



**MARINHA DO BRASIL**

**INSTITUTO DE ESTUDOS DO MAR ALMIRANTE PAULO MOREIRA**

**UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE**

**PROGRAMA ASSOCIADO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA  
MARINHA**

**UBIRAJARA GONÇALVES DE MELO JÚNIOR**

**UMA ABORDAGEM BIOACÚSTICA COMO ALTERNATIVA PARA O  
MONITORAMENTO DE MOLUSCOS BIVALVES**

**ARRAIAL DO CABO / RJ**

**2019**

**UBIRAJARA GONÇALVES DE MELO JÚNIOR**

**UMA ABORDAGEM BIOACÚSTICA COMO ALTERNATIVA PARA O  
MONITORAMENTO DE MOLUSCOS BIVALVES**

Dissertação de mestrado, apresentado ao Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira e à Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Biotecnologia Marinha.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Barros Fagundes Netto

Coorientador: MSc. Fábio Contrera Xavier

**ARRAIAL DO CABO / RJ**

**2019**

**UBIRAJARA GONÇALVES DE MELO JÚNIOR**

**UMA ABORDAGEM BIOACÚSTICA COMO ALTERNATIVA PARA O  
MONITORAMENTO DE MOLUSCOS BIVALVES**

Dissertação apresentada ao Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira e à Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Biotecnologia Marinha.

**COMISSÃO JULGADORA:**

---

**Prof. Dr. Bernardo Antonio Perez da Gama  
Universidade Federal Fluminense**

---

**Dr. Alexandre Dias Kassuga  
Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira**

---

**Prof. Dr. Eduardo Barros Fagundes Netto  
Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira  
Professor Orientador – Presidente da Banca Examinadora**

**Arraial do Cabo, 25 de fevereiro de 2019**

À minha esposa Vanessa e a meus pais Fátima e Ubirajara. Pelo apoio, compreensão e carinho durante cada passo dessa jornada.

## **Agradecimentos**

À minha esposa Vanessa, pelo amor, carinho e compreensão, mesmo nas horas mais difíceis.

Aos meus pais, Fátima e Ubirajara, e ao meu irmão Charlie, que dedicam todo seu carinho e compreendem minhas ausências.

Ao Dr. Eduardo B. Fagundes Netto, por seus ensinamentos e conselhos, visando a clareza e objetividade do trabalho.

Ao MSc. Fabio C. Xavier, pela paciência e parceria que proporcionaram muitas conquistas ao longo do processo.

Ao MSc. Daniel Campbell, por todo o auxílio e tempo dispendidos durante esta jornada.

Aos amigos Rodrigo Cumplido e Marcelo Tardelli, que fizeram essa caminhada ser mais leve, divertida e prazerosa.

À todos os colegas do IEAPM, pelo companheirismo e auxílio, fundamentais para a superação das dificuldades.

Aos integrantes da carpintaria do IEAPM, Carlos Alberto e Célio Roque, por terem sido cruciais na construção do equipamento utilizado para o estudo.

Aos maricultores Antonio Carlos (Pingo), Jean Carlos, Geraldo e Guilherme, que possibilitaram a coleta, deixando esse momento de trabalho mais agradável.

Aos Doutores da banca que gentilmente aceitaram o convite para participar.

A Ricardo Gaelzer, pelo apoio desde a época da graduação. Seus ensinamentos, não apenas referentes ao trabalho, mas à vida, reverberam em minha prática até os dias de hoje.

A Rogério Candella, pela paciência e boa vontade ao tirar minhas dúvidas.

Às diretoras Carmen, Rosa e Monique, pela compreensão durante minhas ausências e por compartilhar a luta que é ser professor no Brasil.

Ao Departamento de Acústica Submarina (IEAPM) e a Divisão de Oceanografia Biológica (IEAPM) por todo apoio dado para a realização do estudo.

No mais, fica meu agradecimento a todos que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho.

## **RESUMO**

A bioacústica e a ecologia da paisagem acústica juntas, podem fornecer novas possibilidades para o desenvolvimento de estudos com organismos marinhos. O presente trabalho, produziu um estudo abrangendo as respectivas áreas acústicas e os bivalves. Primeiramente foi desenvolvido um estudo de revisão sobre as pesquisas de bivalves relacionado a acústica. Esse trabalho, além da revisão, forneceu informações sobre a bioacústica marinha e a paisagem acústica. O levantamento revelou a existência de 12 espécies, pertencentes a 6 famílias em 16 publicações. As principais espécies encontradas foram *Crassostrea virginica*, *Mytilus edulis* e *Pecten maximus*, pertencentes as famílias Ostreidae, Mytilidae e Pectinidae, respectivamente. Além dos estudos de caracterização e detecção, a pesquisa encontrou informações sobre a influência do som no recrutamento e no assentamento larval e também trabalhos sobre os impactos acústicos no comportamento e desenvolvimento de bivalves. O segundo estudo foi direcionado para a caracterização da atividade acústica do mexilhão *Perna perna* em laboratório. Foram feitas 4.344 seleções de atividades acústicas do bivalve. O pico de frequência do mexilhão variou de 0,14 a 23, 90 kHz ( $\bar{x} = 8 \pm 6$  kHz). A maior concentração de atividade ocorreu na classe de 4 – 6 kHz (39 % / N = 1.665). O pico de potência variou entre 43 e 105 dB re 1  $\mu$ Pa ( $\bar{x} = 63 \pm 7$  dB re 1  $\mu$ Pa). A análise de variação da frequência, mostrou que a maior parte das atividades ocorreram na classe inicial de 0 – 4 kHz (33% / N = 1.443) e na classe final de 20 – 24 kHz (23% / N = 933). Em relação a duração do sinal, os dados mostraram que até 95 % das atividades possuíram duração de até 0,03 segundos, com maior concentração na classe de 0,01 – 0,02 s (47 % / N = 2.121). Em relação a taxa de atividade acústica, foi constatado pelos testes estatísticos, que a mesma é dependente das densidades amostrais da população. Os resultados forneceram subsídios para se estimar a densidade populacional do mexilhão a partir de sua atividade acústica. Além de ser um passo importante para seu monitoramento em uma escala espacial e temporal.

Palavras-chave: Mytilidae, Atividade acústica, Comportamento. Ecologia acústica, Paisagem acústica submarina.

**ABSTRACT**

The bioacoustics and the soundscape ecology together, may offer new possibilities for the development of studies with marine organisms. The present work, produced a study considering the respective acoustic areas and the bivalves. First, was developed a review study about the bivalves using the acoustic approach. This work, in addition to the review, provided information on marine bioacoustics and the soundscape. The research revealed the existence of 12 species, belonging to 6 families in 16 publications. The main species found were *Crassostrea virginica*, *Mytilus edulis* and *Pecten maximus*, belonging to the families Ostreidae, Mytilidae and Pectinidae, respectively. In addition to characterization and detection studies, the research found information on the influence of sound on recruitment and on larval settlement, as well as on acoustic impacts on bivalve behavior and development. The second study was directed to the characterization of the acoustic activity of the mussel *Perna perna* in laboratory. The second study was directed to the characterization of the acoustic activity of the brown mussel *Perna perna*. There were 4.344 selections of acoustic activities of the bivalve. The sounds were related to valve movements and identified as impulsive events. The mussel's peak frequency ranged from 0.14 to 23.90 kHz ( $\bar{x} = 8 \pm 6$  kHz). The highest activity concentration occurred in the 4 - 6 kHz band (N = 1.665). The peak power ranged from 43 to 105 dB re 1  $\mu$ Pa ( $\bar{x} = 63 \pm 7$  dB re 1  $\mu$ Pa). The frequency variation analysis showed that most of the activities occurred in the initial class of 0 - 4 kHz (33% / N = 1443) and in the final class of 20 - 24 kHz (23% / N = 933). Regarding signal duration, the data showed that up to 95% of activities had a duration of up to 0.03 seconds, with a higher concentration in the class of 0.01 - 0.02 s (N = 2.121). According to statistical tests, the acoustic activity rate is dependent on the sample densities of the population. The results provided subsidies for population density estimation of the mussel from its acoustic activity. In addition, can be an important step for its monitoring over a spatial and temporal scale.

Key-words: Mytilidae, Acoustic activity, Behavior, Acoustic ecology, Underwater soundscape.

## SUMÁRIO

1.0 ESTRUTURA DO DOCUMENTO .....	09
1.1 INTRODUÇÃO .....	09
2.0 OBJETIVO.....	12
2.1 OBJETIVOS GERAL .....	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	12
3.0 CAPÍTULO 1: A RELAÇÃO ENTRE OS BIVALVES E A PAISAGEM ACÚSTICA SUBMARINA: uma revisão .....	13
3.1 INTRODUÇÃO.....	14
3.2 ACÚSTICA SUBMARINA: BREVE HISTÓRICO .....	15
3.3 PAISAGEM ACÚSTICA SUBMARINA .....	18
3.4 A IMPORTÂNCIA DO MONITORAMENTO DE BIVALVES .....	20
3.5 ESTUDOS ACÚSTICOS RELACIONADOS A BIVALVES .....	21
3.6 CONCLUSÃO .....	28
3.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	29
4.0 CAPÍTULO 2: CARACTERIZAÇÃO DA ATIVIDADE ACÚSTICA DO BIVALVE <i>Perna perna</i> (Linnaeus, 1758) EM LABORATÓRIO.....	34
4.1 INTRODUÇÃO.....	35
4.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	37
4.2.1 Coleta e aclimatação dos mexilhões .....	37
4.2.2 Experimento em laboratório .....	39
4.2.3 Análise de dados acústicos .....	42
4.3 RESULTADOS .....	44
4.3.1 Caracterização acústica .....	44
4.3.2 Taxa atividade acústica .....	51
4.3.3 Análises estatísticas .....	53
4.4 DISCUSSÃO .....	53
4.5 CONCLUSÃO .....	55
4.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56
5.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	61
6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63

## 1.0 ESTRUTURA DO DOCUMENTO

A dissertação está organizada em seis partes. A ordenação está definida em 1.1 Introdução, 2.0 Objetivos, 3.0 Capítulo 1, 4.0 Capítulo 2, 5.0 Considerações finais e 6.0 Referências bibliográficas.

Na primeira parte, a Introdução apresenta uma visão da necessidade de novas abordagens para os estudos relacionados a biodiversidade, com ênfase em bivalves e a devida contribuição do presente estudo para área de pesquisa.

A seguir, na segunda parte são apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos.

A terceira parte apresenta o 1 Capítulo com o artigo: A relação entre os bivalves e a paisagem acústica submarina: uma revisão. O estudo trata de um levantamento bibliográfico sobre estudos acústico envolvendo bivalves e a relação desses moluscos com a paisagem acústica. Além de abordar temas como monitoramento acústico passivo e bioacústica marinha.

A quarta parte apresenta o segundo Capítulo com o artigo: Caracterização da atividade acústica do bivalve *Perna perna* (Linnaeus, 1758) em laboratório. A pesquisa caracteriza a assinatura acústica do mexilhão estudado e verifica a dependência da atividade acústica em relação a diferentes densidades amostrais.

A quinta parte apresenta as considerações finais baseadas nos resultados e no desenvolvimento das pesquisas.

A sexta parte apresenta as referências bibliográficas.

### 1.1 INTRODUÇÃO

Atualmente, as principais problemáticas ambientais, como o aquecimento global, as mudanças climáticas e o desaparecimento de habitats, comprometem a biodiversidade (ROOT et al., 2003). Tais situações, tornam urgente novas formas de monitoramento dos seres vivos (LAILOLO et al., 2008). Assim, a bioacústica junto a ecologia da paisagem acústica, são ferramentas que podem fornecer dados importantes sobre o modo de vida de um determinado organismo ou mostrar uma visão holística de uma dada comunidade (FARINA, 2014; HARRIS & RADFORD, 2014).

De forma geral, a bioacústica marinha possui princípios, técnicas e tecnologias que podem ser usados para detectar, localizar, rastrear e obter dados estatísticos sobre animais marinhos. Além disso, esse campo de pesquisa é multidisciplinar (AU & HASTINGS, 2008) e conhecimentos em biologia, fisiologia, física, medicina veterinária, matemática, estatística e engenharia elétrica são importantes para compreensão de seus desdobramentos (KRAUSE, 2008).

Todos os sons, sejam eles produzidos por uma fonte biológica, uma fonte ambiental ou antropogênica, transmitem informações e podem ser usadas por organismos em sua luta pela sobrevivência (FARINA, 2014). Por exemplo, os organismos marinhos utilizam o som em diversas ações, tais como capacidade auditiva, produção de som, comunicação, comportamento de forrageio, navegação ou qualquer outra característica que tenha a ver com sua história natural (KRAUSE, 2008). A bioacústica também é extremamente eficiente para detectar mudanças sutis no repertório acústico, além de permitir o monitoramento de organismos usando uma abordagem mais rigorosa (FARINA, 2014). Sons de organismos carregam uma quantidade considerável de informações. No entanto, há pouca compreensão sobre o significado, o contexto social e como esses sons afetam o comportamento desses organismos (AU & HASTINGS, 2008). A possibilidade de medir os sons produzidos por esses seres vivos, representa uma rota obrigatória para abordar uma dinâmica ecológica através da acústica (DERRYBERRY, 2009).

Diversos grupos de organismos são pesquisados através da acústica (POPPER & RICHARD, 2011; HATCH et al., 2012; HEILER et al., 2016). No entanto, os estudos com invertebrados ainda são poucos, porém vem crescendo nas últimas décadas (WILLIAMS et al., 2015). A maior parcela dos estudos, para esse grupo de organismos, é voltado para os crustáceos (BUTLER et al., 2016). Apesar de sua grande importância para o ecossistema marinho, os moluscos bivalves representam uma pequena parcela destas pesquisas, por isso pouco se sabe sobre a detecção de som e a sensibilidade desses organismos (CHARIFI et al., 2017).

Existem motivos importantes para os bivalves serem estudados inclusive pelo ponto de vista acústico. Dentre as espécies consideradas bioinvasoras, um dos filos que possui um grande número, é o Mollusca (CARLTON, 1999). Os bivalves marinhos, introduzidos, podem influenciar as relações ecológicas entre as espécies nativas e modificar a estruturação e o desenvolvimento das comunidades receptoras, principalmente em um ecossistema de costão rochoso (TEIXEIRA et al., 2010). Essas

características de modificação e estruturação do ambiente são associadas a organismos engenheiros do ecossistema (BORTHAGARAY & CARRANZA, 2007). Esses organismos podem alterar a disponibilidade de fatores bióticos e abióticos influenciando a biodiversidade da região (JONES et al., 1997). Além disso, os cultivos de bivalves possuem uma grande importância socioeconômica e podem abranger desde sistemas desenvolvidos em nível familiar, até em escala empresarial de grande porte (BARROSO et al., 2007).

Para agregar informações sobre os estudos acústicos relacionados aos bivalves, o presente estudo fez uma pesquisa de revisão do tema, caracterizou a assinatura acústica do mexilhão *Perna perna* e verificou sua dependência em relação a densidades amostrais da população. Os pontos abordados no estudo foram distribuídos em dois artigos.

O artigo de revisão, teve o objetivo de fazer um levantamento dos estudos acústicos envolvendo bivalves. A finalidade foi verificar as espécies pesquisadas e analisar as metodologias aplicadas. Além de levantar informações sobre a acústica submarina, a paisagem acústica e o monitoramento acústico passivo.

O artigo sobre a caracterização acústica, visou analisar o som emitido do mexilhão *Perna perna*. Nesse estudo foram investigadas as variações nos parâmetros acústicos e as mudanças da atividade acústica em relação as densidades amostrais da população.

## **2.0 OBJETIVOS.**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

- Realizar uma revisão de estudos acústicos envolvendo bivalves (Capítulo 1).
- Caracterizar a atividade acústica do mexilhão *Perna perna* em laboratório visando sua aplicabilidade no ambiente natural (Capítulo 2).

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Verificar as espécies de bivalves utilizadas em estudos acústicos (Capítulo 1).
- Identificar as metodologias aplicadas nos estudos acústicos envolvendo bivalves (Capítulo 1).
- Avaliar a variação dos parâmetros do sinal acústico da espécie estudada (Capítulo 2).
- Avaliar a variação da atividade acústica do mexilhão em relação às densidades amostrais da população (Capítulo 2).

## 3.0 CAPÍTULO 1

# A RELAÇÃO ENTRE OS BIVALVES E A PAISAGEM ACÚSTICA SUBMARINA: uma revisão

**Autores:** Ubirajara Gonçalves de Melo Junior<sup>1</sup>, Fábio Contrera Xavier<sup>1</sup>, Daniel Campbell<sup>1</sup>, Nilce Silveira<sup>1</sup>, Leonardo Leão Versiani<sup>1</sup>, Rodrigo Cumplido<sup>1</sup>, Marcelo Tardelli Rodrigues<sup>1</sup>, Eduardo B. Fagundes Netto<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Programa Associado de Pós-Graduação em Biotecnologia Marinha (PPGBM), Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM) e Universidade Federal Fluminense (UFF), Arraial do Cabo, Brasil

### RESUMO

Os bivalves possuem grande importância para o ambiente costeiro. Sendo assim, foi desenvolvido um estudo de revisão sobre as pesquisas de bivalves relacionado a acústica. Esse trabalho além da revisão, forneceu informações sobre a acústica submarina e a paisagem acústica. A pesquisa revelou a existência de 12 espécies, pertencentes a 6 famílias encontrados em 16 estudos acústicos envolvendo bivalves. As principais espécies encontradas nas publicações foram *Crassostrea virginica*, *Mytilus edulis* e *Pecten maximus*, pertencentes as famílias Ostreidae, Mytilidae e Pectinidae respectivamente. A revisão também revelou diferentes aplicações em estudos de bivalves com a abordagem acústica. Além dos estudos de caracterização e detecção, a pesquisa encontrou trabalhos sobre a influência do som no recrutamento e no assentamento larval e também sobre os impactos acústicos no comportamento e no desenvolvimento desses moluscos. Dessa forma, com base nas informações encontradas, o estudo mostrou dados importantes para o desenvolvimento de pesquisas de bivalves referente a acústica.

### 3.1 INTRODUÇÃO

Os moluscos bivalves possuem grande importância ecológica e econômica para os ecossistemas costeiros (JONES et al., 1997; BORTHAGARAY & CARRANZA, 2007; BARROSO et al., 2007; DI IORIO et al., 2012). Atualmente, alguns bivalves tem sido alvo de estudos acústicos (ROBERTS et al., 2015; PENG et al., 2016; CHARIFI et al., 2017). Esses estudos demonstram que os sons emitidos por bivalves podem integrar de forma significativa a paisagem acústica (DI IORIO et al., 2012; COQUEREAU et al., 2016). Outras pesquisas evidenciam que espécies sofrem influência direta de elementos da paisagem acústica como a antropofonia (ZHADAN, 2005; WILKENS et al., 2012; JOLIVET et al., 2016) ou até mesmo da biofonia (HUGHES et al., 2014; LILLIS et al., 2015). Resultados de pesquisa também indicam que as larvas de bivalves podem responder a adição de sons por meio de *playbacks*. Tais evidências sugerem que a paisagem acústica é passível de ser manipulada (LILLIS et al., 2015).

