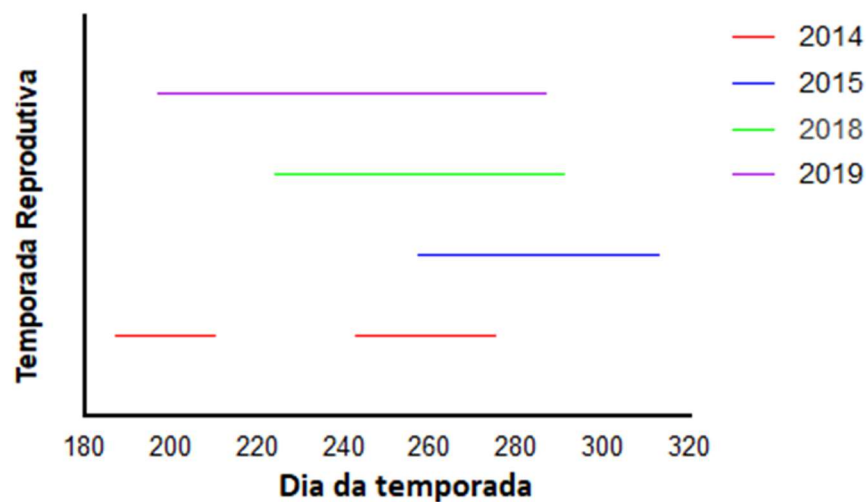
Durante o monitoramento visual, registramos as variáveis ambientais a cada 30 minutos, dentre elas, o estado do mar na escala Beaufort.

#### *Monitoramento acústico*

Os dados acústicos referentes as temporadas de 2014, 2015, 2018 e 2019 foram obtidos por meio de unidades acústica de gravação submarina autônoma (*Oceanpods*), desenvolvidas

pelo Laboratório de Acústica e Meio Ambiente da Universidade de São Paulo (LACMAM – USP) (Caldas-Morgan, Alvarez-Rosario & Padovese, 2015; Sánchez-Gendríz & Padovese, 2016).

Os *oceanpods* foram instalados entre 2,5 – 2,7 km de distância da costa, e entre 16 – 22 m de profundidade (Figura 1). Em 2014 os dados foram coletados apenas durante o dia, com registros contínuos das 07:00 as 17:00 horas, havendo necessidade de retirada para troca de pilhas, assim, as gravações se deram em duas etapas, sendo a primeira do dia 07/07 – 01/08 e a segunda de 01/09 – 02/10. Nas temporadas seguintes, as unidades foram programadas para gravar continuamente ao longo das 24 horas do dia, durante toda temporada reprodutiva, sem necessidade de remoção para troca de pilhas (Figura 2). A taxa de amostragem variou entre os anos, sendo de 11,025 kHz em 2014 e 2015 e de 16,00 kHz em 2018 e 2019, resultando em uma faixa funcional de amostragem com largura de banda entre 0 - 5.512.5 Hz em 2014 e 2015 e 0 - 8.000 Hz em 2018 e 2019, ambas adequadas para o estudo de baleias-jubarte, que no geral vocalizam dentro dessas faixas de frequência (Levenson, 1969, 1972). Dessa forma, apesar das diferenças nas taxas de amostragens entre os anos, em ambos os casos obtivemos amostragem adequada para gravar os sons das baleias.



**Figura 2** – Período da temporada coberto pelo monitoramento acústico nos anos de 2014, 2015, 2018 e 2019 na região de Serra Grande (Uruçuca, Bahia).

### Análise acústica

As inspeções auditivas e visuais dos arquivos gerados pelos *oceanpods* foram realizadas usando software Raven Pro 1.5 (Cornell Lab of Ornithology). Avaliamos a atividade vocal dos machos cantores por meio de espectrograma – Transformação Rápida de Fourier (FFT) e janela

Hann de 1024 pontos, com 50% de sobreposição. A atividade vocal foi estimada em número de cantores, para tal, todos os dias de gravação foram inspecionados, e as amostragens foram feitas a cada 30 minutos, em janelas com duração de 2 segundos, onde foram realizadas contagens do número de cantores em uma escala de 0-4, onde o 4 representou 4 ou mais cantores. Para contagem, consideramos fatores como intensidade e sobreposição de notas, bem como a descrição prévia dos componentes estruturais do canto.

Para análise da atividade de canto, utilizamos apenas as janelas de amostragem onde a relação *signal-to-noise-ratio* (SNR) foi de no mínimo 10 dB, para tal, utilizamos o parâmetro *iband power* (Charif et al., 2010). Nos casos em que não foi possível obter esta medida devido à presença contínua de vocalização, logo, impossibilidade de se obter apenas o ruído de fundo, as janelas de amostragens foram classificadas visualmente quanto a sua confiabilidade, sendo consideradas apenas aquelas nas quais o ruído de fundo foi visualmente pouco intenso e as unidades puderam ser visualizadas com clareza.

### **Análise estatística**

A fim de compreender como as diferentes classes de estado do mar definidas conforme a escala de Beaufort podem influenciar a atividade vocal dos cantores de baleia-jubarte, realizamos uma ANOVA one-way, com um teste a posteriori de Tukey, para identificar onde foram encontradas as diferenças. Consideramos em nossas análises apenas os registros visuais coletados no mesmo intervalo de tempo dos registros acústicos, para que estes dados pudessem ser usados com fins comparativos. Assim, utilizamos as amostragens do número de cantores registrados com no máximo 15 minutos de diferença entre a janela do segmento acústico e o horário de registro de estado do mar.

Para avaliar a relação entre a flutuação da abundância de cantores com a de adultos ao longo da temporada reprodutiva, ajustamos os dados em uma regressão segmentada, onde a média diária do número de cantores (escala de 0 a  $\geq 4$ ) obtida nas gravações e a abundância de adultos, obtida por meio dos *surveys*, foram plotadas em função do Dia Juliano. Algumas exceções ocorreram nesta análise: em 2014 consideramos os dados do número de adultos coletados entre o período do dia 02/08 a 30/08, embora não tenha sido coletado dados acústicos, por se tratar do período intermediário da temporada e também o de maior abundância (Gonçalves et al., 2018b) e a temporada de 2015 não foi incluída na regressão devido ao esforço amostral durante o monitoramento acústico obtido neste ano, que correspondeu a uma parte

restrita da temporada, logo não foi possível estimar um ponto de quebra para a regressão segmentada.

A fim de compreender a variação da atividade de canto, expressa em número de cantores, ao longo da temporada reprodutiva, realizamos um Modelo Linear Generalizado Misto – GLMM dada a evidente resposta não linear dos nossos dados, além das variações que podem ser observadas entre anos. Usamos como variáveis preditoras: dia juliano, no qual consideramos os dias do ano de forma contínua, sem separação por meses, partindo do dia 1 até o dia 365, dessa forma, a temporada reprodutiva se deu entre os dias 197 – 313; hora do dia (GTM -3), em uma transformação circular em seno e cosseno dos ângulos, onde cada horário de observação recebeu um valor no ciclo de 24 horas; e fases da lua, sendo as 4 categorias consideradas pela *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA). Neste modelo só foram consideradas as temporadas reprodutivas de 2015, 2018 e 2019, nas quais foram coletados dados contínuos ao longo dos dias da temporada e das 24 horas do dia. A descrição detalhada das variáveis está disponível na tabela abaixo (tabela 1). Utilizamos o critério de informação de Akaike para escolher o melhor modelo do conjunto, ou seja, o modelo que minimiza a perda de informações sobre o sistema. Todos os procedimentos estatísticos foram realizados na plataforma *R development core team* (versão 3.6.1).

**Tabela 1** – Descrição das variáveis independentes do modelo.

<b>Variável</b>	<b>Descrição</b>
Dia Juliano (D)	Variável contínua contada a partir do primeiro dia do ano.
Dia Juliano <sup>2</sup> (D <sup>2</sup> )	Variável contínua contada a partir do primeiro dia do ano em uma transformação quadrática.
Hora seno (HS)	Seno do ângulo para cada horário de observação. Valores positivos foram estimados para os horários das 00:00 as 12:00, e os negativos das 12:30 as 23:30.
Hora cosseno (HC)	Cosseno do ângulo para cada horário de observação. Valores positivos foram estimados para os horários das 00:00 as 06:00 e das 18:00 as 00:00, e os negativos das 06:30 as 17:30.
Fases da lua (F)	4 categorias (nova, primeiro quarto, cheia e último quarto) com base nos dados astronômicos online da NOAA.

## RESULTADOS

### Esforço amostral

#### *Monitoramento visual*

Foram realizados 86 dias de monitoramento visual, sendo 22, 13, 23 e 28 dias, para as temporadas reprodutivas de 2014, 2015, 2018 e 2019, respectivamente. Os esforços dos dados obtidos estão representados na tabela abaixo (Tabela 2).

**Tabela 2** – Esforço amostral para os dados de abundância relativa de adultos (*surveys*) e estado do mar (escala de Beaufort) obtidos em cada uma das temporadas reprodutivas.

Temporada reprodutiva	Nº total de <i>surveys</i> realizadas	Nº total de registros de estado do mar	Nº total de registros por categorias da escala de Beaufort			
			1	2	3	4
2014	39	197	32	71	61	33
2015	*	158	13	67	69	9
2018	28	191	41	78	62	10
2019	31	293	33	126	108	26

\*os *surveys* realizados em 2015 não foram considerados em nossas análises devido ao esforço amostral do monitoramento acústico nesta temporada.

#### *Monitoramento acústico*

Considerando todas as temporadas reprodutivas, foram analisados um total de 276 dias de gravação. Os esforços de amostragens em cada uma das temporadas estão representados na Tabela 3. Nestes, um total de 9.797 segmentos de 2 segundos foram analisados.

