Amanda Martinelli de Oliveira

Caracterização do espaço acústico em dois habitats da costa paulista

Dissertação apresentada ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências, Programa de Oceanografia, área de Oceanografia Biológica.

Orientador:

Prof. Dr. Marcos César de Oliveira Santos

São Paulo

2019

Universidade de São Paulo

Instituto Oceanográfico

Caracterização do espaço acústico em dois habitats da costa paulista

Amanda Martinelli de Oliveira

Dissertação apresentada ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo,
como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências, área de
Oceanografia Biológica.

VERSÃO CORRIGIDA

Julgada em ____/____/____

Prof(a). Dr(a).

Conceito

Prof(a). Dr(a).

Conceito

Prof(a). Dr(a).

Conceito

À meus avós (*in memoriam*), em especial
àqueles que não tiveram a oportunidade de
se encantar pelo oceano, Vó Tereza e Vô
Pedro, e à Vó Amélia, que apesar disso
nunca deixou de sonhar com esse encontro.

AGRADECIMENTOS

Sou imensamente grata a todos que passaram pelo meu caminho nesses anos e que ajudaram esse projeto se tornar realidade. Foi uma fase intensa e desafiadora, que exigiu de mim mais do que eu acreditava ser capaz. Obrigada por terem embarcado comigo nessa jornada e terem contribuído para meu amadurecimento.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Marcos César, pela orientação e apoio, e pela confiança sem me conhecer previamente. Muito obrigada por abrir tantas portas e me permitir fazer parte desse time incrível, e que eu tanto admiro, que é o LABCMA. Agradeço pela oportunidade de explorar mais o universo da acústica e me permitir mergulhar no mundo dos cetáceos, mesmo que indiretamente. Obrigada por todo o aprendizado e principalmente por acreditar no nosso trabalho.

À Julia Dombroski, que me pegou pela mão em um momento de angústia e aceitou me guiar até aqui. Obrigada pela paciência, pela preocupação e dedicação comigo. Obrigada pelas oportunidades incríveis de trabalho, e por tantos ensinamentos. Já a tinha como exemplo antes de te conhecer, e com o tempo minha admiração só aumenta. Sua ajuda tem sido essencial na minha formação, e na realização desse trabalho.

Aos meus queridos amigos de LABCMA por todas as conversas, companhia e apoio que tornaram a rotina mais leve e colorida. Obrigada pela empatia, por tantos momentos bons, e inclusive por tornar agradáveis os não tão bons assim. A amizade de vocês é com certeza um dos melhores presentes da pós-graduação.

Um especial agradecimento à Laurita, minha irmã sister, pela parceria gigante, por todos os infinitos galhos quebrados, e por compartilhar as angústias e

anseios dessa fase difícil. Como você disse, essa caminhada teria sido bem mais difícil sem a sua companhia!

À Dé e ao Rô, alguns dos maiores corações que eu já conheci. Obrigada pelo altruísmo e paciência, pela preocupação e conselhos. Obrigada por serem exemplo de profissionais e de pessoas, e por me ensinarem tanto a cada conversa. O apoio de vocês me fortaleceu e foi fundamental para meu amadurecimento nessa fase. Depois disso tudo fica até difícil colocar em palavras minha consideração por vocês.

Às 'botas', amigas da pós-graduação, Hevelim, Carol, Iara e Thais, pelas companhias nas disciplinas e pelos bandejões regados à risadas, conversas e desabafos.

À Mariana Nery, minha mãe acadêmica, por ter aberto a porta do mundo dos cetáceos e me permitido dar o primeiro passo para realizar esse sonho.

À minha família, por sempre apoiarem meus sonhos e projetos, mesmo que por muitas vezes sem entender muito bem do que se tratava. Por terem me ensinado a fazer tudo com excelência, independente de qualquer reconhecimento. Ao meu pai por, além de ser meu grande exemplo de determinação, ter despertado em mim a curiosidade e fascínio pela natureza, através do seu olhar sempre questionador. A vontade de responder suas perguntas foi sem dúvidas uma das principais motivações para minha trajetória na ciência. À minha mãe pelo conforto nas horas difíceis, por me ajudar a recuperar minhas forças e acreditar que eu sou capaz de realizar qualquer sonho, por mais maluco que pareça ser. Obrigada por acreditar em mim quando eu mesma não conseguia. À Ju, pela parceria incondicional, e por ser, apesar das brigas, exemplo de responsabilidade e dedicação. Ao mesmo tempo que são meu porto seguro, me inspiram a navegar em alto mar. Não haverá jamais palavras para descrever o tamanho da minha gratidão e do meu amor por vocês.

Ao Rafa, meu parceiro de vida, por estar ao meu lado há tantos anos incentivando meus sonhos. Não consigo imaginar como teria sido esse processo sem você ao lado. Obrigada por acreditar em mim e, com seu amor e carinho, ter me mantido sã nos momentos ruins. Muito obrigada por aguentar minhas crises e ser meu conforto e inspiração. Por me estimular sempre a ser a minha melhor versão. Muito obrigada por juntos, sermos melhores.

À tia Nadir, Angela, Melzinha e Lulu, pelo apoio e torcida em todas as fases da minha vida, independente de onde estivessem. Ao Rogerio (in memoriam), por ter plantado em mim o desejo de conhecer o mundo e sonhar mais alto. Ainda hoje nossas conversas ressoam no meu coração. Vocês são um pedaço de mim!

À minha segunda família, Kaxota, pela companhia em todos os momentos, ruins ou felizes. Por acreditarem em mim e me aceitarem com e por todos meus defeitos. Por manterem minha cabeça no lugar quando tudo parece sair do controle. Pela irmandade, e se fazerem presente mesmo com cada um em canto diferente do mundo. Por serem meus conselheiros para os mais diversos assuntos. Vocês são as pessoas que eu mais admiro e confio e são, além de tudo, também minhas inspirações profissionais. Como é bom ter em nossos amigos, nosso maiores ídolos. Chip, Pega, Barbe, Buh, Mococa, Rebelde, Nayara, Paulista, Chicken, Messi, Bagaço, Marina, amo vocês!

Ao programa de pós-graduação em Oceanografia, por toda logística necessária para a realização deste trabalho. Ao CNPq pela bolsa de mestrado concedida nesses dois anos. À FAPESP por, através do projeto "Biodiversidade e Funcionamento de um Ecossistema Costeiro Subtropical: Subsídios para uma Gestão Integrada" (processo 11/50317-5), ter financiado equipamentos para coleta dos dados. Ao LHiCo – IOUSP, e ao professor Belmiro Castro Filho, por permitirem a

utilização do fundeio no Canal de São Sebastião e pelo apoio em algumas operações de substituição de equipamentos. Ao LIO – IOUSP, pelo planejamento do fundeio do PEIA. Ao conselho técnico do Instituto Floresta, pela licença de coleta de dados no PEIA, e à oceanógrafa Priscila Saviolo por todo o suporte e incentivo. Ao CEBIMar, pelo apoio logístico nas coletas, em especial aos técnicos Elso Alvez da Silva, Eduardo Onuma, Joseilto Medeiros de Oliveira e Alex Monteiro. Aos funcionários da base “Clarimundo de Jesus”, em especial aos técnicos Oziel, Silvio, Manuel Chen e ao Odair Soares pelo apoio nas operações de substituição dos hidrofones.

Ao Diogo Barcellos pelo planejamento, instalação dos hidrofones e coleta dos dados, e aos voluntários prof. Marcos César de Oliveira Santos, Leonardo Maia, Jacqueline Simões, Alina Pellegrinelli, Érica Donlon, Beatriz Mattiuzzo, Eduardo Onuma e Joseilto Medeiros de Oliveira que se revezaram para acompanhá-lo nos mergulhos de substituição dos equipamentos. Aos professores Paulo Sumida e Tito Lotufo pelos empréstimos de equipamentos de mergulho. Ao Charlie pelas conversas técnicas tão essenciais, até nas horas de descanso.

À Susan Parks e Jennifer Miksis-Olds por terem possibilitado minha participação no SeaBASS, experiência fundamental para o desenvolvimento deste trabalho. Ao Scientific Committee on Oceanic Research (SCOR) e National Science Foundation (NSF) pelo apoio financeiro que possibilitaram minha viagem para o curso. À Society for Marine Mammalogy (SMM) e à Cetacean Society International (CSI), em especial ao Bill Rossiter, pelos apoios financeiros concedidos que me proporcionaram a ida à “22nd Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals”.

Por fim gostaria de agradecer a todos que cruzaram meu caminho durante essa jornada e que direta ou indiretamente contribuíram de algum modo para finalizar esse trabalho. A vocês toda a minha gratidão!

“You cannot begin to preserve any species of animal unless you preserve the habitat in which it dwells. Disturb or destroy that habitat and you will exterminate the species as surely as if you had shot it. So conservation means that we have to preserve forest and grassland, river and lake, even the sea itself. This is vital not only for the preservation of animal life generally, but for the future existence of man himself - a point that seems to escape many people.”

– Gerald Durrell

RESUMO

É crescente o conhecimento a respeito da importância do som na história de vida de organismos marinhos. Muitos organismos dependem dos sinais acústicos para transmitir ou receber informações com variados propósitos, e estão vulneráveis aos efeitos causados pelo ruído antropogênico, que pode influenciar negativamente seus processos ecológicos. Assim, estimar a contribuição de fontes antropogênicas tornou-se tarefa necessária para a avaliação de paisagens acústicas globalmente. Apesar disso poucos são os estudos de paisagens acústicas no Brasil. Dessa forma, este estudo visou caracterizar a paisagem acústica em dois locais do litoral norte paulista com características distintas no que se refere à influência antrópica – Canal de São Sebastião (CSS) e Parque Estadual da Ilha Anchieta (PEIA). Os dados acústicos foram coletados em um período de dois anos, entre 2016 e 2017, e as análises consideraram variações sazonais, semanais e diárias, assim como a identificação de contribuição das diferentes fontes de emissão sonora para cada habitat. Os níveis sonoros foram mais altos no CSS do que no PEIA em todas as situações analisadas, com níveis maiores no inverno, e sem diferenças expressivas em relação à categoria dos dias amostrados. Apesar de terem sido reportados sons representantes das três categorias, antropofonia, geofonia e biofonia, em ambas localidades, a paisagem acústica do PEIA apresentou maior diversidade sonora em sua composição. Foram reportadas altas proporções de ocorrência de biofonia em ambos os locais com detecções de peixes e camarão-de-estalo em todos os dias analisados, porém a poluição sonora causada pela antropofonia foi mais expressiva no CSS. Este estudo representa um cenário em "tempo zero" quando comparado a futuros monitoramentos da paisagem acústica nesses dois pontos de relevante interesse econômico e social.

Palavras-chave: Paisagem acústica; poluição sonora; Atlântico Sudoeste.

ABSTRACT

There is increasing knowledge about the importance of sound in the life history of marine organisms. Many of them rely on sound to transmit or receive information with a varied of purposes and thus are vulnerable to the impacts caused by anthropogenic noise, which can negatively influence ecological processes. Hence, estimate contributions of anthropogenic sources is extremely important in the assessment of underwater soundscapes globally. However, few studies about soundscapes were developed in Brazil. Therefore, the aim of this investigation was to characterize the soundscapes in two habitats in the north coast of São Paulo, mainly distinguishable by the anthropogenic influence on each location – the São Sebastião Channel (CSS), and the Anchieta Island State Park (PEIA). Acoustic data were gathered between 2016 and 2017, and the acoustic analysis considered seasonal, daily and weekly variations, as well as assessed the contribution of each different source of emission at each location. The sound levels were higher at the CSS than at the PEIA in all analyzed conditions and with the highest levels recorded in winter for both study areas. There was no significant difference regarding day of the week. Although the sounds of all three categories, biophony, geophony, and antropophony, have been registered in both locations, the soundscape at the PEIA presented a major diversity of sounds in its composition. Biophony sounds were registered with a high frequency of occurrence in both habitats, with fish and snapping shrimp detections in all analyzed days, but the noise pollution was more expressive at the CSS. This study represents a first attempt in describing the soundscapes in these two habitats with social and economic relevance, which can be important for future passive acoustic monitoring programs.

Key words: Soundscape ecology; noise pollution; Southwest Atlantic.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** – Mapa de localização dos fundeios das áreas de estudo da região do litoral norte do Estado de São Paulo.61
- Figura 2** - Densidade de tráfego de embarcação local na área de estudo. Dados de 2016 e 2017. Fonte: MarineTraffic.com.....62
- Figura 3** – Gráficos climatológicos referentes a: A) Precipitação acumulada; e B) Temperatura média entre os anos de 1961 e 1990. Dados coletados na estação de Ubatuba pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Fonte: www.inmet.gov.br.....63
- Figura 4** - Hidrofone anexado no cabo do fundeio no PEIA. Foto: Diogo Barcellos. 64
- Figura 5** - Espectrogramas de longa duração (LTSA) com a densidade espectral (PSD) das estações de verão e inverno (V e I respectivamente) dos anos de 2016 e 2017. A primeira coluna refere-se à área do CSS e a segunda coluna à área da Ilha Anchieta. O eixo representando as frequências é apresentado de forma logarítmica. Intensidade do som (dB re 1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$) indicada pela escala entre vermelho e azul. As datas com asterisco (*) indicam fins de semana (Sábados e domingos).65
- Figura 6** - Média (RMS) e percentis da energia de densidade espectral (PSD) do CSS quanto a: a) Fins de semana; b) Dias de semana; c) Estação de verão; e d) Estação de inverno, contabilizados dos anos de 2016 e 2017. O eixo representando as frequências é apresentado de forma logarítmica. Atenção às diferentes escalas de PSD.66
- Figura 7** - Média (RMS) e percentis da energia de densidade espectral (PSD) do CSS em relação à categoria dos dias. Do lado direito referentes à dias de fim de

semana (a), c), e) e g)) e do lado esquerdo à dias de semana (b), d), f) e h)). a) e b) Total, c) e d) frequências baixas (10 a 1.000 Hz), e) e f) frequências médias (1.000 a 10.000 Hz) e g) e h) frequências altas. Atenção às diferentes escalas de PSD.....	67
Figura 8 - Médias (RMS) da energia de densidade espectral (PSD) no CSS em relação a categoria dos dias.	68
Figura 9 - Médias (RMS) da energia de densidade espectral (PSD) no CSS em relação à estação do ano.....	68
Figura 10 - Média (RMS) e percentis da energia de densidade espectral (PSD) do CSS em relação as estações. Do lado direito referentes ao verão (a), c), e) e g)) e do lado esquerdo ao inverno (b), d), f) e h)). a) e b) Total, c) e d) frequências baixas (10 a 1.000 Hz), e) e f) frequências médias (1.000 a 10.000 Hz) e g) e h) frequências altas. Atenção às diferentes escalas de PSD.	69
Figura 11 - Médias (RMS) da energia de densidade espectral (PSD) no CSS em relação às horas do dia.	70
Figura 12 - Média (RMS) e percentis da energia de densidade espectral (PSD) do PEIA quanto a: a) Fins de semana; b) Dias de semana; c) Estação de verão; e d) Estação de inverno, contabilizados dos anos de 2016 e 2017. O eixo representando as frequências é apresentado de forma logarítmica. Atenção às diferentes escalas de PSD.	70
Figura 13 - Médias (RMS) da energia de densidade espectral (PSD) no PEIA em relação a categoria dos dias.	71
Figura 14 - Médias (RMS) da energia de densidade espectral (PSD) no PEIA em relação a estação do ano.	71

Figura 15 - Média (RMS) e percentis da energia de densidade espectral (PSD) do PEIA em relação à categoria dos dias. Do lado direito referentes à dias de fim de semana (a), c), e) e g)) e do lado esquerdo à dias de semana (b), d), f) e h)). a) e b) Total, c) e d) frequências baixas (10 a 1000 Hz), e) e f) frequências médias (1000 a 10.000 Hz) e g) e h) frequências altas. Atenção às diferentes escalas de PSD.....	72
Figura 16 - Média (RMS) e percentis da energia de densidade espectral (PSD) do CSS em relação as estações. Do lado direito referentes ao verão (a), c), e) e g)) e do lado esquerdo ao inverno (b), d), f) e h)). a) e b) Total, c) e d) frequências baixas (10 a 1000 Hz), e) e f) frequências médias (1000 a 10.000 Hz) e g) e h) frequências altas. Atenção às diferentes escalas de PSD.	73
Figura 17 - Médias (RMS) da energia de densidade espectral (PSD) no PEIA em relação as horas do dia.....	74
Figura 18 - Proporção de contribuição de cada fonte sonora por dia analisado em cada região. Azul escuro indica que a referida fonte foi detectada em todas as horas do dia; as escalas de cores indicam a porcentagem de horas do dia em que a fonte esteve presente; e branco representa a ausência de detecção. C.E = Camarão-de-estalo. As datas com asterisco (*) indicam fins de semana.	75
Figura 19 - Porcentagem de ocorrência de cada categoria de emissão sonora em cada dia amostrado.....	76
Figura 20 - Porcentagem de ocorrência de cada categoria de emissão sonora por hora do dia.	77
Figura 21 - Exemplo de emissões de camarão-de-estalo no CSS (A) e no PEIA (B).	78
Figura 22 - Exemplos de emissões sonoras de peixes no CSS.	78

Figura 23 - Exemplo de emissão sonora de cetáceos no CSS. A – Ecolocalização de odontocetos (com FFT de 1024 pontos) e B – Mysticetos (com FFT de 4096)...	79
Figura 24 - Exemplos de fontes de antropofonia no CSS. A, ruídos de motores com maior energia concentrada nas baixas frequências, B e C ruídos com energia dissipada por todo o espectro, D ecossonda nas altas frequências e E ruído noturno.....	80
Figura 25 - Exemplos de emissões caracterizadas como peixes no PEIA. J e K com mais de um tipo de vocalização ao mesmo tempo.....	81
Figura 26 - Exemplos de emissões e odontocetos no PEIA.	82
Figura 27 - Exemplos de emissões sonoras de mysticetos no PEIA. Emissões A e B possivelmente de baleia-de-Bryde e C e D possivelmente de baleia-franca.....	83
Figura 28 - Exemplos de geofonia. A ondas no CSS, B onda no PEIA e C chuva no PEIA.....	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Datas selecionadas para análise por cada estação do ano em cada local.