A paisagem acústica é ecologicamente relevante em todos os ambientes; no entanto, no ambiente submarino, devido à eficiência de transmissão de sons, a paisagem acústica pode ser especialmente importante para entendermos melhor os processos ecológicos marinhos (COTTER, 2008). Comparado com outros recursos de sinais sensoriais em ambiente marinho, tais como luz e produtos químicos, o som está presente em todas as profundidades e opera independentemente das correntes oceânicas (AU & HASTINGS, 2008).

O monitoramento da biodiversidade é considerado imprescindível para a conservação das espécies e seus ecossistemas. Neste sentido, a paisagem acústica ecológica apresenta-se como um recurso natural passível de monitoramento, possuindo uma visão holística dos sons produzidos pelo meio ambiente (PIJANOWSKI et al., 2011).

No campo da biologia da conservação, há um crescente reconhecimento acerca do valor ecológico e social da paisagem acústica. O monitoramento acústico passivo pode fornecer detalhes da saúde do habitat em tempo real, além de possuir impactos desprezíveis ao meio ambiente. As técnicas acústicas podem, também, evidenciar diversos efeitos das atividades humanas como a fragmentação de habitats, a poluição sonora, o declínio populacional através da caça e outros fatores que podem alterar o padrão natural (HARRIS & RADFORD, 2014).

Dada a importância econômica e ecológica dos moluscos bivalves para os ecossistemas costeiros e as notórias vantagens que as técnicas acústicas podem proporcionar, o presente estudo realizou uma revisão sobre a produção de estudos sobre os bivalves utilizando a abordagem acústica.

### **3.2 ACÚSTICA SUBMARINA: BREVE HISTÓRICO**

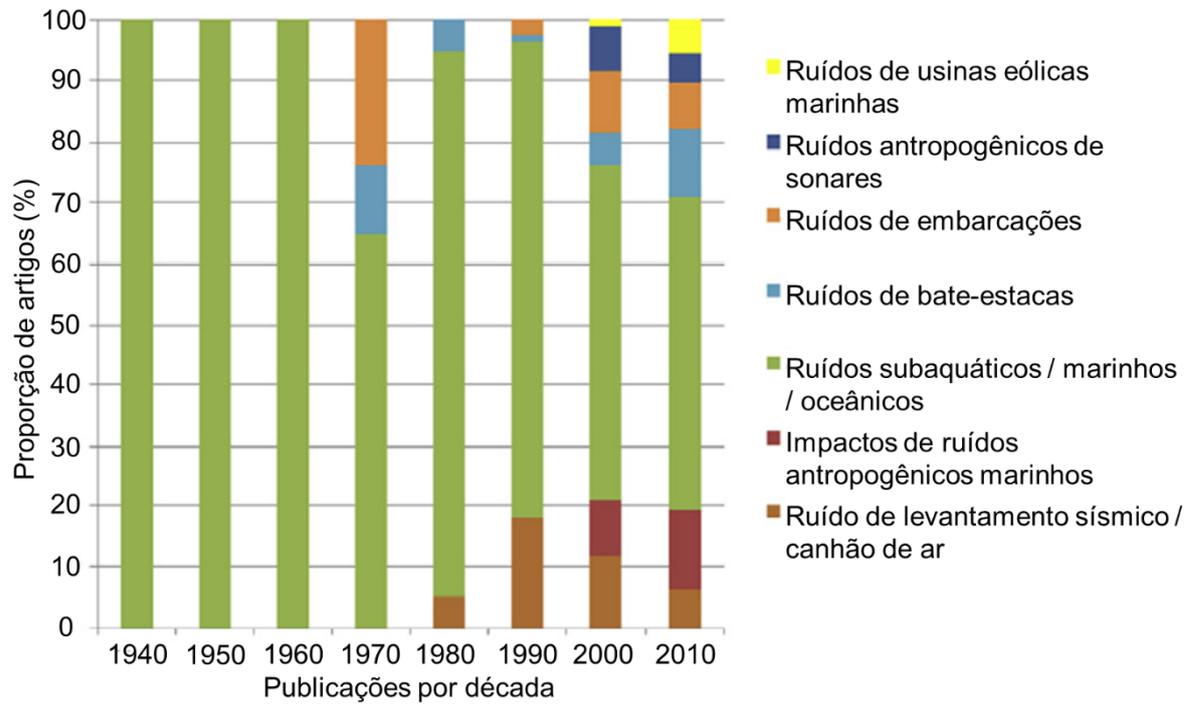
As primeiras observações sobre os fenômenos acústicos submarinos ocorreram em 1490 por Leonardo Da Vinci. Na ocasião, foi constatado que era possível ouvir embarcações a uma grande distância utilizando um longo tubo, o qual uma extremidade encontrava-se ao ouvido e a outra submersa (BURDIC, 1991). Em 1827, na Suíça, Daniel Colladon e Charles Sturm realizaram a primeira medição da velocidade do som no ambiente subaquático (URICK, 1983).

No século XIX, muitos físicos estudaram o fenômeno da transdução, que consiste na conversão da eletricidade em som e vice-versa (BURDIC, 1991). No entanto, em 1880, foi creditado aos irmãos Pierre e Jacques Curie a descoberta do efeito piezoelétrico, fenômeno que consiste na geração de um campo elétrico/magnético ao se aplicar uma força na superfície de certos cristais (URICK, 1983). Esses estudos são considerados os alicerces para invenções como o telefone, o sistema de sonar, o hidrofone e outros (URICK, 1983).

Em 1912, o naufrágio do Titanic fez surgir a necessidade de uma navegação segura (BURDIC, 1991). Alguns anos depois, no período das guerras mundiais (1914 - 1945), surgiu o interesse pelo estudo da propagação acústica tanto em águas rasas quanto em águas profundas, motivados por questões de defesa naval (URICK, 1983).

Em 1940, ocorreram as primeiras publicações sobre os ruídos dos oceanos. A partir dos anos 70, houve uma crescente diversidade de tópicos sobre o assunto. Além dos interesses físicos, impactos ecológicos do ruído, gestão e política passaram a fazer parte desses estudos (WILLIAMS et al., 2015) (Figura 1).

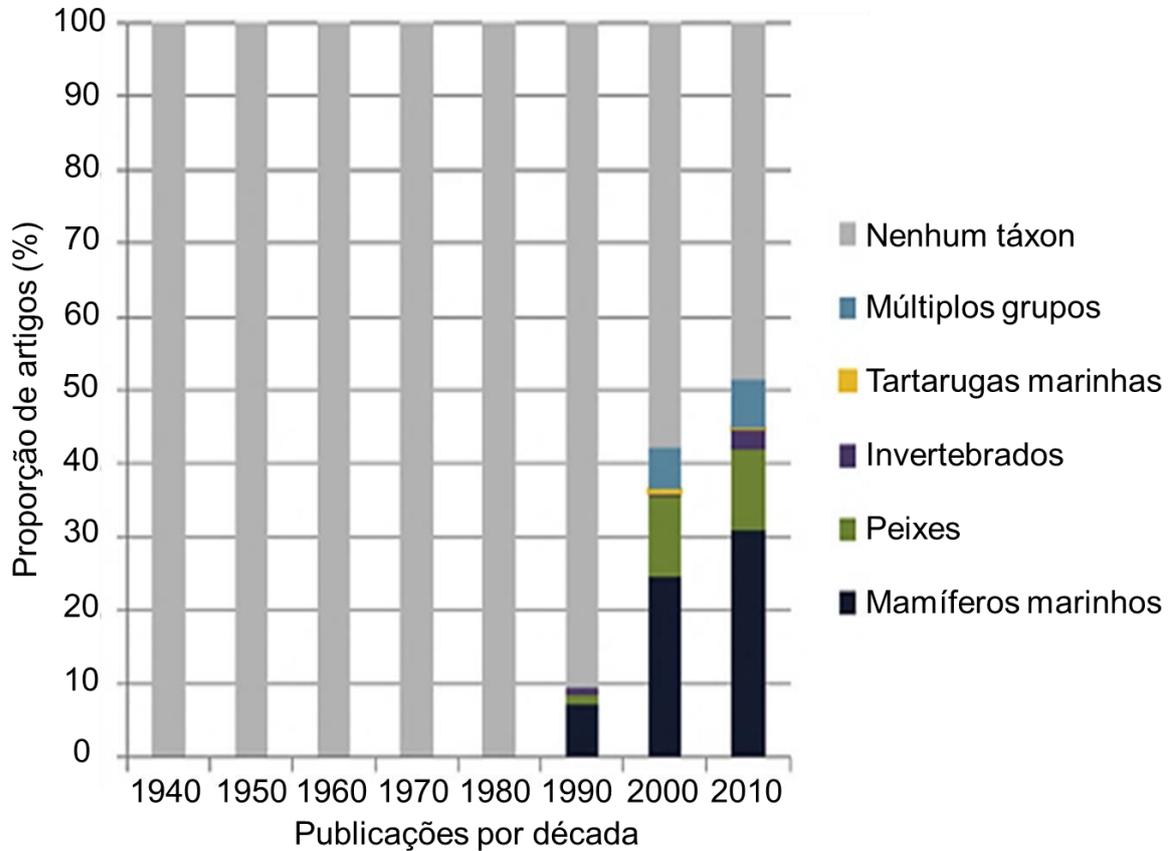
Figura 1: Proporção de estudos acústicos sobre os ruídos dos oceanos através das décadas.



Fonte: Adaptado de WILLIAMS et al., 2015

Os primeiros estudos bioacústicos, no ambiente marinho, tiveram início nos anos 90, impulsionados principalmente por pesquisas relacionadas a mamíferos marinhos, seguido por estudos sobre espécies de peixes (WILLIAMS et al., 2015). As pesquisas envolvendo os invertebrados são consideradas escassas (CHARIFI et al., 2017), ainda que as publicações tenham duplicado nas últimas duas décadas (WILLIAMS et al., 2015) (Figura 2).

Figura 2: Proporção de estudos acústicos por grupos de organismos através das décadas.



Fonte: Adaptado de WILLIAMS et al., 2015

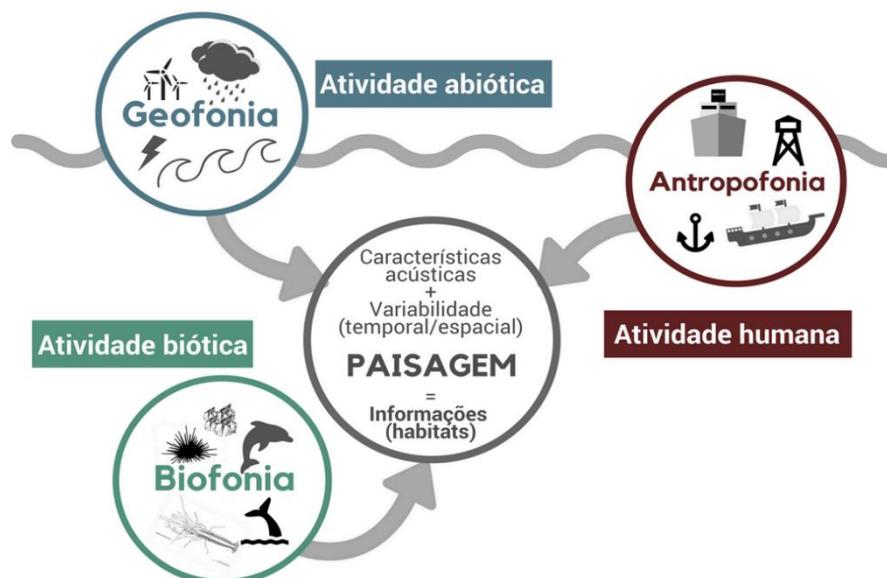
Os dados referentes as figuras 1 e 2 apresentam a proporção de publicações de estudos acústicos através das décadas em relação a diferentes ruídos oceânicos e grupos de organismos. A figura 1 demonstra que os estudos sobre ruídos oceânicos só se iniciaram em 1940 e começaram a se diversificar em 1970, enquanto os estudos acústicos envolvendo os diferentes grupos de organismos foram iniciados apenas em 1990. Assim como estudos sobre ruídos oceânicos, os estudos acústicos envolvendo os diferentes organismos começaram a se diversificar ao avançar das décadas abrangendo novos grupos de organismos. Além da diversificação dos estudos, ambas as figuras demonstram o aumento da proporção de estudos realizados através das décadas.

### 3.3 PAISAGEM ACÚSTICA SUBMARINA

O termo paisagem acústica tem sido usado para descrever a relação entre a paisagem e a composição de seus sons (FARINA, 2014). O trabalho de Southworth (1969), sobre a paisagem acústica urbana, foi um dos primeiros a utilizar o termo. Quase uma década mais tarde, Schafer (1977), em seus estudos, reconheceu que os sons são propriedades ecológicas da paisagem, afirmando que as características acústicas de uma área podem refletir seus processos naturais. Tempos depois, Krause (1987), em seu artigo, dirigiu seu olhar para a descrição da complexa disposição entre os sons biológicos e os sons do ambiente abiótico, introduzindo o termo biofonia, para retratar os sons oriundos de organismos e geofonia para os sons de origem geográfica.

Pijanowski et al. (2011), incluiu o termo antropofonia, para estender a definição de paisagem acústica. Antropofonia refere-se aos sons produzidos pelas atividades humanas. Portanto, paisagem acústica pode ser definida por todos os sons originados da paisagem natural. Estes sons podem ser de origem biológica (biofonia), ambiental (geofonia) e antropogênica (antropofonia). Juntos, a biofonia, a geofonia e a antropofonia podem compreender uma única assinatura acústica, a qual pode variar em uma escala espacial e temporal (Figura 3).

Figura 3: Tipos de sons componentes da paisagem acústica

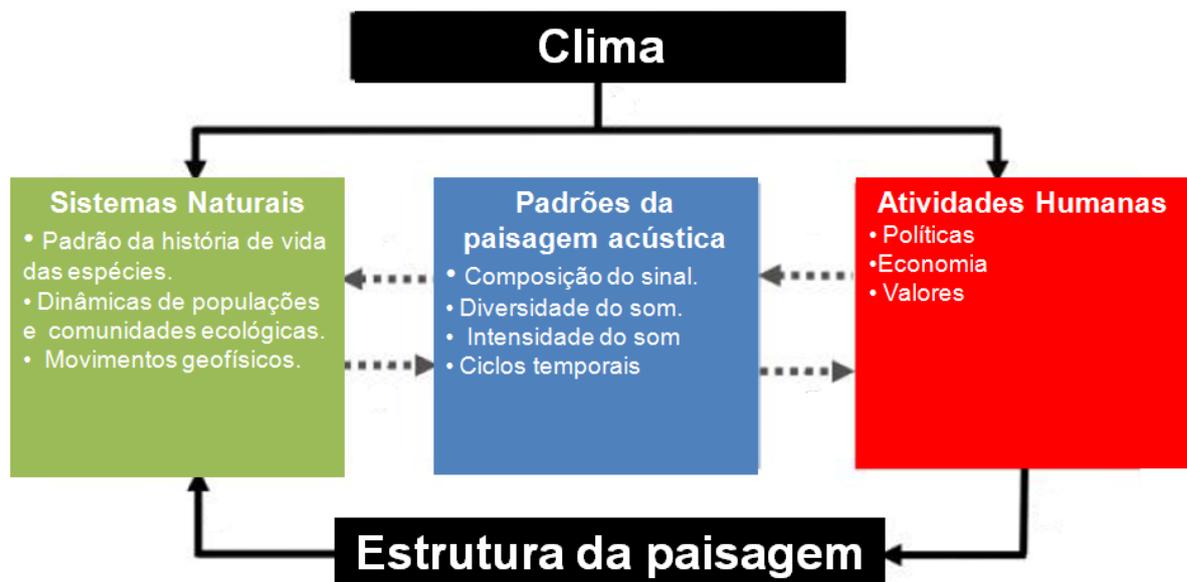


Fonte: CAMPBELL, 2018

A paisagem acústica de uma maneira geral, pode ser mensurada a partir de um sistema de registro digital automatizado. Um gravador acústico digital armazena a cronometragem e a intensidade do som, que é detectado por microfones, os quais permitem ao processador de sinal reconstruir a distribuição de frequência e da intensidade do sinal ao longo do tempo (PIJANOWSKI et al., 2011).

A base da paisagem acústica ecológica emerge da interação dos sistemas naturais e antropogênicos. Uma vez que os princípios básicos da paisagem acústica são comuns aos da paisagem natural, ambas podem sofrer alterações nos padrões espaciais e temporais devido à interatividade humana com meio natural (SCHAFER, 1977; LIU et al., 2007). As mudanças na paisagem acústica podem afetar substancialmente os padrões ecológicos do ambiente (BARBER et al., 2009). O clima é outro fator que pode alterar a paisagem acústica, pois está profundamente ligado aos padrões de movimentos geofísicos e a distribuição das espécies, influenciando, respectivamente, a geofonia e a biofonia (CURRIE, 1991). Vale ressaltar que a geofonia, a biofonia e a antropofonia integradas, compõem a paisagem acústica, que é parte significativa dos processos naturais. (Figura 4)

Figura 4: Esquema conceitual para ecologia de paisagem sonora.



Fonte: Adaptado de PIJANOWSKI et al., 2011

As pesquisas utilizando paisagem acústica vêm emergindo em habitats marinhos ecologicamente importantes (LILLIS et al., 2014a). Na Nova Zelândia, foram realizados estudos para descrever os padrões acústicos de habitats costeiros de clima temperado (RADFORD et al., 2008b). Habitats tropicais de recifes de corais, de regiões do Panamá e do Caribe, foram comparados, em análises acústicas, em relação as suas distribuições de frequência, variabilidades temporais e padrões acústicos biológicos (STAATERMAN et al., 2013). Em uma região da Irlanda foi mensurada a heterogeneidade espacial do ambiente marinho costeiro utilizando técnicas acústicas (MCWILLIAM & HAWKINS, 2013).

#### 4.6 A IMPORTÂNCIA DO MONITORAMENTO DE BIVALVES

Um impacto ambiental de grande relevância que ocorre em regiões de zona portuária é a bioinvasão (SILVA & SOUZA, 2004). A diversidade biológica marinha vem sendo afetada através dos tempos devido à introdução de espécies exóticas por meio das atividades humanas (CARLTON, 1999). Os principais meios de bioinvasão em ambientes marinhos ocorrem através da incrustação de organismos em cascos de navios e a descarga de água de lastro. Esses fatores podem trazer danos permanentes ao equilíbrio ecológico dos ecossistemas marinhos (SILVA & SOUZA, 2004).