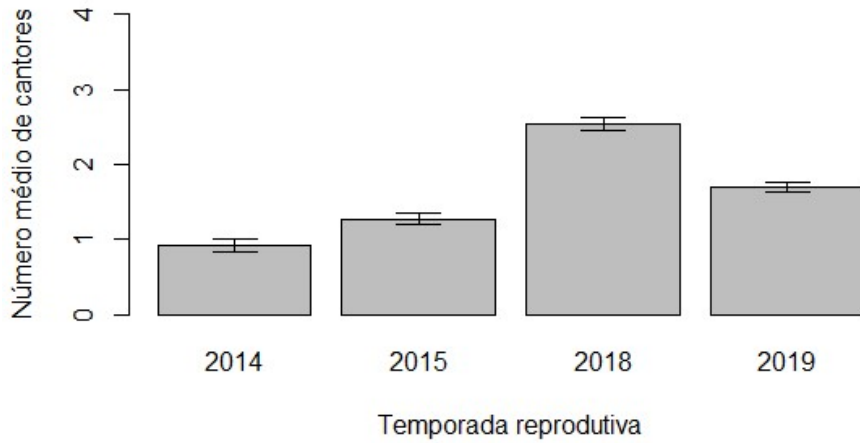
**Tabela 3** – Esforço amostral para os dados acústicos em cada uma das temporadas reprodutivas.

Temporada reprodutiva	Nº total de dias de gravação
2014	60
2015	57
2018	68
2019	91

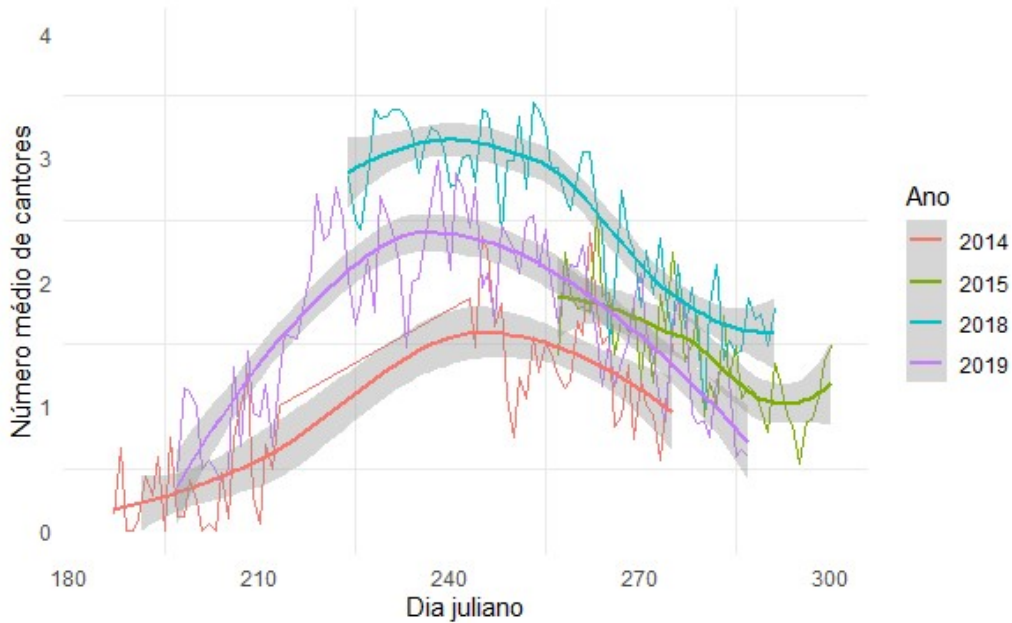
### Panorama geral da atividade vocal dos cantores em Serra Grande

Em média a temporada reprodutiva de 2018 apresentou uma maior atividade vocal, estimada em número de cantores ( $n=2.544$ ,  $s.d.=1.180$ ), seguida por 2019 ( $n=1.709$ ,  $s.d.=1.124$ ), 2015 ( $n=1.257$ ,  $s.d.=1.025$ ) e 2014 ( $n=0.911$ ,  $s.d.=0.967$ ) (Figura 3). Como os esforços de amostragem obtidos em 2018 iniciaram no período intermediário da temporada, onde um

maior número de indivíduos como um todo foram observados em Serra Grande (Gonçalves et al., 2018b), plotamos o número médio de cantores em função dos dias da temporada para verificar se os resultados estavam sendo superestimados (Figura 4).



**Figura 3.** Atividade vocal dos cantores de baleia-jubarte, na região de Serra Grande (Uruçuca) durante as temporadas reprodutivas de 2014, 2015, 2018 e 2019. Estão expressas as médias em cada ano e o erro padrão associado a estimativa.



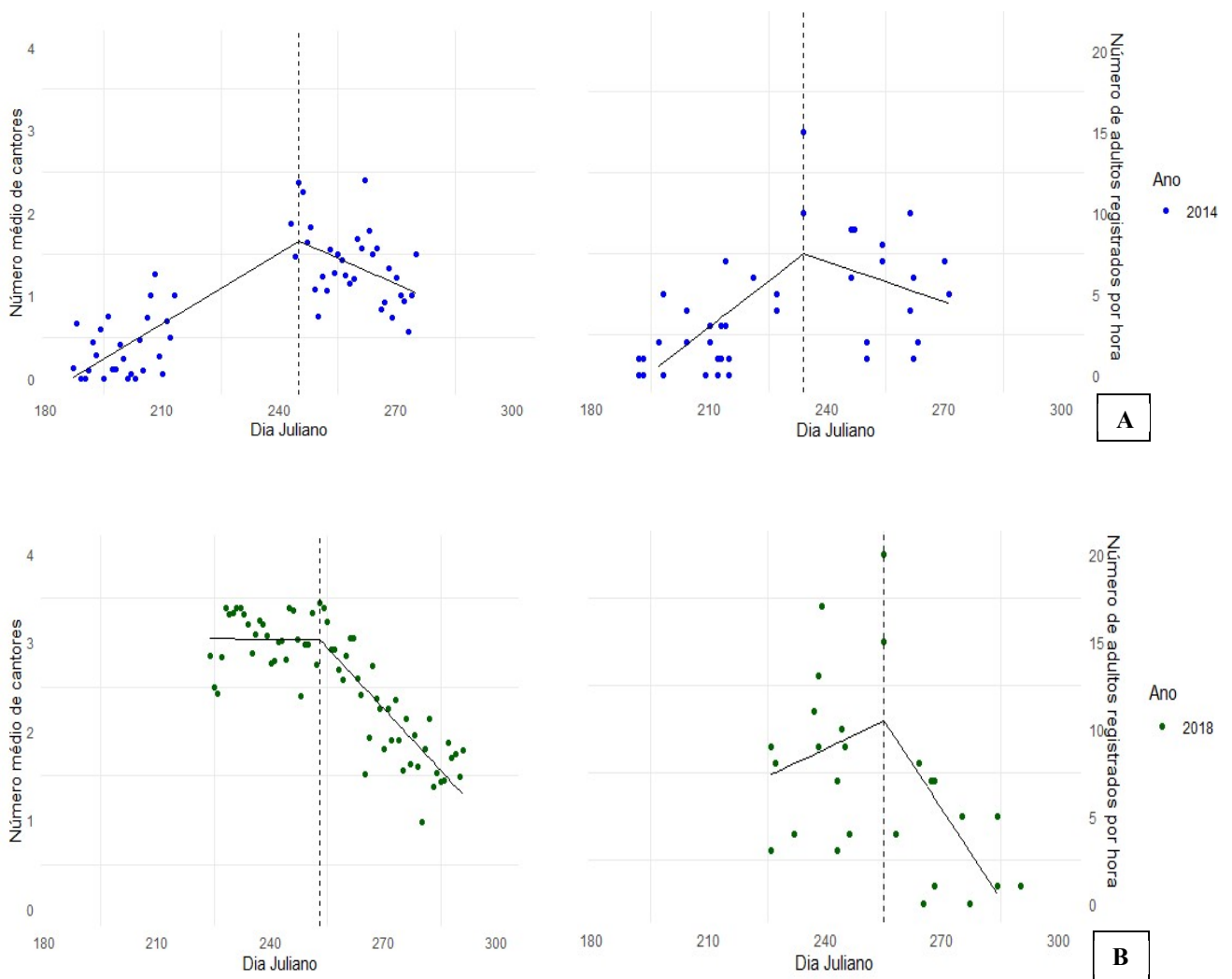
**Figura 4.** Flutuações do número médio de cantores de baleia-jubarte ao longo dos dias da temporada reprodutiva, expressos em Dia Juliano, na região de Serra Grande (Uruçuca) nos anos de 2014, 2015, 2018 e 2019, com identificação do intervalo de confiança associado a estimativa.