Datas com asterisco (*) sinalizam dias de finais de semana (Sábados e Domingos).....59

Tabela 2 - Valores de PSD (dB re1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$) dos percentis 5^o, 50^o e 95^o e do RMS, nas estações de verão e inverno, em relação às frequências.....60

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	18
2. OBJETIVOS.....	25
3. MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1. Área de estudo	26
3.2. Coleta de dados.....	28
3.3. Processamento e Análise dos dados	29
3.4. Série Temporal	30
3.5. Análises Acústicas Estatísticas.....	31
3.6. Análise Manual	32
4. RESULTADOS	33
4.1. Série Temporal	33
4.2. Análises Acústicas Estatísticas	36
4.3. Análise Manual	42
5. DISCUSSÃO	46
6. CONCLUSÃO	58
TABELAS	59
FIGURAS	61
REFERÊNCIAS.....	84
APÊNDICE.....	100

1. INTRODUÇÃO

A ideia de que o oceano é um lugar silencioso foi amplamente aceita no passado, porém hoje é obsoleta. Com as guerras mundiais, equipamentos e análises foram desenvolvidos a fim de possibilitar a exploração do som no ambiente marinho (BJORNO, 2003). Inicialmente criados para detectar submarinos e com propósitos de guerra, o desenvolvimento de conhecimento e ferramentas para investigar a acústica marinha hoje possibilita estudos multidisciplinares acerca dos sons nesse ambiente, e evidencia a importância da comunicação acústica na história de vida dos animais que ali vivem (*Ibid.*).

Por ser um ambiente com iluminação limitada e baixa visibilidade, a comunicação visual geralmente é pouco eficiente no ambiente aquático. Por outro lado, com densidade aproximadamente 1000 vezes maior do que o ar, a velocidade do som no oceano é por volta de quatro vezes mais rápida, e com atenuação muito menor (NYBAKKEN; BERTNESS, 2005). Assim, as ondas sonoras se propagam com maior eficiência e a maiores distâncias na água quando comparada ao ar, sendo capazes de atravessar bacias oceânicas inteiras (COLOSI et al., 1999). Dessa forma, o som é um meio importante a ser usado pelos organismos marinhos para perceber o ambiente. De pequenos invertebrados aos grandes mamíferos aquáticos, muitos organismos dependem dos sinais acústicos para transmitir ou receber informações com variados propósitos, incluindo navegação, reconhecimento do ambiente, comunicação e percepção de presa ou predador (JEFFS; TOLIMIERI; MONTGOMERY, 2003; MONTGOMERY et al., 2006; RICHARDSON et al., 1995).

Entre esses organismos estão os cetáceos, um dos grupos mais vocalmente diversificados no planeta (TYACK, 1986). Eles possuem elaboradas adaptações para

sentir e produzir som, e são altamente dependentes do som não apenas como sentido principal, como também em áreas de sua biologia social e sensorial (TYACK; MILLER, 2002). Atualmente existem 89 espécies de cetáceos, classificadas entre misticetos e odontocetos (COMMITTEE ON TAXONOMY, 2018). Os misticetos, ou baleias de barbatana, compreendem um grupo com 14 espécies viventes (*Ibid.*) e emitem sons com frequências fundamentais em geral abaixo de 1 kHz (RICHARDSON et al., 1995). Esses organismos são bem adaptados ao uso do som de baixa frequência, que possibilita a comunicação entre indivíduos a quilômetros de distância (PAYNE; WEBB, 1971). Além da comunicação entre conspecíficos, os misticetos também utilizam o som para atrair parceiros sexuais e obter informações sobre as características de seu ambiente (RICHARDSON et al., 1995). Outro grupo de cetáceos são os odontocetos, com 75 espécies viventes atualmente (COMMITTEE ON TAXONOMY, 2018). Os odontocetos produzem sons sociais como assobios, que majoritariamente ocupam faixas de frequência de 5 kHz a 20 kHz (AU; HASTINGS, 2008), e cliques que podem exceder a frequência de 100 kHz (LAMMERS; AU, 1996). Além dos sons sociais, odontocetos são capazes de ecolocalizar – utilizar o som para perceber o ambiente e estimar a localização de algum objeto em torno de si através do eco (AU; HASTINGS, 2008; RICHARDSON et al., 1995; ZIMMER, 2011). Até o momento a ecolocalização é conhecida apenas em odontocetos dentre os cetáceos (ZIMMER, 2011), e foi uma inovação importante para a exploração de novos ambientes, o que pode explicar a alta diversidade e ocupação desses organismos nos mais variados habitats do planeta (LINDBERG; PYENSON, 2007; STEEMAN et al., 2009).

Muito diverso também é o repertório acústico dos peixes. Todas as espécies conhecidas de peixes podem sentir o som (POPPER; FAY, 2011) e mais de 800 espécies entre 109 famílias são conhecidas por produzi-lo (KASUMYAN, 2008;

LADICH, 2004; TAVOLGA, 1971a). Através da audição, esses organismos conseguem acessar informações muitas vezes provenientes de grandes distâncias, da mais ampla variedade de ambientes, e vindas de todas as direções (POPPER; HAWKINS, 2019), o que ilustra a importância desse meio de comunicação para uma grande diversidade de espécies. Além disso, a partir do movimento de estridulação e manipulação da bexiga natatória, peixes teleósteos produzem sons aplicáveis a uma variedade de comportamentos como defesa de território, agressão e reprodução (DEMSKI; GERALD; POPPER, 1973; TAVOLGA, 1971b; ZELICK; MANN; POPPER, 1999).

Entre os invertebrados destacam-se os camarões-de-estalo (*Alpheus* spp.), que utilizam som para alimentação por produzirem bolhas que atordoam a presa (KNOWLTON; MOULTON, 1963; VERSLUIS et al., 2000), e outros invertebrados como ouriço-do-mar, que apesar de menos intensos, produzem som de raspagem enquanto se alimentam e que ressoa em seu esqueleto esférico (RADFORD et al., 2008a). Os invertebrados têm grande influência sobre o ambiente acústico de determinados locais, sendo, por exemplo, o camarão-de-estalo uma das fontes sonoras mais significativas em ambientes tropicais (BITTENCOURT et al., 2016; JOHNSON; EVEREST; YOUNG, 1947). Porém tanto quanto influenciam, invertebrados também são influenciados pelo ambiente sonoro onde ocorrem. Larvas de organismos bentônicos utilizam o som do ambiente como indicativo do local de assentamento (JEFFS; TOLIMIERI; MONTGOMERY, 2003; LILLIS; EGGLESTON; BOHNENSTIEHL, 2013; MONTGOMERY et al., 2006; RADFORD et al., 2010; STANLEY; RADFORD; JEFFS, 2012), evidenciando a importância das paisagens acústicas para esses organismos.

Por dependerem tanto do som, organismos marinhos estão vulneráveis aos impactos causados pela adição de sons de origem humana no ambiente aquático (POPPER; HAWKINS, 2016; RICHARDSON et al., 1995). Sinais acústicos produzidos de maneira artificial pelos humanos e que podem interferir na capacidade dos animais de perceber sinais acústicos fundamentais para suas funções biológicas são chamados de “ruído antropogênico” (CLARK et al., 2009). Esse ruído é caracterizado, por exemplo, pelos sons emitidos por navios de explorações de sísmica (ERBE; KING, 2009; GREENE; RICHARDSON, 1988), por indústria petrolífera (ERBE et al., 2013), dragagem e construção marinha (RICHARDSON et al., 1995) e embarcações de variados tamanhos (ERBE, 2002; ERBE et al., 2013; ERBE; MACGILLIVRAY; WILLIAMS, 2012). As fontes de ruído antropogênico normalmente emitem sinais de baixas frequências que se propagam a longas distâncias, aumentando assim o alcance de seu impacto, uma vez que essa fonte de ruído pode afetar os sinais biológicos de um animal mesmo não estando muito próxima à ele (NIEUKIRK et al., 2004).

O ruído de embarcações à distância é uma das principais fontes de som antropogênico com frequências variando entre 50 e 500 Hz, e está presente por todos os oceanos do planeta (BREKHOVSKIKH; LYSANOV; BEYER, 2005). Além disso, o aporte de ruído antropogênico vem aumentando nos últimos cinquenta anos (MERCHANT et al., 2012). Kaplan e Solomon (2016), avaliando apenas três seguimentos da frota mundial de navios comerciais (navios porta-contêineres, navios petroleiros e navios graneleiros), mostraram que o crescimento contínuo no tráfego dessas embarcações poderia praticamente dobrar sua capacidade máxima de ruído em 2030. Assim, segundo aqueles autores, se não houver mudanças operacionais ou

tecnológicas para esses navios, espera-se que o aporte de ruído originado do transporte comercial aumente drasticamente.

Esse aumento nos níveis sonoros nos oceanos é uma ameaça potencial para os organismos marinhos que utilizam o som como ferramenta para crescimento, sobrevivência e reprodução. O ruído antropogênico pode influenciar negativamente os processos ecológicos que envolvem os organismos marinhos que dependem do som, impedindo-os, por exemplo, de detectar perigo ou de se comunicarem com outros indivíduos da mesma espécie (DAVIDSON et al., 2012; HALPERN et al., 2015; POPPER; HASTINGS, 2009; PUTLAND et al., 2018; ROLLAND et al., 2012; SHANNON et al., 2016; SIMPSON et al., 2016). Esses sinais podem afetar os organismos alterando padrões de locomoção (HANDEGARD, 2003; PIROTTA et al., 2012; VABØ; OLSEN; HUSE, 2002), induzindo estresse (ROLLAND et al., 2012; SIMPSON; PURSER; RADFORD, 2015) e dificultando a comunicação (AMOSER; WYSOCKI; LADICH, 2004; CODARIN et al., 2009; HATCH et al., 2012; VASCONCELOS; AMORIM; LADICH, 2007). Assim, estimar a contribuição de fontes antropogênicas tornou-se tarefa necessária para a avaliação de paisagens acústicas globalmente.

O conceito de paisagem acústica foi recentemente proposto formalmente por Krause (2002) como sendo a gama de todos os sons presentes em um ambiente em um determinado momento. Entretanto, o termo “paisagem acústica” foi utilizado nos anos 1970 pelo compositor e pesquisador R. Murray Schafer. Em seu trabalho “A afinação do mundo” ele reconhece o som como uma característica da paisagem, definindo paisagem acústica como o pool das características acústicas de uma área que refletem seus processos naturais (SCHAFER, 1977). Desde essa primeira descrição, as definições de paisagem acústica têm se diversificado. Uma visão mais

ecológica, porém, se estabeleceu nos últimos anos pela relação paralela desta área com o campo de estudo de ecologia da paisagem (PIJANOWSKI et al., 2011a).

A ecologia de paisagem acústica se caracteriza pelo estudo da relação entre a paisagem e os sons que a constituem (PIJANOWSKI et al., 2011b). Esses sons que compõem um ambiente são categorizados de acordo com a fonte de sua emissão, e se estabelecem de três formas: biofonia, geofonia e antropofonia (PIJANOWSKI et al., 2011a).

Biofonia refere-se aos sons emitidos por organismos vivos que não os humanos (KRAUSE, 2012). As fontes mais comuns de sons biológicos em áreas marítimas tropicais são estalos de camarões do gênero *Alpheus*, coro de peixes e vocalizações de cetáceos (BITTENCOURT et al., 2016; JOHNSON; EVEREST; YOUNG, 1947). A biofonia se apresenta em diferentes padrões, dependendo da latitude, estação e hora do dia (RADFORD et al., 2008a; STAATERMAN et al., 2014). Da mesma forma, fatores como as correntes, a disponibilidade de luz, a profundidade e a turbidez da água podem influenciar o padrão de sons biológicos no ambiente marinho (FARINA, 2014). A geofonia descreve sons ambientais não biológicos, como ventos e chuvas (ARVEDLUND; KAVANAGH, 2009; WENZ, 1962), e representam o ambiente sonoro de fundo com o qual outros sons podem interagir e é dependente da morfologia e condições climáticas. A antropofonia diz respeito a sons gerados pelo homem e incluem as emissões sonoras provenientes de uso de máquinas ou dispositivos artificiais, incluindo o ruído antropogênico.

A união de biofonia, geofonia e antropofonia descreve padrões particulares do ambiente que podem variar em uma escala espaço-temporal, proporcionando informações valiosas acerca da origem e estado natural desse ambiente (PIJANOWSKI et al., 2011a). Além disso, as interações entre biofonia, geofonia e

antropofonia podem afetar interações ecológicas e a estrutura das populações desse ambiente. A modificação das propriedades do padrão de vocalização de um organismo em específico ou da paisagem acústica como um todo, podem modificar o funcionamento de um ecossistema (KUNC; MCLAUGHLIN; SCHMIDT, 2016). Dessa forma, a descrição da paisagem acústica de um ambiente pode auxiliar seu monitoramento, seja para acompanhar as mudanças ocorridas com a introdução de uma fonte sonora distinta pontual, ou pela influência de um ruído exótico a longo prazo (CLARK et al., 2009). Além disso, a descrição da biofonia pode trazer informações acerca da biodiversidade do local, mostrando-se como recurso interessante para elaboração de planos de conservação (DUMYAHN; PIJANOWSKI, 2011; SUEUR et al., 2008)

O litoral norte do Estado de São Paulo possui características interessantes para o desenvolvimento de estudos de paisagem acústica marinha. Em uma localidade encontra-se o Canal de São Sebastião (CSS), uma região com importante valor ecológico e socioeconômico. Ao passo que abriga uma alta diversidade biológica (AMARAL et al., 2010), o CSS também aloja um porto (Porto de São Sebastião) e o maior terminal petrolífero da América Latina (Terminal Marítimo Almirante Barroso). Dessa maneira, o CSS é caracterizado por uma intensa atividade marítima, que pode resultar em alto aporte de ruído antropogênico na área, oferecendo ameaças à sobrevivência dos organismos que fazem uso da região.