Dentre as espécies introduzidas, um dos filos que possui um grande número é o Mollusca (CARLTON, 1999). Os membros do filo Mollusca estão entre os animais invertebrados mais abundantes em número de espécies, atrás apenas dos artrópodes (RUPPERT & BARNES, 1996).

A distribuição de muitas espécies de moluscos marinhos tem sido alterada dramaticamente pelos movimentos humanos. Ao longo dos séculos, diversas espécies de moluscos podem ter sido introduzidos em vários ecossistemas através de incontáveis jornadas de embarcações (CARLTON, 1999). Algumas espécies de moluscos foram incluídas entre as cem espécies com o maior potencial invasor do mundo em uma lista publicada pela *The World Conservation Union* (IUCN, 2000). Sendo metade desses moluscos pertencentes à classe Bivalvia.

No Brasil, bivalves como *Isognomon bicolor*, *Perna perna*, *Myoforceps aristatus* e *Mytilopsis leucophaet*, entraram na lista das espécies marinhas invasoras do país em um documento publicado pelo Ministério do Meio Ambiente (LOPES et al., 2009).

Os bivalves marinhos, introduzidos em diversas partes do mundo, podem influenciar nas relações ecológicas entre as espécies nativas e modificar a estruturação e o desenvolvimento das comunidades receptoras, principalmente em ecossistemas de costões rochosos (TEIXEIRA et al., 2010).

Alguns bivalves invasores podem ser considerados organismos engenheiros do ecossistema físico. Organismos engenheiros podem afetar a disponibilidade de recursos para outros seres vivos direta ou indiretamente, causando mudanças nos fatores bióticos e abióticos do ecossistema, sendo capazes de diminuir ou aumentar a diversidade (JONES et al., 1997).

Os cultivos de bivalves podem abranger desde sistemas desenvolvidos em nível familiar, visando principalmente à comercialização local, até a escala empresarial com comercialização em níveis regional, nacional ou mesmo internacional (BARROSO et al., 2007).

### **3.5 ESTUDOS ACÚSTICOS RELACIONADOS A BIVALVES**

Na revisão, foram encontradas 12 espécies, pertencentes a 6 famílias em 16 estudos acústicos envolvendo bivalves. As famílias Pectinidae (*Mizuhopecten yessoensis*, *Chlamys Swifti*, *Pecten maximus* e *Mimachlamys varia*), Mytilidae (*Mytilus edulis*, *Mytilus galloprovincialis*, *Perna canaliculus*), e Ostreidae (*Magallana gigas* e *Crassostrea virginica*) foram as mais representativas em número de espécies por família, seguidas das famílias Donacidae (*Donax variabilis*), Solecurtidae (*Sinonovacula constricta*) e Veneridae (*Mercenaria mercenaria*) (Tabela 1).

Tabela 1: Lista das espécies de bivalves encontradas em estudos acústicos.

<b>FAMÍLIAS</b>	<b>ESPÉCIES</b>	<b>ESTUDOS</b>
<b>Donacidae</b>	<i>Donax variabilis</i> (Say, 1822)	ELLERS, 1995
<b>Mytilidae</b>	<i>Perna canaliculus</i> (Gmelin, 1791)	WILKENS et al., 2012
<b>Mytilidae</b>	<i>Mytilus edulis</i> (Linnaeus, 1758)	ROBERTS et al., 2015 / JOLIVET et al., 2016
<b>Mytilidae</b>	<i>Mytilus galloprovincialis</i> (Lamarck, 1819)	VAZZANA et al., 2016
<b>Ostreidae</b>	<i>Magallana gigas</i> (Thunberg, 1793)	CHARIFI et al., 2017
<b>Ostreidae</b>	<i>Crassostrea virginica</i> (Gmelin, 1791)	LILLIS et al., 2013 / LILLIS et al., 2014a / LILLIS et al., 2014b / LILLIS & HOLE, 2015 / LILLIS et al., 2015
<b>Pectinidae</b>	<i>Mizuhopecten yessoensis</i> (Jay, 1857)	ZHADAN, 2005
<b>Pectinidae</b>	<i>Chlamys swifti</i> (Bernardi, 1858)	ZHADAN, 2005
<b>Pectinidae</b>	<i>Pecten maximus</i> (Linnaeus, 1758)	DI IORIO et al., 2012
<b>Pectinidae</b>	<i>Mimachlamys varia</i> (Linnaeus, 1758)	COQUEREAU et al., 2016
<b>Solecurtidae</b>	<i>Sinonovacula constricta</i> (Lamarck, 1818)	PENG et al., 2016
<b>Veneridae</b>	<i>Mercenaria mercenaria</i> (Linnaeus, 1758)	HUGHES et al., 2014

Para melhor compreensão dos estudos acústicos envolvendo bivalves foi feito um resumo de cada trabalho desenvolvido através das décadas em ordem cronológica.

Ellers (1995), demonstrou a capacidade da espécie *Donax variabilis* de detectar vibrações produzidas pelas ondas de alta e baixa maré. Segundo o estudo, o bivalve utiliza essa habilidade para migrar em direção à praia com a maré alta e para o mar com a maré vazante.

Zhadan (2005), investigou sensibilidade direcional da vieira Japonesa *Mizuhopecten yessoensis* e da vieira *Chlamys swifti*, em resposta às vibrações transmitidas pela água. Ambas as espécies apresentaram sensibilidade aos testes com vibrações sonoras.

Wilkens et al. (2012), estudaram sobre indução do assentamento de larvas do mexilhão *Perna canaliculus* pelo ruído de embarcações. Seus resultados sugerem que os sons subaquáticos que emanam das embarcações podem ser um fator que aumenta a incrustação pelos mexilhões.

Di Iorio et al. (2012), registraram o movimento da valva da espécie *Pecten maximus* usando o monitoramento acústico passivo. O movimento das valvas foi um fator preponderante para a caracterização da assinatura acústica e sua detecção no ambiente natural. O estudo também ressaltou que o registro acústico é um método poderoso e não intrusivo para o monitoramento a longo prazo do comportamento da espécie estudada.

Em sua pesquisa, Lillis et al. (2013), contrastaram as características acústicas de habitats de bancos de ostras e habitats de fundo não consolidado e investigaram o efeito do som estuarino associado ao habitat nos padrões de assentamento do bivalve *Crassostrea virginica*. Os resultados sugerem que as larvas de ostras têm a capacidade de responder a sons indicativos de locais ótimos de assentamento.

No ano posterior, Lillis et al. (2014a), compararam três áreas em um ambiente estuarino, as quais revelaram padrões acústicos distintos entre o habitat de bancos de ostras e as outras duas áreas de fundo não consolidado. Segundo a pesquisa, a heterogeneidade da paisagem acústica entre as três áreas estudadas sugere que o som do ambiente poderia servir como um confiável indicador de tipos de habitats e potencialmente transmitir informações da qualidade do habitat para a dispersão de organismos.

Ainda no mesmo ano, Lillis et al. (2014b), publicaram um estudo que indica que o som associado a um habitat pode fornecer pistas para o assentamento de larvas estuarinas. A pesquisa demonstrou que a resposta a sinais sonoros relacionados ao habitat é um mecanismo viável para um melhor contato larval com o substrato de assentamento.

Hughes et al. (2014), mostraram que os sons de peixes podem alterar o comportamento de forrageamento de caranguejos, afetando a abundância do bivalve *Mercenaria mercenaria*. Estes resultados destacam que os sinais acústicos de predadores podem influenciar o comportamento das presas ao longo de uma gama de espécies de vertebrados e invertebrados, com um potencial efeito cascata.

No ano seguinte, Lillis et al. (2015), manipularam a paisagem acústica para aumentar o recrutamento de larvas do bivalve *Crassostrea virginica*. O estudo mostrou que as larvas do bivalve respondiam a adição da reprodução de sons de habitats, comparando áreas com estímulos e sem estímulos sonoros. As áreas com a adição da reprodução da paisagem acústica de um habitat adequado aumentaram significativamente o recrutamento de larvas do molusco. O resultado ressalta que a paisagem acústica pode contribuir para o assentamento de larvas de organismos para um dado ecossistema.

Ainda em 2015, Lillis e Hole (2015), publicaram um estudo que fornece uma visão geral das abordagens desenvolvidas, para caracterizar a paisagem acústica estuarina no que se refere à larva. Para apresentar as abordagens foi utilizado a paisagem acústica de bancos de ostras para expor processos e estruturas conceituais que relacionam a influência acústica com o assentamento larval.

Roberts et al. (2015), estudaram a sensibilidade do mexilhão *Mytilus edulis* em relação a vibração do substrato em resposta ao ruído de origem antropogênica. O estudo encontrou mudanças comportamentais quanto ao estímulo de vibração. Tais mudanças comportamentais, da espécie, podem promover implicações ecossistêmicas e comerciais.

Peng et al. (2016), analisaram os efeitos do som antropogênico no comportamento de escavação, no metabolismo e na expressão gênica do bivalve *Sinonovacula constricta*. Os resultados demonstram que os sons antropogênicos afetam a espécie em relação aos parâmetros analisados e sugerem que o som pode ser percebido pelo bivalve, através das mudanças no movimento das partículas da água.

Vazzana et al. (2016), examinaram os efeitos de sinais acústicos gerados em laboratório sobre o comportamento e a bioquímica do mexilhão *Mytilus galloprovincialis*. As respostas oriundas dos mexilhões expostos a sons de baixa frequência, permitem supor um papel ecológico para este som. Os sons em baixa frequência podem ser emitidos tanto pelo tráfego marítimo quanto emissões acústicas de peixes.

Coquereau et al. (2016), estudaram a produção sonora e o comportamento de invertebrados bentônicos associados a um habitat costeiro no nordeste do Atlântico. Os invertebrados foram gravados em tanques e seus sons caracterizados. Também foi determinado quais tipos de sons podem ser detectados acima do ruído ambiente natural e adequados para monitoramento *in situ*. Entre as espécies estudadas constavam os bivalves *Pecten maximus* e *Mimachlamys varia*.

Jolivet et al. (2016), também utilizaram técnicas acústicas para validar hipóteses sobre o assentamento de larvas do bivalve *Mytilus edulis* em resposta a condições tróficas e a ruídos subaquáticos de origem antrópica. Em condições de laboratório, foi testada a hipótese de que o picoplâncton, além de servir como alimento para a larva do bivalve, interage com os sons antrópicos. Os resultados confirmaram claramente a hipótese, com significativa sinergia, em relação aos efeitos dos fatores tróficos e antropogênicos como elementos importantes no assentamento larval do molusco estudado.

Charifi et al. (2017), investigaram a influência do som nas ostras *Magallana gigas*. O estudo mostrou o mecanismo biológico da ostra, envolvido na detecção do som e as consequências ecológicas provocadas pelos ruídos antropogênicos. Assim, grupos de ostras foram expostos a sons na faixa de 10 Hz a 20 kHz. Para a aquisição dos dados foram utilizados um acelerômetro fixado na concha e um hidrofone na coluna de água.

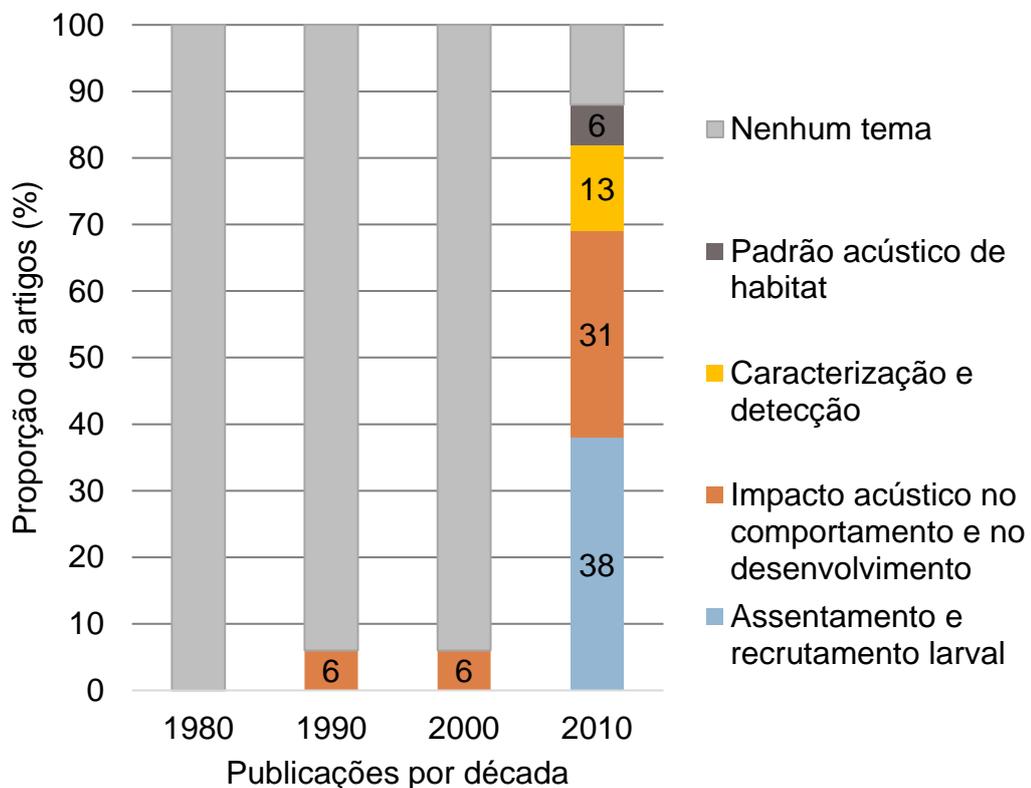
Segundo Rosario (2015), ainda que alguns trabalhos de bioacústica tenham sido realizados no Brasil, o tema pode ser considerado inexplorado, sendo os estudos existentes concentrados nas áreas de ecologia de aves, anuros, mamíferos terrestres e uma pequena extensão em mamíferos aquáticos.

No restante do planeta, o número de taxa, envolvendo estudos acústicos, vem crescendo através das últimas décadas, o número de espécies de bivalves estudadas por essa abordagem segue o mesmo padrão.



Na última década houve uma diversificação das aplicações envolvendo estudos acústicos relacionados aos bivalves. O tema mais abordado foi o impacto acústico no comportamento e desenvolvimento de bivalves (43%). Esse tema foi abordado durante as três últimas décadas. A espécie *Donax variabilis* foi estudada na década de 1990. As espécies *Mizuhopecten yessoensis* e *Chlamys swifti* na década de 2000. As outras espécies como *Mercenaria mercenaria*, *Mytilus edulis*, *Mytilus galloprovincialis*, *Sinonovacula constricta* e *Magallana gigas* foram pesquisadas durante a última década. Em seguida, veio o tema assentamento e o recrutamento larval por influência do som (38%). Esse tema, para bivalves, surgiu apenas a partir de 2010, envolvendo espécies como *Perna canaliculus*, *Mytilus edulis* e *Crassostrea virginica*. Os outros dois temas abordados também ocorreram na última década. O tema de caracterização e detecção do som de bivalves (13%) foi estudado com as espécies *Pecten maximus* e *Mimachlamys varia*. O tema sobre o padrão acústico de habitat (6%) foi desenvolvido em um banco de ostras da espécie *Crassostrea virginica*. (Figura 6).

Figura 6: Proporção de temas em estudos acústicos envolvendo bivalves através das décadas.



No Brasil, há diversos trabalhos envolvendo bivalves (RESGALLA et al., 2007; CASARINI & HENRIQUES, 2011; FREITAS & ABROLHOS, 2015). No entanto nenhum deles utiliza a abordagem acústica voltada para as questões socioeconômica e ecológica acerca dos bivalves.

### **3.6 CONCLUSÃO**

A revisão de estudos acústicos envolvendo bivalves encontrou 12 espécies, pertencentes a 6 famílias em 16 publicações. O levantamento também demonstrou a diversidade de aplicações que os estudos acústicos envolvendo bivalves podem apresentar. Além dos estudos de caracterização e detecção de bivalves, existem também os estudos relacionados a orientação de larvas desses moluscos, para o recrutamento e o assentamento. Existe também a possibilidade de estudos sobre os impactos do som no comportamento e desenvolvimento desses moluscos. Essas aplicações podem nortear futuros estudos acústicos com outras espécies de bivalves.

Esse trabalho considera a utilização da paisagem acústica uma abordagem eficaz para os estudos dos seres vivos no ambiente marinho, pois o som é mais eficiente que os outros tipos de energia, os quais poderiam ser utilizados para fins de acompanhamento ambiental. Os outros tipos de energia como a luz, são rigorosamente atenuados na água em comparação a energia sonora. Além disso, a paisagem acústica pode abranger, facilmente, uma área de monitoramento biológico maior que os métodos de amostragens tradicionais da biodiversidade, podendo ser conduzida com maior eficácia em largas escalas espaciais e temporais. Dentre os métodos de acompanhamento acústico, o monitoramento acústico passivo demonstra uma maior aplicabilidade, além de possuir impactos desprezíveis ao meio ambiente.

Devido ao potencial invasor dos bivalves e sua capacidade de influenciar as relações ecológicas entre as espécies, bem como modificar a estruturação e o desenvolvimento das comunidades, novas abordagens, como a acústica, tem se tornado indispensável para manter o equilíbrio ecológico dos ecossistemas marinhos. Além dos aspectos ecológicos, os moluscos bivalves podem ter grande importância social e econômico, beneficiando diversos setores da sociedade através de seu cultivo.

Os estudos citados no presente trabalho demonstraram que as técnicas acústicas são de utilização pertinente a diversas espécies de bivalves. No entanto,

ainda que alguns trabalhos de bioacústica tenham sido realizados no Brasil nenhum deles envolveu moluscos bivalves.

Dada a relevância socioeconômica e ecológica a respeito dos bivalves e as vantagens que as técnicas acústicas demonstram, o presente estudo espera contribuir e incentivar a produção de estudos sobre de bivalves utilizando técnicas acústicas.

### 3.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

AU, W. W. L.; HASTINGS, M. C. **Principles of marine bioacoustics**. [s.l.] Springer, 2008.

BARBER, J. R.; CROOKS, K. R.; FRISTRUP, K. M. The costs of chronic noise exposure for terrestrial organisms. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 25, n. 3, p. 180–189, 2009.

BARROSO, G. F.; HENRIQUE, L. H. S. P.; CAVALLI, O. R. **Sistemas de cultivos aquícolas na zona costeira do Brasil: recursos, tecnologias, aspectos ambientais e sócio-econômicos**. Rio de Janeiro: Museu Nacional, 2007.

BORTHAGARAY, C. A.; CARRANZA, A. Mussels as ecosystem engineers : their contribution to species richness in a rocky littoral community. **Acta oecologica**, v. 31, p. 243–250, 2007.

BRAVO, S. M. I. ; CHUNG, K. S.; PÉREZ, J. E. Salinity and temperature tolerances of the green and brown mussels , *Perna viridis* and *Perna perna* ( Bivalvia : Mytilidae ). **Biol. trop.**, v. 7, p. 121–125, 1998.