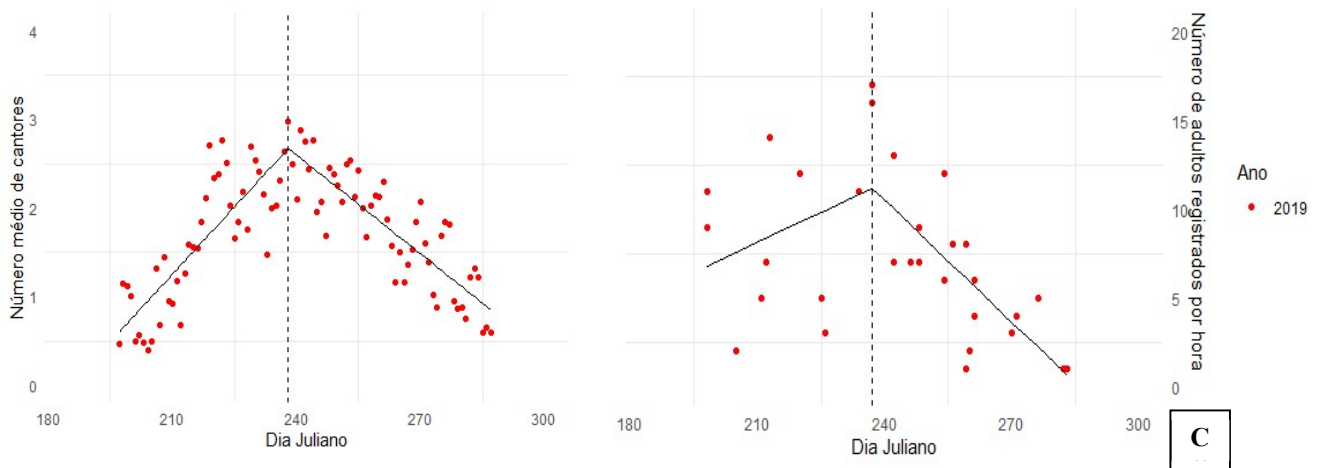
### Atividade vocal vs. abundância relativa de adultos

A regressão segmentada indicou flutuações similares na abundância de cantores e adultos ao longo da temporada reprodutiva, caracterizadas por um aumento contínuo no número de indivíduos do início da temporada reprodutiva até o pico, e logo após um decréscimo gradual

até o final da temporada. O ponto de quebra da regressão, ou seja, o momento em que o padrão de distribuição passou a mudar foi estimado entre o final de agosto e início de setembro.

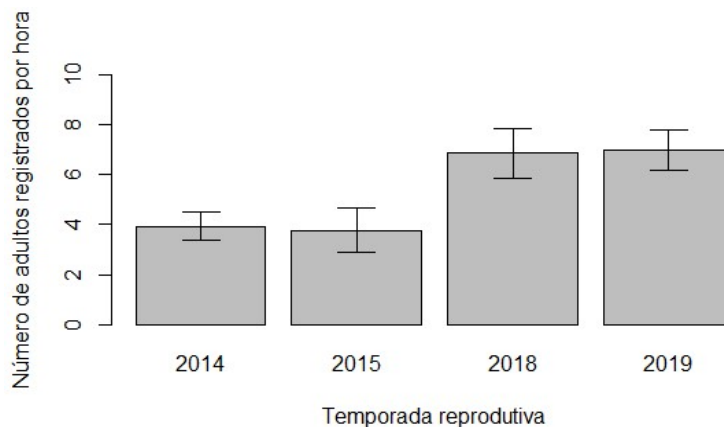
A diferença entre o pico na abundância de cantores e adultos em 2014 diferiu em 11 dias, sendo estimados nos dias juliano 245 e 234 para cantores ( $p < 0,001$ ) e adultos ( $p < 0,001$ ), respectivamente (Figura 5A). Em 2018, apesar de não termos obtidos dados no período inicial da temporada reprodutiva, foi possível estimar o ponto de quebra da regressão, sendo observada uma diferença de 2 dias no pico de abundância estimada para cantores (dia juliano 253) e adultos (dia juliano 255), contudo o modelo de regressão segmentada não foi significativo nesta temporada: cantores ( $p = 0,960$ ) e 255 adultos ( $p = 0,553$ ) (Figura 5B). Em 2019 a diferença foi de apenas 1 dia, estimado no dia juliano 237 para cantores ( $p < 0,001$ ) e 238 para adultos ( $p < 0,001$ ) (Figura 5C).





**Figura 5.** A esquerda: número médio de cantores de baleia-jubarte por dia Juliano em uma escala de 0 – 4, extraídos dos registros acústicos. A direita: número de adultos de baleia-jubarte obtidos por hora ao longo dos dias Juliano, observados por ponto fixo, ambos em Serra Grande, Bahia nos anos de 2014 (A), 2018 (B) e 2019 (C).

A abundância de adultos variou de 0 a 20 indivíduos por hora. Embora 2015 não tenha sido inserido no modelo de regressão segmentada, obtivemos a média do número de adultos nesta temporada. Em média o ano de 2019 apresentou um maior número adultos ( $n=7$ ,  $s.d.=4.53$ ), seguido por 2018 ( $n=6.85$ ,  $s.d.=5.25$ ), 2014 ( $n=3.92$ ,  $s.d.=3.56$ ) e 2015 ( $n=3.764$ ,  $s.d.=3.66$ ) (Figura 6).

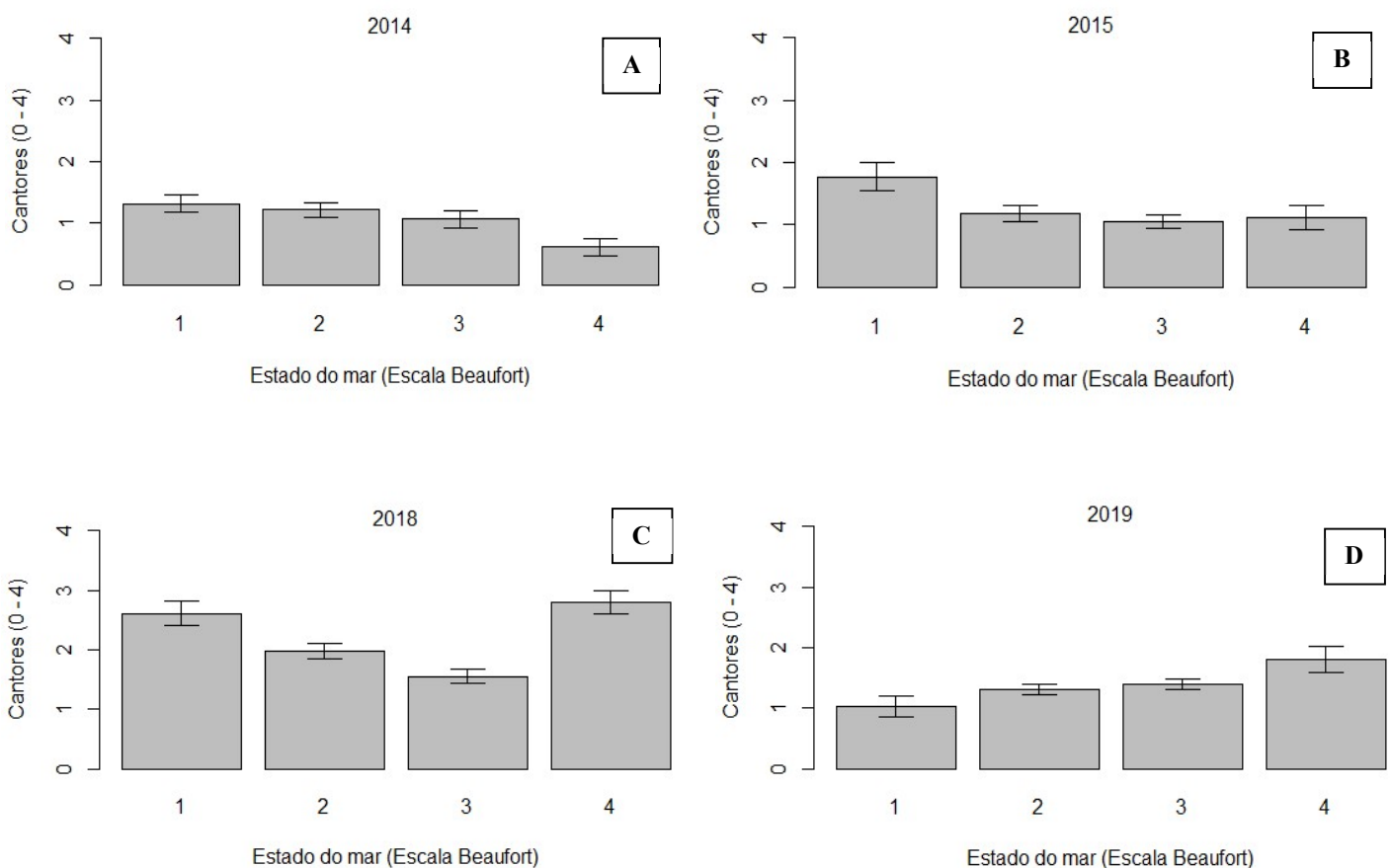


**Figura 6.** Número médio de adultos registrados por hora na região de Serra Grande (Uruçuca) durante as temporadas reprodutivas de 2014, 2015, 2018 e 2019. Estão expressas as médias em cada ano e o erro padrão associado a estimativa.

### Atividade vocal vs. estado do mar

A análise de variância indicou a existência de diferenças significativas no número de cantores entre as diferentes classes de estado do mar em todas as temporadas reprodutivas. Entretanto, os resultados observados variaram entre os anos. O estado do mar 1 foi inserido como base no modelo de variâncias e foi utilizado em comparação com as demais classes. Em

2014 foram observadas mudanças significativas do estado 1 ao 4 do mar ( $p=0,004$ ), sendo evidenciado pelo teste a posteriori uma diminuição no número de cantores do estado 1 ( $p=0,022$ ) e 2 ( $p=0,016$ ) em comparação ao 4 (Figura 7A). Em 2015, diferenças significativas foram observadas no estado 2 ( $p=0,035$ ) e 3 ( $p=0,009$ ), entretanto o teste a posteriori indicou significância apenas entre o estado 1 e 3 ( $p=0,047$ ), com uma redução no número de cantores (Figura 7B). Na temporada reprodutiva de 2018, diferenças significativas foram observados no estado do mar 2 ( $p=0,002$ ) e 3 ( $p<0,001$ ), havendo uma diminuição no número de cantores do estado 2 ao 3 ( $p=0,095$ ), seguida por um aumento do 3 ao 4 ( $p=0,004$ ) (Figura 7C). Por fim, em 2019 diferenças ocorreram no estado 3 ( $p=0,045$ ) e 4 ( $p=0,001$ ), sendo evidenciado no teste a posteriori um aumento no número de cantores do estado 1 ( $p=0,007$ ) ao 4 (Figura 7D).