Em contrapartida, a 46km ao norte do CSS existe uma área também bastante interessante acerca de sua produtividade e diversidade biológica, porém com menor influência de embarcações e poluição sonora. O Parque Estadual da Ilha Anchieta (PEIA) é uma unidade de conservação que protege a segunda maior ilha do estado de São Paulo. Seu entorno se encontra dentro de uma grande área onde foi

estabelecida Área de Proteção Ambiental Marinha do Litoral Norte (ESTADO DE SÃO PAULO, 2008), que tem como um dos objetivos a proteção e conservação dos ecossistemas naturais. Assim fiscaliza e regula o trânsito marítimo da área, indicando menor impacto antropogênico nas águas da região.

De acordo com esse cenário, a descrição da paisagem acústica torna-se interessante considerando essas duas localidades relativamente próximas e com características distintas no que se refere à influência antrópica. Por ser uma ferramenta geralmente menos invasiva e aplicável a organismos marinhos que muitas vezes são de difícil acesso aos investigadores, a acústica pode oferecer uma avenida de oportunidades para melhor se conhecer o meio e as espécies nele encontradas. Na referida região, a acústica pode servir de base para avaliação dos impactos gerados pela poluição sonora de fontes antropogênicas, bem como para monitorar a diversidade de espécies ao longo do tempo.

2. OBJETIVOS

O presente estudo tem como objetivos (1) caracterizar as paisagens acústicas do Canal de São Sebastião e do Parque Estadual da Ilha Anchieta entre os anos de 2016 e 2017; (2) e identificar a contribuição das diferentes fontes de emissão sonora para cada localidade.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área de estudo

A área de estudo está localizada no litoral norte do Estado de São Paulo, compreendendo um ponto de fundeio no CSS (23°49' S; 45°24' O), e outro ao largo do PEIA (23°33' S; 45°04' O) (Figura 1). Sob administração da Fundação para a Conservação Florestal do Estado de São Paulo, as duas áreas de estudo estão em Unidades de Conservação (UC), sendo que o CSS está no setor 3 “Ypautiba”, e o PEIA, no setor 1, “Cunhambebe”, ambos estabelecidos pelo Decreto Estadual n.º 53.525 de 8 de outubro de 2008.

O CSS é um corredor de passagem de 25 km de extensão que separa o continente e a Ilha de São Sebastião (município de Ilhabela). A profundidade do CSS varia entre 20 e 25 m nas extremidades, podendo chegar a 40 m na região central (CASTRO et al., 2008). Na parte sul do CSS encontra-se o manguezal da Baía do Araçá, que desempenha papel importante como exportador de energia, biomassa e matéria orgânica aos sistemas circundantes, é área de descanso para as aves locais e migratórias, e atua como um elo importante na manutenção da cadeia alimentar do CSS (AMARAL et al., 2010). Apesar da importância biológica dessa região, na parcela central do CSS existe o Porto de São Sebastião, onde encontra-se implantado o maior terminal petrolífero da América Latina, o Terminal Marítimo Almirante Barroso, instalado desde 1967. Essa área é caracterizada por um fluxo intenso de embarcações comerciais, navios de turismo, barcos de pesca, lanchas de turismo, motos aquáticas, e travessia de balsas entre o continente e o município de Ilhabela (Figura 2).

A 46 km à nordeste do CSS se encontra a Ilha Anchieta, localizada no município de Ubatuba. O Parque Estadual da Ilha Anchieta (PEIA) foi criado em 1977 pelo Governo do Estado (Decreto 9.629, 29 de março de 1977), cobrindo a parte

terrestre da ilha. Em 1983, um perímetro de proibição de pesca com 17,37 km² foi criado em torno do PEIA (Portaria SUDEPE 56, 10 de novembro de 1983). A Ilha Anchieta está a 570 m da costa, separada por um canal relativamente profundo (33 m). As profundidades chegam a 37 m ao redor da ilha, com um mosaico bêntico envolvendo o fundo arenoso, cascalho e rochoso (GUILLAUMON et al., 1989).

As principais massas de água na região são: a Água Central do Atlântico Sul (ACAS), que devido às suas características de baixa temperatura (menor que 20°C) e alta salinidade (maior que 36,4 ppt) e rica em nutrientes estimula a produtividade; a Água Tropical (AT) caracterizada pela alta temperatura (acima de 20°C) e salinidade superior a 36,4 ppt, e a Água Costeira (AC), também com alta temperatura (acima de 24°C) (CASTRO-FILHO et al., 1987). As intensidades destas massas de água predominantes variam em relação às estações do ano, influenciando a produtividade biológica da região.

O sudeste brasileiro é uma região de transição entre os climas quentes da zona tropical, caracterizada por apenas duas estações, e os climas mesotérmicos do tipo temperado da zona temperada, caracterizada por quatro estações mais ou menos definidas e com expressiva variação de temperatura durante o ano (NIMER, 1989). Entretanto, apesar de ser uma região de transição, o clima do sudeste aproxima-se mais dos climas tropicais do que dos temperados, apresentando como principal característica a presença de uma estação chuvosa e outra seca (*Ibid.*). Observa-se uma notável concentração de chuvas no verão, enquanto no inverno as precipitações são escassas e menos expressivas (Figura 3). Neste sentido, neste estudo foram adotadas as notações das estações do ano de verão referente aos meses de janeiro e fevereiro relacionados à estação chuvosa, e de inverno para os meses de junho, julho, agosto e setembro relacionados à estação seca. Um dia de setembro de 2016

foi considerado como representante da estação de inverno pois não houve outro dia amostrado mais próximo aos meses anteriores que obedecesse os critérios pré estabelecidos.

3.2. Coleta de dados

As coletas foram feitas com uso de quatro equipamentos de monitoramento acústico passivo (MAP) conhecidos como DSG-Ocean (Ocean Digital Spectrogram Recorder), manufaturados pela Loggerhead Instruments, e acoplado ao gravador acústico foi utilizado um hidrofone da High Tech Inc., modelo HTI-96 MIN com sensibilidade de -201 dBV μ Pa, ± 3 dB de 2 Hz a 30 kHz. O nível de ganho utilizado no gravador DSG foi de 33 dB (~ 168 dB re 1 μ Pa). Dois DSGs foram destinados para cada área de estudo. Os equipamentos foram adquiridos por meio de dois projetos coordenados pelo Laboratório de Biologia da Conservação de Mamíferos Aquáticos do IOUSP: (1) "Diversidade de cetáceos no Parque Estadual Marinho da Laje de Santos", financiado através de um processo de licença ambiental emitido pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) para regulamentar o sistema de produção e escoamento de gás natural sob responsabilidade da Petrobras (Processo 02022.010930 / 2002-19), e (2) "Biodiversidade e Funcionamento de um Ecossistema Costeiro Subtropical: Subsídios para uma Gestão Integrada", financiado pelo programa Biota FAPESP (processo 11/50317-5).

No CSS o equipamento foi fixado a 7 metros de profundidade no cabo principal do fundeio oceanográfico gerenciado pelo Laboratório de Hidrodinâmica Costeira (LHICO) do IOUSP, localizado próximo à Laje dos Moleques (23°49' S; 45°24' O). No PEIA foi instalado um fundeio oceanográfico próximo à Ponta do Calhaus, onde o DSG

foi anexado no cabo do fundeio da mesma maneira realizada no sítio de CSS, fazendo com que o MAP ocorresse de maneira padronizada e em mesmas profundidades (Figura 4).

Os equipamentos foram programados para gravar com taxa de amostragem de 96 kHz e com rotina de gravação de 1 minuto a cada 5 minutos, totalizando 288 arquivos por dia. As gravações foram armazenadas em cartão de memória interno do equipamento. A autonomia de gravação e capacidade de memória permitiam a operação do hidrofone por aproximadamente 40 dias, e após esse período ocorria a substituição dos equipamentos por outros com as mesmas configurações.

A cada expedição de substituição dos equipamentos, os dados obtidos pelos gravadores foram descompactados utilizando o software SoundTrap Host 1.2.9.29427. Foram feitos back-ups e armazenamento dos arquivos de áudio em hard disks portáteis. As coletas iniciaram-se em maio de 2015 no CSS e em outubro de 2015 no PEIA e se estenderam até dezembro de 2017.

3.3. Processamento e Análise dos dados

Por razão do extenso banco de dados acústicos coletado, foi necessária uma subamostragem de dados para análises neste estudo. A seleção dos dias a serem analisados ocorreu de forma a atender aos objetivos deste trabalho e foram então estabelecidos alguns critérios para a seleção das datas de gravação:

- Foram selecionados 6 dias por estação (verão/inverno) por ano (2016/2017) por local (CSS/PEIA);
- Dentre esses 6 dias, 3 foram dias entre finais de semana (sábados e domingos) e outros 3 dias entre dias de semana (de segunda a sexta-feira);
- Os dias analisados necessariamente foram os mesmos para o CSS e o PEIA.

Optou-se por considerar uma sequência de dias de semana e fins de semana para incluir as possíveis variações nas contribuições de emissões sonoras de natureza antrópica nesses períodos. Consideraram-se as duas estações do ano mais distintas para potencialmente incluir algumas possíveis variações de emissões sonoras de parte da biota marinha com base em distintos ciclos de vida, bem como averiguar algum padrão distinto de emissões de sons antropogênicos entre as duas referidas estações.

Conforme esses critérios os dias de gravação foram aleatoriamente selecionados dentre o conjunto em que eles estavam representados. Uma exceção ocorreu apenas referente ao inverno de 2016, pois por não constar 3 dias de fins de semana que obedeciam a todos os critérios, foram analisados apenas 2 dias. Assim, totalizaram-se 46 dias analisados, 23 para cada local (Tabela 1).

3.4. Série Temporal

Para avaliar a presença de padrões temporais nos níveis sonoros, foram criados espectrogramas de série temporal longa (LTSA – Long Term Spectra Average), abrangendo valores de densidade espectral de potência (PSD – Power Spectral Density). Os LTSA foram gerados a partir do toolbox de caracterização de sons submarinos CHORUS (GAVRILOV; PARSONS, 2014) executado no MATLAB. Os gráficos foram confeccionados considerando todos os dias de cada estação, em um intervalo mínimo e máximo de PSD de 50 à 120 dB, e com a menor média de tempo possível, de aproximadamente 5 minutos.

3.5. Análises Acústicas Estatísticas

Para avaliar como a energia dos sinais acústicos esteve distribuída nas diferentes frequências, foi calculado o PSD para os cenários pré-estabelecidos (estações do ano; dias de semana e fins de semana), em cada uma das localidades (CSS e PEIA). Os gráficos foram gerados a partir dos valores de variação média (RMS – Root Mean Square) de amplitude da pressão sonora (SPL – Sound Pressure Level) em dB e em relação ao valor de referência da pressão sonora da água de $1\mu\text{Pa}$. Embora o RMS seja a medida mais prevalente entre as métricas de níveis sonoros, ela é fortemente influenciada por níveis sonoros mais altos e, portanto, deve ser usada com cautela se aplicada a ambientes com emissões sonoras intermitentes de alta amplitude (MERCHANT et al., 2015). Para uma análise mais completa, portanto, é necessário apresentar outras medidas como percentis e medianas em associação aos valores de RMS. Desta maneira, também foram calculados os valores de densidade de probabilidade espectral (SPD – Spectral Probability Density) para todos os cenários. A partir do SPD a probabilidade de densidade empírica dos níveis sonoros é calculada para cada banda de frequência, indicando a classe modal e os outliers nos dados subjacentes, auxiliando na interpretação das médias e percentis (MERCHANT et al., 2015).

Para uma avaliação mais precisa do nível de ruído em cada banda de frequência específica, cada um dos gráficos gerais foi decomposto em outros 3. A classificação utilizada na elaboração desses novos gráficos foi de baixas, médias e altas frequências. Os intervalos considerados foram de 10 a 1.000 Hz para baixas frequências, 1.001 a 10.000 Hz para médias frequências e de 10.001 a 48.000 Hz para altas frequências.

Além dos períodos referentes à estação do ano e categoria dos dias amostrados (dias de semana X fins de semana), foram também gerados gráficos com as médias (RMS) de nível de pressão sonora (SPL) e densidade espectral de potência (PSD) para cada hora do dia para as duas localidades (Apêndices A e B). Os gráficos foram gerados a partir dos dados de todos os dias gravados por cada localidade, sem discriminação de categoria de dia ou estação do ano. Para facilitar a comparação dos níveis sonoros durante um dia, um único gráfico foi confeccionado com as RMS de algumas horas específicas pré-selecionadas. Dentre as 24 horas, foram escolhidas 6 horas, tendo como intervalo o período de 4 horas entre cada. Dessa forma as horas selecionadas foram: 00h, 04h, 08h, 12h, 16h e 20h.

Todos os gráficos foram confeccionados a partir do processamento de dados pelo PAMGuide, executado pelo software MATLAB, usando 1 segundo de janela Hann, sobreposição de 50% e média de tempo de 1 hora.

3.6. Análise Manual

Inspeções manuais de todos os arquivos dos dias selecionados (288 arquivos por dia) foram efetuadas para investigar a ocorrência de sinais sonoros pré-estabelecidos. Os sinais pré-estabelecidos são sinais acústicos relacionados a fontes abióticas (e.g. chuvas e ondas), bióticas (e.g. camarão-de-estalo, cetáceos e peixes) e antropogênicas (e.g. motores de embarcações, maquinários) e tiveram sua presença registrados de forma binária (0= Ausente; 1= Presente) em uma planilha. O registro de presença foi feito por escala de tempo baseada em uma hora, sendo necessária a detecção de um único sinal por toda a hora analisada (12 arquivos de 1 minuto) para que a fonte fosse catalogada como presente.

Para a análise manual dos arquivos as gravações foram inspecionadas com a utilização do software Raven Pro versão 1.4 (CHARIF et al., 2010). A inspeção dos arquivos ocorreu de duas formas: uma primeira com maior detalhamento para gravações de emissões sonoras em frequências mais baixas e com transformada rápida de Fourier (FFT) de 4.096 pontos, e uma segunda com uma visualização mais abrangente de todas as faixas de frequência com FFT de 1.024 pontos. Ambas as inspeções foram realizadas aplicando a janela Hann e 90% de sobreposição.

Por ser a primeira vez em que se reportam informações pertinentes à descrição de características de paisagem acústica no litoral paulista com especificações de gravação amplas e com intuito de equilibrar as notificações e descrições de emissões biofônicas, antopofônicas e geofônicas, serão apresentados textos descritivos referentes a cada uma das investigações. Optou-se por seguir esse formato para aproveitar a natureza e o espaço oferecidos por um documento acadêmico, bem como para oferecer maior suporte e embasamento a futuras comparações de outros estudos com este. Sempre que possível, figuras foram inseridas nesta dissertação para ilustrar os textos descritivos com vistas a auxiliar a melhor compreensão.

4. RESULTADOS

4.1. Série Temporal

Os espectrogramas de longa duração semanais revelaram diferenças entre as duas áreas de estudo (Figura 5**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). A partir das análises visuais dos espectrogramas é possível notar que, no geral, os níveis sonoros do CSS estiveram mais intensos do que no PEIA nas frequências mais

baixas (0 a 1 kHz) em todas as semanas analisadas. Em frequências médias (> 1 kHz a 10 kHz) porém, o padrão encontrado foi de maior intensidade sonora na área do PEIA. Pelo eixo de frequência dos gráficos apresentar escala logarítmica, os padrões de frequências mais altas (10 kHz a 48 kHz) serão explorados a partir de outra análise.

No CSS foram encontrados os maiores valores de PSD, entre 100 e 120 dB re1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$, em frequências menores que 0,1 kHz durante todas as semanas analisadas. Os mesmos altos níveis de PSD foram registrados também entre as frequências de 0,1 e 1 kHz no inverno dos dois anos, com exceção ao último dia analisado de 2017, 20 de agosto, no qual o nível PSD para as faixas descritas foram similares às encontradas durante os dias de verão de ambos anos.

No verão nesse mesmo intervalo de frequência (entre 0,1 a 1 kHz) foram encontrados níveis de PSD entre 90 e 100 dB re1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ no período de transição entre os dias, iniciando aproximadamente às 20 horas e finalizando aproximadamente às 06 horas (Figura 5 V16 e V17). Entre aproximadamente 20 horas às 22 horas, é possível perceber uma faixa de frequência de 0,3 a 4 kHz com níveis de PSD entre 80 e 90 dB re1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ em quase todos os dias do verão, com exceção de dois dias de 2016 (26 de janeiro e 13 de fevereiro).