BURDIC, W. S. **Underwater Acoustic System Analysis**. 2nd. ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice - Hall, 1991.

BUTLER, J.; BUTLER, M. J. I.; GAFF, H. Acoustic-based model estimation of snapping shrimp populations and the effects of a sponge die-off. **bioRxiv**, p. 36, 2016.

CAMPBELL, D. A. **Estudo da paisagem acústica submarina na região do Arraial do Cabo, Rio de Janeiro, Brasil**. [s.l.] Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM) e Universidade Federal Fluminense (UFF), 2018.

CARLTON, J. T. Molluscan invasions in marine and estuarine communities. **Malacologia**, v. 41, n. 2, p. 439–454, 1999.

CASARINI, L. M.; HENRIQUES, M. B. Estimativa de estoque do mexilhão *Perna perna* e da espécie invasora *Isognomon bicolor* em bancos naturais da Baía de Santos, São Paulo, Brasil. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 37, n. 1, p. 1–11, 2011.

CHARIF, R. A.; WAACK, A. M.; STRICKMAN, L. M. **Raven Pro 1 . 4 user ' s manual** Ithaca, NYCornell Lab of Ornithology, , 2010.

CHARIFI, M. et al. The sense of hearing in the Pacific oyster , *Magallana gigas*. **PLoS ONE**, v. 12, p. 1–19, 2017.

COELHO-SOUZA, S. A. et al. Biophysical interactions in the Cabo Frio upwelling system , southeastern Brazil. **Brazilian journal of oceanography**, v. 60, n. 3, p. 353–365, 2012.

COQUEREAU, L. et al. Sound production and associated behaviours of benthic invertebrates from a coastal habitat in the north - east Atlantic. **Marine Biology**, n. May, p. 13, 2016.

CORTEZ, F. S. et al. Science of the Total Environment Ecotoxicological effects of losartan on the brown mussel *Perna perna* and its occurrence in seawater from Santos Bay ( Brazil ). **Science of the Total Environment**, v. 637–638, p. 1363–1371, 2018.

COTTER, A. J. The “soundscape” of the sea, underwater navigation, and why we should be listening more. Chapter. In: PAYNE, A.; COTTER, J.; POTTER, T. (Eds.). . **Advances in fisheries science:50 years on from Beverton and Holt**. Blackwell, Oxford: [s.n.]. p. 451–471.

CURRIE, D. J. Energy and large-scale patterns of animal- and plant-species richness. **American Naturalist**, p. 27–49, 1991.

DERRYBERRY, E. P. Ecology shapes birdsong evolution : variation in morphology and habitat explains variation in white-crowned sparrow song. **The American Naturalist**, v. 174, n. 1, p. 24–33, 2009.

DI IORIO, L. et al. Hydrophone detects cracking sounds: Non-intrusive monitoring of bivalve movement. **Journal of experimental Marine biology and ecology**, v. 432–433, n. October, p. 9–16, 2012.

ELLERS, O. Discrimination Among Wave-Generated Sounds by a Swash-Riding Clam. **Biological Bulletin**, v. 189, n. 2, p. 128–137, 1995.

FARINA, A. **Soundscape ecology: principles, patterns, methods and applications**. [s.l.] Springer Dordrecht Heidelberg London New York, 2014.

FREITAS, M.; ABROLHOS, R. Ictiofauna associada a um cultivo de mexilhão *Perna perna* ( Linnaeus , 1758 ) Norte Catarinense , Sul do Brasil. n. January 2010, 2015.

GUIMARAENS, A. M.; COUTINHO, R. Spatial and temporal variation of benthic marine algae at the Cabo Frio upwelling region , Rio de. **Aquatic Botany**, v. 52, p. 283–299, 1996.

HARRIS, S. A.; RADFORD, C. A. Marine Soundscape Ecology. **Inter-noise**, p. 1–9, 2014.

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.

HEILER, J. et al. Changes in bottlenose dolphin whistle parameters related to vessel presence , surface behaviour and group composition. **Animal Behaviour**, v. 117, n. June, p. 167–177, 2016.

HUGHES, A. R. et al. Predatory fish sounds can alter crab foraging behaviour and influence bivalve abundance. **Proceedings of the Royal Society. B**, v. 281, 2014.

IUCN. **100 de lãs especies exóticas invasoras más dañinas del mundo**. Disponível em: <<http://www.iucn.org>>. Acesso em: 10 out. 2018.

- JÉZÉQUEL, Y. et al. Sound characterization of the European lobster *Homarus gammarus* in tanks. **Youenn Jézéquel**, v. 27, p. 13–23, 2018.
- JOLIVET, A. et al. Validation of trophic and anthropic underwater noise as settlement trigger in blue mussels. **Scientific Reports**, v. 6, n. 1, p. 33829, 2016.
- JONES, C. G.; LAWTON, J. H.; SHACHAK, M. Positive and negative effects of organisms as physical ecosystem engineers. **Ecological Society of America**, v. 78, n. 7, p. 1946–1957, 1997.
- KRAUSE, B. Anatomy of the soundscape: Evolving perspectives. **AES: Journal of the Audio Engineering Society**, v. 56, n. 1–2, p. 73–80, 2008.
- KRAUSE, B. L. Bioacoustics, Habitat Ambience in Ecological Balance," *Whole Earth Review. Wild Sanctuary*, v. 57, p. 14–18, 1987.
- LAIOLO, P. et al. Song diversity predicts the viability of fragmented bird populations. **PLoS ONE**, v. 3, n. 3, p. 1–5, 2008.
- LASIAK, T.; DYE, A. The Ecology of the Brown Mussel *Perna perna* in Transkei , Southern Africa: Implications for the Management of a Traditional Food Resource. **Biological Conservation**, v. 47, p. 245–257, 1989.
- 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. 21–23, 2013.
- LILLIS, A.; EGGLESTON, D. B.; BOHNENSTIEHL, D. R. Estuarine soundscapes: Distinct acoustic characteristics of oyster reefs compared to soft-bottom habitats. **Marine Ecology Progress Series**, v. 505, p. 1–17, 2014a.
- LILLIS, A.; EGGLESTON, D. B.; BOHNENSTIEHL, D. R. Soundscape variation from a larval perspective: the case for habitat-associated sound as a settlement cue for weakly swimming estuarine larvae. **Marine Ecology Progress Series**, v. 509, n. August, p. 57–70, 2014b.
- LILLIS, A.; BOHNENSTIEHL, D. R.; EGGLESTON, D. B. Soundscape manipulation enhances larval recruitment of a reef-building mollusk. **PeerJ**, v. 3, n. June, p. e999, 2015.
- LILLIS, A.; HOLE, W. Soundscapes and Larval Settlement: Characterizing the Stimulus from a Larval Perspective. **Advances in Experimental Medicine and Biology**, v. 875, 2015.
- LIU, J. et al. Complexity of coupled human and natural systems. **Science**, v. 317, p. 5, 2007.
- LOPES, R. M. et al. **Informe sobre as espécies exóticas invasoras marinhas do Brasil**. Brasília, DF: [s.n.].
- MARENZI, A. W. C.; BRANCO, J. O. O mexilhão *Perna perna* (Linnaeus) (Bivalvia, Mytilidae) em cultivo na Armação do Itapocoroy, Santa Catarina, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 22, n. 2, p. 394–399, 2005.
- 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.
- NARCHI, W.; GALVÃO, B. M. S. *Revista Brasileira de Zoologia*. v. 14, n. 1, p. 135–168, 1997.
- PENG, C. et al. Effects of anthropogenic sound on digging behavior , activity , and metabolism-

related gene expression of the bivalve *Sinonovacula constricta*. n. March, p. 1–12, 2016.

PIERRI, B. S.; FOSSARI, T. D.; MAGALHÃES, A. R. M. O mexilhão. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 68, p. 404–414, 2016.

PIJANOWSKI, B. C. et al. Soundscape ecology: the science of sound in the landscape. **BioScience**, v. 61, n. 3, p. 203–216, 2011.

POPPER, A. N.; RICHARD, R. F. Rethinking sound detection by fishes. **Hearing research**, v. 273, p. 25–36, 2011.

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

RADFORD, C. A. et al. Temporal patterns in ambient noise of biological origin from a shallow water temperate reef. **Oecologia**, v. 156, p. 921–929, 2008b.

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

RESGALLA, C. et al. The effect of temperature and salinity on the physiological rates of the mussel *Perna perna* (Linnaeus 1758). **Brazilian archives of biology and technology**, v. 50, n. May, p. 543–556, 2007.

RESGALLA, C.; WEBER, L. I.; CONCEIÇÃO, M. B. **Mexilhão, o - Perna perna (L.) - biologia, ecologia e aplicações**. Rio de Janeiro: Interciência, 2008.

ROBERTS, L. et al. Sensitivity of the mussel *Mytilus edulis* to substrate-borne vibration in relation to anthropogenically generated noise. **Marine Ecology Progress Series**, v. 538, n. December, p. 185–195, 2015.

ROOT, T. L. et al. Fingerprints of global warming on wild animals and plants. **Nature**, p. 57–60, 2003.

ROSARIO, A. A. **Sistema Para Monitoramento E Análise De Paisagens Acústicas Submarinas**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 2015.

RUPPERT, E. E.; BARNES, F.; R., S. **Zoologia Dos Invertebrados**. 6ª edição ed. São Paulo: Roca, 1996.

SCHAFFER, R. M. **Tuning of the World**. New York: Knopf, 1977.

SILVA, J. S. V.; SOUZA, R. C. C. **Água de lastro e bioinvasão**. Rio de Janeiro: Interciência, 2004.

SOUTHWORTH, M. The sonic environment of cities. **Environment and Behavior**, v. 1, p. 49–70, 1969.

STAATERMAN, E. et al. Soundscapes from a Tropical Eastern Pacific reef and a Caribbean Sea reef. **Springer-Verlag**, 2013.

TEIXEIRA, R. M. et al. Bioinvasão marinha: Os bivalves exóticos de substrato consolidado e suas interações com a comunidade receptora. **Oecologia Australis**, v. 14, n. 2, p. 381–402, 2010.

URICK, R. J. **Principles of underwater sound**. 3rd. ed. New York: McGraw-Hill, 1983.

VAZZANA, M. et al. Are mussels able to distinguish underwater sounds ? Assessment of the reactions of *Mytilus galloprovincialis* after exposure to lab-generated acoustic signals. **Comparative Biochemistry and Physiology, Part A**, v. 201, n. June, p. 61–70, 2016.

WILKENS, S. L.; STANLEY, J. A.; JEFFS, A. G. Induction of settlement in mussel (*Perna canaliculus*) larvae by vessel noise. **Biofouling : The Journal of Bioadhesion and Biofilm**, v. 28, p. 37–41, 2012.

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, p. 17–24, 2015.

ZHADAN, P. M. Directional Sensitivity of the Japanese Scallop *Mizuhopecten yessoensis* and Swift Scallop *Chlamys swifti* to Water-Borne Vibrations. **Russian Journal of Marine Biology**, v. 31, n. 1, p. 28–35, 2005.

## 4.0 CAPÍTULO 2

# CARACTERIZAÇÃO DA ATIVIDADE ACÚSTICA DO BIVALVE *Perna perna* (Linnaeus, 1758) EM LABORATÓRIO

**Autores:** Ubirajara Gonçalves de Melo Junior<sup>1</sup> Fábio Contrera Xavier<sup>1</sup>, Daniel Campbell<sup>1</sup>, Nilce Silveira<sup>1</sup>, Leonardo Leão Versiani<sup>1</sup>, Rodrigo Cumplido<sup>1</sup>, Marcelo Tardelli Rodrigues<sup>1</sup>, Eduardo B. Fagundes Netto<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Programa Associado de Pós-Graduação em Biotecnologia Marinha (PPGBM), Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM) e Universidade Federal Fluminense (UFF), Arraial do Cabo, Brasil

### RESUMO

Os bivalves possuem grande importância socioeconômica e ecológica nas regiões costeiras. O *Perna perna* é um Mytilidae que apresenta uma ampla distribuição na costa brasileira, sendo muito utilizado na mitilicultura. Apesar de sua bioecologia ser bastante conhecida, a abordagem acústica é inexistente para a espécie. Foram feitas 4.344 seleções de atividades acústicas do bivalve. O pico de frequência do mexilhão variou de 0,14 a 23,90 kHz ( $\bar{x} = 8 \pm 6$  kHz). A maior concentração de atividade ocorreu na classe de 4 – 6 kHz (39 % / N = 1.665). O pico de potência variou entre 43 e 105 dB re 1  $\mu$ Pa ( $\bar{x} = 63 \pm 7$  dB re 1  $\mu$ Pa), com maior concentração de atividade acústica nas classes de pico de potência de 60 – 70 dB re 1  $\mu$ Pa (45% / N = 2.057) e de 50 – 60 dB re 1  $\mu$ Pa (40 % / N = 1.634). A análise de variação da frequência, mostrou que a maior parte das atividades ocuparam tamanhos de faixas de frequência na classe inicial de 0 – 4 kHz (33% / N = 1.443) e na classe final de 20 – 24 kHz (23% / N = 933). Em relação a duração do sinal, os dados mostraram que até 90 % das atividades possuíam duração de até 0,03 segundos, com maior concentração na classe de 0,01 – 0,02 s (47 % / N = 2.121). Em relação a taxa de atividade acústica, foi constatado, que a mesma é dependente das densidades amostrais da população. Os resultados forneceram subsídios para se estimar a densidade populacional do mexilhão a partir de sua atividade acústica. Além de ser um passo importante para seu monitoramento em uma larga escala espacial e temporal.

**Palavras chave:** Biofonia, ecologia acústica, movimento de valvas, comportamento

## 4.1 INTRODUÇÃO

A bioacústica junto a ecologia da paisagem acústica são ferramentas poderosas para os estudos voltados para a biodiversidade e a qualidade do habitat (MCWILLIAMS, 2013; FARINA, 2014). A bioacústica marinha pode ser definida como o uso da acústica para estudar quaisquer características de animais marinhos (AU & HASTINGS, 2008). Enquanto a ecologia da paisagem acústica pode ser definida por todos os sons originados da paisagem natural. Estes sons podem ser de origem biológica (biofonia), ambiental (geofonia) e antropogênica (antropofonia). A paisagem acústica adota uma visão holística da comunidade de organismos produtores de sons e suas interações com o meio (PIJANOWSKI et al., 2011; HARRIS & RADFORD, 2014).

Os primeiros estudos bioacústicos no ambiente marinho foram impulsionados principalmente por pesquisas relacionadas a mamíferos marinhos e a peixes (WILLIAMS et al., 2015). As pesquisas bioacústicas envolvendo os invertebrados são consideradas escassas (CHARIFI et al., 2017), ainda que as publicações tenham duplicado nas últimas duas décadas (WILLIAMS et al., 2015). A caracterização de sons em invertebrados geralmente é direcionada para os crustáceos (AU & BANKS, 1997; BUTLER et al., 2016; JÉZÉQUEL et al., 2018). Pouco se sabe sobre a detecção, a caracterização de som e a sensibilidade dos moluscos bivalves, apesar de sua importância para o ecossistema marinho (VAZZANA et al., 2016; CHARIFI et al., 2017).

Alguns bivalves podem ser considerados organismos engenheiros do ecossistema físico (JONES et al., 1997). Os mexilhões, por exemplo, são importantes organismos engenheiros em sistemas bentônicos marinhos porque se agregam em leitos, modificando a natureza e a complexidade do substrato (BORTHAGARAY & CARRANZA, 2007). Além disso os cultivos de bivalves podem abranger desde sistemas desenvolvidos em nível familiar, até a escala empresarial com comercialização em níveis regionais ou internacionais. (BARROSO et al., 2007).

Nas últimas décadas, alguns estudos acústicos relacionados a bivalves foram realizados. Estes apresentam diferentes abordagens. Publicações tem evidenciado que ruídos antropogênicos ou sons emitidos em determinadas faixas de frequência podem interferir no comportamento ou no metabolismo de alguns bivalves como *Magallana gigas*, *Mytilus edulis*, *Mytilus galloprovincialis*, *Donax variabilis*,

*Mizuhopecten yessoensis*, *Chlamys swifti*, *Sinonovacula constricta* (ELLERS, 1995; ZHADAN, 2005; ROBERTS et al., 2015; PENG et al., 2016; VAZZANA et al., 2016; CHARIFI et al., 2017). Sons oriundos da biofonia também podem influenciar na abundância de bivalves, como *Mercenaria mercenaria* (HUGHES et al., 2014). Estudos também mostram que o sons de origem antropogênica também atuam no recrutamento e no assentamento larval de espécies como *Perna canaliculus* e *Mytilus edulis* (WILKENS et al., 2012; JOLIVET et al., 2016).

Estudos também indicam que as larvas do bivalve *Crassostrea virginica* respondem a reprodução de sons de bancos de ostras, aumentando seu assentamento. A resposta de larvas da espécie a adição do som sugere que a paisagem acústica é passível de ser manipulada (LILLIS et al., 2015). Segundo Lillis et al., (2014a), habitat de bancos de ostras possuem padrões acústicos distintos. Tais padrões podem servir como um confiável indicador de tipos de habitats e potencialmente transmitir informações da qualidade do ambiente para a dispersão de organismos.

Em relação ao som produzido pelos bivalves, a pesquisa de Di Iorio et al. (2012), contribuiu para a caracterização acústica da espécie *Pecten maximus* (Linnaeus, 1758) e sua detecção em ambiente natural. Além disso, seu estudo sugere que a sensibilidade de bivalves como *Pecten maximus* (Linnaeus, 1758) aos parâmetros físico químicos da água, podem afetar os padrões dos sinais acústicos e indicar mudanças no ambiente.

As espécies de bivalves *Pecten maximus* (Linnaeus, 1758) e *Mimachlamys varia* (Linnaeus, 1758) também foram caracterizadas em um estudo sobre a produção sonora de invertebrados em um habitat costeiro no nordeste do Atlântico (COQUEREAU et al., 2016). No entanto, bivalves como o *Perna perna*, que apresentam grande importância socioeconômica, não foram estudados do ponto de vista acústico (RESGALLA et al., 2008; PIERRI et al., 2016).

O maior e o mais abundante Mytilidae da costa brasileira é o *Perna perna* (RESGALLA et al., 2007). Esse mexilhão foi amplamente estudado em aspectos ecológicos, ecotoxicológicos, morfológicos, fisiológicos e genéticos, entre outros (LASIAK & DYE, 1989; GALVÃO, 1997; BORTHAGARAY & CARRANZA, 2007; NARCHI & RESGALLA et al., 2007; RESGALLA et al., 2008; FREITAS & ABROLHOS, 2015; PIERRI et al., 2016; CORTEZ et al., 2018). Porém, a espécie

carece de estudos voltados para a caracterização, detecção e seu papel na ecologia da paisagem acústica.

O presente estudo visa caracterizar o som produzido pelo molusco bivalve *Perna perna* e verificar a relação entre a taxa de atividade acústica e a densidade populacional.