**Figura 7.** Média e erro padrão para o número de cantores de baleia-jubarte nas diferentes classes de estado do mar (Escala Beaufort), ao longo da temporada reprodutiva, na região de Serra Grande (Uruçuca, Bahia). Em A: temporada reprodutiva de 2014; em B: temporada reprodutiva de 2015; em C: temporada reprodutiva de 2018 e em D: temporada reprodutiva de 2019.

### Atividade de canto vs. ritmo circadiano e fases da lua ao longo da temporada

Realizamos uma seleção de modelos a partir do modelo mais completo, o qual incluiu todas as variáveis, além das interações entre elas. Em um total de 52 modelos possíveis, 8 apresentaram evidências a favor da sua construção, identificados pelo Weight. Utilizamos os valores de evidência, bem como os de AIC para comparar vários modelos e fazer inferências sobre a importância dos diferentes preditores (Tabela 4). O melhor modelo selecionado incluiu as variáveis: Cantores  $\sim$  Dia + Dia<sup>2</sup> + Hora cosseno + Hora seno + Fases + Dia \* Fases + Dia \* Hora cosseno + Dia \* Hora seno + D<sup>2</sup> \* Hora cosseno + Fase \* Hora cosseno (Tabela 4). As estimativas e o valor de p para cada uma das variáveis, bem como para as interações entre elas estão exibidas na tabela 5. Todos os modelos plausíveis para serem os melhores do conjunto, incluíram todas as variáveis, diferindo entre eles apenas quanto as interações (tabela 4).

**Tabela 4** – Resultados da seleção de 8 modelos mistos generalizados mais plausíveis (ranqueados por AIC). O melhor modelo está destacado em negrito.

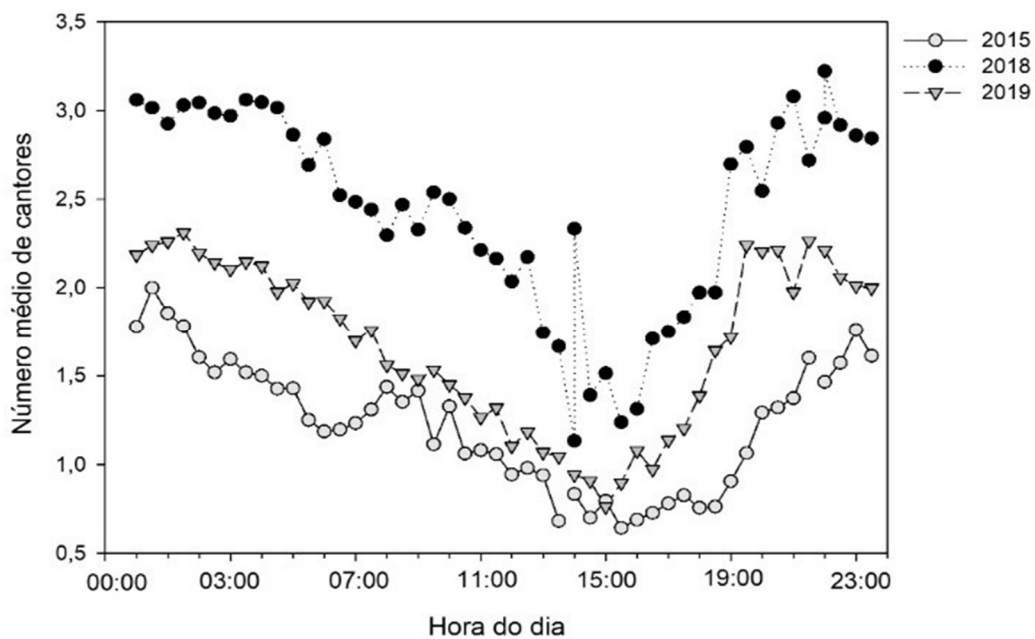
	Variáveis	Interações	Loglink	AIC	Delta	Weight
<b>1</b>	<b>D + D<sup>2</sup> + HC + HS + F</b>	<b>D*F + D*HC + D*HS + D<sup>2</sup>*HC + F*HC</b>	<b>-11778.5</b>	<b>23595.0</b>	<b>0</b>	<b>0.924</b>
2	D + D <sup>2</sup> + HC + HS + F	D*F + D*HS + D <sup>2</sup> *HC + F*HC	-11782.4	23600.9	5.9	0.048
3	D + D <sup>2</sup> + HC + HS + F	D*F + D*HC + D <sup>2</sup> *HC + D <sup>2</sup> *HS + F*HC	-11782.7	23603.5	8.49	0.013
4	D + D <sup>2</sup> + HC + HS + F	D*F + D*HC + D*HS + D <sup>2</sup> *HC	-11786.7	23605.4	10.37	0.005
5	D + D <sup>2</sup> + HC + HS + F	D*F + D1*HS + D <sup>2</sup> *HC	-11788	23606.0	11	0.004
6	D + D <sup>2</sup> + HC + HS + F	D*F + D*HC + D <sup>2</sup> *HC + F*HC	-11785.5	23607.0	12.04	0.002
7	D + D <sup>2</sup> + HC + HS + F	D*F + D*HC + D*HS + D <sup>2</sup> *F + D <sup>2</sup> *HC + F*HC	-11781.5	23607.2	12.17	0.002
8	D + D <sup>2</sup> + HC + HS + F	D*F + D <sup>2</sup> *HC + D <sup>2</sup> *HS + F*HC	-11786.7	23609.5	14.51	0.001

**Tabela 5** – Resumo do melhor modelo com estimativas e P valor para as variáveis independentes incluídas. Os asteriscos indicam o nível de significância para cada variável em uma confiabilidade de 95% (\*\*\*) <0,001, \*\* <0,01, \* <0,05).

	<b>Estimativas</b>	<b>P valor</b>	
Intercepto	1.007e+00	0.0373	*
Dia	4.692e-02	< 2e-16	***
Dia <sup>2</sup>	-4.518e-04	< 2e-16	***
Hora Cosseno	5.890e-01	< 2e-16	***
Hora Seno	4.068e-01	< 2e-16	***
Lua Nova	7.604e-01	< 2e-16	***
Primeiro Quarto	9.327e-01	< 2e-16	***
Último Quarto	2.525e-01	9.29e-05	***
Dia * Lua Nova	-1.199e-02	< 2e-16	***
Dia * Primeiro	-1.369e-02	< 2e-16	***
Dia * Último Quarto	-4.929e-03	1.54e-07	***
Dia * Hora Cosseno	8.541e-03	1.69e-05	***
Dia * Hora Seno	-2.614e-03	1.64e-07	***
Dia <sup>2</sup> * Hora Cosseno	-1.211e-04	1.50e-13	***
Hora Cosseno * Lua Nova	-1.910e-02	0.6218	***
Hora Cosseno * Primeiro Quarto	-1.843e-01	1.81e-06	***
Hora Cosseno * Último quarto	-1.383e-02	0.7291	***

Verificamos que o dia da temporada afetou positivamente o número de cantores de baleia-jubarte em Serra Grande, ou seja, houve um aumento no número de indivíduos cantando à medida que a temporada progrediu (tabela 5). Contudo, a variável dia<sup>2</sup> obteve uma estimativa negativa, isso porque, a função quadrática adicionada ao dia da temporada permitiu que as flutuações no número de indivíduos ao longo dos dias fossem captadas. Dessa forma, o aumento no número de cantores ao longo dos dias é seguido por um decréscimo no final da temporada, assim como representada na figura 4. A estimativa para hora do dia foi positiva, indicado que

um maior número de cantores foi encontrado nos valores positivos de seno e cosseno, sendo estes das 00:00 as 12:00 horas para seno e nos intervalos das 00:00 as 06:00 da manhã e da 18:00 horas a 00:00 para cosseno. Realizamos um plote com a média do número de cantores em cada horário amostral para que estes resultados pudessem ser visualizados (Figura 8). Para variável fases da lua, a categoria lua cheia foi incluída como base no modelo e utilizada em comparação com as demais. Foi observado um aumento no número de cantores da lua cheia para o último quarto, seguido da lua nova e por fim o primeiro quarto (tabela 5).



**Figura 8** – Número médio de cantores por hora do dia na região de Serra Grande (Bahia), nos anos de 2015, 2018 e 2019.

No caso da interação dia e fases da lua, em todas as categorias foram obtidas estimativas negativas, indicando um decréscimo no número de cantores em todas as fases da lua à medida que a temporada progrediu. A interação entre o dia e a hora cosseno permaneceu positiva, porém mais alta, enquanto a interação dia e hora seno foi negativa. Estes resultados sugerem que com o avanço da temporada, o padrão de um maior número de cantores observados no fim da tarde (18:00 horas) até o início da manhã (06:00 horas) foi mais frequente, visto que os horários positivos exclusivos de seno (06:30 as 12:00 horas) passaram a ter menos cantores. Em contraste, a interação entre as variáveis  $\text{dia}^2$  e hora cosseno, indicaram um decréscimo no número de cantores com o avanço da temporada, visto que a transformação quadrática no  $\text{dia}^2$  permite captar as flutuações na abundância de cantores ao longo da mesma e indicou que de fato menos cantores eram observados no final da temporada, independente da interação. No caso da interação entre hora do dia e fases da lua, apenas a variável hora cosseno foi incluída.