As frequências acima de 2 kHz apresentaram níveis de PSD igual ou maiores a 90 dB re1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ apenas na semana do inverno de 2017 (Figura 5I17). Esta também foi a semana com os maiores valores de PSD de todas as semanas analisadas. Ainda sobre essa semana, destacam-se os dias 11 e 17 de agosto como os dias de maiores intensidades, e o último dia analisado como exceção ao padrão de altos níveis de PSD da semana.

Em geral o PEIA apresentou níveis de PSD entre 75 e 90 dB re1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$, excedendo 100 dB re1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ em poucas ocasiões. Nas frequências baixas, até 0,1

kHz, foi registrado PSD de 90 dB re1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ em dois dias do verão (Figura 5 V16) e um dia do inverno (Figura 5 I16) de 2016, e durante as duas estações de 2017. Nos outros dias de ambas as estações de 2016, o PSD para essa faixa de frequência (0,1 a 1 kHz) esteve abaixo de 75 dB re1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$, tendo sido, no verão (Figura 5 V16), os menores níveis registrados durante todas as semanas analisadas. Ainda sobre as frequências baixas, até 0,2 kHz, em três dias do inverno de 2017 (Figura 5 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** I17) houve exceções do padrão de PSD do PEIA com notificação de valores acima de 110 dB re1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$.

Entre as frequências de 0,2 e 0,5 kHz foi encontrado um padrão de PSD entre 80 e 90 dB re1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$, no intervalo de tempo entre aproximadamente 17 e 20 horas, em todas as semanas. Outro padrão observado com os mesmos valores de PSD foi encontrado entre as 20 e 23 horas, em todas as semanas. Esse último padrão, porém, apesar de também ser encontrado durante todas as semanas, apresentou uma divergência no intervalo de frequência ocupado. Nas semanas de verão (Figura 5 V16 e V17), as faixas de frequência com PSD entre 80 e 90 dB re1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ durante o horário entre as 20 e 23 horas foi de 0,2 a 1,5 kHz ininterruptamente. Porém, durante as semanas de inverno (Figura 5 I16 I17), o intervalo de frequências com essas características foi entre aproximadamente 0,2 a 0,6 kHz e entre 1 e 1,5 kHz, com um intervalo de PSD menor (70 dB re1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$) entre 0,6 e 1 kHz.

No inverno de 2017 (Figura 5 I17), entre as 18 e 06 horas, foram encontrados PSDs entre 90 e 100 dB re1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ na frequência de 0,1 kHz, e em frequências paralelas acima de 0,1 kHz até 0,6 kHz com o PSD diminuindo à medida que as frequências aumentavam. Seguindo a tendência encontrada no CSS, a semana com os maiores níveis de PSD se encontram no inverno de 2017.

A partir da análise visual do espectrogramas, não foi possível detectar uma distinção clara entre os dias de fins de semana e dias de semana em nenhuma semana para ambos os locais.

4.2. Análises Acústicas Estatísticas

As descrições dos resultados das análises acústicas estatísticas foram feitas a partir da comparação visual dos gráficos obtidos.

→ CSS

No geral os valores de PSD mediano (percentil 50º) e RMS variaram entre 100 e 120 dB re1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ nas frequências mais baixas, a aproximadamente 40 dB re1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ nas frequências mais altas (Figura 6). Entre os dias de semana e fins de semana os valores apresentaram diferença apenas em relação ao 5º percentil (linha 95%; *sensu* MERCHANT et al., 2015), com 10 dB re1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ acima para os dias de semana (Figura 7). Para mediana, 95º percentil e RMS, os valores apresentaram medidas similares (Figura 8). Foram observados maiores valores no inverno quando comparado ao verão, evidenciados na análise de RMS (Figura 9).

- Categoria dos dias da semana

Analisando a categoria dos dias (Figura 7Figura 8), focando nas frequências baixas, o RMS em ambas as situações variou de 120 dB re1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ em 10 Hz a 100 dB re1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ em 100 Hz. Ainda sobre essa faixa de frequência, as duas situações também apresentaram o intervalo entre os percentis 5º e 95º com aproximadamente a mesma extensão. Nos dias de fins de semana os valores para 10 Hz foram de 120 a 90 dB re1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ e de 100 a 70 dB re1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ em 100 Hz. Para os dias de semana os valores foram os mesmos, com exceção do 5º percentil em 10 Hz que

esteve um pouco mais alto, com 130 dB re1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ em 10 Hz. Além disso, os valores entre 10 e 100 Hz se apresentaram com decaimento constante, sem picos ou variações notáveis (Figura 7 C e D).

A partir dos 100 Hz os gráficos apresentaram picos no RMS e do 5º percentil para cima. Nos 100 Hz há um pequeno aumento acima do 5º percentil e do RMS nos dias de semana. Em aproximadamente 200 Hz novamente foi notado um pico do 5º percentil para cima e do RMS em ambas as situações embora mais expressivo nos dias de semana, com o 1º percentil com até 120 dB re1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ de PSD. Um segundo aumento no PSD acima do 5º percentil e do RMS se deu entre as frequências de 300 e 400 Hz em ambas as localidades. Nos dias de semana esse aumento se deu pontualmente em cada uma das frequências, enquanto nos finais de semana se manteve alto por todo o intervalo. Um terceiro pico notável nas baixas frequências é perceptível nos fins de semana em aproximadamente 600 Hz. Nos dias de semana, a partir de aproximadamente 500 Hz, o RMS se apresenta com várias picos até aproximadamente 2 kHz. Esses picos de frequências coincidem com os valores notados pelas análises de LTSA, em que faixas paralelas com maiores valores de PSD foram encontradas na transição entre os dias (Figura 5).

As frequências médias apresentaram menos variações e picos de PSD e mantiveram valores similares entre as categorias, entre aproximadamente 70 e 90 dB re1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ (Figura 7 E e F). Foi possível perceber também que em baixas e médias frequências, o RMS esteve mais influenciado pelos níveis sonoros máximos registrados, enquanto a mediana refletia mais a moda indicada pelos valores máximos de SPD.

As frequências altas seguem com o mesmo padrão das frequências médias, sem variações e com valores similares, com o intervalo entre o 5º e 95º percentis

variando de aproximadamente 80 a 60 dB re1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$, a 60 a 40 dB re1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ (Figura 7 G e H).

- Estações do ano

No inverno foram observados valores de RMS com 10 dB re1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ acima do verão em todas as frequências (Tabela 2; Figura 9). Apesar disso, o RMS do verão acompanhou os valores máximos registrados entre as frequências de 10 a aproximadamente 3.000 Hz, enquanto a mediana refletiu a moda, indicada pelos valores máximos de SPD (Figura 10 C e E). Os valores da mediana estiveram entre 100 dB re1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ em 10 Hz a 70 dB re1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ em 10.000 Hz, quando os valores começam a convergir com o RMS. Essa análise sugere, portanto, que a diferença entre os níveis sonoros entre as estações do ano foi ainda mais expressiva do que o observado pelos valores de RMS.

A extensão entre os percentis 5º e 95º também apresentou diferenças entre as estações do ano. Enquanto no verão foram observados valores entre 120 a 85 dB re1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ em 10 Hz, no inverno foram notificados valores de 130 a 100 dB re1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ na mesma frequência, e esse padrão de distribuição com maiores valores de PSD no inverno seguiu por todas as frequências (Figura 10).

No verão os valores entre 50 e 100 Hz no 1º percentil (linha 99%) foram maiores do que nas outras situações analisadas, indicando a presença de outliers – emissões intermitentes com altos níveis sonoros (possivelmente provenientes do trânsito de embarcações). Entre 70 a aproximadamente 100 Hz, os valores de RMS ficaram acima do 5º percentil (Figura 10 C e D), evidenciando a influência de outliers no RMS (MERCHANT et al., 2013).

Ainda sobre baixas frequências, no inverno são notáveis os picos acima do 5º percentil e do RMS em torno das frequências de 200, 300 e 400 Hz, indicando que os valores observados nos gráficos de dias de semana e fins de semana, se concentram principalmente nos dias dessa estação.

As frequências médias, assim como os gráficos de categoria dos dias, não apresentaram picos ou variações expressivas, porém com os valores do inverno superiores aos do verão. No inverno, entre 400 e 2.000 Hz o RMS apresenta picos pontuais como os observados nos dias de semana. A partir de 2 kHz, os dados apresentam bimodalidade com valores máximos de SPD seguindo a mediana e também o RMS, e esse padrão se estende até as frequências mais altas até 48 kHz.

- Horas do dia

Entre as horas do dia analisadas os RMS apresentaram valores semelhantes para todas as frequências, com exceção das 12 horas. Esse horário apresentou RMS acima dos demais entre as frequências de 10 a 5.000 Hz, com as maiores distâncias entre as frequências de 100 a 2.000 Hz. Entre aproximadamente 2.000 a 5.000 Hz o RMS para as 06 horas esteve ligeiramente acima dos horários de 00 e 18 horas, porém continuou mais baixo que as 12 horas.

➔ PEIA

As análises estatísticas no PEIA apresentaram um padrão interessante em todas as situações analisadas. Em frequências de 10 a 100 Hz, todas as medidas dos gráficos, PSD de percentis, RMS, e SPD apresentaram oscilações nos valores registrados (Figura 12). No geral os valores medianos de PSD e RMS variaram entre 70 e 120 dB re1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ nas frequências mais baixas a aproximadamente 40 dB re1

$\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ nas frequências mais altas. Além disso, todas as situações apresentaram um aumento nos níveis gerais de PSD entre 2.000 à 7.000 Hz. Entre os dias de semana e fins de semana, os RMS não apresentaram diferenças expressivas (Figura 13), enquanto a comparação de RMS entre as estações indicou maiores valores para o inverno entre 10 e 1.000 Hz (Figura 14).

- Categoria dos dias

Os dias de semana e fins de semana apresentaram valores muito semelhantes em relação aos percentis 5º, 50º e 95º, assim como os valores de RMS. Apesar de muito semelhantes, foram encontrados picos no RMS dos dias de semana que não foram observados nos fins de semana. Esses picos se deram nas frequências de 100, 200 e 1.000 Hz, e estiveram relacionados com a presença de outilers indicados pelo valores maiores no 1º percentil (Figura 13 C e D).

Nas baixas frequências o intervalo entre os percentis 95º e 5º esteve entre 100 e 120 dB re1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ à 60 dB re1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$, e a mediana esteve em torno de 80 dB re1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$. Entre as frequências médias e altas houve um estreitamento da extensão entre os percentis 95º e 5º, principalmente a partir de 2.000 Hz, com altos valores de SPD por todo o intervalo entre os percentis, em ambas as situações (Figura 13 G e H).

- Estações do ano

Houve diferença de até 40 dB re1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ entre os RMS quando comparadas as estações climáticas (Tabela 2; Figura 14). No inverno foram observados valores de percentis e RMS acima dos valores do verão até aproximadamente 1.000 Hz, porém acima dessa frequência os valores das estações convergiram (Figura 13).

Nas frequências baixas foram observados no inverno valores entre os percentis 5º e 95º de 120 a 80 dB re1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ em 10 Hz até 85 a 65 dB re1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ em 1.000 Hz. No inverno foram observados os mesmos picos de RMS observados nos dias de semana, entre as frequências de 100, 200 e 1.000 Hz, que foram ausentes no verão (Figura 14 C e D). No verão foram observados valores semelhantes de percentis e RMS por todo o espectro de frequências, sem apresentar variações notáveis. Esses valores praticamente constantes ficaram em torno de 80 a 60 dB re1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ entre o 5º e 95º percentil respectivamente, e com a mediana e RMS sempre próximos variando entre 65 a 80 dB re1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$. É interessante notar ainda que a partir de 2.000 Hz a RMS e a mediana convergiram apresentando os mesmos valores.

- Horas do dia

Os horários analisados apresentaram valores muito semelhantes de RMS. O horário das 06 horas foi o único a não apresentar pico em nenhuma frequência específica. Em 100 Hz, os picos foram observados para as 00 e 18 horas. Em 200 Hz, 00, 12 e 18 horas apresentaram os picos e em 1.000 Hz foi observado apenas às 18 horas. O horário das 00 horas mostrou picos pontuais de 100 a 1.000 Hz, mas ainda menores que os valores observados às 18 horas. Esse último horário apresentou, entre as frequências 200 e 800 Hz, valores maiores do que os demais horários.

Uma informação derivada da análise de SPD se refere à qualidade do sistema de gravação utilizado. Como os valores máximos de SPD estiveram relacionados ao percentil 50º na maioria das situações analisadas, o intervalo dinâmico do sistema de gravação foi apropriado para as condições de campo encontradas (*sensu* MERCHANT et al., 2013).

4.3. Análise Manual

Foram manualmente analisados 13.248 arquivos, sendo 6.624 por local. Entre as fontes biológicas, sinais acústicos de camarões-de-estalo e peixes foram os mais frequentes, e sinais de odontocetos e mysticetos, apesar de menos frequentes, também foram encontrados em ambas as localidades (**Figura 18** - Proporção de contribuição de cada fonte sonora por dia analisado em cada região. Azul escuro indica que a referida fonte foi detectada em todas as horas do dia; as escalas de cores indicam a porcentagem de horas do dia em que a fonte esteve presente; e branco representa a ausência de detecção. C.E = Camarão-de-estalo. As datas com asterisco (*) indicam fins de semana. Figura 18). A antropofonia foi mais intensa no CSS, apesar de ter sido registrada para o PEIA em todos os dias também (Figura 19). Já fontes de geofonia foram registradas em maior proporção no PEIA, enquanto no CSS foram registradas apenas em um dia (Figura 20) .

→ CSS

A fonte sonora mais consistente para a paisagem acústica do CSS foi o camarão-de-estalo, com emissões registradas em todas as horas do dia, em todos os dias analisados (Figura 21). Outra fonte de biofonia também encontrada em todos os dias analisados foram emissões sonoras de peixes. As emissões acústicas registradas como procedentes de peixes abrangem os mais diferentes sinais, como visto na Figura 22. Embora não tenham sido encontradas com a mesma frequência do que os camarões, os sinais de peixes foram registrados em mais que 75% das horas do dia na maioria dos dias, com exceção a um dia do verão e outro do inverno, ambos em 2016. Mesmo nesses últimos dias citados, emissões de peixes representaram uma fonte presente em mais de 50% das horas.

Também como parte da biofonia do CSS, foram registrados sinais acústicos de cetáceos. Odontocetos foram registrados apenas por sinais de ecolocalização (Figura 23 A) em 2016 em uma única hora da estação de verão, e por quatro horas em um dia do inverno. Mysticetos (Figura 23 B) foram registrados por seis horas em apenas um dia no inverno de 2017.

As emissões de antropofonia também representaram uma grande contribuição para a paisagem acústica do CSS. Ruído de motores foram encontrados em pelo menos 50% das horas do dia em todos os dias. No verão de 2016 foram encontrados ruídos de motores entre 50 e 75% das horas, e em todos os outros dias a detecção se deu em mais de 75% das horas. No inverno do mesmo ano esses ruídos foram encontrados em 100% das horas do dia em quase todos os dias com a exceção de um, 30 de setembro, onde a taxa de contribuição dessa fonte ainda assim foi em mais de 75% das horas. No verão de 2017 houve um dia com detecções entre 50 e 75% das horas, três dias com detecções em 75% do dia e nos outros dois dias foram encontrados ruídos antropogênicos em todas as horas do dia. No inverno, em metade dos dias encontramos emissões antrópicas em 75% das horas do dia e na outra metade, sinais de motores foram encontrados em todas as horas do dia.