## **4.2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.2.1 Coleta e aclimação dos mexilhões**

As coletas ocorreram na fazenda de maricultura, situada na Praia do Forno (22°58'2.73"S e 42° 0'25.05"O), localizada na área da Reserva Extrativista Marinha da cidade de Arraial do Cabo, RJ. Na região de Arraial do Cabo, ocorre o fenômeno da ressurgência costeira. A ressurgência caracteriza-se pela ascensão da água fria a partir de níveis mais profundos. Esse fluxo torna os nutrientes disponíveis na camada eufótica, o que contribui para o aumento da produção e o crescimento do fitoplâncton, proporcionando uma alta produtividade primária na região; (GUIMARAENS & COUTINHO, 1996; COELHO-SOUZA et al., 2012).

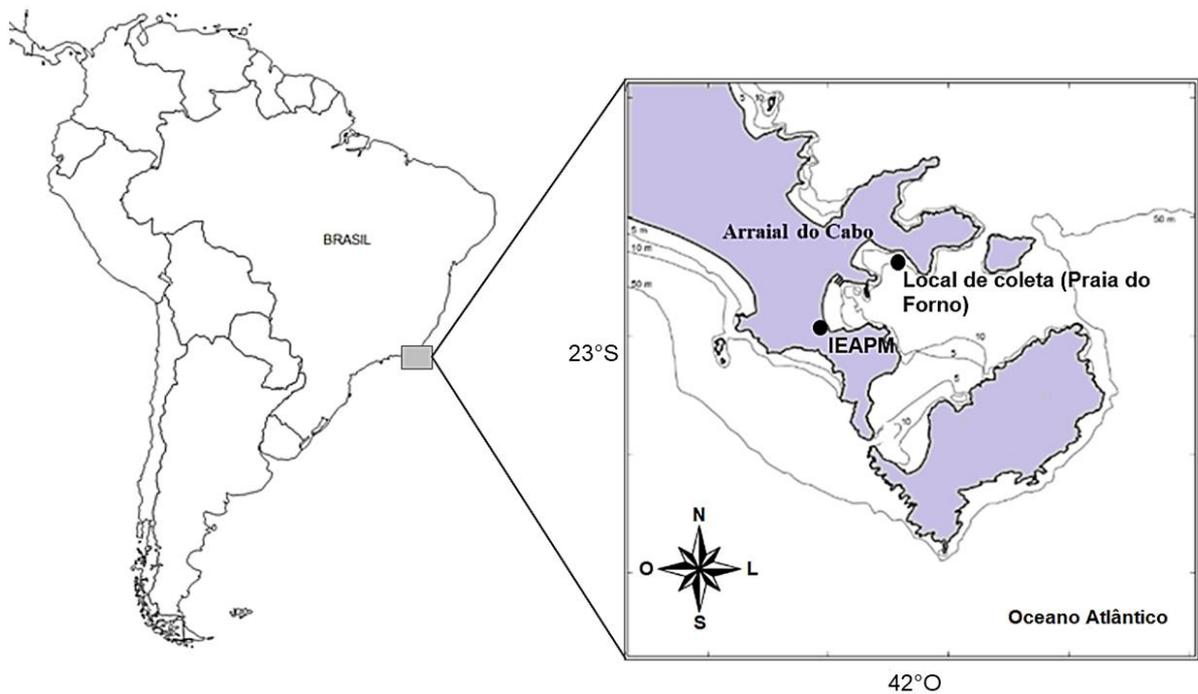
Foram coletados 1040 mexilhões, em 8 saídas de campo, com comprimento de concha entre 4 cm e 8 cm. A classe de comprimento escolhida se caracteriza pelo fim da fase juvenil que ocorre aproximadamente em torno de 3,5 cm e pela diminuição do ritmo de crescimento que ocorre em torno de 7 e 8 cm (MARENZI & BRANCO, 2005). Para a realização dos experimentos de gravação dos sinais acústicos foi definida uma única classe de tamanho, pois as gravações deveriam ocorrer em condições amostrais semelhantes.

As coletas foram realizadas no período de agosto a dezembro de 2018. A fazenda de maricultura utiliza o modelo *Long-line* ou “espinhel” para o cultivo do mexilhão. Segundo Resgalla et al. (2008), o modelo *Long-line* é o sistema de cultivo mais empregado no Brasil e no mundo e é utilizado em locais com profundidade superiores a 4 metros e abrigados das ondas e correntes marinhas. Para cada dia de coleta foram retirados 130 indivíduos. Os mexilhões eram coletados e limpos. A limpeza dos mexilhões era necessária para a retirada da fauna associada, pois a mesma poderia comprometer as análises acústicas da espécie estudada. Então, os

mexilhões eram armazenados em uma caixa térmica e transportados até o Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM).

A figura 1 apresenta o mapa da região de Arraial do Cabo, com a localização da fazenda de maricultura, e das instalações do IEAPM.

Figura 1: Mapa da área de estudo com os principais pontos utilizados para o desenvolvimento da pesquisa.

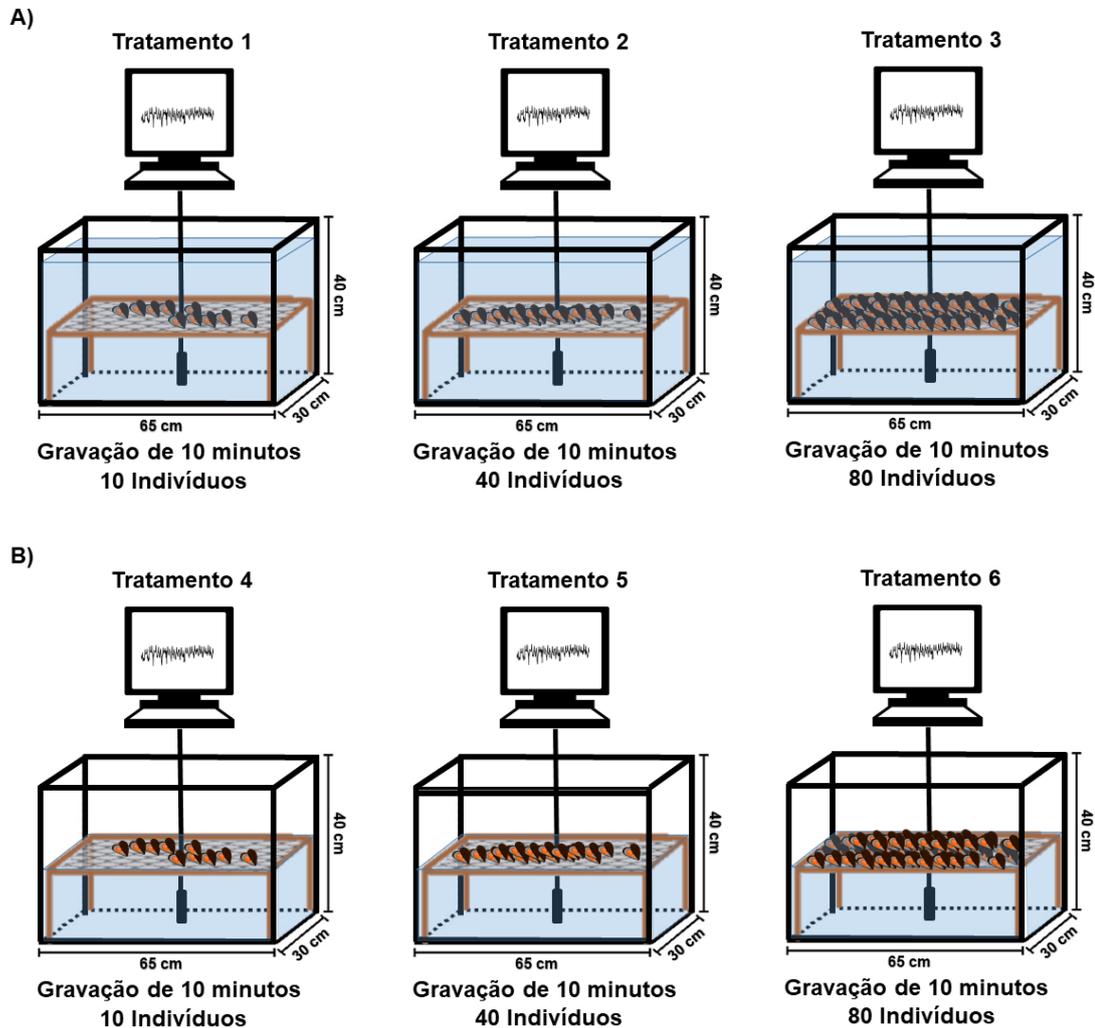


No IEAPM, os mexilhões foram mantidos em um tanque de 250 L contendo água salgada e pontos de aeração, localizado no Laboratório de Recursos Marinhos (LAREMAR). No dia seguinte ocorria a limpeza do tanque e havia a troca da água. Então, no dia posterior, os mexilhões eram levados para o Laboratório de Cultivo de Invertebrados Marinhos onde ocorriam as gravações. O tempo total de aclimação dos mexilhões ocorria em torno de dois dias.

#### 4.2.2 Experimento em laboratório

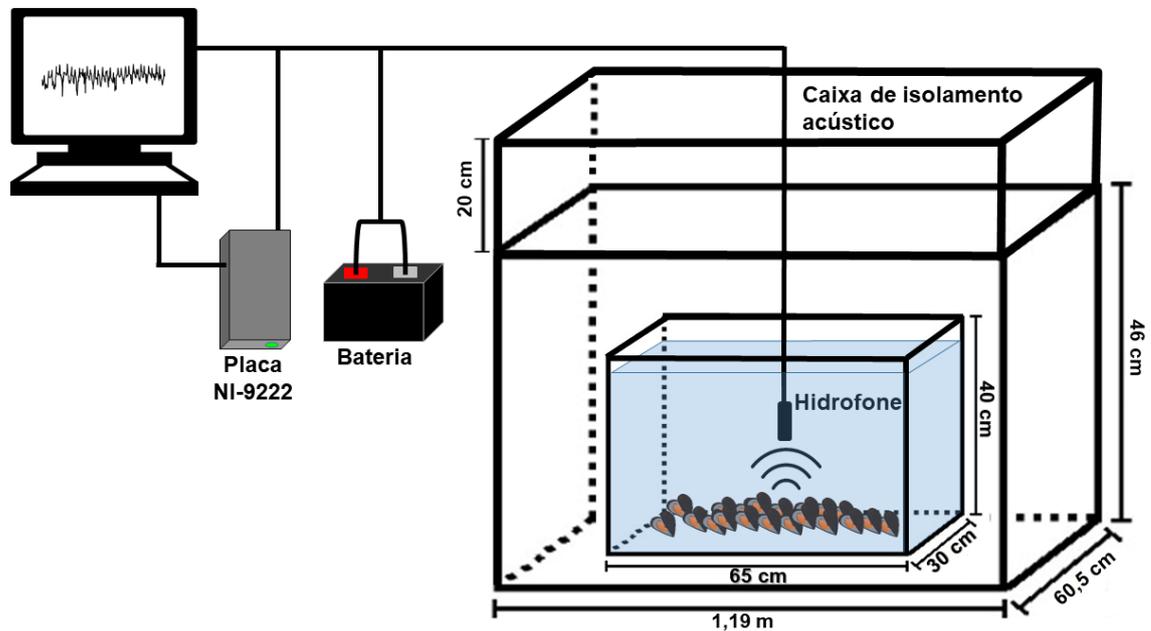
O presente estudo se refere ao conjunto dos sons atribuído ao movimento das valvas (esguichos e estalos), como atividade acústica. A atividade acústica do mexilhão ocorreu espontaneamente, sem necessidade de estímulo. Foram definidos seis tratamentos. Os tratamentos 1, 2 e 3 tiveram, respectivamente, 10, 40 e 80 indivíduos. Nas gravações dos três primeiros tratamentos, os mexilhões foram mantidos totalmente submersos. Assim como os tratamentos iniciais, os tratamentos 4, 5 e 6 tiveram respectivamente, 10, 40 e 80 indivíduos. No entanto, nas gravações dos três últimos tratamentos os mexilhões foram mantidos parcialmente submersos. As gravações dos tratamentos parcialmente submersos ocorreram para investigar o comportamento acústico do mexilhão em região do entremarés. Uma plataforma suspensa foi projetada e inserida no aquário. A plataforma teve o objetivo de não alterar o posicionamento dos mexilhões durante as gravações de ambos os tratamentos totalmente e parcialmente submersos. Foram gravados 10 minutos por tratamento em todas as 8 coletas, totalizando 8 horas de gravações. As 8 repetições foram necessárias para conseguir um N mínimo que tornasse o experimento menos vulnerável aos parâmetros da água e problemas com os indivíduos coletados (Figura 2)

Figura 2: Os tratamentos totalmente (A) e parcialmente (B) submersos e seus respectivos números de indivíduos e tempo de gravação.



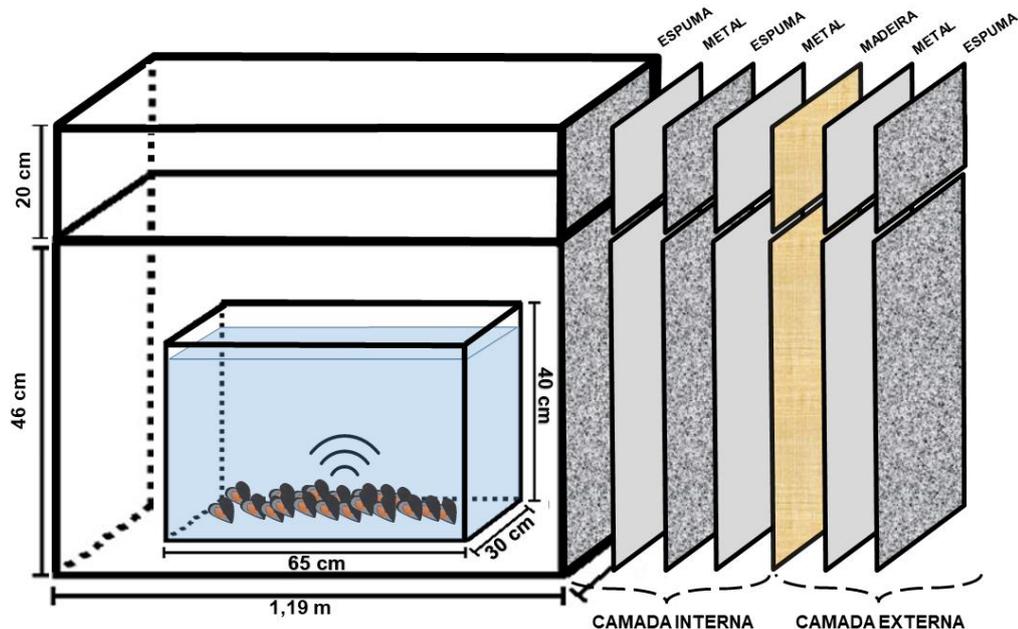
Para a aquisição dos dados acústicos o sistema de gravação foi constituído por uma caixa (C = 119 cm, L = 60,5 cm e H = 66 cm), isolada interna e externamente afim de atenuar as interferências de fontes sonoras externas, (isolamento acústico), onde foi colocado um aquário (C = 65 cm, L = 30 cm e H = 40 cm), contendo os mexilhões. O sistema de gravação contava ainda com um hidrofone Reson modelo TC4032, com sensibilidade de  $-164$  dB re.  $1V_{rms}/\mu Pa$  e pré-amplificador integrado. Continha também uma placa modelo NI-9222 (National instruments), configurada com taxa de amostragem de 48 kHz, resolução de 16 bits e um filtro passa baixa de 100 Hz. O hidrofone foi alimentado por uma bateria de 12v e 7A (Figura 3).

Figura 3: Sistema de gravação e seus respectivos componentes.



Para atenuar os sons externos o equipamento foi construído com camadas intercaladas de metal (ferro) e espuma. As camadas de metal tinham o intuito de refletir o som, enquanto as de espuma tinham objetivo de absorve-lo. Ao todo, foram três camadas de metal e três camadas de espuma. Havia quatro camadas localizadas na parte interna (metal e espuma) e duas camadas na parte externa (metal e espuma). Entre os compósitos interno e externo havia uma camada de madeira que estabelecia os moldes do equipamento (Figura 4).

Figura 4: Caixa de atenuação acústica.



Durante as gravações a temperatura e a salinidade média da água foram de 23°C e 35, respectivamente, uma vez que a espécie possui uma faixa de tolerância em torno de  $8 \pm 6^\circ\text{C}$  a  $32 \pm 3^\circ\text{C}$  e de  $16 \pm 7$  a  $46 \pm 7$  (BRAVO et al., 1998; RESGALLA et al., 2007; RESGALLA et al., 2008). Esses valores médios das faixas de tolerância de temperatura e salinidade foram considerados, uma vez que os mesmos variam entre as publicações.

Durante os experimentos, o aquário, onde os mexilhões foram mantidos, foi abastecido com água do mar proveniente da Praia dos Anjos. As medidas dos parâmetros físico-químicos da água (temperatura e salinidade), realizadas antes do início das gravações, foram obtidas com uma Sonda Multiparâmetros HORIBA U-50.

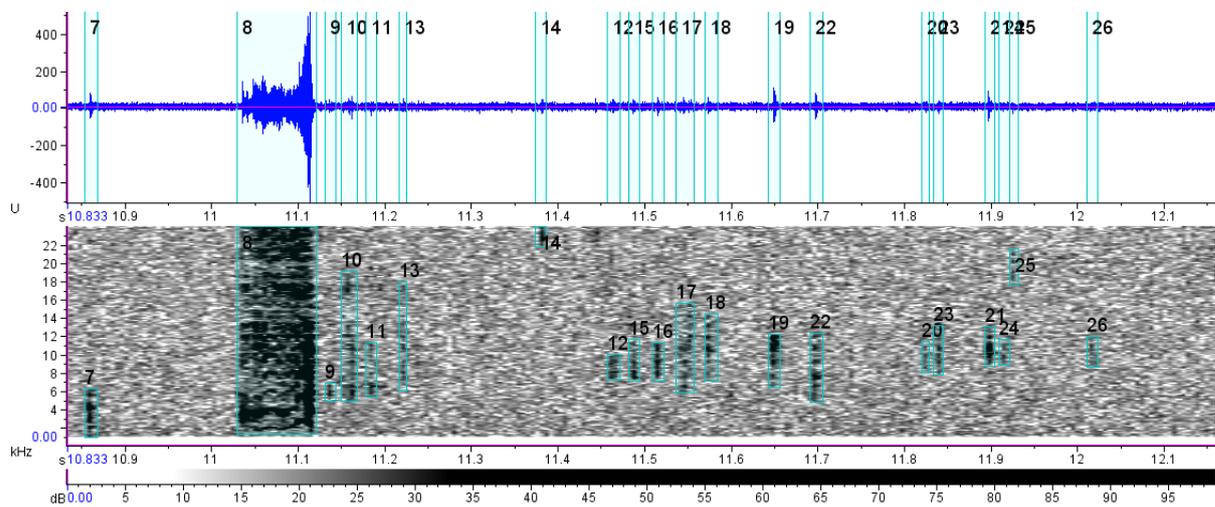
#### 4.2.3 Análise de dados acústicos

O monitoramento da atividade acústica foi realizado a partir da contagem dos sinais utilizado o software Raven Pro 1.5. Os parâmetros acústicos selecionados para a caracterização dos dados foram o pico da frequência (Hz), a variação da frequência (Hz) o pico de potência (dB re 1  $\mu\text{Pa}$ ) e a duração do sinal (s). O pico da frequência é caracterizado pela frequência, na qual ocorre a potência máxima dentro da seleção. A seleção é a delimitação do sinal acústico visualizado no espectrograma. A variação

da frequência é a diferença entre os limites superior e inferior da frequência na seleção. Já o pico de potência pode ser definido como a potência máxima em uma seleção. A duração do sinal é a diferença entre o tempo inicial e o tempo final de uma seleção (CHARIF et al., 2010). Além disso, foram realizadas análises estatísticas para verificar as diferenças nas taxas de atividade acústica entre os tratamentos.