O valor de *p* evidenciou significância apenas entre a hora cosseno e o primeiro quarto, com uma estimativa negativa, logo um decréscimo no número de cantores nesta fase da lua entre o fim da tarde e o início da manhã (das 18:00 horas as 06:00 da manhã).

## **DISCUSSÃO**

Neste estudo, conciliamos dois tipos de monitoramento: acústico e visual, ao longo de 4 temporadas reprodutivas, para realizar a descrição dos padrões da atividade vocal dos cantores de baleia-jubarte em uma área reprodutiva no sul da Bahia. Apesar de já haver a documentação da relação entre fatores ambientais e ecológicos como profundidade, altura da maré e fases da lua, no comportamento de canto dos machos de baleia-jubarte na região nordeste do Brasil (Rossi-Santos, 2018), em nosso estudo, realizamos o primeiro registro contínuo ao longo das 24 horas do dia e durante todos os dias amostrados da temporada, em uma área reprodutiva de reocupação da espécie na costa brasileira. Até então, registros contínuos do canto e a descrição dos padrões associados a este comportamento haviam sido descritos apenas no Banco de Abrolhos desde 2000 (Sousa-Lima & Clark, 2008; Sousa-Lima et al., 2018). O aumento populacional do estoque reprodutivo demonstra que atualmente a espécie tem expandido sua área de ocorrência para além do Banco de Abrolhos e reocupado áreas que eram utilizadas antes de serem afetadas pela caça (Rossi-Santos et al., 2008; Andriolo et al., 2010). Considerando essa expansão, com o aumento das perturbações antrópicas nas regiões costeiras (Rossi-Santos, 2015), torna-se importante saber o que ocorre com este comportamento relacionado ao sistema reprodutivo da espécie, logo, importante para viabilidade populacional da mesma, em suas demais áreas de ocorrência. Atualmente a região de Serra Grande apresenta poucas atividades antrópicas (Gonçalves et al., 2018a) e conta com a presença de machos cantores como foi observado neste estudo e por Sousa-Lima et al. (2018). Estas observações somadas ao fato do aumento no número de adultos e filhotes nos últimos anos (Gonçalves et al., 2018b), confirmam que esta área é utilizada pelas baleias-jubarte durante o período de reprodução.

### **Atividade vocal vs. abundância relativa de adultos**

Os padrões temporais da flutuação no número de cantores ao longo da temporada reprodutiva foram similares aos identificados para o número de adultos. O pico da atividade de canto correspondeu ao pico da abundância de adultos na região, com a exceção da temporada reprodutiva de 2014, onde foi observada uma diferença de 11 dias. Contudo, no período intermediário desta temporada só foram obtidos dados do número adultos, não havendo registros acústicos, o que pode explicar esta diferença entre as estimativas. No geral, foi

observado um aumento contínuo no número de cantores e adultos no início da temporada, a medida em que novos indivíduos vão chegando aos sítios reprodutivos, até atingir um pico, e logo após, um decréscimo gradual até o final da temporada, quando os indivíduos vão deixando as áreas reprodutivas. Estes padrões são bem documentados para as flutuações na abundância de indivíduos ao longo da temporada (Baker & Herman, 1981; Mattila et al., 1994; Smultea, 1994; Martins et al., 2001; Frankel & Clark, 2002; Morete et al., 2008; Gonçalves et al., 2018a) e comumente são relacionados ao padrão migratório adotado pela espécie, o qual é estruturado por idade, sexo e status reprodutivo (Dawbin, 1997). Nele, os primeiros indivíduos a deixarem as áreas de alimentação em direção as áreas reprodutivas são as fêmeas que amamentam, seguida por indivíduos imaturos, machos e fêmeas sexualmente ativos e por fim, as fêmeas grávidas, as quais durante o retorno são as primeiras a deixarem as áreas reprodutivas em direção as áreas de alimentação (Dawbin, 1997). Dessa forma, flutuações na abundância de indivíduos ao longo da temporada reprodutiva são esperadas e refletem este padrão migratório. Dawbin (1966) sugere que fatores ambientais sincronizadores do ritmo biológico “*zeitgebers*” possam determinar o início da migração, dentre eles, o regime de luz local seria o sincronizador primário e responsável por este ciclo migratório de padrão invariável. Contudo, outros autores sugerem que as variações de temperatura da superfície do mar (Nishiwaki, 1959) e a disponibilidade de recursos alimentares no verão anterior (Craig et al., 2003) são os agentes principais.

As flutuações na abundância de cantores por sua vez, não são tão documentadas quanto as observadas para abundância de adultos, isso porque, os registros contínuos deste comportamento só foram possíveis com técnicas mais recentes de monitoramento por meio de unidades acústicas de gravação autônomas, as quais foram aplicadas ao estudo de grandes baleias a partir da década de 90 (e.g.: McDonald et al., 1995). Contudo, estudos já realizados identificaram flutuações semelhantes aos nossos resultados. Em Angola, embora Cerchio et al. (2010) não tenham registrado um pico no meio da temporada, foi observado um aumento claro ao longo de junho com algumas flutuações no número de cantores até o final de outubro, e em seguida, um declínio na atividade ao longo de novembro. Os padrões registrados no Havaí por Au, et al. (2000) foram mais similares, exibindo um aumento gradual da atividade de canto no início da temporada, com picos entre o final de fevereiro e meados de março, seguido por um decréscimo gradual entre abril e maio. Levantamentos visuais aéreos também identificaram este período como o pico de abundância de indivíduos como um todo na região (Mobley et al., 1999), ou seja, o período de maior atividade de canto, também corresponde ao pico da

temporada das baleias-jubarte. Partindo da ideia proposta por Dawbin (1997), no meio da temporada teríamos uma maior abundância de indivíduos sexualmente ativos, logo fêmeas em ovulação. Considerando o canto como uma das estratégias reprodutivas adotadas pela espécie, é de se esperar que esta atividade se torne mais proeminente quando mais indivíduos estão aptos a reprodução. No estudo realizado por Au et al. (2000) no Havaí, também foi possível realizar esta comparação por meio de um estudo anterior com as baleias-jubarte no Pacífico Norte, onde o número máximo de fêmeas em ovulação foi registrado entre o início de janeiro e final de fevereiro Nishiwaki (1959).

Embora nossos resultados tenham coincidido com trabalhos realizados em outras áreas reprodutivas e com outras populações, os estudos desenvolvidos em Abrolhos no ano de 2004, com o estoque reprodutivo A exibiram padrões distintos, onde o pico de atividade de canto foi registrado no final da temporada (Sousa-Lima et al., 2018). Sabe-se que além do canto, as baleias-jubarte podem investir em diferentes estratégias reprodutivas, como por exemplo os conflitos físicos, os quais são frequentemente registrados ao longo da temporada reprodutiva (Clapham, 1996). Contudo, o retorno as áreas de alimentação no Hemisfério Sul, demanda de reservas energéticas (Dawbin, 1966; Craig & Herman, 1997), e a realização de atividades deste tipo no final da temporada pode resultar em altos custos energéticos, logo, um risco a sobrevivência no retorno as áreas de alimentação (Sousa-Lima et al., 2018). Assim, foi sugerido que um maior número de cantores registrados no final da temporada em Abrolhos, pode estar associado a uma estratégia adotada pela espécie, em investir mais ativamente no canto a outras estratégias reprodutivas que demandem mais energia, dessa forma, aumentando as chances de sucesso reprodutivo e sobrevivência (Sousa-Lima et al., 2018). Um outro fator a ser levado em consideração é a localização de Abrolhos mais a sul da nossa área de estudo, sendo possível que os indivíduos que estejam retornando de regiões mais ao norte desta área, como Praia do Forte (Rossi-Santos et al., 2008) e Serra Grande (Gonçalves et al., 2018a), que ainda estejam sexualmente ativos, e passem por Abrolhos durante o retorno as áreas de alimentação, exibam esta estratégia na tentativa de encontrar fêmeas para acasalar. Dessa forma, embora a maior abundância de indivíduos não seja registrada neste período em Abrolhos, quando as baleias já iniciaram a migração (Martins et al., 2001; Morete et al., 2008), uma maior atividade de canto pode ser observada devido a passagem de indivíduos vindo de outras áreas. Além disso, dezesseis anos se passaram desde a observação deste padrão em Abrolhos (Sousa-Lima et al., 2018) e ao longo destes anos outras mudanças foram observadas neste estoque reprodutivo, como o aumento populacional e conseqüente reocupação de outras áreas ao longo da costa

brasileira (Rossi-Santos et al., 2008; Andriolo et al., 2010). Assim é possível que alterações também tenham ocorrido nesta estratégia.

### **Atividade vocal vs. estado do mar**

O grau de agitação do mar está diretamente associado a alterações na paisagem acústica do ambiente marinho (Knudsen et al., 1948). Um dos princípios básicos da comunicação animal é que sinal enviado possa ser recebido e decodificado por um receptor (Krebs & Davies, 1996). Neste processo, uma restrição importante a uma detecção bem sucedida é imposta pelo ruído de fundo, visto que, o mesmo pode mascarar sinais relevantes para potenciais receptores (Watson, 1987; Clark et al., 2009). Dessa forma, respostas comportamentais ao aumento do ruído no ambiente, podem ser observadas nos indivíduos que estão sobre essa influência (Southall, et al., 2007).