O ruído de motores, embora seja um sinal encontrado mais regularmente nas baixas frequências, também foi detectado com emissões com energia distribuída em todas as faixas de frequência cobertas pelo sistema de gravação utilizado (Figura 24). Além do ruído de motores, outra fonte representativa da antropofonia registrada em altas frequências foram categorizadas como eco sondas (Figura 24 D). Sinais de eco sondas foram encontrados em todos os dias do verão de 2016, e em três dias do inverno. Em 2017 esse sinal foi detectado em metade dos dias do verão e em dois dias do inverno. Além disso, foi encontrado um ruído contínuo que iniciava-se

aproximadamente às 20 horas e seguia até as 06 horas da manhã seguinte em quase todos os dias analisados. Em algumas ocasiões, esse ruído noturno se intensificava entre as 20 e as 22 horas.

Como fonte associada à geofonia, foram registrados apenas sinais referentes às ondas em um único dia dentre os analisados no inverno de 2017.

→ PEIA

Assim como no CSS, camarões-de-estalo foram registrados em 100% das horas dos dias, em todos os dias analisados. As emissões acústicas de peixes também foram uma fonte consistente para o PEIA e, como no CSS, representaram os mais diversos sinais (Figura 25). Em 2016 em todos os dias foram encontrados sinais de peixes em pelo menos 50% das horas, embora em nenhum dia o registro tenha sido em 100% das horas. No verão foi observado apenas um dia com a proporção de horas do dia com essas emissões entre 50 e 75%, e no restante dos dias as detecções foram feitas em mais que 75% das horas. No inverno do mesmo ano em 2 dias os registros aconteceram em mais de 75% das horas, e a proporção para os outros dias ficou entre 50 e 75% das horas. Em 2017, em mais da metade dos dias (sete, dentre os doze analisados) houve registros de peixes em 100% das horas do dia. No verão este foi o cenário por quatros dias, e a proporção nos outros dois foi de mais de 75% das horas com presença de sinais de peixes. No inverno de 2017, em um dia foram observados registros de peixes entre 50 e 75% do dia, em dois dias com mais que 75% e em outros três dias notificaram-se esses sinais em 100% do dia.

Além de peixes e camarões, também foram detectados sinais acústicos de cetáceos no PEIA. Odontocetos foram registrados em um dia no verão e três dias no inverno em 2016, e em 2017 esses registros ocorreram em dois dias de cada estação do ano. Diferentemente do CSS, no PEIA, além dos cliques de ecolocalização,

também foi possível detectar assobios e sons pulsantes (Figura 26). Todos os registros de odontocetos ocorreram em menos de 25% das horas de cada dia analisado. Além dos odontocetos, houve também detecções de mysticetos no PEIA. Esses sinais foram detectados em dois dias no verão de 2016, tendo sido encontrados em 100% das horas em um desses dias, e em um dia no inverno do mesmo ano. Em 2017 foram encontrados registros de mysticetos apenas no inverno, na qual em quatro, dos seis dias, foram detectados registros dessas emissões. Entre os sinais de mysticetos encontrados, houve possivelmente detecções de baleia-de-Bryde (*Balaenoptera edeni*) no verão e baleia-franca-austral (*Eubalaena australis*) no inverno (Figura 27). As emissões sonoras suspeitas de serem de baleia-franca-austral foram detectadas a partir dos chamados do tipo upcall, já descrito para indivíduos em águas brasileiras (DOMBROSKI et al., 2016).

A antropofonia no PEIA foi representada por emissões de ruído de motores em todos os dias analisados. Apesar disso, em nenhum dos dias essa fonte sonora esteve presente em 100% das horas. O ruído de motor foi a única fonte de antropofonia registrada, não havendo outras detecções como as ecosondas observadas no CSS. Em 2016, no verão, em metade dos dias houve registros de ruídos de motores entre 25 e 50% das horas do dia, e na outra metade as detecções foram presentes em menos de 25% das horas. No inverno desse mesmo ano houve um dia com detecções de antropofonia em mais que 75% das horas do dia, tendo sido a maior proporção registrada para o PEIA. Todos os outros dias dessa estação apresentaram sinais de antropofonia entre 50 e 75% das horas do dia. Em 2017 em dois dias do verão houve registro de antropofonia em menos da metade das horas do dia, e entre 50 e 75% das horas nos outros seis dias. No inverno em apenas um dia

essas detecções estiveram entre 50 e 75% das horas, e nos outros dias as detecções foram presentes entre 25 e 50% das horas.

As fontes relacionadas à geofonia estiveram mais presentes no PEIA, e foram encontrados sinais referentes a ondas e chuva (Figura 28). Detecções de ondas foram encontradas em mais que 75% das horas do dia em um dia do verão de 2016, e em outros quatro dias dessa estação com proporção de presença em até 50% das horas do dia. No inverno desse ano esses sinais foram encontrados em três dias, também em até 50% das horas do dia. Em 2017 foram registrados sinais de ondas em três dias do verão e em dois dias do inverno, e em todos eles os registros foram feitos em menos de 25% das horas do dia. Outra fonte de geofonia foi o sinal de chuva, que foi detectado em apenas um dia dentre os analisados, no inverno de 2017, e apresentou registros em até 75% das horas do dia.

As duas localidades apresentaram altas porcentagens de ocorrência para biofonia, porém com maiores níveis no PEIA. Apesar disso, a maior diferença entre os dois locais é perceptível a partir da análise de contribuição da antropofonia para a paisagem acústica do ambiente, sendo bem mais expressiva no CSS do que no PEIA (Figura 19). Além disso, as porcentagens de ocorrência de antropofonia no CSS em muitas ocasiões foi maior do que a biofonia, situação não encontrada no PEIA em nenhum dos dias.

Em relação às horas do dia, houve novamente uma grande representação da biofonia em todas as horas do dia em ambas localidades (Figura 20). No CSS, a contribuição da antropofonia esteve alta por todas as horas do dia, sem algum padrão aparente. No PEIA porém, é notável uma concentração de detecções de antropofonia entre a tarde e a noite, com maiores porcentagens de detecções a partir das 20h.

5. DISCUSSÃO

A investigação das paisagens acústicas revelou particularidades sobre os níveis sonoros e as fontes de emissão no CSS e no PEIA. De forma geral, os níveis estiveram mais baixos no PEIA em relação ao CSS em todas as situações analisadas. Apesar disso, nas duas localidades foram encontradas maiores intensidades sonoras no inverno em comparação com o verão, e nenhuma diferença foi evidente entre os dias de semana e fim de semana.

Os maiores valores de PSD para o CSS, acima de 120 dB re1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$, foram encontrados nas frequências mais baixas e são correspondentes à emissões de ruído antropogênico, conforme descrito por MCCORMICK e colaboradores (2018). Estudos de ruído antropogênico identificaram o tráfego de embarcações como uma das principais fontes de aumento de ruído no oceano (HILDEBRAND, 2009; SIROVIĆ; WIGGINS; OLESON, 2013), e foi demonstrado que o aporte de energia sonora no ambiente marinho variava com o tamanho das embarcações (HATCH et al., 2008; MCKENNA et al., 2012). Navios de maiores portes são responsáveis pelo aporte de energia nas frequências mais baixas (ANDREW; HOWE; MERCER, 2011; ARVESON; VENDITTIS, 2002; MERCHANT et al., 2013), mas embarcações de tamanho médio, como de esporte e recreio, também contribuem para o acúmulo de ruído marinho em áreas costeiras (HAVILAND-HOWELL et al., 2007). Os picos de RMS e PSD encontrados em frequências até 1 kHz no CSS (Figura 5 e Figura 6) corresponde às emissões de origem antrópica encontradas pelas análises manuais. As altas taxas de proporção de presença de ruído antropogênico no local condizem com intenso tráfego de embarcações nessa região (Figura 2), que se teve seu fluxo aumentado consideravelmente nas últimas duas décadas (ver FIGUEIREDO et al., 2017) dada a

sua importância econômica ao país. Apesar de ter sido necessária apenas uma detecção em uma hora completa para que a fonte fosse registrada, as análises manuais indicaram que fontes de origem antrópica estiveram presentes na grande maioria dos arquivos. Os altos níveis sonoros encontrados no CSS (Tabela 2) foram similares aos níveis reportados para outras áreas costeiras com alto tráfego de embarcações. No Parque Nacional das Ilhas Virgens, os níveis de ambiente acústico alcançaram os mesmos 130 dB re1 μ Pa registrados como valores máximos no CSS com ruído de embarcações (KAPLAN; MOONEY, 2015). Rako e colaboradores (2013) registraram no arquipélago de Cres-Losinj, valores de 130 dB re1 μ Pa na banda de frequência entre 63 Hz a 2 kHz durante a temporada de turismo. Em Portugal, no estuário do rio Targus, foram encontrados níveis contínuos de 111 dB re1 μ Pa em frequências até 300 Hz, com ainda maiores intensidades na presença de navios (VASCONCELOS; AMORIM; LADICH, 2007). Na bacia do Mediterrâneo os níveis médios encontrados entre as frequências de 10 a 585 Hz foram de 107 dB re1 μ Pa até 112 dB re1 μ Pa no Estreito de Gibraltar (CASTELLOTE; CLARK; LAMMERS, 2012). No Canadá, no parque nacional marinho Saguenay–St. Lawrence foram registrados níveis médios de 113 dB re1 μ Pa (GERVAISE et al., 2012) e com medianas de 112 dB re1 μ Pa em frequências de banda larga (0,01 – 23 kHz) (MCQUINN et al., 2011). Mais próximo à estação de gravação do CSS, níveis de RMS registrados na Baía de Guanabara, no RJ, também importante pólo voltado ao tráfego de grandes embarcações, alcançaram também 111 dB re1 μ Pa nas frequências até 1 kHz (BITTENCOURT et al., 2014). Essas comparações com áreas de intenso tráfego de embarcações reforçam que o CSS também se caracteriza como um setor de intensa atividade acústica de natureza antrópica.

O CSS apresentou níveis sonoros mais intensos na estação de inverno (Figura 9). Estudos sobre variação sazonal da paisagem acústica indicaram que as principais diferenças podem estar relacionadas às estações do ano, à hora do dia e às fases da lua (MCWILLIAM; HAWKINS, 2013; PIERETTI et al., 2017; RADFORD et al., 2008b; STAATERMAN et al., 2014). Nos casos em que ocorreram variações mais expressivas entre as estações, as diferenças se deram principalmente devido a maiores intensidades de biofonia (MIKSIS-OLDS et al., 2012; RADFORD et al., 2008b; STAATERMAN et al., 2014). Para o CSS, porém, o aumento nos níveis sonoros provavelmente esteve relacionado a maiores aportes de ruído antropogênico nos dias analisados, evidenciado pelos espectrogramas de longa duração (Figura 5) e análises manuais (Figura 18). Um dos sinais acústicos mais notáveis detectado, iniciava-se no início da noite, aproximadamente às 20h, e se estendia até as 06h da manhã seguinte. Uma fonte suspeita responsável por esse tipo de ruído foi a dos emissários submarinos. Os emissários submarinos são responsáveis pela disposição oceânica de esgotos gerados na costa (LAMPARELLI, 2006), e atualmente existem oito emissários de esgotos domésticos em funcionamento no litoral paulista (CETESB, 2005). Desses, três estão no litoral norte, sendo dois em São Sebastião e um em Ilhabela, além do emissário submarino do Terminal Aquaviário da Transpetro. Apesar disso, em contato com a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), foi informado que os emissários têm uma rotina de funcionamento de 24 horas por dia, e portanto, provavelmente não seriam a fonte do ruído encontrado. O Terminal Aquaviário da Transpetro foi também contatado, porém não houve retorno. Até o presente momento esta equação não foi solucionada, mas torna-se prioritária em função de sua influência na geração de um resultado importante de geração de ruído antropogênico em maior escala no inverno no CSS.

No PEIA, apesar de ter presença de fonte antrópica também em todos os dias, a maioria das emissões foi registrada a partir de detecções individuais nas horas, tendo menor concentração dos sinais em comparação ao CSS. Dessa forma, mesmo com os altos valores do 5º percentil do PSD e do RMS registrados no local no inverno, emissões de ruído antrópico não foram tão intensas como no CSS. Apesar desses altos níveis nas baixas frequências (até 1 kHz), no inverno a mediana se manteve em níveis de aproximadamente 90 dB re1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ e com valores máximos de SPD abaixo disso (Tabela 2, Figura 16). Isso indica que os valores mais altos provavelmente são representações de sinais esporádicos, mas com muita intensidade sonora, como ruído de embarcações ocasionais e sinais biológicos como as vocalizações de mysticetos, encontradas em grande proporção no local nessa estação, nessa faixa de frequência (até 1 kHz). Por ser uma região mais voltada a atividades de turismo náutico com visitas incluindo a unidade de conservação do PEIA, era esperado que fossem detectados tais ruídos ao longo do ano. Apesar disso, foi encontrado uma inesperada concentração de ruído antrópico entre as horas da tarde e da noite. Como indicado por Lammers e colaboradores (2008), a acústica é uma importante ferramenta para gestores de parques naturais em vista do monitoramento do tráfego de embarcações, inclusive ilegais. Esse monitoramento é importante em locais como unidades de conservação, santuários ou reservas, especialmente em locais onde o monitoramento *in situ* com embarcações e contínuo não é possível, como em muitas ilhas remotas ou atóis. Além disso, a detectabilidade das embarcações é inversamente proporcional aos níveis sonoros de cada local, sendo possível a maior detecção de embarcações a maiores distâncias quanto menores os níveis sonoros de fundo do local. Assim, quanto menores se mantiverem os níveis sonoros no PEIA, maiores serão as potencialidades da utilização da acústica nesse tipo de monitoramento.

Níveis sonoros similares aos do PEIA foram encontrados em outras regiões. Alguns locais no Mar de Timor e no Mar de Arafura apresentaram níveis de ambiente acústico (50 Hz -10 kHz) entre 50 a 80 dB re1 μ Pa (CATO, 1978), e níveis de RMS (50 Hz–24 kHz) menores do que 100 dB re1 μ Pa, assim como no Santuário Marinho Nacional de Stellwagen Bank (10 Hz - 1 kHz) (HATCH et al., 2008). Ainda sobre os baixos níveis de PSD registrados, nas porções rasas do Golfo de Hauraki, na Nova Zelândia, observaram-se níveis similares de PSD variando entre 60 a 80 dB re1 μ Pa²/Hz (PUTLAND; CONSTANTINE; RADFORD, 2017). As mencionadas áreas, assim como o PEIA, estão relacionadas a regiões marinhas que se transformaram em reservas com regulamentações específicas voltadas para a manutenção da qualidade de vida marinha, e que contam com atividades de turismo de lazer anualmente.

Nas baixas frequências, os picos de frequência entre 0,1 e 1 kHz no PEIA são possivelmente também influenciados pela biofonia local. Esse é o intervalo de frequência na qual muitos peixes vocalizam (BASS; LADICH, 2008; LADICH, 2014) e foi encontrada com bastante frequência no PEIA (Figura 18 e Figura 25). Peixes e invertebrados são algumas das fontes sonoras mais abundantes em paisagens acústicas marinhas (PARSONS et al., 2016), e o coro de diferentes espécies pode ocorrer simultaneamente, variando ou não as escalas de frequências e durações entre as vocalizações (PARSONS et al., 2017; PARSONS; MCCAULEY; THOMAS, 2013). Dessa forma, seria interessante que futuros trabalhos refinassem o estudo e a aplicação desses sinais acústicos encontrados tanto no PEIA como no CSS para melhor entender a composição e riqueza de espécies vocais localmente. Um exemplo de como a técnica pode ser aplicada foi feito por Putland e colaboradores (2018), em que os sinais obtidos através de utilização de um conjunto de hidrofones foram utilizados para detectar o posicionamento e a movimentação de peixes. As detecções

sonoras de peixes poderiam ainda ser associadas ao uso de técnicas modernas de investigação como o BRUV (Baited Remote Underwater stereo-Video) para aprimorar o emprego das ferramentas de monitoramento e gestão em áreas protegidas (ROLIM et al., 2019).

Também parte da biofonia, os impulsos de camarão-de-estalo ocorrem entre as frequências de 2 a 7 kHz (AU; BANKS, 1998), e é a principal fonte responsável pelo aumento dos níveis sonoros nessas frequências do PEIA. Esses invertebrados são conhecidos por dominarem a faixa de frequência entre 2 a 15 kHz (Figura 21) em habitats marinhos temperados e tropicais (RADFORD et al., 2008a, 2010, 2011; STAATERMAN et al., 2013). Por serem evidentes por todo o mundo em águas quentes e rasas, nas profundidades de até 60 m (EVEREST; YOUNG; JOHNSON, 1948; FISH, 1964; KNUDSEN; ALFORD; EMLING, 1948), essa já era uma fonte esperada com alta proporção de contribuição nas duas localidades, como foi encontrada.