A figura 5 apresenta os gráficos de saída oscilograma (Waveform) e espectrograma das análises realizadas com o software Raven Pro 1.5.

Figura 5: Oscilograma (Waveform) e espectrograma mostrando as seleções dos sinais acústicos do mexilhão *Perna perna*.



Para as análises estatísticas foi utilizado o teste de Kruskal-Wallis a fim de avaliar as diferenças dos tratamentos, tanto totalmente, quanto parcialmente submersos. O teste não paramétrico foi adotado, pois as variáveis não atenderam aos testes de normalidades (teste de Shapiro-Wilk). As comparações múltiplas pareadas, entre os tratamentos ( $p \leq 0,05$ ) foram realizadas usando o teste post-hoc de Nemenyi. Para as análises dos testes foi utilizado o programa R.

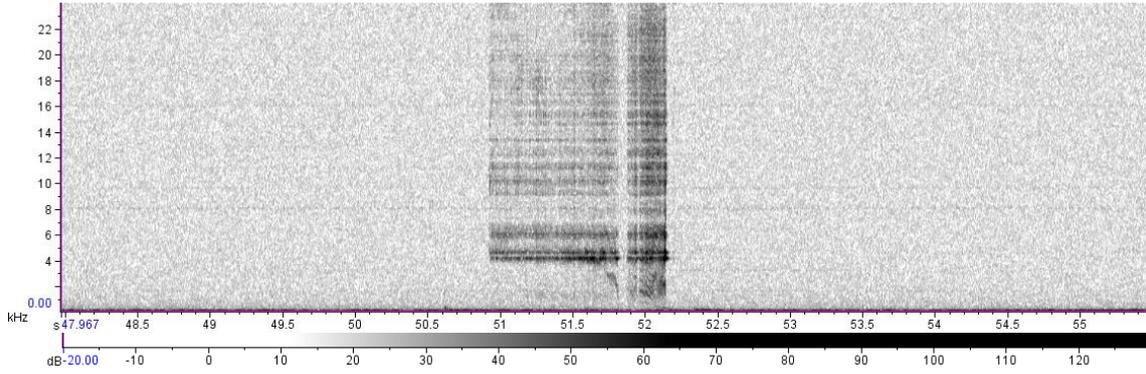
## 4.3 RESULTADOS

### 4.3.1 Caracterização acústica

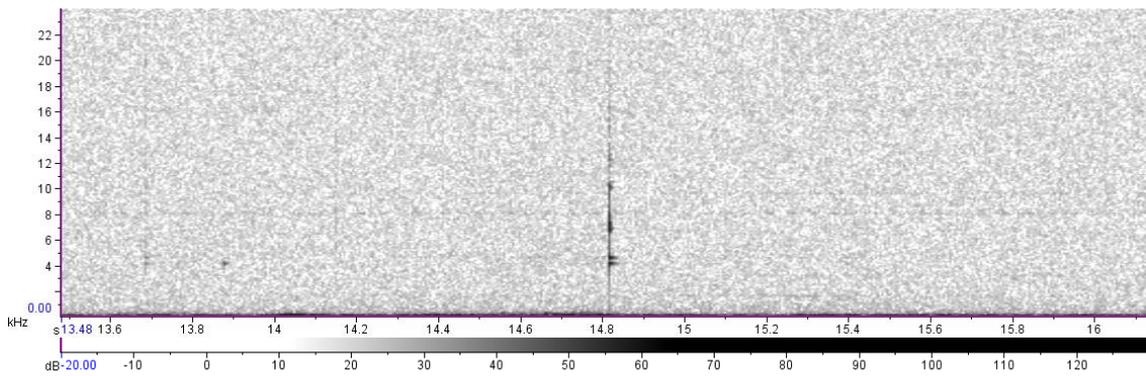
Para a caracterização e análise da taxa de atividade acústica do mexilhão *Perna perna* foram realizadas oito saídas de campo totalizando 1.040 indivíduos coletados. Foram feitas 4.344 seleções de atividades acústicas do bivalve. O número total de seleções foi dividido nos tratamentos totalmente submersos (tratamento 1 (N = 303), tratamento 2 (N = 531) e tratamento 3 (N = 786)) e parcialmente submersos (tratamento 4 (N = 408), tratamento 5 (N = 898) e tratamento 6 (N = 1.418)). Os sons foram atribuídos ao movimento das valvas do mexilhão e identificados como eventos impulsivos de curta duração. As variações na intensidade do movimento das valvas geraram sons distintos. Esses sons foram identificados como esguichos (Figura 6A) e estalos. Os esguichos possuem uma duração de sinal mais prolongada em relação aos estalos. O som foi associado ao ruído criado pela turbulência do fluxo de água, devido ao fechamento abrupto das valvas do mexilhão. Os estalos ocorreram de forma isolada (Figura 6B) ou em sequência (Figura 6C) com curtos intervalos entre eles. Foram considerados ambos os tipos de sons para as análises. O presente estudo se refere ao conjunto dos sons identificados como atividade acústica.

Figura 6: Espectrogramas e as diferentes conformações sonoras do mexilhão *Perna perna*. A figura A mostra o som de esguicho, figura B o som de estalo isolado e a figura C o som de estalos em sequência.

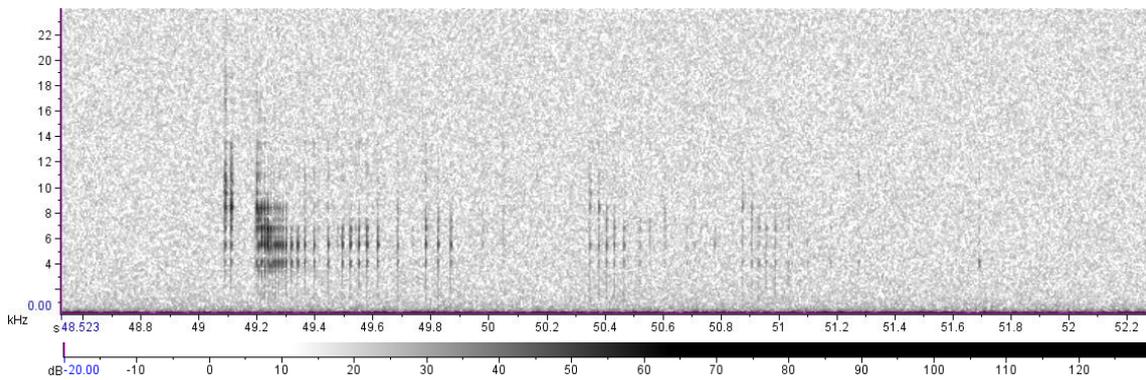
A)



B)



C)



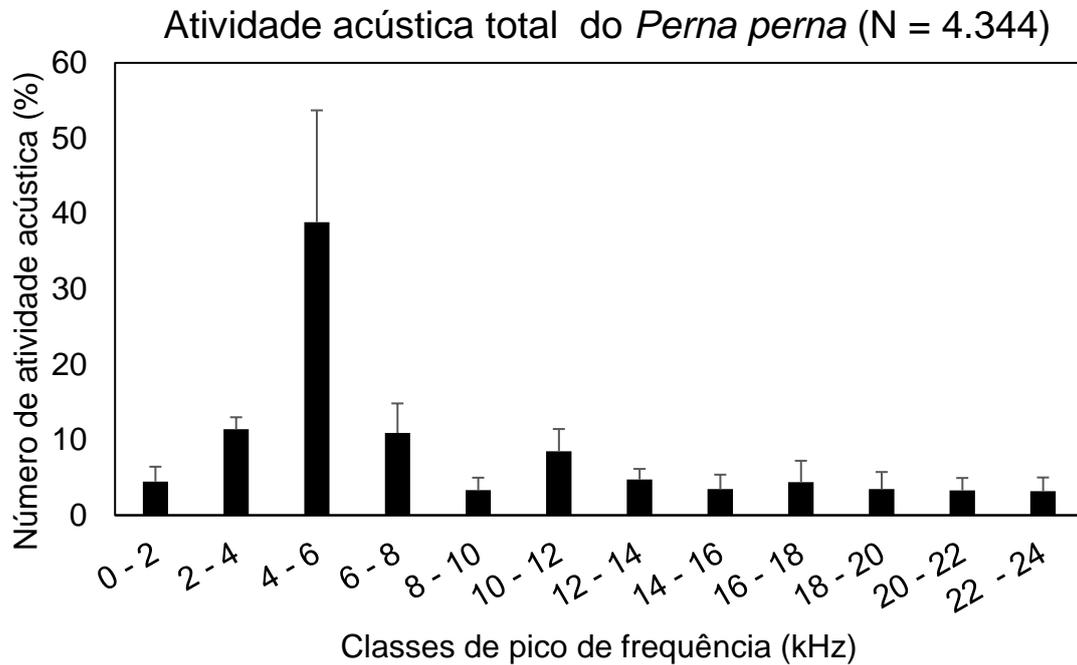
Os parâmetros acústicos selecionados para a caracterização do bivalve *Perna perna*, foram o pico da frequência (Hz), o pico de potência (dB re 1  $\mu$ Pa), a variação da frequência (Hz) e a duração do sinal (s) (Tabela 1).

Tabela 1: Parâmetros estatísticos descritivos do pico da frequência (Hz), do pico de potência (dB re 1  $\mu$ Pa), da variação da frequência (Hz) e da duração do sinal (s).

<b>Parâmetros estatísticos descritivos</b>	<b>Pico de frequência (kHz)</b>	<b>Pico de potência (dB re 1 <math>\mu</math>Pa)</b>	<b>Variação da frequência (kHz)</b>	<b>Duração do sinal (s)</b>
Mínimo	0,14	42,95	0,37	0,01
Máximo	23,90	104,95	23,90	0,92
Média	8,21	63,49	10,40	0,02
Desvio padrão	5,83	7,44	8,01	0,03
Percentil (10%)	0,84	53,45	0,81	0,01
Percentil (25%)	4,17	58,45	3,06	0,02
Percentil (50%)	5,44	61,65	8,03	0,02
Percentil (75%)	11,39	66,35	18,85	0,03
Percentil (90%)	18,09	73,15	22,76	0,03

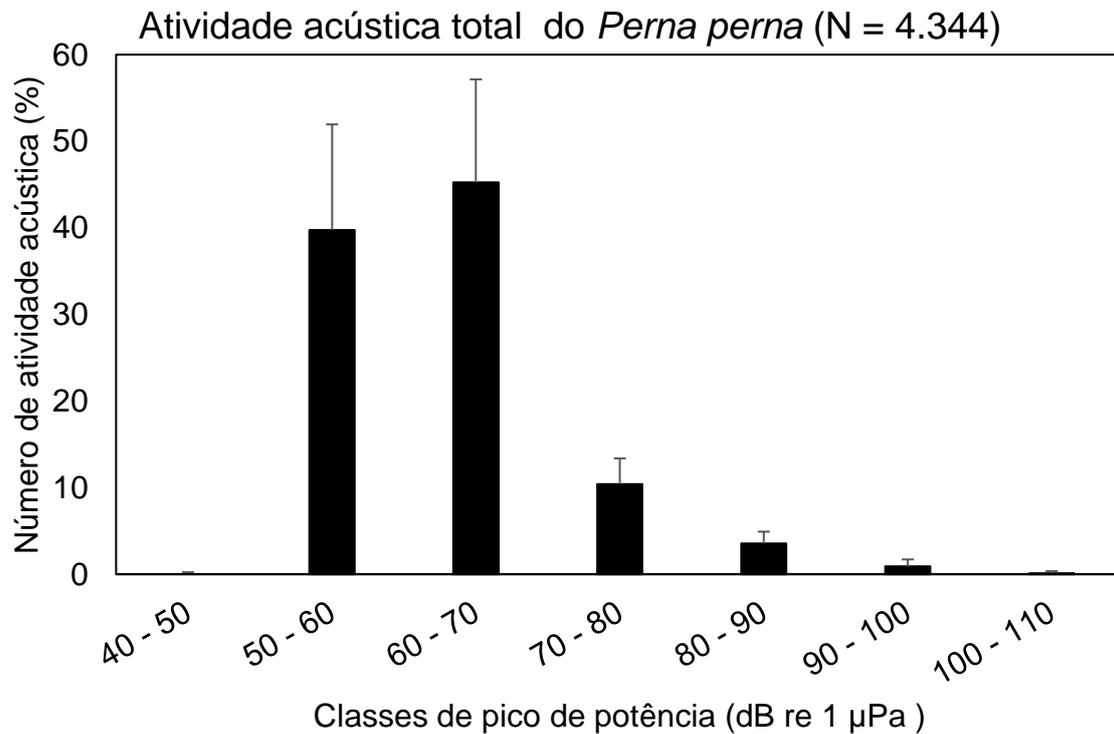
O som do mexilhão variou de 0,14 a 23,90 kHz ( $\bar{x} = 8 \pm 6$  kHz). Considerando o número total de atividade acústica do mexilhão ao longo das 8 coletas, a maior concentração de atividade ocorreu na classe de pico de frequência de 4 – 6 kHz (39% / N = 1.665), seguida das classes de 2 – 4 kHz (11% / N = 497) e 6 – 8 kHz (11% / N = 471). O restante das classes obteve concentrações abaixo de 9%. (Figura 7).

Figura 7: Distribuição das atividades acústicas nas classes de pico de frequência (kHz).



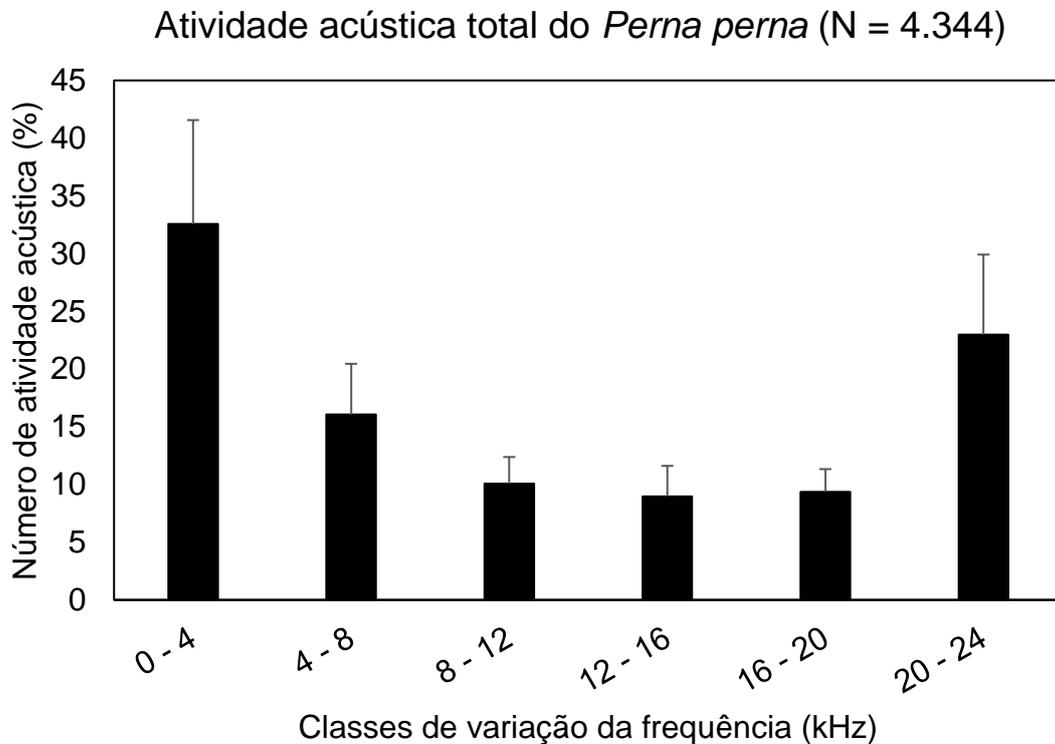
O pico de potência variou entre 43 e 105 dB re 1  $\mu$ Pa ( $\bar{x} = 63 \pm 7$  dB re 1  $\mu$ Pa). A maior concentração de atividade acústica do *Perna perna* para classes de pico de potência ocorreu na classe de 60 – 70 dB re 1  $\mu$ Pa (45% / N = 2.057), seguida das classes de 50 – 60 dB re 1  $\mu$ Pa (40% / N = 1.634) e 70 – 80 dB re 1  $\mu$ Pa (10% / N = 464). As outras classes de pico de potência apresentaram valores abaixo de 5% (Figura 8).

Figura 8: Distribuição das atividades acústicas nas classes de pico de potência (dB re 1  $\mu$ Pa).