Evidências de que a velocidade do vento pode promover mudanças comportamentais na baleia-jubarte foram documentadas por Whitehead (1985), ao observar uma relação linear positiva entre o aumento da velocidade do vento, logo, maior grau de agitação do mar, e realização de comportamentos aéreos. Posteriormente, Dunlop et al. (2010) realizaram um estudo onde a intensidade do ruído de fundo provocado pelo aumento da velocidade do vento, bem como as faixas de frequência coberta pelos comportamentos aéreos e vocalizações foram levadas em consideração. Os resultados obtidos mostraram que de fato o aumento da velocidade do vento promoveu alterações na paisagem acústica do ambiente marinho e que as baleias-jubarte gradualmente deixaram de usar sons vocais e passaram a investir na realização de atividades aéreas a medida em que a velocidade do vento aumentava (Dunlop et al., 2010). Contudo não foram encontradas evidências de que este comportamento compensou o aumento do ruído ambiental, visto que a faixa de frequência coberta pelos comportamentos aéreos e pelas vocalizações não diferiram significativamente (Dunlop et al., 2010).

No nosso estudo, foram observados efeitos das diferentes classes de estado do mar, na atividade vocal dos cantores de baleia-jubarte em Serra Grande, entretanto, tendências distintas foram observadas entre os anos. Em 2014 e 2015 houve uma diminuição significativa do número de cantores no estado do mar 3 e 4 em comparação ao estado 1, indicando que o aumento do grau de agitação do mar e consequente aumento do ruído ambiental, promoveu um efeito negativo na atividade vocal dos cantores, assim como reportado anteriormente (Whitehead, 1985; Dunlop et al., 2010). Nas temporadas reprodutivas de 2018 e 2019, o estado

4 promoveu um efeito contrário, sendo observado um aumento no número de cantores nesta classe de estado do mar.

Registros do aumento da duração do canto dos machos de baleia-jubarte foram documentados em alguns estudos, sendo associados a uma resposta comportamental compensatória ao aumento do ruído de fundo provocado por atividades antropogênicas (Miller et al., 2000; Fristrup et al., 2003). Um estudo realizado durante a estação reprodutiva das baleias-jubarte no Havaí, observou que o canto de vários machos em um coro contribui significativamente para a paisagem acústica da área, e maiores níveis de pressão sonora foram associadas a uma maior atividade de canto (Au et al., 2000). O mesmo foi observado no Arquipélago de Trindade, no oceano Atlântico Sul, por Bittencourt et al. (2016), onde o canto da baleia-jubarte foi considerado a principal fonte sonora na região durante os meses de inverno. É possível que em 2018 e 2019 os machos cantores em Serra Grande tenham adotado uma estratégia para compensar a interferência acústica imposta por um maior grau de agitação do mar devido ao maior número de cantores nestes anos. Se a resposta foi um aumento na duração do canto, considerando nosso método amostral de contagem, o número de cantores pode ter sido superestimado, justificando assim os resultados observados para esta classe de estado do mar. Se de fato houve um maior número de cantores, a estratégia adotada para compensar o aumento no ruído de fundo pode ter sido reproduzir o canto em um coro, com vários cantores, e logo uma maior contribuição sonora na paisagem acústica local.

#### **Atividade de canto vs. ritmo circadiano e fases da lua ao longo da temporada**

Estudos anteriores realizados em diferentes estoques reprodutivos, relataram variações ao longo dos dias da temporada, ao longo das horas do dia, bem como a influência do ciclo lunar, na atividade vocal dos machos cantores de baleia-jubarte durante a estação reprodutiva (Au et al., 2000; Cerchio et al., 2001; Sousa-Lima & Clark, 2008; Cerchio et al., 2010; Bittencourt et al., 2016; Rossi-Santos, 2018). Os registros contínuos do canto na região de Serra Grande, evidenciaram a presença deste comportamento em todos os dias amostrados, embora, flutuações na abundância de cantores tenham sido observadas ao longo dos dias da temporada. A influência da variável dia no nosso modelo se mostrou tão significativa, que os padrões observados para hora do dia e fases da lua foram alterados diante da interação com o dia da temporada, indicando em ambos os casos, um decréscimo no número de cantores a medida em que a temporada progrediu.

Os padrões diários do número de cantores em Serra Grande foram consistentes aos observados em outras áreas de ocorrência da espécie, havendo maior atividade durante os períodos de pouca luz, do final da tarde, até o início da manhã (Au et al., 2000; Cerchio et al., 2001; Cerchio et al., 2010; Español-Jiménez & Schaar, 2018). No entanto, a falta de relação entre a atividade de canto e os regimes de luz também são documentadas (Clark & Clapham, 2004; Sousa-Lima & Clark, 2008; Helweg & Herman, 2010). Foi sugerido por Au et al. (2000), que uma maior atividade de canto durante a noite pode ser resultado de uma limitação visual na realização de outras atividades reprodutivas dependentes de estímulos visuais, como os conflitos físicos em grupos competitivos. Estes achados sugerem ainda que se mais machos cantam a noite, menos competem fisicamente pelo acesso as fêmeas neste período, e que este padrão pode ser revertido durante o dia, logo a visão desempenharia um importante papel nas interações intra-sexuais (Au et al., 2000). Dessa forma, além de se tornar a estratégia reprodutiva principal nos períodos noturnos, o canto no conjunto de comportamentos reprodutivos, dá uma maior flexibilidade ao sistema de acasalamento da espécie, podendo ser realizado inclusive em condições onde a visão é limitada. Helweg & Herman (2010) confirmaram a hipótese de que os comportamentos aéreos podem ser dependentes dos sinais visuais ao observarem mudanças diurnas significativas na formação de grupos competitivos e realização de comportamentos aéreos, com registros de pico durante o meio dia. Contudo não foram observadas mudanças significativas no número de cantores entre as horas do dia.

Outra tendência temporal relatada para atividade vocal dos cantores de baleia-jubarte, em Serra Grande foi associada as fases da lua como também observada em outros estudos (Sousa-Lima & Clark, 2008; Cerchio et al., 2010). Esperávamos que se a variável lua influenciasse a atividade vocal dos cantores devido as variações de luminosidade ao longo do ciclo, uma maior atividade de canto seria registrada na lua nova, fase com a menor intensidade luminosa, e, portanto, com uma maior limitação visual. O primeiro e último quarto teriam estimativas similares, visto que ambas as fases apresentam a mesma porcentagem de luminosidade, e a lua cheia seria a fase onde uma menor atividade de canto seria registrada, pois neste período a visibilidade ambiental seria favorecida por uma maior intensidade luminosa, logo os indivíduos não precisariam investir exclusivamente na realização do canto, podendo executar outras estratégias reprodutivas.

De fato, uma menor atividade de canto foi observada na lua cheia, entretanto, a maior atividade deste comportamento ocorreu durante o primeiro quarto, seguido da lua nova. A possibilidade de uma maior ocorrência do canto das baleia-jubarte em Serra Grande ser

registrada durante o primeiro quarto e a lua nova já havia sido proposto anteriormente por Gonçalves et al. (2018b) ao observar uma diminuição na abundância relativa de adultos nestes períodos, juntamente com o fato dos cantores serem caracterizados com uma movimentação mais lenta (Tyack & Whitehead, 1983; Spitz et al., 2002; Noad & Cato, 2007), e logo, menos prováveis de serem detectados em levantamentos visuais (Gonçalves et al., 2018b). Assim como observado em Abrolhos por Sousa-Lima & Clark (2008), as diferentes estimativas obtidas no nosso modelo para o primeiro e o último quarto da lua, podem ser associadas a uma impossibilidade de a luminosidade ser o fator determinante desta relação (Sousa-Lima & Clark, 2008).

Embora não seja limitado visualmente, o canto também pode apresentar restrições quanto à sua produção, sendo estas voltadas aos níveis de ruído ambiental. Foi relatado por Sousa-Lima & Clark (2008) que uma menor atividade do canto durante o meio dia não estava associado a um padrão diurno, e sim a uma resposta negativa ao aumento do ruído provocado por um maior fluxo de embarcações neste horário. Cerchio et al. (2010) também registraram impactos negativos no número de cantores frente ao aumento do ruído, neste caso, provocados por pulsos de pesquisas sísmicas, sugerindo que as baleias-jubarte possam interromper o comportamento de canto ou até mesmo deixar a área durante a realização destas atividades. Dessa forma, entendemos que os padrões diários observados no comportamento de canto podem ser alterados por perturbações antrópicas, as quais, segundo Gonçalves et al. (2018a) são consideradas baixas na região de Serra Grande até ao atual estudo. Logo, nossos resultados podem estar refletindo padrões rítmicos naturais observados nos indivíduos e podem ser utilizados em estudos comparativos futuros, caso de fato venha ocorrer um aumento de atividades antrópicas na região decorrentes da instalação e operação de um novo complexo portuário.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao suporte financeiro fornecido por: Arim Componentes, CAPES, CSI, FAPESB, The Rufford Foundation, UESC, Viva Instituto Verde Azul e patrocinadores anônimos. Ao professor Niel Teixeira pela colaboração no ponto fixo. A Erik Tedesco, Fernando Murakami e Rafael Murakami da Água Viva Sub pelo planejamento e organização do campo. A todos que contribuíram com a coleta dos dados no ponto fixo: Andrea Tribulato, Bianca Righi, Erica Lopes, Evelyn Fróes, Fernanda Tonolli, Juliede Nonato, Luana Pini, Naiane Silva, Rayane Tomaselli, Stella Tomás, Tamires Fernandes, Winnie Silva e ao apoio logístico fornecido por Giulio Lombardi, Davi, Sr. Nelson e Sr. Raimundo.