Os sons emitidos por odontocetos também são parte importante da biofonia do PEIA e foram registrados em todas as semanas de gravação. Das 90 espécies de cetaceos existentes atualmente (COMMITTEE ON TAXONOMY, 2018), 47 já foram registradas em águas brasileiras, e dessas, 30 espécies foram reportadas ao longo da costa do estado de São Paulo (SANTOS et al., 2010, 2019). Devido à grande diversidade de espécies, abundância, e presença anual e sazonal desse grupo na área de estudo (*Ibid.*), a detecção de diferentes espécies de odontocetos já era esperada nos locais estudados. Não foi possível identificar as espécies de odontocetos responsáveis pelos sons detectados nesse trabalho, porém está em curso no Laboratório de Biologia da Conservação de Mamíferos Aquáticos do Instituto Oceanográfico da USP a elaboração de uma biblioteca para que sistemas de MAP

(Monitoramento Acústico Passivo) otimizem as investigações de uso de área pelos odontocetos. Esse é um processo complexo em face à grande diversidade de espécies encontradas globalmente e localmente, à ampla gama de parâmetros físicos que descrevem suas emissões sonoras, aliado à existência de variações intraespecíficas envolvendo essas emissões (AU; HASTINGS, 2008), e pela fase inicial do citado grupo de pesquisa nesse campo de investigações. Apesar disso, a partir do estudo de modelagem de nicho realizado por Figueiredo (2017), foi indicado que os cetáceos mais frequentes na área de estudo são boto-cinza (*Sotalia guianensis*) e toninha (*Pontoporia blainvillei*), mais próximos à costa, e nariz-de-garrafa (*Tursiops truncatus*) e pintado-do-Atlântico (*Stenella frontalis*) um pouco mais distante da costa. Pelos parâmetros dos sinais acústicos detectados serem coincidentes com os reportados para essas espécies em exceção à toninha, as candidatas a terem sido reportadas, portanto, seriam: boto-cinza, nariz-de-garrafa e pintado-do-Atlântico.

Ainda sobre os cetáceos, também foram registrados sinais de mysticetos em ambas localidades. Atualmente são listadas oito espécies de mysticetos na plataforma continental sudeste do Brasil (SANTOS et al., 2010; ZERBINI et al., 2004), e os registros de baleia-de-Bryde (*B. edeni*) estiveram entre os mais frequentes na costa paulista (FIGUEIREDO, 2017). Esses organismos são normalmente encontrados nas áreas costeiras do sudeste brasileiro, e apresentam maiores densidades de ocorrência entre primavera e verão onde se alimentam de sardinhas (DE MOURA; SICILIANO, 2012; SANTOS et al., 2010, 2019). As detecções suspeitas de serem originadas de baleias-de-Bryde ocorreram justamente no verão, em janeiro, no PEIA, e com os parâmetros acústicos previamente reportados para a espécie (ver Tabela 10.5 AU; HASTINGS, 2008). Apesar de terem sido reportadas ocorrências dessa

espécie nas águas tropicais e temperadas dos oceanos Atlântico, Pacífico e Índico, essa ainda é uma das espécies de mysticetos menos conhecidas (KATO; PERRIN, 2009). Baleias-de-Bryde não realizam movimentos migratórios latitudinais, permanecendo nas águas tropicais e temperadas durante todo o ano, e ainda pouco se sabe à respeito do período reprodutivo ou onde ocorrem os grupos de reprodução (*Ibid.*). Além disso, até o presente momento os sinais acústicos de baleias-de-Bryde foram descritos apenas em uma ocasião no Atlântico Sul (FIGUEIREDO; SIMÃO, 2014), evidenciando a necessidade de uma investigação mais aprofundada sobre as emissões sonoras desta espécie comumente encontrada no sudeste brasileiro. Refinar essas detecções poderá promover uma maior compreensão da sazonalidade de uso das áreas de estudo, possivelmente informando períodos com maiores densidades de detecção de emissões sonoras, colaborando com as descrições sobre suas estratégias de uso das águas locais .

Além da baleia-de-Bryde, outra possível detecção de mysticeto refere-se à emissões de baleia-franca-austral (*E. australis*). A baleia-franca-austral, assim como a maior parte das espécies de mysticetos, passa o verão se alimentando em altas latitudes, e migra no inverno para latitudes mais baixas para se reproduzir, dar à luz seus filhotes e criá-los (BEST et al., 1993; IWC, 2012; KENNEY, 2009; ZERBINI et al., 2015). Apesar da maior concentração de baleias-franca na costa brasileira ocorrer na porção sul do estado de Santa Catarina (GROCH et al., 2005; GROCH; FLORES, 2011), elas têm sido reportadas em uma faixa de maior extensão, incluindo a costa sudeste (ELLIS, 1969; FIGUEIREDO; GOYA; SANTOS, 2019; LODI; BELLINI; SICILIANO, 1996; SANTOS et al., 2001, 2010). A ocorrência da espécie no sudeste do Brasil alcança os picos entre agosto e setembro (LODI; BELLINI; SICILIANO, 1996), exatamente os meses nos quais as detecções suspeitas de serem emitidas por

baleias-franca foram registradas. A baleia-franca-austral consta na lista de espécies ameaçadas como “em perigo” (OTT; GROCH; DENILEWICZ, 2008), e são vulneráveis às ameaças diretamente relacionadas à atuação antrópica como pesca, tráfego de embarcações, poluição sonora, entre outros (SANTOS et al., 2010). Como consequência, a o estoque populacional no sudeste do Brasil pode ser afetado de forma semelhante à relatada para a outra espécie de mesmo gênero do Atlântico norte, onde as intensas atividades humanas levaram aquelas baleias a um declínio populacional significativo nos últimos 20 anos (PETTIS; HAMILTON, 2016).

Nesse cenário, a utilização da bioacústica como ferramenta de conservação se mostra promissora, uma vez que além de contribuir para a gestão das espécies no tocante à poluição sonora (PARKS et al., 2011; ROLLAND et al., 2012) também pode ser utilizada em sistemas de detecção de presença baseados em sinais acústicos para prevenção de colisões entre baleias e embarcações (HATCH et al., 2012). No hemisfério norte, o uso da acústica como ferramenta gerou um programa de gestão costeira que levou à mudança da rota de embarcações e que culminou em decréscimo de registros de atropelamentos (CONN; SILBER, 2013). Em vista do atual cenário de aumento de população das baleias-franca-austrais (GROCH et al., 2005) que possivelmente estão reocupando antigas áreas de uso no sudeste do Brasil (LODI; BELLINI; SICILIANO, 1996; SANTOS et al., 2001), a ferramenta de MAP poderia ser utilizada para a mesma finalidade com que ocorreu no hemisfério norte. Assim, é recomendado que um monitoramento acústico seja considerado como uma compensação ambiental obrigatória dos portos da costa brasileira nos setores sul e sudeste.

Além da baleia-de-Bryde e da baleia-franca-austral, baleias-minke-comuns (*Balaenoptera acutorostrata*) foram notificadas pela costa do estado de São Paulo

(SANTOS et al., 2019; SANTOS; FIGUEIREDO; BRESSEM, 2017) aos pares de indivíduos em algumas ocasiões em meses de outono e de inverno. Apesar de não terem sido registrados sinais acústicos dessa espécie, um maior detalhamento nas análises acústicas possivelmente fomentaria um melhor mapeamento de suas ocorrências, de forma a auxiliar na compreensão da possível utilização da costa por um estoque populacional para reprodução. Assim como nos odontocetos, também é preciso refinar a identificação de espécies de mysticetos que usam a costa paulista para compreender padrões de uso de área.

Apesar de emissões da biofonia também terem sido detectadas no CSS, a alta presença de ruído antropogênico mascara a presença desses sinais em frequências até 1 kHz (RADFORD; KERRIDGE; SIMPSON, 2014). Além dos peixes, os mysticetos presentes no CSS também podem ter tido seus sinais cobertos por emissões antropogênicas, impossibilitando a detecção (ver CLARK et al., 2009b; ERBE et al., 2016). Assim, o registro de mysticetos e peixes pelas análises manuais podem ter sido subestimados em função do alto ruído antrópico local. A alta taxa de registros de biofonia de peixes e camarões-de-estalo no PEIA também se deve ao fato do fundeio estar localizado em uma área protegida de arrastos de pesca para evitar perder-se o equipamento de pesquisa, e mais próximo a um costão rochoso quando comparado ao fundeio do CSS.

Além da biofonia, sinais relacionados à geofonia também podem ter sido mascarados no CSS. Muitas espécies de peixes e invertebrados dependem da biofonia e de geofonia como indicações acústicas para a escolha dos locais mais apropriados para se desenvolverem (STANLEY; RADFORD; JEFFS, 2012). Pelos níveis sonoros nas baixas frequências estarem ocupados por ruído antropogênico com muita periodicidade, sons relacionados à ondas podem também ter sido

subestimados. Esses sinais referentes à ondas foram registrados no CSS em apenas um dia, em contraste aos 13 dias com esse mesmo sinal no PEIA. O setor em área mais protegida onde foi fundeado o hidrofone no PEIA pode ter beneficiado a detecção desses sinais geofônicos relacionados a ondas, não somente pela geografia do local, mas pelo fato da proximidade de um obstáculo de costão rochoso onde o embate das ondas seria mais comum quando comparado ao CSS. Sinais geofônicos também são ferramentas importantes para os organismos marinhos que utilizam o som como meio de percepção do ambiente, e seu mascaramento também tem efeitos negativos para processos vitais como crescimento, sobrevivência e reprodução (RADFORD et al., 2011; WILLIAMS et al., 2015).

A poluição sonora causada por embarcações é uma grande fonte de contribuição para as paisagens acústicas no geral, e tem sido foco de atenção e preocupação por cientistas (HILDEBRAND, 2009). A descrição dos padrões sonoros do CSS e do PEIA são interessantes ferramentas pois podem indicar como o ruído antropogênico pode estar influenciando a vida marinha em ambos setores. As consequências do crescente aporte de ruído antropogênico e do potencial mascaramento da biofonia ainda são incertas. Algumas espécies aumentaram o volume de suas vocalizações para serem detectadas apesar do ruído (HOLT; JOHNSTON, 2014; PARKS et al., 2011). Outras modificam suas características acústicas, alterando as frequências de seus sinais, aumentando a duração do chamado (HOLLES et al., 2013) ou esperando o ruído antropogênico passar para voltarem a vocalizar (NOWACEK et al., 2007). Além disso, em cetáceos, mudanças acústicas e de comportamento estiveram ligadas ao estresse crônico (ROLLAND et al., 2012), e podem ter consequências para o sucesso reprodutivo e então a sobrevivência de populações (CASTELLOTE; CLARK; LAMMERS, 2012).

Descrições de paisagens acústicas oferecem ferramentas para estimar os impactos dos crescentes níveis de ruídos antropogênicos. Como exemplo, a modelagem de ruído de embarcações pode ser desenvolvida para contribuir com o planejamento espacial marinho, incluindo os efeitos nos organismos aquáticos (ERBE et al., 2014; ERBE; MACGILLIVRAY; WILLIAMS, 2012; HATCH et al., 2008). Nesse sentido, o presente estudo apresenta a primeira descrição dos níveis sonoros no CSS e no PEIA, fornecendo uma referência inicial importante para qualificar e quantificar o impacto acústico de quaisquer mudanças futuras nas referidas áreas.

6. CONCLUSÃO

Os níveis sonoros e as fontes de emissão no CSS e no PEIA são distintos principalmente quanto à contribuição maior de sons de natureza antropogênica no CSS em função de seu uso intenso por embarcações ao longo do ano. O CSS apresenta maiores proporções de emissões de antropofonia, e menos registros de biofonia. Apesar disso, sons biogênicos envolvendo principalmente camarões-de-estalo, peixes e cetáceos são comuns em ambos setores. O perfil entre dias de semana e fins de semana foi semelhante, e sazonalmente no inverno ocorre a maior intensidade de energia acústica. Nessa estação há maiores intensidades de energia acústica em ambos locais, embora no PEIA a diferença se concentra em baixas frequências. O CSS e o PEIA apresentam maiores níveis acústicos concentrados em baixas frequências.

TABELAS

Tabela 1 - Datas selecionadas para análise por cada estação do ano em cada local. Datas com asterisco (*) sinalizam dias de finais de semana (Sábados e Domingos).

Ano	Verão	Inverno
2016	16/01*	24/06
	26/01	25/06*
	05/02	26/06*
	07/02*	28/06
	10/02	30/09
	13/02*	
2017	21/01*	26/07
	23/01	29/07*
	25/01	05/08*
	28/01*	11/08
	29/01*	17/08
	30/01	20/08*

Tabela 2 - Valores de PSD (dB re1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$) dos percentis 5º, 50º e 95º e do RMS, nas estações de verão e inverno, em relação às frequências.

	CSS								PEIA							
	Verão				Inverno				Verão				Inverno			
	5º	50º	95º	RMS	5º	50º	95º	RMS	5º	50º	95º	RMS	5º	50º	95º	RMS
10 Hz	120	100	85	110	130	120	100	120	80	70	55	80	120	90	80	120
100 Hz	90	75	70	95	100	95	70	100	80	75	60	75	100	80	70	95
1000 Hz	90	70	60	80	90	80	70	90	80	65	60	75	85	75	65	80
10000 Hz	70	70	55	70	85	70	60	80	80	75	70	75	75	75	70	75
48000 Hz	40	40	25	40	55	40	30	50	50	45	35	45	45	40	35	45

FIGURAS

Figura 1 – Mapa de localização dos fundeios das áreas de estudo da região do litoral norte do Estado de São Paulo.

Figura 2 - Densidade de tráfego de embarcação local na área de estudo. Dados de 2016 e 2017. Fonte: MarineTraffic.com.

Figura 3 – Gráficos climatológicos referentes a: A) Precipitação acumulada; e B) Temperatura média entre os anos de 1961 e 1990. Dados coletados na estação de Ubatuba pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Fonte: www.inmet.gov.br.

Figura 4 - Hidrofone anexado no cabo do fundeio no PEIA. Foto: Diogo Barcellos.

Figura 5 - Espectrogramas de longa duração (LTSAs) com a densidade espectral (PSD) das estações de verão e inverno (V e I respectivamente) dos anos de 2016 e 2017. A primeira coluna refere-se à área do CSS e a segunda coluna à área da Ilha Anchieta. O eixo representando as frequências é apresentado de forma logarítmica. Intensidade do som (dB re 1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$) indicada pela escala entre vermelho e azul. As datas com asterisco (*) indicam fins de semana (Sábados e domingos).

Figura 6 - Média (RMS) e percentis da energia de densidade espectral (PSD) do CSS quanto a: a) Fins de semana; b) Dias de semana; c) Estação de verão; e d) Estação de inverno, contabilizados dos anos de 2016 e 2017. O eixo representando as frequências é apresentado de forma logarítmica. Atenção às diferentes escalas de PSD.

Figura 7 - Média (RMS) e percentis da energia de densidade espectral (PSD) do CSS em relação à categoria dos dias. Do lado direito referentes à dias de fim de semana (a), c), e) e g)) e do lado esquerdo à dias de semana (b), d), f) e h)). a) e b) Total, c) e d) frequências baixas (10 a 1.000 Hz), e) e f) frequências médias (1.000 a 10.000 Hz) e g) e h) frequências altas. Atenção às diferentes escalas de PSD.

Figura 8 - Médias (RMS) da energia de densidade espectral (PSD) no CSS em relação a categoria dos dias.

Figura 9 - Médias (RMS) da energia de densidade espectral (PSD) no CSS em relação à estação do ano.

Figura 10 - Média (RMS) e percentis da energia de densidade espectral (PSD) do CSS em relação as estações. Do lado direito referentes ao verão (a), c), e) e g)) e do lado esquerdo ao inverno (b), d), f) e h)). a) e b) Total, c) e d) frequências baixas (10 a 1.000 Hz), e) e f) frequências médias (1.000 a 10.000 Hz) e g) e h) frequências altas. Atenção às diferentes escalas de PSD.