## REFERÊNCIAS

- Andriolo, A, Martins, CCA, Engel, MH, Pizzorno, JL, Más-Rosa, S, Freitas, AC, Morete, ME & Kinas, PG (2006). The first aerial survey of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) to estimate abundance in the breeding ground off Brazil (Breeding Stock A). *Journal of Cetacean Research and Management*, 8, 307-311.
- Andriolo, A, Kinas, PG, Engel, MH, & Martins, CCA (2010). Humpback whale population estimates and distribution along the Brazilian breeding ground. *Endang. Spec. Resear*, 11, 233-243.
- Arraut, EM, & Vielliard, JME (2004). The song of the Brazilian population of Humpback Whale *Megaptera novaeangliae*, in the year 2000: individual song variations and possible implications. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences*, 76(2), 373-380.
- Au, WW, Mobley, J, Burgess, WC, Lammers, MO, & Nachtigall, PE (2000). Seasonal and diurnal trends of chorusing humpback whales wintering in waters off western Maui. *Marine Mammal Science*, 16(3), 530-544.
- Baker, CS, & Herman, LM (1981). Migration and local movement of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) through Hawaiian waters. *Canadian Journal of Zoology*, 59, 460-469.
- BAMIN (2011). Relatório de Impacto Ambiental Porto Sul. *Bahia Mineração Ltda.*, 118.
- Bittencourt, L, Barbosa, M, Secchi, E, Lailson-Brito Jr, J, & Azevedo, A (2016). Acoustic habitat of an oceanic archipelago in the Southwestern Atlantic. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 115, 103-111.
- Caldas-Morgan, M, Alvarez-Rosario, A, & Padovese, LR (2015). An Autonomous Underwater Recorder Based on a Single Board Computer. *PLoS ONE*, 10(5), e0130297.
- Cerchio, S, & Dahlheim, M (2001). Variation in feeding vocalizations of humpback whales *Megaptera novaeangliae* from southeast Alaska. *Bioacoustics*, 11(4), 277–295.
- Cerchio, S, Collins, T, Strindberg, S, Bennett, C, & Rosenbaum, H (2010). Humpback whale singing activity off northern Angola: an indication of the migratory cycle, breeding habitat and impact of seismic surveys on singer number in Breeding Stock B1. *International Whaling Commission Scientific Committee*, Agadir, Morocco.
- Charif, R, Clapham, PJ, Gagnon, W, Loveday, P, & Clark, CW (2001). Acoustic detections of singing humpback whales in the waters of the British Isles. *Marine Mammal Science*, 17, 751–768.
- Charif, RA, Waack, AM, & Strickman, LM (2010). Raven Pro 1.4 User's Manual. *Cornell Lab of Ornithology*, Ithaca, NY.
- Clapham, PJ (1996). The social and reproductive biology of humpback whales: an ecological perspective. *Mammal Review*, 26(1), 27-49.
- Clapham, PJ (2000). The Humpback Whale: Seasonal Feeding and Breeding in a Baleen Whale. *Cetacean Societies: Field Studies of Dolphins and Whales*. Edited by J Mann, RC Connor, PL Tyack, H Whitehead, 173-196.

- Clapham, PJ, & Mattila, DK (1990). Humpback whale songs as indicators of migration routes. *Marine Mammal Science*, 6, 155–160.
- Clark, CW, & Clapham, PJ (2004). Acoustic monitoring on a humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) feeding ground shows continual singing into late spring. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 271(1543), 1051–1057.
- Clark, CW, Ellison, WT, Southall, BL, Hatch, L, Van-Parijs, SM, Frankel, A, & Ponirakis, D (2009). Acoustic masking in marine ecosystems: intuitions, analysis, and implication. *Marine Ecology Progress Series*, 395, 201–222.
- Craig, AS, & Herman, LM (1997). Sex differences in site fidelity and migration of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) to the Hawaiian Islands. *Canadian Journal of Zoology*, 75, 1923–1933.
- Craig, AS, Herman, LM, Gabriele, CM, & Pack, AA (2003). Migratory timing of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) in the Central North Pacific varies with age, sex and reproductive status. *Behaviour*, 140, 981–1001.
- Darling, JD, & Bérubé, M (2001). Interactions of singing humpback whales with other males. *Marine Mammal Science*, 17, 570–584.
- Darling, JD, & Sousa-Lima, RS (2005). Songs indicate interaction between humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) populations in the western and eastern South Atlantic Ocean. *Marine Mammal Science*, 21, 557–566.
- Darling, JD, Jones, ME, & Nicklin, CP (2006). Humpback whale songs: Do they organize males during the breeding season? *Behaviour*, 143, 1051–1101.
- Dawbin, WH (1966). The seasonal migratory cycle of humpback whales. In: Norris KS, editors. *Whales, dolphins, and porpoises*. Berkeley: University of California Press, 145–170.
- Dawbin, WH (1997). Temporal segregation of humpback whales during migration in southern hemisphere waters. *Memoirs of the Queensland Museum*. 42, 105–138.
- Dunlop, RA, Cato, DH, & Noad, MJ (2010). Your attention please: increasing ambient noise levels elicits a change in communication behavior in humpback whales (*Megaptera novaeangliae*). *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 277(1693), 2521–2529.
- Español-Jiménez, S, & Vander-Schaar, M (2018). First record of humpback whale songs in Southern Chile: Analysis of seasonal and diel variation. *Marine Mammal Science*, 34(3), 718–733.
- Frankel, AS, & Clark, CW (2002). ATOC and other factors affecting the distribution and abundance of humpback whales (*Megaptera Novaeangliae*) off the North shore of Kauai. *Marine Mammal Science*, 18, 644–662.
- Freire, AFM, & Dominguez, JML (2006). The holocene sequence of the central continental shelf of the State of Bahia, Brazil. *Boletim Geociências Petrobras*, 14, 247267.
- Fristrup, KM, Hatch, LT, & Clark, CW (2003). Variation in humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) song length in relation to low-frequency sound broadcasts. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 113(6), 3411.
- Glockner, DA (1983). Determining the sex of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) in their natural environment. *Communication and behavior of whales*, 447–464.

Gonçalves, MIC, Sousa-Lima, R, Teixeira, NN, Carvalho, GH, Schiavon, DD, & Baumgarten, JE (2018a). Movement patterns of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) reoccupying a Brazilian breeding ground. *Biota Neotropica*, 18, e20180567.

Gonçalves, MIC, Sousa-Lima, RS, Teixeira, NN, Morete, ME, Carvalho, GH, Ferreira, HM, & Baumgarten, JE (2018b). Low latitude habitat uses patterns of a recovering population of humpback whales. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 98(5), 1087-1096.

Helweg, DA, Cato, DH, Jenkins, DF, Garrigue, C, McCauley, RD (1998). Geographic variation in South Pacific humpback whale songs. *Behaviour* 135, 1–17.

Helweg, DA, & Herman, LM (2010). Diurnal Patterns of Behaviour and Group Membership of Humpback Whales (*Megaptera novaeangliae*) Wintering in Hawaiian Waters. *Ethology*, 98(3-4), 298–311.

Herman, LM (2016). The multiple functions of male song within the humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) mating system: review, evaluation, and synthesis. *Biological Reviews* 92(3), 1795-1818.

Herman, LM, & Tavolga, WN (1980). The communication systems of cetaceans. In *Cetacean Behavior: Mechanisms and Functions* (ed. L. M. Herman), 149–209. Wiley Interscience, New York.

Horton, TW, Holdaway, RN, Zerbini, NA, Hauser, N, Garrigue, C, Andriolo, A, & Clapham, PJ (2011). Straight as an arrow: humpback whales swim constant course tracks during long-distance migration. *Biology Letters*, 7, 674-679.

IWC (1998). International Whaling Commission. Report of the Scientific Committee. *Rep. int. Whal. Commn*, 48, 53-118.

IWC (2005). International Whaling Commission. Report of the Scientific Committee. Annex H - Report of the sub-committee on other southern hemisphere whale stocks. *Journal of Cetacean Research and Management*, 7, 235-246.

Kavanagh, AS, Owen, K, Williamson, MJ, Blomberg, SP, Noad, MJ, Goldizen, AW, Kniest, E, Cato, DH, & Dunlop, RA (2016). Evidence for the functions of surface-active behaviors in humpback whales (*Megaptera novaeangliae*). *Marine Mammal Science*, 33(1), 313–334.

Knudsen, VO, Alford, RS, & Emling, JW (1948). Underwater ambient noise. *J Mar Res* 7, 410–429.

Krebs, JR, & Davies, NB (1996). Introdução à ecologia comportamental. *Atheneu, Editora: São Paulo, Brasil*.

Levenson, C (1969). Behavioral, physical, and acoustic characteristics of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) at Argus Island. Informal Report No. 69–54. *Naval Oceanographic Office*, Washington, DC.

Levenson, C (1972). Characteristics of sounds produced by humpback whales (*Megaptera novaeangliae*). *NAV-OCEANO Technical Note*. 7700-6-72.

Mann, J (1999). Behavioral sampling methods for cetaceans: a review and critique. *Marine Mammal Science*, 15, 102–122.