Figura 11 - Médias (RMS) da energia de densidade espectral (PSD) no CSS em relação às horas do dia.

Figura 12 - Média (RMS) e percentis da energia de densidade espectral (PSD) do PEIA quanto a: a) Fins de semana; b) Dias de semana; c) Estação de verão; e d) Estação de inverno, contabilizados dos anos de 2016 e 2017. O eixo representando as frequências é apresentado de forma logarítmica. Atenção às diferentes escalas de PSD.

Figura 13 - Médias (RMS) da energia de densidade espectral (PSD) no PEIA em relação a categoria dos dias.

Figura 14 - Médias (RMS) da energia de densidade espectral (PSD) no PEIA em relação a estação do ano.

Figura 15 - Média (RMS) e percentis da energia de densidade espectral (PSD) do PEIA em relação à categoria dos dias. Do lado direito referentes à dias de fim de semana (a), c), e) e g)) e do lado esquerdo à dias de semana (b), d), f) e h)). a) e b) Total, c) e d) frequências baixas (10 a 1000 Hz), e) e f) frequências médias (1000 a 10.000 Hz) e g) e h) frequências altas. Atenção às diferentes escalas de PSD.

Figura 16 - Média (RMS) e percentis da energia de densidade espectral (PSD) do CSS em relação as estações. Do lado direito referentes ao verão (a), c), e) e g)) e do lado esquerdo ao inverno (b), d), f) e h)). a) e b) Total, c) e d) frequências baixas (10 a 1000 Hz), e) e f) frequências médias (1000 a 10.000 Hz) e g) e h) frequências altas. Atenção às diferentes escalas de PSD.

Figura 17 - Médias (RMS) da energia de densidade espectral (PSD) no PEIA em relação as horas do dia.

Figura 18 - Proporção de contribuição de cada fonte sonora por dia analisado em cada região. Azul escuro indica que a referida fonte foi detectada em todas as horas do dia; as escalas de cores indicam a porcentagem de horas do dia em que a fonte esteve presente; e branco representa a ausência de detecção. C.E = Camarão-de-estalo. As datas com asterisco (*) indicam fins de semana.

Figura 19 - Porcentagem de ocorrência de cada categoria de emissão sonora em cada dia amostrado.

Figura 20 - Porcentagem de ocorrência de cada categoria de emissão sonora por hora do dia.

Figura 21 - Exemplo de emissões de camarão-de-estalo no CSS (A) e no PEIA (B).

Figura 22 - Exemplos de emissões sonoras de peixes no CSS.

Figura 23 - Exemplo de emissão sonora de cetáceos no CSS. A – Ecolocalização de odontocetos (com FFT de 1024 pontos) e B – Mysticetos (com FFT de 4096).

Figura 24 - Exemplos de fontes de antropofonia no CSS. A, ruídos de motores com maior energia concentrada nas baixas frequências, B e C ruídos com energia dissipada por todo o espectro, D ecosonda nas altas frequências e E ruído noturno.

Figura 25 - Exemplos de emissões caracterizadas como peixes no PEIA. J e K com mais de um tipo de vocalização ao mesmo tempo.

Figura 26 - Exemplos de emissões e odontocetos no PEIA.

Figura 27 - Exemplos de emissões sonoras de mysticetos no PEIA. Emissões A e B possivelmente de baleia-de-Bryde e C e D possivelmente de baleia-franca.

Figura 28 - Exemplos de geofonia. A ondas no CSS, B onda no PEIA e C chuva no PEIA

REFERÊNCIAS

AMARAL, A. C. Z. et al. Araçá : biodiversidade , impactos e ameaças Porque Conservar o Araçá para as Futuras Gerações? Histórico de Alterações e Sobrevivência do Araçá. **Biota Neotropica**, v. 10, n. 1, p. 219–230, 2010.

AMOSER, S.; WYSOCKI, L. E.; LADICH, F. Noise emission during the first powerboat race in an Alpine lake and potential impact on fish communities. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 116, n. 6, p. 3789–3797, 2004.

ANDREW, R. K.; HOWE, B. M.; MERCER, J. A. Long-time trends in ship traffic noise for four sites off the North American West Coast. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 129, n. 2, p. 642–651, 2011.

ARVEDLUND, M.; KAVANAGH, K. The Senses and Environmental Cues Used by Marine Larvae of Fish and Decapod Crustaceans to Find Tropical Coastal Ecosystems. In: NAGELKERKEN, I. (Ed.). . **Ecological Connectivity among Tropical Coastal Ecosystems**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2009. p. 135–184.

ARVESON, P. T.; VENDITTIS, D. J. Radiated noise characteristics of a modern cargo ship. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 107, n. 1, p. 118–129, 2002.

AU, W. W. L.; BANKS, K. The acoustics of the snapping shrimp *Synalpheus parneomeris* in Kaneohe Bay. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 103, n. 1, p. 41–47, 1998.

AU, W. W. L.; HASTINGS, M. C. **Principles of Marine Bioacoustics**. New York, NY: Springer US, 2008.

BASS, A. H.; LADICH, F. Vocal–Acoustic Communication: From Neurons to Behavior. In: **Fish Bioacoustics**. New York, NY: Springer New York, 2008. p. 253–

278.

BEST, P. B. et al. Long-Range Movements of South Atlantic Right Whales. **Marine Mammal Science**, v. 9, n. July, p. 227–234, 1993.

BITTENCOURT, L. et al. Underwater noise pollution in a coastal tropical environment. **Marine Pollution Bulletin**, v. 83, n. 1, p. 331–336, 2014.

BITTENCOURT, L. et al. Acoustic habitat of an oceanic archipelago in the Southwestern Atlantic. **Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers**, v. 115, p. 103–111, 2016.

BJORNO, L. Features of underwater acoustics from aristotle to our time. **Acoustical Physics**, v. 49, n. 1, p. 24–30, 2003.

BREKHOVSKIKH, L. M.; LYSANOV, Y. P.; BEYER, R. T. Fundamentals of Ocean Acoustics. **The Journal of the Acoustical Society of America**, 2005.

CASTELLOTE, M.; CLARK, C. W.; LAMMERS, M. O. Acoustic and behavioural changes by fin whales (*Balaenoptera physalus*) in response to shipping and airgun noise. **Biological Conservation**, v. 147, n. 1, p. 115–122, 2012.

CASTRO-FILHO, B. M.; MIRANDA, L. B.; MIYAO, S. Y. Condições hidrográficas n plataforma continental ao largo de Ubatuba: Variações sazonais e em média escala. **Boletim do Instituto Oceanográfico**, v. 35, n. 2, p. 135–151, 1987.

CASTRO, B. M. et al. Processos Físicos: Hidrografia, circulação e transporte. In: PIRES-VANIN, A. M. S. (Ed.). . **Oceanografia de um Ecossistema subtropical: Plataforma de São Sebastião**. São Paulo: EdUSP, 2008. p. 59–121.

CATO, D. H. Marine biological choruses observed in tropical waters near Australia. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 64, n. 3, p. 736, 1978.

CLARK, C. W. et al. Acoustic masking in marine ecosystems: Intuitions, analysis, and implication. **Marine Ecology Progress Series**, v. 395, p. 201–222, 2009.

CODARIN, A. et al. Effects of ambient and boat noise on hearing and communication in three fish species living in a marine protected area (Miramare, Italy). **Marine Pollution Bulletin**, v. 58, n. 12, p. 1880–1887, 2009.

COLOSI, J. A., BAGGEROER, A. B., BIRDSALL, T. G., CLARK, C., CORNUELLE, B. D., COSTA, D., DUSHAW, B. D., DZIECIUCH, M. A., FORBES, A. M. G., HOWE, B. M., MENEMENLIS, D., MERCER, J. A., METZGER, K., MUNK, W., SPINDEL, R. C., WORCESTER, P. F., WUNSCH, C. A review of recent results on ocean acoustic wave propagation in random media: Basin scales. **IEE Journal of Oceanic Engineering**, v. 24, n. 2, p. 138–155, 1999.

COMMITTEE ON TAXONOMY. **List of marine mammal species and subspecies**. Disponível em: <www.marinemammalscience.org>.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **Qualidade das águas litorâneas no estado de São Paulo: Balneabilidade das praias, 2004**. São Paulo CETESB, , 2005.

CONN, P. B.; SILBER, G. K. Vessel speed restrictions reduce risk of collision-related mortality for North Atlantic right whales. **Ecosphere**, v. 4, n. 4, p. 1–16, 2013.

DAVIDSON, A. D. et al. Drivers and hotspots of extinction risk in marine mammals. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 109, n. 9, p. 3395–3400, 2012.

DE MOURA, J. F.; SICILIANO, S. Stranding pattern of Bryde's whales along the south-eastern coast of Brazil. **Marine Biodiversity Records**, v. 5, n. e73, 29 ago. 2012.

DEMSKI, L. S.; GERALD, J. W.; POPPER, A. N. Central and peripheral mechanisms of teleost sound production. **American Zoologist**, v. 13, p. 1141–1167, 1973.

DOMBROSKI, J. R. G. et al. Vocalizations produced by southern right whale (*Eubalaena australis*) mother-calf pairs in a calving ground off Brazil . **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 140, n. 3, p. 1850–1857, 2016.

DUMYAHN, S. L.; PIJANOWSKI, B. C. Soundscape conservation. **Landscape Ecology**, v. 26, n. 9, p. 1327–1344, 2011.

ELLIS, M. **A baleia no Brasil colonial [The whale in colonial Brazil]**. São Paulo: Melhoramentos/ Editora da Universidade de São Paulo, 1969.

ERBE, C. Underwater noise of whale-watching boats and potential effects on killer whales (*Orcinus orca*), based on an acoustic impact model. **Marine Mammal Science**, v. 18, n. 2, p. 394–418, abr. 2002.

ERBE, C. et al. Underwater noise from offshore oil production vessels. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 133, n. 6, p. EL465–EL470, jun. 2013.

ERBE, C. et al. Identifying modeled ship noise hotspots for marine mammals of Canada's Pacific region. **PLoS ONE**, v. 9, n. 3, p. 1–10, 2014.

ERBE, C. et al. Communication masking in marine mammals: A review and research strategy. **Marine Pollution Bulletin**, v. 103, n. 1–2, p. 15–38, 2016.

ERBE, C.; KING, A. R. Modeling cumulative sound exposure around marine seismic surveys. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 125, n. 4, p. 2443–2451, abr. 2009.

ERBE, C.; MACGILLIVRAY, A.; WILLIAMS, R. Mapping cumulative noise from shipping to inform marine spatial planning. **The Journal of the Acoustical Society of**

America, v. 132, n. 5, p. EL423–EL428, 2012.

ESTADO DE SÃO PAULO. Decreto nº 53.525, de 8 de Outubro de 2008.

Diário Oficial do Estado de São Paulo, v. 118, n. 191, 2008.

EVEREST, F. A.; YOUNG, R. W.; JOHNSON, M. W. Acoustical Characteristics of Noise Produced by Snapping Shrimp. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 20, n. 2, p. 137–142, jul. 1948.

FARINA, A. **Soundscape Ecology**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2014.

FIGUEIREDO, G. C. et al. Southern Right Whales (*Eubalaena australis*) in an Urbanized Area off the Southwestern Atlantic Ocean: Updated Records and Conservation Issues. **Aquatic Mammals**, v. 43, n. 1, p. 52–62, 2017.

FIGUEIREDO, G. C. **Cetáceos na costa sudeste do Brasil: ocorrência, distribuição e inferência de nicho**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 2017.

FIGUEIREDO, G. C. E.; GOYA, S. C. Y.; SANTOS, M. C. D. O. Southern right whales in the South-western Atlantic Ocean: proposed criteria to identify suitable areas of use in poorly known reproductive grounds. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 99, n. 5, p. 1231–1236, 8 ago. 2019.

FIGUEIREDO, L. D.; SIMÃO, S. M. Bryde's Whale (*Balaenoptera edeni*) Vocalizations from Southeast Brazil. **Aquatic Mammals**, v. 40, n. 3, p. 225–231, 2014.

FISH, M. P. Biological sources of sustained ambient sea noise. In: TAVOLGA, W. N. (Ed.). **Marine Bio-Acoustics**. London: Pergamon Press, 1964. p. 155–173.

GERVAISE, C. et al. Shipping noise in whale habitat: Characteristics, sources, budget, and impact on belugas in Saguenay–St. Lawrence Marine Park hub. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 132, n. 1, p. 76–89, 2012.

GREENE, C. R.; RICHARDSON, W. J. Characteristics of marine seismic survey sounds in the Beaufort Sea. **The Journal of the Acoustical Society of**

America, v. 83, n. 6, p. 2246–2254, 1988.

GROCH, K. R. et al. Recent rapid increases in the right whale (*Eubalaena australis*) population off southern Brazil. **Latin American Journal of Aquatic Mammals**, v. 4, n. 1, p. 41–47, 2005.

GROCH, K. R.; FLORES, P. A. C. Census of southern right whales off Brazil . **IWC Southern Right Whale Assessment Workshop.**, p. 1–5, 2011.

GUILLAUMON, J. R. et al. **PLANO DE MANEJO DO PARQUE ESTADUAL DA ILHA ANCHIETAS** São Paulo Instituto Florestal - Série Registros, , 1989.

HALPERN, B. S. et al. Spatial and temporal changes in cumulative human impacts on the world's ocean. **Nature Communications**, v. 6, n. 1, p. 7615, 14 nov. 2015.

HANDEGARD, N. Avoidance behaviour in cod (*Gadus morhua*) to a bottom-trawling vessel. **Aquatic Living Resources**, v. 16, n. 3, p. 265–270, jul. 2003.

HATCH, L. et al. Characterizing the relative contributions of large vessels to total ocean noise fields: A case study using the Gerry E. Studds Stellwagen Bank National Marine Sanctuary. **Environmental Management**, v. 42, n. 5, p. 735–752, 2008.

HATCH, L. T. et al. Quantifying Loss of Acoustic Communication Space for Right Whales in and around a U.S. National Marine Sanctuary. **Conservation Biology**, v. 26, n. 6, p. 983–994, 2012.

HAVILAND-HOWELL, G. et al. Recreational boating traffic: A chronic source of anthropogenic noise in the Wilmington, North Carolina Intracoastal Waterway. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 122, n. 1, p. 151–160, 2007.

HILDEBRAND, J. A. Anthropogenic and natural sources of ambient noise in the ocean. **Marine Ecology Progress Series**, v. 395, p. 5–20, 2009.

HOLLES, S. H. et al. Boat noise disrupts orientation behaviour n a coral reef fish. **Marine Ecology Progress Series**, v. 485, p. 295–300, 2013.

HOLT, D. E.; JOHNSTON, C. E. Evidence of the Lombard effect in fishes. **Behavioral Ecology**, v. 25, n. 4, p. 819–826, 2014.

IWC. **Report of the workshop on the assessment of Southern right whales**. Scientific Committee Meeting: [s.n.].

JEFFS, A.; TOLIMIERI, N.; MONTGOMERY, J. C. Crabs on cue for the coast: The use of underwater sound for orientation by pelagic crab stages. **Marine and Freshwater Research**, v. 54, n. 7, p. 841–845, 2003.

JOHNSON, M. W.; EVEREST, F. A.; YOUNG, R. W. The role of snapping shrimp (Crangon and Synalpheus) in the production of underwater noise in the sea. **The Biological bulletin**, v. 93, n. 2, p. 122–138, 1947.

KAPLAN, M. B.; MOONEY, T. A. Ambient noise and temporal patterns of boat activity in the US Virgin Islands National Park. **Marine Pollution Bulletin**, v. 98, n. 1–2, p. 221–228, 2015.

KAPLAN, M. B.; SOLOMON, S. A coming boom in commercial shipping ? The potential for rapid growth of noise from commercial ships by 2030. **Marine Policy**, v. 73, p. 119–121, 2016.

KASUMYAN, A. O. Sounds and sound production in fishes. **Journal of Ichthyology**, v. 48, n. 11, p. 981–1030, 2008.