- Martins, CCA, Morete, ME, Engel, MH, Freitas, AC, Secchi, ER, & Kinas, PG (2001). Aspects of habitat use patterns of humpback whales in the Abrolhos Bank, Brazil, breeding ground. *Memoirs of the Queensland Museum*, 47, 563-570.
- Martins, CCA, Morete, ME, Engel, MH, Freitas, AC, Secchi, ER, Kinas, PG (2001). Aspects of habitat use patterns of humpback whales in the Abrolhos Bank, Brazil, breeding ground. *Memoirs of the Queensland Museum*, 47, 563-570.
- Mattila, DK, Guinee, LN, & Mayo, CA (1987). Humpback whale songs on a North Atlantic feeding ground. *J. Mamm*, 68, 880-883.
- Mattila, DK, Clapham, PJ, Vásquez, O, & Bowman, RS (1994). Occurrence, population composition, and habitat use of humpback whales in Samana Bay, Dominican Republic. *Canadian Journal of Zoology*, 72, 1898-1907.
- McDonald, MA, Hildebrand, JA, & Webb, SC (1995). Blue and fin whales observed on a seafloor array in the Northeast Pacific. *The Journal of the Acoustical Society of America* 98, 712-721.
- McSweeney, DJ, Chu, KC, Dolphin, WF, & Guinee, LN (1989). North Pacific humpback whale songs: a comparison of southeast Alaskan feeding ground songs and Hawaiian wintering ground songs. *Marine Mammal Science*. 5, 116-138.
- Mercado, EI, Herman, LM, & Pack, AA (2005). Song copying by humpback whales: Themes and variations. *Anim. Cognition*, 8, 93-102.
- Miller, PJ, Biassoni, N, Samuels, A, & Tyack, PL (2000). Whale songs lengthen in response to sonar. *Nature*, 405(6789), 903-903.
- Mobley, JR, Grotfendt, RA, Forestell, PH, & Frankel, AS (1999). Results of aerial surveys of marine mammals in the major Hawaiian Islands (1993-1998): Report to the *Acoustic Thermometry of Ocean Climate Marine Mammal Research Program*, Ithaca, New York.
- Morete, ME, Pace, RM, Martins, CCA, Freitas, AC, & Engel, MH (2003). Indexing seasonal abundance of humpback whales around Abrolhos Archipelago, Bahia, Brazil. *Latin American Journal of Aquatic Mammals*, 2, 21-28.
- Morete, ME, Bisi, TL, & Rosso, S (2007). Temporal pattern of humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) group structure around Abrolhos Archipelago breeding region, Bahia, Brazil. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 87(1), 87-92.
- Morete, ME, Bisi, TL, Pace, RM, & Rosso, S (2008). Fluctuating abundance of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) in a calving ground off coastal Brazil. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 88(6), 1229-1235.
- Nishiwaki, M (1959). Humpback whales in Ryukyuan water. *Scientific Reports of the Whales Research Institute*, 14, 49-87.
- Noad, MJ, & Cato, DH (2007). Swimming speeds of singing and non-singing humpback whales during migration. *Marine Mammal Science* 23, 481-495.

Norris, TF, Mc Donald, M, & Barlow, J (1999). Acoustic detections of singing humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) in the eastern North Pacific during their northbound migration. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 106(1), 506-514.

Payne, KB, Tyack P, & Payne, RS (1983). Progressive changes in the songs of Humpback Whales (*Megaptera novaeangliae*): a detailed analysis of two seasons in Hawaii. In: Payne RS (Ed), *Communication and behavior of whales*. Boulder, Colorado: Westview Press, 9-57.

Payne, RS, & McVay, S (1971). Songs of humpback whales. *Science*, 173, 585–597.

Rossi-Santos, MR (2015). Oil Industry and Noise Pollution in the Humpback Whale (*Megaptera novaeangliae*) Soundscape Ecology of the Southwestern Atlantic Breeding Ground. *Journal of Coastal Research*, 299, 184–195.

Rossi-Santos, MR (2018). The Spreading Message in a Noisy World: Song Behavior and Acoustic Ecology in Humpback Whales (*Megaptera novaeangliae*), from the Southwestern Atlantic Ocean. In *Advances in Marine Vertebrate Research in Latin America*, 407-440. Springer, Cham.

Rossi-Santos, MR, Neto, ES, Baracho, CG, Cipolotti, SR, Marcovaldi, E, & Engel, MH (2008). Occurrence and distribution of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) on the north coast of the State of Bahia, Brazil, 2000–2006. *ICES Journal of Marine Science*, 65(4), 667-673.

Sánchez-Gendríz, I, & Padovese, LR (2016). Underwater soundscape of marine protected areas in the south Brazilian coast. *Marine Pollution Bulletin*, 105, 65-72.

Siciliano, S (1997). Características da população de baleias-jubarte (*Megaptera novaeangliae*) da costa brasileira, com especial referência aos Bancos de Abrolhos. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 113 pp.

Smith, JN, Goldizen, AW, Dunlop, RA, & Noad, MJ (2008). Songs of male humpback whales, *Megaptera novaeangliae*, are involved in intersexual interactions. *Animal Behaviour*, 7(2), 467-477.

Smultea, MA (1994). Segregation by humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) cows with a calf in coastal habitat near the island of Hawaii. *Canadian Journal of Zoology*, 72(5), 805–811.

Sousa-Lima, RS, & Clark, CW (2008). Modeling the effect of boat traffic on the fluctuation of humpback whale singing activity in the Abrolhos National Marine Park, Brazil. *Canadian Acoustics*, 36(1), 174-181.

Sousa-Lima, RS, Engel, MH, Sábato, V, Lima, BR, Queiróz, TS, Brito, MR, Fernandes, DP, Martins, CAC, Hatum, OS, Casagrande, T, Honda, RK, Gonçalves, MIC, & Baumgarten, JE, Andriolo A, Ribeiro, MC, Clark, CW (2018). Acoustic ecology of humpback whales in Brazilian waters investigated with basic and sophisticated passive acoustic technologies over 17 years. *Western Indian Ocean Journal of Marine Science*, 23-40.

Southall, BL, Bowles, AE, Ellison, WT, Finneran, JJ, Gentry, RL, Greene, CR, Jr, Kastak, D, Ketten, DR, Miller, JH, Nachtigall, PE, Richardson, WJ, Thomas, JA, & Tyack, PL (2007). Marine mammal noise exposure criteria: initial scientific recommendations. *Aquatic Mammals*, 33, 411-521.

Spitz, SS, Herman, LM, Pack, AA, & Deakos, MH (2002). The relation of body size of male humpback whales to their social roles on the Hawaiian winter grounds. *Canadian Journal of Zoology*, 80, 1938–1947.

Tyack, PL, & Whitehead, H (1983). Male competition in large groups of wintering humpback whales. *Behaviour*, 83, 132-154.

Watson, CS (1987). Uncertainty, informational masking, and the capacity of immediate auditory memory. *Auditory processing of complex sounds*, 267-277.

Whitehead, HP (1985). Humpback whales breaching. *Investigation on Cetacean*, 17, 117-155.

Wilson, E (1975). *Sociobiology: The New Synthesis*.

Winn, HE, & Winn, LK (1978). The song of the humpback whale *Megaptera novaeangliae* in the West Indies. *Marine Biology*, 47, 97-114.

Zerbini, AN, Andriolo, A, Heide-Jørgensen, MP, Pizzorno, JL, Maia, YG, VanBlaricom, GR, DeMaster, DP, Simões-Lopes, PC, Moreira, S, & Bethlem, C (2006). Satellite-monitored movements of humpback whales *Megaptera novaeangliae* in the Southwest Atlantic Ocean. *Marine Ecology Progress Series*, 313, 295-304.

### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo, caracterizamos pela primeira vez os padrões do comportamento de canto dos machos de baleia-jubarte, na região de Serra Grande (Bahia), uma área reprodutiva de reocupação da espécie na costa brasileira, previamente a construção de um complexo portuário com capacidade de escoamento para grandes volumes de minério de ferro. Utilizamos um conjunto de dados envolvendo registros acústicos contínuos por meio de sistemas autônomos de gravação submarina e visuais a partir de um ponto fixo, ao longo de 4 temporadas reprodutivas.

Nossos resultados indicaram que no cenário atual o canto da baleia-jubarte pode ser frequentemente observado ao longo dos dias da temporada reprodutiva na região de Serra Grande, havendo registros de ocorrência em todos os dias amostrados. Esta observação reforça a importância desta região para espécie, atuando como uma área reprodutiva de uso contínuo neste período. As flutuações da atividade vocal dos cantores e abundância de adultos foram similares em todos os anos. O período de maior atividade de canto coincidiu com um maior número de adultos registrados na área, correspondendo ao período intermediário da temporada, onde espera-se que um maior número de indivíduos sexualmente ativos seja observado.

A gravação contínua do canto também permitiu que padrões diários pudessem ser avaliados. Observamos que uma maior atividade ocorreu nos períodos de pouca luz, do final da tarde ao início da manhã, com uma clara diminuição em todos os anos amostrados a partir do meio dia. As fases da lua também mostram influências sobre a atividade do canto, entretanto o fator determinante dessa relação continua mal esclarecido. A atividade vocal dos cantores também foi influenciada pelos diferentes graus de agitação do mar, logo alterações na paisagem acústica local, o que indica que este comportamento pode ser alterado por perturbações sonoras.

Atualmente a região de Serra Grande apresenta poucas atividades antrópicas, assim os padrões observados neste estudo podem estar refletindo tendências naturais desta atividade. A prevista construção do Complexo Logístico e Intermodal Porto Sul tem potencial para alterar a paisagem acústica da região em decorrência de fatores como o aumento do fluxo de embarcações, por exemplo. Evidências de que atividades como essa podem promover alterações na forma de uso da área pelas baleia-jubarte, bem como no comportamento acústico da espécie são documentadas, entretanto para que possam ser melhores compreendidas e estratégias mitigatórias possam ser tomadas, o uso de um banco de dados com informações de como a área era utilizada anteriormente são fundamentais. Assim, os resultados apresentados

neste trabalho podem ser utilizados em estudos futuros que visem identificar alterações no comportamento de canto da espécie após a introdução deste empreendimento.