KATO, H.; PERRIN, W. F. Bryde's Whales. In: PERRIN, W. F.; WURSIG, B.; THEWISSEN, J. G. M. (Eds.). . **Encyclopedia of Marine Mammals**. 2. ed. [s.l.] Elsevier, 2009. p. 158–163.

KENNEY, R. D. Right Whales. In: PERRIN, W. F.; WURSIG, B.; THEWISSEN, J. G. M. (Eds.). . **Encyclopedia of Marine Mammals**. 2. ed. [s.l.] Elsevier, 2009. p.

962–972.

KNOWLTON, R. E.; MOULTON, J. M. SOUND PRODUCTION IN THE SNAPPING SHRIMPS ALPHEUS (CRANGON) AND SYNALPHEUS ,. **The Biological Bulletin**, v. 125, n. 2, p. 311–331, out. 1963.

KNUDSEN, V. O.; ALFORD, R. S.; EMLING, J. W. Underwater ambient noise. **Journal of Marine Research**, v. 7, n. 3, p. 410–429, 1948.

KRAUSE, B. L. **Wild Soundscapes: Discovering the Voice of the Natural World**. Berkeley, CA: Wilderness Press, 2002.

KRAUSE, B. L. **The great animal orchestra: Finding the Origins of Music in the Worlds' Wild Places**. New York, NY: Back Bay Books, 2012.

KUNC, H. P.; MCLAUGHLIN, K. E.; SCHMIDT, R. Aquatic noise pollution: implications for individuals, populations, and ecosystems. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 283, n. 1836, p. 1–8, 17 ago. 2016.

LADICH, F. Sound Production and Acoustic Communication. In: **The Senses of Fish**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2004. p. 210–230.

LADICH, F. Fish bioacoustics. **Current Opinion in Neurobiology**, v. 28, p. 121–127, out. 2014.

LAMMERS, M. O. et al. An ecological acoustic recorder (EAR) for long-term monitoring of biological and anthropogenic sounds on coral reefs and other marine habitats. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 123, n. 3, p. 1720–1728, 2008.

LAMMERS, M. O.; AU, W. W. L. Broadband recording of social acoustic signals of the Hawaiian spinner and spotted dolphins. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 100, n. 4, p. 1629–39, out. 1996.

LAMPARELLI, C. C. “Emissários submarinos: Desafios para o licenciamento

e monitoramento ambiental. In: LAMPARELLI, C. C. (Ed.). . **Emissários Submarinos: Projeto, avaliação de impacto ambiental e monitoramento**. 1. ed. São Paulo: São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, 2006. p. 12–23.

LILLIS, A.; EGGLESTON, D. B.; BOHNENSTIEHL, D. R. Oyster Larvae Settle in Response to Habitat-Associated Underwater Sounds. **PLoS ONE**, v. 8, n. 10, p. e79337, 30 out. 2013.

LINDBERG, D. R.; PYENSON, N. D. Things that go bump in the night: Evolutionary interactions between cephalopods and cetaceans in the tertiary. **Lethaia**, v. 40, n. 4, p. 335–343, 2007.

LODI, L.; BELLINI, C.; SICILIANO, S. Ocorrências e conservação de baleias-francas-do-sul, *Eubalaena australis*, no litoral do Brasil. **Papeis Avulsos de Zoologia**, p. 307–328, 1996.

MCCORMICK, M. I. et al. Boat noise impacts risk assessment in a coral reef fish but effects depend on engine type. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 1–11, 2018.

MCKENNA, M. F. et al. Underwater radiated noise from modern commercial ships. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 131, n. 1, p. 92–103, 2012.

MCQUINN, I. H. et al. A threatened beluga (*Delphinapterus leucas*) population in the traffic lane: Vessel-generated noise characteristics of the Saguenay-St. Lawrence Marine Park, Canada. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 130, n. 6, p. 3661–3673, 2011.

MCWILLIAM, J. N.; HAWKINS, A. D. A comparison of inshore marine soundscapes. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 446, p. 166–176, 2013.

MERCHANT, N. D. et al. Averaging underwater noise levels for environmental

assessment of shipping. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 132, n. 4, p. EL343–EL349, 2012.

MERCHANT, N. D. et al. Spectral probability density as a tool for ambient noise analysis. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 133, n. 4, p. EL262–EL267, 2013.

MERCHANT, N. D. et al. Measuring acoustic habitats. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 6, n. 3, p. 257–265, 2015.

MIKSIS-OLDS, J. et al. Seasonal soundscapes from three ocean basins: what is driving the differences? **Proceedings of Meetings on Acoustics**, v. 17, p. 1–6, 2012.

MONTGOMERY, J. C. et al. Sound as an Orientation Cue for the Pelagic Larvae of Reef Fishes and Decapod Crustaceans. In: **Advances in Marine Biology**. [s.l: s.n.]. p. 143–196.

NIEUKIRK, S. L. et al. Low-frequency whale and seismic airgun sounds recorded in the mid-Atlantic Ocean. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 115, n. 4, p. 1832–1843, 2004.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro, RJ: [s.n.].

NOWACEK, D. P. et al. Responses of cetaceans to anthropogenic noise. **Mammal Review**, v. 37, n. 2, p. 81–115, abr. 2007.

NYBAKKEN, J. W.; BERTNESS, M. D. **Marine Biology: An Ecological Approach**. 6th. ed. [s.l.] Benjamin Cummings, 2005.

OTT, P.; GROCH, K. R.; DENILEWICZ, D. *Eubalaena australis*. In: **Livro vermelho da fauna brasileira ameaçada de extinção**. Brasília/Belo Horizonte: MMA/Fundação Biodiversitas, 2008. p. 802–804.

PARKS, S. E. et al. Individual right whales call louder in increased

environmental noise. **Biology Letters**, v. 7, n. 1, p. 33–35, 23 fev. 2011.

PARSONS, M. et al. **Long-term monitoring of soundscapes and deciphering a usable index: Examples of fish choruses from Australia**. Proceedings of Meetings on Acoustics. **Anais...**2016Disponível em: <<http://asa.scitation.org/doi/abs/10.1121/2.0000286>>

PARSONS, M. J. G. et al. Fish choruses off Port Hedland, Western Australia. **Bioacoustics**, v. 26, n. 2, p. 135–152, 4 maio 2017.

PARSONS, M.; MCCAULEY, R.; THOMAS, F. The sounds of fish off Cape Naturaliste, Western Australia. **Acoustics Australia**, v. 41, n. 1, p. 58–64, 2013.

PAYNE, R.; WEBB, D. ORIENTATION BY MEANS OF LONG RANGE ACOUSTIC SIGNALING IN BALEEN WHALES. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 188, n. 1, p. 110–141, dez. 1971.

PETTIS, H.; HAMILTON, P. **North Atlantic right whale consortium 2016 annual report card**. [s.l.: s.n.].

PIERETTI, N. et al. Marine soundscape as an additional biodiversity monitoring tool: A case study from the Adriatic Sea (Mediterranean Sea). **Ecological Indicators**, v. 83, n. July, p. 13–20, 2017.

PIJANOWSKI, B. C. et al. Soundscape Ecology: The Science of Sound in the Landscape. **BioScience**, v. 61, n. 3, p. 203–216, 2011a.

PIJANOWSKI, B. C. et al. What is soundscape ecology? An introduction and overview of an emerging new science. **Landscape Ecology**, v. 26, n. 9, p. 1213–1232, 2011b.

PIROTTA, E. et al. Vessel Noise Affects Beaked Whale Behavior: Results of a Dedicated Acoustic Response Study. **PLoS ONE**, v. 7, n. 8, p. e42535, 3 ago. 2012.

POPPER, A. N.; FAY, R. R. Rethinking sound detection by fishes. **Hearing**

Research, v. 273, n. 1–2, p. 25–36, 2011.

POPPER, A. N.; HASTINGS, M. C. The effects of anthropogenic sources of sound on fishes. **Journal of Fish Biology**, v. 75, n. 3, p. 455–489, 2009.

POPPER, A. N.; HAWKINS, A. **The Effects of Noise on Aquatic Life II**. New York, NY: Springer New York, 2016. v. 875

POPPER, A. N.; HAWKINS, A. D. An overview of fish bioacoustics and the impacts of anthropogenic sounds on fishes. **Journal of Fish Biology**, v. 94, n. 5, p. 692–713, 5 maio 2019.

PUTLAND, R. L. et al. Vessel noise cuts down communication space for vocalizing fish and marine mammals. **Global Change Biology**, v. 24, n. 4, p. 1708–1721, 2018.

PUTLAND, R. L.; CONSTANTINE, R.; RADFORD, C. A. Exploring spatial and temporal trends in the soundscape of an ecologically significant embayment - S. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 1–12, 2017.

PUTLAND, R. L.; MACKIEWICZ, A. G.; MENSINGER, A. F. Localizing individual soniferous fish using passive acoustic monitoring. **Ecological Informatics**, v. 48, n. April, p. 60–68, nov. 2018.

RADFORD, A. N.; KERRIDGE, E.; SIMPSON, S. D. Acoustic communication in a noisy world: Can fish compete with anthropogenic noise? **Behavioral Ecology**, v. 25, n. 5, p. 1022–1030, 2014.

RADFORD, C. et al. Resonating sea urchin skeletons create coastal choruses. **Marine Ecology Progress Series**, v. 362, p. 37–43, 2008a.

RADFORD, C. et al. Localised coastal habitats have distinct underwater sound signatures. **Marine Ecology Progress Series**, v. 401, p. 21–29, 22 fev. 2010.

RADFORD, C. A. et al. Temporal patterns in ambient noise of biological origin

from a shallow water temperate reef. **Oecologia**, v. 156, n. 4, p. 921–929, 2008b.

RADFORD, C. A. et al. Juvenile coral reef fish use sound to locate habitats. **Coral Reefs**, v. 30, n. 2, p. 295–305, 2011.

RAKO, N. et al. Leisure boating noise as a trigger for the displacement of the bottlenose dolphins of the Cres-Lošinj archipelago (northern Adriatic Sea, Croatia). **Marine Pollution Bulletin**, v. 68, n. 1–2, p. 77–84, 2013.

RICHARDSON, W. J. et al. **Marine Mammals and Noise**. San Diego: Academic Press, 1995.

ROLIM, F. A. et al. Network of small no-take marine reserves reveals greater abundance and body size of fisheries target species. **PLOS ONE**, v. 14, n. 1, p. e0204970, 10 jan. 2019.

ROLLAND, R. M. et al. Evidence that ship noise increases stress in right whales. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 279, n. 1737, p. 2363–2368, 2012.

SANTOS, M. C. DE O. et al. Occurrence of southern right whales (*Eubalaena australis*) along southeastern Brazil. **Journal of Cetacean Research and Management Special Issue**, n. Special Issue 2, p. 153–156, 2001.

SANTOS, M. C. DE O. et al. Cetacean records along São Paulo State Coast, Southeastern Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 58, n. 2, p. 123–142, 2010.

SANTOS, M. C. DE O. et al. Cetacean movements in coastal waters of the southwestern Atlantic ocean. **Biota Neotropica**, v. 19, n. 2, 21 mar. 2019.

SANTOS, M. C. DE O.; FIGUEIREDO, G. C. E; BRESSEM, M.-F. VAN. Cetaceans using the marine protected area of “Parque Estadual Marinho da Laje de Santos”, Southeastern Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 65, n. 4, p.

605–613, dez. 2017.

SCHAFER, R. M. **The tuning of the world**. New York, NY: Knopf, 1977.

SHANNON, G. et al. A synthesis of two decades of research documenting the effects of noise on wildlife. **Biological Reviews**, v. 91, n. 4, p. 982–1005, 2016.

SIMPSON, S. D. et al. Anthropogenic noise increases fish mortality by predation. **Nature Communications**, v. 7, p. 1–7, 2016.

SIMPSON, S. D.; PURSER, J.; RADFORD, A. N. Anthropogenic noise compromises antipredator behaviour in European eels. **Global Change Biology**, v. 21, n. 2, p. 586–593, fev. 2015.

SIROVIĆ, A.; WIGGINS, S. M.; OLESON, E. M. Ocean noise in the tropical and subtropical Pacific Ocean. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 134, n. 4, p. 2681–9, 2013.

STAATERMAN, E. et al. Soundscapes from a Tropical Eastern Pacific reef and a Caribbean Sea reef. **Coral Reefs**, v. 32, n. 2, p. 553–557, 6 jun. 2013.

STAATERMAN, E. et al. Celestial patterns in marine soundscapes. **Marine Ecology Progress Series**, v. 508, p. 17–32, 2014.

STANLEY, J. A.; RADFORD, C. A.; JEFFS, A. G. Location, location, location: finding a suitable home among the noise. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 279, n. 1742, p. 3622–3631, 7 set. 2012.

STEEMAN, M. E. et al. Radiation of extant cetaceans driven by restructuring of the oceans. **Systematic Biology**, v. 58, n. 6, p. 573–585, 2009.

SUEUR, J. et al. Rapid Acoustic Survey for Biodiversity Appraisal. **PLoS ONE**, v. 3, n. 12, p. e4065, 30 dez. 2008.

TAVOLGA, W. N. Sound Production and Detection. In: **Fish Physiology**. [s.l: s.n.]. p. 135–205.

TAVOLGA, W. N. Acoustic orientation in the sea catfish, *Galeichthys felis*. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 188, n. 1 Orientation, p. 80–97, dez. 1971b.

TYACK, P. Population biology, social behavior and communication in whales and dolphins. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 1, n. 6, p. 144–150, dez. 1986.

TYACK, P. L.; MILLER, E. H. Vocal anatomy, acoustic communication and echolocation. In: HOEZEL, A. R. (Ed.). . **Marine Mammal Biology: An Evolutionary Approach**. Oxford, England: Blackwell Science, 2002. p. 142–184.

VABØ, R.; OLSEN, K.; HUSE, I. The effect of vessel avoidance of wintering Norwegian spring spawning herring. **Fisheries Research**, 2002.

VASCONCELOS, R. O.; AMORIM, M. C. P.; LADICH, F. Effects of ship noise on the detectability of communication signals in the Lusitanian toadfish. **Journal of Experimental Biology**, v. 210, n. 12, p. 2104–2112, 15 jun. 2007.

VERSLUIS, M. et al. How Snapping Shrimp Snap: Through Cavitating Bubbles. **Science**, v. 289, n. 5487, p. 2114–2117, 22 set. 2000.

WENZ, G. M. Acoustic Ambient Noise in the Ocean: Spectra and Sources. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 34, n. 12, p. 1936–1956, 1962.

WILLIAMS, R. et al. Impacts of anthropogenic noise on marine life: Publication patterns, new discoveries, and future directions in research and management. **Ocean and Coastal Management**, v. 115, n. October, p. 17–24, 2015.

ZELICK, R.; MANN, D. A.; POPPER, A. . Acoustic Communication in Fishes and Frogs. In: **Comparative Hearing: Fish and Amphibians**. [s.l.] Springer New York, 1999.

ZERBINI, A. et al. **Tracking southern right whales through the southwest Atlantic : An update on movements , migratory routes and feeding grounds**. 66th

annual meeting of the International Whaling Commission Scientific Committee.

Anais...2015

ZERBINI, A. N. et al. **Distribuição e Abundância Relativa de Cetáceos na Plataforma Continental Externa e Talude da Zona Econômica Exclusiva no Sul e Sudeste do Brasil: Resultados Preliminares e Perspectivas Futuras.** São Paulo: Instituto Oceanográfico - USP, 2004. v. 1

ZIMMER, W. **Passive Acoustic Monitoring of Cetaceans.** Cambridge: Cambridge University Press, 2011.

APÊNDICE

APÊNDICE A - Média (RMS) e percentis da energia de densidade espectral (PSD) do CSS entre as horas 00 e 11 do dia.

APÊNDICE B- Média (RMS) e percentis da energia de densidade espectral (PSD) do CSS entre as horas 12 e 23 do dia.

APÊNDICE C- Média (RMS) e percentis da energia de densidade espectral (PSD) do PEIA entre as horas 00 e 11 do dia.

APÊNDICE D - Média (RMS) e percentis da energia de densidade espectral (PSD) do PEIA entre as horas 12 e 23 do dia.