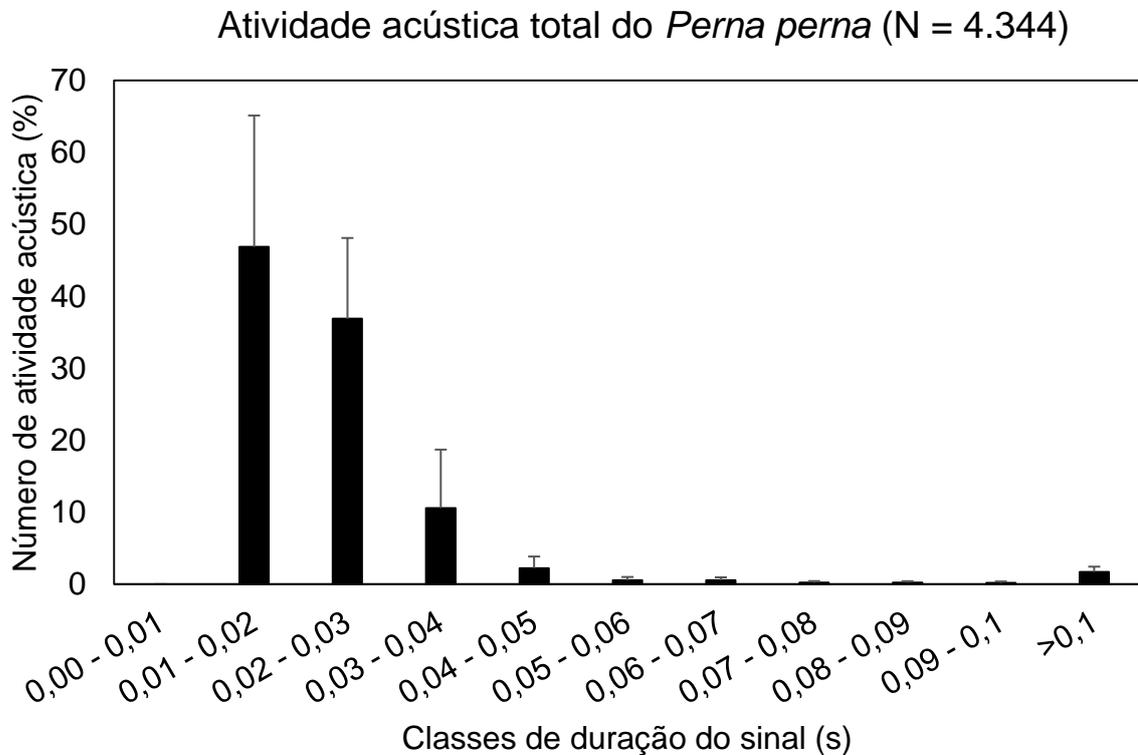
A figura 9 mostra a distribuição da atividade acústica do mexilhão entre as classes de variação de frequência. Essas classes representam a largura da banda de frequência que cada atividade pode ocupar entre 0 a 24 kHz. A análise mostra que a maior parte das atividades da variação de frequência ocorreram na classe inicial de 0 – 4 kHz (33% / N = 1.443) e na classe final de 20 – 24 kHz (23% / N = 933). Vale ressaltar que há um declínio na ocorrência do número de atividades acústicas até a classe de variação de frequência de 12 – 16 kHz (9% / N = 387) (Figura 9).

Figura 9: Distribuição das atividades acústicas nas classes de variação da frequência (kHz).



A duração da atividade variou entre 0,01 e 0,92s ( $\bar{x} = 0,02 \pm 0,03s$ ). O tempo de duração é bem definido, uma vez que 98% das atividades se encontram entre 0,0 e 0,1s (N = 4.277) (Figura 10). Os dados mostram que até 95% das atividades possuem duração de até 0,03 segundos (Tabela 1). Para melhor observação da distribuição das atividades acústicas nas classes de tempo a figura 9 considerou o intervalo entre 0,0 e 0,1s, evidenciando as maiores concentrações nas classes de 0,01 – 0,02 (47% / N = 2.121) e 0,02 – 0,03 (37% / N = 1.554).

Figura 10: Distribuição das atividades acústicas nas classes de duração do sinal (s).

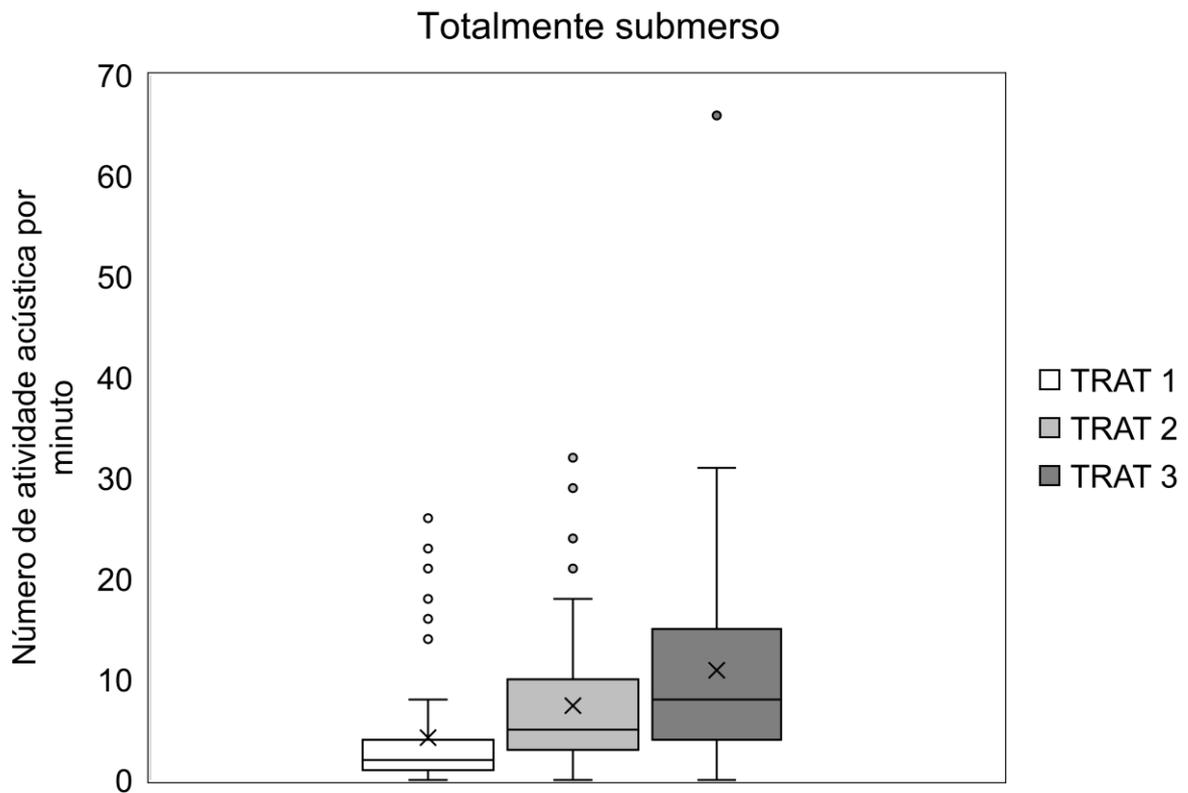


#### 4.3.2 Taxa de atividade acústica

Para as análises do número de atividade acústica por minuto, para mexilhões totalmente submersos, foram comparados os valores de mínimos, máximos, médias e quartis (Q1, Q2 e Q3) entre os tratamentos. O tratamento 1 apresentou o intervalo de dados de 0 a 8 atividades acústicas por minuto, 1 atividade para Q1, 2 atividades para Q2, 4 atividades para Q3 e 4,2 para o valor médio das atividades. Enquanto o tratamento 2 mostrou o intervalo de 0 a 18 atividades, 3 atividades para Q1, 5 atividades para Q2, 10 atividades para Q3 e um valor médio de 7,3 atividades. Ao passo que o tratamento 3 apresentou o intervalo de 0 a 31 atividades por minuto e valores de 4, 8 e 15 atividades para Q1, Q2 e Q3, respectivamente. O valor médio foi de 10,9 atividades.

Todos os tratamentos evidenciaram a linha da mediana (segundo quartil) próximas aos valores do primeiro quartil. Essa característica indica que os dados são assimétricos positivos ou a direita (Figura 11).

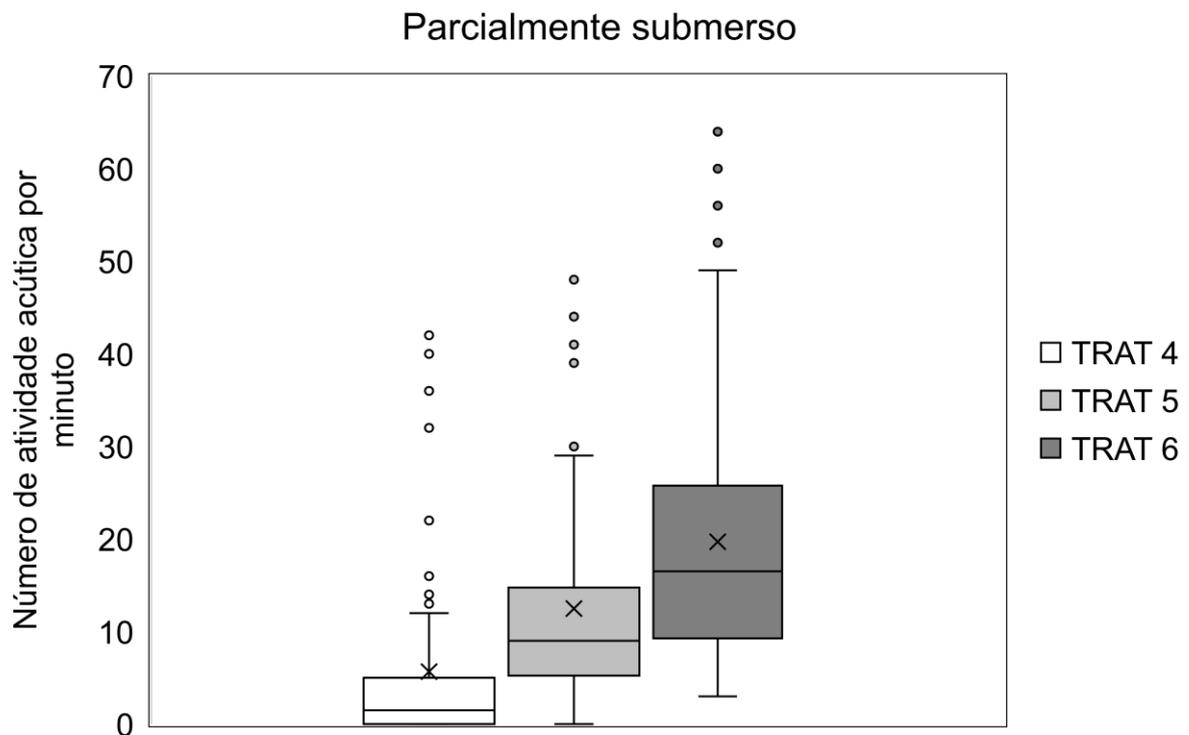
Figura 11: Taxa de atividade acústica (atividade / min) produzida pelo mexilhão *Perna perna* nos três tratamentos (totalmente submersos) durante os experimentos. Os gráficos de caixa (boxplot) mostram os valores do primeiro quartil (25% da amostra), segundo quartil (50% da amostra), terceiro quartil (75% da amostra), média (x) limites mínimos e máximos e *outliers* (sinal  $\circ$ )



Para as análises do número de atividade acústica por minuto, para mexilhões parcialmente submersos, foram comparados os valores de mínimos, máximos, médias e quartis (Q1, Q2 e Q3) entre os tratamentos. O tratamento 4 apresentou o intervalo de dados de 0 a 12 atividades acústicas por minuto, 0,5 atividade para Q1, 1 atividades para Q2, 12 atividades para Q3 e 5,6 para o valor médio das atividades. Enquanto o tratamento 5 mostrou o intervalo de 0 a 29 atividades, 5 para Q1, 9 para Q2, 29 atividades para Q3 e um valor médio de 19,6 atividades. Ao passo que o tratamento 6 apresentou o intervalo de 3 a 49 atividades por minuto e valores de 9, 17 e 26 atividades para Q1, Q2 e Q3, respectivamente. O valor médio foi de 19,7 atividades. Assim como nos tratamentos totalmente submersos, todos os tratamentos

parcialmente submersos mostraram a linha da mediana próximas aos valores do primeiro quartil, indicando a assimetria positiva (Figura 12).

Figura 12: Taxa de atividade acústica (atividade / min) produzida pelo mexilhão *Perna perna* nos três tratamentos (parcialmente submersos) durante os experimentos. Os gráficos de caixa (boxplot) mostram os valores do primeiro quartil (25% da amostra), segundo quartil (50% da amostra), terceiro quartil (75% da amostra), média (x), limites mínimos e máximos e outliers (sinal ◦)



Os tratamentos totalmente submersos (37% / N = 1.620) apresentaram um menor número de atividade acústica em relação aos tratamentos parcialmente submersos (63% / N = 2.724). Os mesmos padrões da atividade acústica foram semelhantes para as gravações com os mexilhões totalmente submersos e parcialmente submersos com 10 indivíduos (tratamentos 1 (7% / N = 303) e 4 (9% / N = 408)), 40 indivíduos (tratamentos 2 (12% / N = 531) e 5 (21% / N = 898)) e 80 indivíduos (tratamentos 3 (18% / N = 786) e 6 (33% / N = 1.418)).

### 4.3.3 Análises estatísticas

O teste de Kruskal-Wallis mostrou que houve diferença significativa entre os tratamentos totalmente submersos (KW: 66,94;  $p \leq 0,05$ ) e entre os tratamentos parcialmente submersos (KW: 109,33;  $p \leq 0,05$ ). Em relação às comparações múltiplas o teste de Nemenyi apresentou diferença estatística significativa na comparação entre todos os tratamentos tanto nos tratamentos totalmente submersos, quanto nos tratamentos parcialmente submersos.

Os resultados dos testes não paramétricos de Kruskal-Wallis ( $p \leq 0,05$ ) e de Nemenyi ( $p \leq 0,05$ ) mostraram que a taxa de atividade acústica é dependente das densidades amostrais da população.

## 4.4 DISCUSSÃO

A abordagem exploratória foi utilizada no presente trabalho, uma vez que poucos estudos voltados para a acústica submarina, referentes a caracterização e a detecção de som, foram realizados com espécies de moluscos bivalves (CHARIFI et al., 2017; VAZZANA et al., 2016).

O primeiro estudo de caracterização e detecção de som, em bivalves, usando técnicas acústicas passivas, foi realizado por Di Iorio et al., (2012). Após esse primeiro estudo, foi publicada uma pesquisa sobre produção sonora de invertebrados que constavam a caracterização acústica do bivalve *Mimachlamys varia* e da espécie *Pecten maximus* e outros invertebrados (COQUEREAU et al., 2016).

Os outros estudos de acústica envolvendo bivalves tratam, principalmente, de assuntos como o impacto acústico no comportamento e em seu desenvolvimento (CHARIFI et al., 2017; PENG et al., 2016; VAZZANA et al., 2016; ROBERTS et al., 2015; ZHADAN, 2005; ELLERS, 1995) ou sobre o assentamento e o recrutamento larval da classe, por influência do som (JOLIVET et al., 2016; LILLIS & HOLE, 2015; LILLIS et al., 2014a; LILLIS et al., 2013; WILKENS et al., 2012).

As gravações em laboratório encontraram a maior concentração de atividade acústica do *Perna perna* na classe de pico de frequência de 4 – 6 kHz. Os valores de pico de frequência da espécie variaram entre 0,14 e 23,9 kHz ( $\bar{x}=8\pm 6\text{kHz}$ ). Para os bivalves *Mimachlamys varia* e *Pecten maximus* os picos de frequência variaram entre

4 e 62 kHz ( $\bar{x}=37\pm 14$  kHz) e 12 e 57 kHz ( $\bar{x}=35\pm 16$  kHz) respectivamente (COQUEREAU et al., 2016). Próxima a faixa da classe de pico de frequência do *Perna perna*, podemos encontrar picos de outros invertebrados, como camarões da espécie *Synalpheus parneomeris* (2 – 5 kHz) (AU & BANKS, 1998) e ouriços da espécie *Evechinus chloroticus* (0,8 – 2,8 kHz) (RADFORD et al., 2008; RADFORD et al., 2010).

Para Di Iorio et al., (2012), o bivalve *Pecten maximus* a frequência variou entre 3 – 48 kHz. Logo a sua variação de frequência é de 37 kHz. Em relação a variação da frequência do *Perna perna*, o parâmetro mostra que a maior parte das atividades ocorreram na classe inicial de 0 – 4 kHz e na classe final de 20 – 24 kHz. A variação da frequência do mexilhão também mostrou um declínio na ocorrência do número de atividades acústicas até a classe de 12 – 16 kHz. Apenas 10 % das atividades acústicas do mexilhão em relação variação da frequência ultrapassaram o valor de 22,8 kHz. Essas atividades, possivelmente, podem ter se aproximado da variação da frequência de espécies de bivalves como *Mimachlamys varia* (variação entre 9 a 29 kHz;  $\bar{x} = 17 \pm 5$  kHz) (COQUEREAU et al., 2016).

Comparado com os estalos produzidos por camarões (170 – 180 dB re 1  $\mu$ Pa<sup>2</sup> / Hz), uma das principais fontes de ruído biológico em águas costeiras (AU & BANKS, 1997; LILLIS et al., 2014b), a intensidade do som do mexilhão *Perna perna* é baixa, variando entre 43 e 105 dB re 1  $\mu$ Pa ( $\bar{x} = 63 \pm 7$  dB re 1  $\mu$ Pa), com a maioria das atividades encontradas na classe de pico de potência de 60 – 70 dB re 1  $\mu$ Pa. No estudo realizado por Coquereau et al., (2016) a espécie *Mimachlamys varia* variou entre 92 e 114 dB re 1  $\mu$ Pa (pp) ( $\bar{x} = 100 \pm 7$  dB re 1  $\mu$ Pa (pp)) e *Pecten maximus* variou de 93 e 134 dB re 1  $\mu$ Pa (pp) ( $\bar{x} = 116 \pm 11$  dB re 1  $\mu$ Pa (pp)).

O tempo de duração da atividade acústica do *Perna perna* variou entre 0,01 e 0,92 s, sendo mais frequente na classe de tempo de 0,01 - 0,02 s. Enquanto, a duração do som emitido pela espécie *Pecten maximus* variou entre 0,15 e 0,76 s ( $\bar{x} = 0,35 \pm 0,11$ ) (DI IORIO et al., 2012). O estudo realizado por Coquereau et al. (2016), não apresentou dados de duração do sinal acústico para as espécies *Pecten maximus* e *Mimachlamys varia*.

Houve uma diferença significativa na quantidade de sinais analisados para a caracterização acústica das espécies de bivalves *Perna perna* (N = 4.344) e *Mimachlamys varia* (N = 121) (COQUEREAU et al., 2016). Para espécie *Pecten maximus* foram usados 71 sinais para o estudo de Coquereau et al., (2016) e 210 sinais para Di Iorio et al. (2012). O número elevado de pulsos analisados para o

mexilhão *Perna perna* foi necessário, uma vez que além da caracterização que pode ser realizada com um número mais reduzido de sinais, havia a necessidade para avaliar as diferenças de atividade acústica entre os tratamentos. Dessa forma, o número alto de sinais, permitiu análises mais criteriosas em relação a caracterização. As características encontradas no sinal acústico do *Perna perna*, podem apresentar informações suficientes para distingui-lo de outros organismos no meio natural.

Em relação a experimentos laboratoriais utilizando tanques, Coquereau et al. (2016), afirmam que a experiência permite a identificação de espécies produtoras de som, observações comportamentais precisas e melhor controle do ruído externo. Para o presente estudo, a fim de evitar interferências externas, a utilização de um aquário com isolamento acústico foi determinante para identificação e a análise do som da espécie *Perna perna*. O estudo de Coquereau et al. (2016) indicaram que os possíveis erros induzidos na utilização de um tanque, não afetaram significativamente as estimativas de pico de frequência. Portanto, os resultados obtidos nesse estudo são representativos e não devem se desviar muito daqueles medidos no campo.

As diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos, tanto os totalmente, quanto os parcialmente submersos, são importantes resultados para os estudos acústicos envolvendo bivalves. Os resultados fornecem subsídios para estimar a densidade populacional do mexilhão *Perna perna* a partir da avaliação de sua atividade acústica, além de ser um importante passo para o monitoramento acústico desses organismos em escala espacial e temporal.

#### **4.5 CONCLUSÃO**

O presente estudo mostrou que é possível a caracterização do som da espécie *Perna perna*. O mexilhão apresentou padrão em relação aos parâmetros acústicos pico da frequência (Hz), pico da potência (dB), variação da frequência (Hz) e o tempo de duração som. Além disso, os testes estatísticos sugerem que a taxa de atividade acústica é dependente das densidades amostrais da população.

O número elevado de sinais do mexilhão *Perna perna* permitiu análises mais criteriosas em relação a caracterização acústica. Os padrões encontrados nos parâmetros do sinal acústico da espécie, possuem informações significativas para identifica-lo no meio natural. A caixa responsável pela atenuação acústica e a

utilização do tanque foram determinantes para a caracterização e as análises do som da espécie *Perna perna*.

Os resultados forneceram subsídios para se estimar a densidade populacional do mexilhão a partir da avaliação de sua atividade acústica. Além disso, os resultados deste trabalho são passos importantes para o monitoramento acústico desses organismos em uma larga escala espacial e temporal. O estudo também contribuiu para uma melhor compreensão da acústica envolvendo a espécie, provendo informações para novas abordagens na conservação e no manejo de mexilhões.

Dessa forma, o estudo contribuiu com informações que auxiliam no preenchimento das lacunas encontradas nos estudos acústicos envolvendo bivalves, no que se refere a caracterização e a detecção de som.

#### 4.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AU, W. W. L.; BANKS, K. The acoustics of the snapping shrimp *Synalpheus parneomeris* in Kaneohe Bay. **Journal of the Acoustical Society of America**, v. 103, n. March, p. 41–47, 1998.
- AU, W. W. L.; HASTINGS, M. C. **Principles of marine bioacoustics**. [s.l.] Springer, 2008.
- BARBER, J. R.; CROOKS, K. R.; FRISTRUP, K. M. The costs of chronic noise exposure for terrestrial organisms. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 25, n. 3, p. 180–189, 2009.
- BARROSO, G. F.; HENRIQUE, L. H. S. P.; CAVALLI, O. R. **Sistemas de cultivos aquícolas na zona costeira do Brasil: recursos, tecnologias, aspectos ambientais e sócio-econômicos**. Rio de Janeiro: Museu Nacional, 2007.
- BORTHAGARAY, C. A.; CARRANZA, A. Mussels as ecosystem engineers : their contribution to species richness in a rocky littoral community. **Acta oecologica**, v. 31, p. 243–250, 2007.
- BRAVO, S. M. I. .; CHUNG, K. S.; PÉREZ, J. E. Salinity and temperature tolerances of the green and brown mussels , *Perna viridis* and *Perna perna* ( Bivalvia : Mytilidae ). **Biol. trop.**, v. 7, p. 121–125, 1998.
- BURDIC, W. S. **Underwater Acoustic System Analysis**. 2nd. ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice - Hall, 1991.
- BUTLER, J.; BUTLER, M. J. I.; GAFF, H. Acoustic-based model estimation of snapping shrimp populations and the effects of a sponge die-off. **bioRxiv**, p. 36, 2016.
- CAMPBELL, D. A. **Estudo da paisagem acústica submarina na região do Arraial do Cabo, Rio de Janeiro, Brasil**. [s.l.] Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM) e Universidade Federal Fluminense (UFF), 2018.
- CARLTON, J. T. Molluscan invasions in marine and estuarine communities. **Malacologia**, v. 41, n. 2, p. 439–454, 1999.

CASARINI, L. M.; HENRIQUES, M. B. Estimativa de estoque do mexilhão *Perna perna* e da espécie invasora *Isognomon bicolor* em bancos naturais da Baía de Santos, São Paulo, Brasil. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 37, n. 1, p. 1–11, 2011.

CHARIF, R. A.; WAACK, A. M.; STRICKMAN, L. M. **Raven Pro 1.4 user's manual** Ithaca, NYCornell Lab of Ornithology, , 2010.

CHARIFI, M. et al. The sense of hearing in the Pacific oyster , *Magallana gigas*. **PLoS ONE**, v. 12, p. 1–19, 2017.

COELHO-SOUZA, S. A. et al. BIOPHYSICAL INTERACTIONS IN THE CABO FRIO

UPWELLING SYSTEM , SOUTHEASTERN BRAZIL. **BRAZILIAN JOURNAL OF OCEANOGRAPHY**, v. 60, n. 3, p. 353–365, 2012.

COQUEREAU, L. et al. Sound production and associated behaviours of benthic invertebrates from a coastal habitat in the north - east Atlantic. **Marine Biology**, n. May, p. 13, 2016.

CORTEZ, F. S. et al. Science of the Total Environment Ecotoxicological effects of losartan on the brown mussel *Perna perna* and its occurrence in seawater from Santos Bay ( Brazil ). **Science of the Total Environment**, v. 637–638, p. 1363–1371, 2018.

COTTER, A. J. The “soundscape” of the sea, underwater navigation, and why we should be listening more. Chapter. In: PAYNE, A.; COTTER, J.; POTTER, T. (Eds.). . **Advances in fisheries science:50 years on from Beverton and Holt**. Blackwell, Oxford: [s.n.]. p. 451–471.

CURRIE, D. J. Energy and large-scale patterns of animal- and plant-species richness. **American Naturalist**, p. 27–49, 1991.

DERRYBERRY, E. P. Ecology shapes birdsong evolution : variation in morphology and habitat explains variation in white-crowned sparrow song. **The American Naturalist**, v. 174, n. 1, p. 24–33, 2009.

DI IORIO, L. et al. Hydrophone detects cracking sounds: Non-intrusive monitoring of bivalve movement. **Journal of experimental Marine biology and ecology**, v. 432–433, n. October, p. 9–16, 2012.

ELLERS, O. Discrimination Among Wave-Generated Sounds by a Swash-Riding Clam. **Biological Bulletin**, v. 189, n. 2, p. 128–137, 1995.

FARINA, A. **Soundscape ecology: principles, patterns, methods and applications**. [s.l.] Springer Dordrecht Heidelberg London New York, 2014.

FREITAS, M.; ABROLHOS, R. Ictiofauna associada a um cultivo de mexilhão *Perna perna* ( Linnaeus , 1758 ) Norte Catarinense , Sul do Brasil. n. January 2010, 2015.

GUIMARAENS, A. M.; COUTINHO, R. Spatial and temporal variation of benthic marine algae at the Cabo Frio upwelling region , Rio de. **Aquatic Botany**, v. 52, p. 283–299, 1996.

HARRIS, S. A.; RADFORD, C. A. Marine Soundscape Ecology. **Inter-noise**, p. 1–9, 2014.

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.

HEILER, J. et al. Changes in bottlenose dolphin whistle parameters related to vessel presence , surface behaviour and group composition. **Animal Behaviour**, v. 117, n. June, p. 167–177, 2016.

HUGHES, A. R. et al. Predatory fish sounds can alter crab foraging behaviour and influence bivalve abundance. **Proceedings of the Royal Society. B**, v. 281, 2014.

IUCN. **100 de lãs especies exóticas invasoras más dañinas del mundo**. Disponível em: <<http://www.iucn.org>>. Acesso em: 10 out. 2018.

JÉZÉQUEL, Y. et al. Sound characterization of the European lobster *Homarus gammarus* in tanks. **Youenn Jézéquel**1, v. 27, p. 13–23, 2018.

JOLIVET, A. et al. Validation of trophic and anthropic underwater noise as settlement trigger in blue mussels. **Scientific Reports**, v. 6, n. 1, p. 33829, 2016.

JONES, C. G.; LAWTON, J. H.; SHACHAK, M. Positive and negative effects of organisms as physical ecosystem engineers. **Ecological Society of America**, v. 78, n. 7, p. 1946–1957, 1997.

KRAUSE, B. Anatomy of the soundscape: Evolving perspectives. **AES: Journal of the Audio Engineering Society**, v. 56, n. 1–2, p. 73–80, 2008.

KRAUSE, B. L. Bioacoustics, Habitat Ambience in Ecological Balance," *Whole Earth Review. Wild Sanctuary*, v. 57, p. 14–18, 1987.

LAILOLO, P. et al. Song diversity predicts the viability of fragmented bird populations. **PLoS ONE**, v. 3, n. 3, p. 1–5, 2008.

LASIAK, T.; DYE, A. The Ecology of the Brown Mussel *Perna perna* in Transkei , Southern Africa: Implications for the Management of a Traditional Food Resource. **Biological Conservation**, v. 47, p. 245–257, 1989.

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. 21–23, 2013.

LILLIS, A.; EGGLESTON, D. B.; BOHNENSTIEHL, D. R. Estuarine soundscapes: Distinct acoustic characteristics of oyster reefs compared to soft-bottom habitats. **Marine Ecology Progress Series**, v. 505, p. 1–17, 2014a.

LILLIS, A.; EGGLESTON, D. B.; BOHNENSTIEHL, D. R. Soundscape variation from a larval perspective : the case for habitat-associated sound as a settlement cue for weakly swimming estuarine larvae. **Marine Ecology Progress Series**, v. 509, n. August, p. 57–70, 2014b.

LILLIS, A.; BOHNENSTIEHL, D. R.; EGGLESTON, D. B. Soundscape manipulation enhances larval recruitment of a reef-building mollusk. **PeerJ**, v. 3, n. June, p. e999, 2015.

LILLIS, A.; HOLE, W. Soundscapes and Larval Settlement: Characterizing the Stimulus from a Larval Perspective. **Advances in Experimental Medicine and Biology**, v. 875, 2015.

LIU, J. et al. Complexity of coupled human and natural systems. **Science**, v. 317, p. 5, 2007.

LOPES, R. M. et al. **Informe sobre as esopécies exóticas invasoras marinhas do brasil.**

Brasília, DF: [s.n.].

MARENZI, A. W. C.; BRANCO, J. O. O mexilhão *Perna perna* (Linnaeus) (Bivalvia, Mytilidae) em cultivo na Armação do Itapocoroy, Santa Catarina, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 22, n. 2, p. 394–399, 2005.

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.

NARCHI, W.; GALVÃO, B. M. S. *Revista Brasileira de Zoologia*. v. 14, n. 1, p. 135–168, 1997.

PENG, C. et al. Effects of anthropogenic sound on digging behavior, activity, and metabolism-related gene expression of the bivalve *Sinonovacula constricta*. n. March, p. 1–12, 2016.

PIERRI, B. S.; FOSSARI, T. D.; MAGALHÃES, A. R. M. O mexilhão. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 68, p. 404–414, 2016.

PIJANOWSKI, B. C. et al. Soundscape ecology: the science of sound in the landscape. **BioScience**, v. 61, n. 3, p. 203–216, 2011.

POPPER, A. N.; RICHARD, R. F. Rethinking sound detection by fishes. **Hearing research**, v. 273, p. 25–36, 2011.

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

RADFORD, C. A. et al. Temporal patterns in ambient noise of biological origin from a shallow water temperate reef. **Oecologia**, v. 156, p. 921–929, 2008b.

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

R Core Team (2018). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

RESGALLA, C. et al. The effect of temperature and salinity on the physiological rates of the mussel *Perna perna* (Linnaeus 1758). **Brazilian archives of biology and technology**, v. 50, n. May, p. 543–556, 2007.

RESGALLA, C.; WEBER, L. I.; CONCEIÇÃO, M. B. **Mexilhão, o - Perna perna (L.) - biologia, ecologia e aplicações**. Rio de Janeiro: Interciência, 2008.

ROBERTS, L. et al. Sensitivity of the mussel *Mytilus edulis* to substrate-borne vibration in relation to anthropogenically generated noise. **Marine Ecology Progress Series**, v. 538, n. December, p. 185–195, 2015.

ROOT, T. L. et al. Fingerprints of global warming on wild animals and plants. **Nature**, p. 57–60, 2003.

ROSARIO, A. A. **Sistema para monitoramento e análise de paisagens acústicas submarinas**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 2015.

RUPPERT, E. E.; BARNES, F.; R., S. **Zoologia Dos Invertebrados**. 6ª edição ed. São Paulo: Roca, 1996.

SCHAFFER, R. M. **Tuning of the World**. New York: Knopf, 1977.

SILVA, J. S. V.; SOUZA, R. C. C. **Água de lastro e bioinvasão**. Rio de Janeiro: Interciência, 2004.

SOUTHWORTH, M. The sonic environment of cities. **Environment and Behavior**, v. 1, p. 49–70, 1969.

STAATERMAN, E. et al. Soundscapes from a Tropical Eastern Pacific reef and a Caribbean Sea reef. **Springer-Verlag**, 2013.

TEIXEIRA, R. M. et al. Bioinvasão marinha: Os bivalves exóticos de substrato consolidado e suas interações com a comunidade receptora. **Oecologia Australis**, v. 14, n. 2, p. 381–402, 2010.

URICK, R. J. **Principles of underwater sound**. 3rd. ed. New York: McGraw-Hill, 1983.

VAZZANA, M. et al. Are mussels able to distinguish underwater sounds ? Assessment of the reactions of *Mytilus galloprovincialis* after exposure to lab-generated acoustic signals. **Comparative Biochemistry and Physiology, Part A**, v. 201, n. June, p. 61–70, 2016.

WILKENS, S. L.; STANLEY, J. A.; JEFFS, A. G. Induction of settlement in mussel ( *Perna canaliculus* ) larvae by vessel noise. **Biofouling : The Journal of Bioadhesion and Biofilm**, v. 28, p. 37–41, 2012.

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, p. 17–24, 2015.

ZHADAN, P. M. Directional Sensitivity of the Japanese Scallop *Mizuhopecten yessoensis* and Swift Scallop *Chlamys swifti* to Water-Borne Vibrations. **Russian Journal of Marine Biology**, v. 31, n. 1, p. 28–35, 2005.

## 5.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O artigo de revisão encontrou 12 espécies, pertencentes a 6 famílias em 16 estudos acústicos envolvendo bivalves. As principais espécies encontradas nas publicações foram *Crassostrea virginica*, *Mytilus edulis* e *Pecten maximus*, pertencentes as famílias Ostreidae, Mytilidae e Pectinidae respectivamente. Essas famílias também apresentaram o maior número de espécies estudadas. No entanto, a família Pectinidae (*Mizuhopecten yessoensis*, *Chlamys swifti*, *Pecten maximus* e *Mimachlamys varia*) possui o maior número de espécies em publicações, seguida da família Mytilidae (*Mytilus edulis*, *Mytilus galloprovincialis* e *Perna canaliculus*), e Ostreidae (*Magallana gigas* e *Crassostrea virginica*).

A pesquisa de revisão também apontou diferentes aplicações que os estudos acústicos envolvendo bivalves podem seguir. Além da caracterização e detecção, existem as possibilidades de estudos acústicos na orientação de larvas para o recrutamento e o assentamento e também aplicações em relações aos impactos do som no comportamento e no desenvolvimento desses moluscos. Vale ressaltar que todas as linhas desenvolvidas nas respectivas publicações são aplicáveis à espécie *Perna perna*. Como a presente pesquisa foi a primeira da espécie com a abordagem acústica, fica aberta a possibilidade de novos estudos para o bivalve.

O artigo sobre a caracterização da atividade acústica do mexilhão *Perna perna* selecionou 4.334 sinais acústicos, vindos de 1.040 indivíduos obtidos em 8 coletas. As atividades acústicas foram distribuídas entre os tratamentos totalmente e parcialmente submersos.

Foram encontrados padrões nos parâmetros acústicos em relação ao pico de frequência (Hz), ao pico de potência (dB re 1  $\mu$ Pa) e ao tempo de duração do som (s). O pico de frequência do mexilhão variou entre 0,14 e 23,9 kHz ( $\bar{x} = 8 \pm 6$  kHz), com maior concentração em atividades na classe frequência de 4 – 6 kHz (39% / N = 1.665). O pico de potência variou entre 43 e 105 dB re 1  $\mu$ Pa ( $\bar{x} = 63 \pm 7$  dB re 1  $\mu$ Pa) com maior concentração na classe de 60 – 70 dB re 1  $\mu$ Pa (45% / N = 2.057). O tempo de duração variou entre 0,01 e 0,92s ( $\bar{x} = 0,02 \pm 0,03$ ). Foram consideradas classes de tempo entre 0,0 e 0,1s, pois 98% das atividades se concentraram na mesma. Sendo assim, a maior concentração de atividade ocorreu na classe de tempo de 0,01 – 0,02 (47% / N = 2121). Em relação a variação da frequência, a maior parte das atividades ocorreram na classe inicial de 0 – 4 kHz (33% / N = 1.443) e na classe final

de 20 – 24 kHz (23% / N = 933). A variação da frequência do mexilhão também mostrou um declínio na ocorrência do número de atividades acústicas até a classe de 12 – 16 kHz 12 – 16 kHz (9% / N = 387).

Baseado nos testes estatísticos não paramétricos de Kruskal-Wallis e de Nemenyi, o estudo rejeitou a hipótese nula e aceitou a alternativa, em que a taxa de atividade acústica é dependente das densidades amostrais da população.

Apesar dos resultados positivos do presente estudo, vale ressaltar que é necessário considerar outros fatores para uma caracterização acústica mais robusta da espécie *Perna perna*. Mexilhões jovens e adultos se comportam de forma diferenciada em relação a fixação no substrato, (RESGALLA et al., 2008). Dessa maneira é interessante que se verifique o padrão da atividade acústica em relação a diferentes classes de tamanho. O *Perna perna* também é sensível às variações em relação a parâmetros ambientais como a temperatura e a salinidade (BRAVO et al., 1998; RESGALLA et al., 2007). Assim, um estudo pode ser desenvolvido para verificar as variações no sinal acústico relacionados aos parâmetros citados acima.

Possivelmente, variações em outros parâmetros abióticos como oxigênio dissolvido, luminosidade e pH, podem alterar o padrão da atividade acústica do mexilhão e também devem ser investigados. Da mesma forma, os fatores ecológicos como predação e alimentação, podem alterar os padrões acústicos da espécie estudada e também devem ser considerados.

Além de demonstrar que o som do mexilhão *Perna perna* é passível de ser caracterizado e apresentar que atividade acústica é dependente de densidades amostrais distintas, o presente estudo direciona o olhar para uma série de trabalhos que podem ser realizados através da acústica envolvendo moluscos bivalves.

## 6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AU, W. W. L.; BANKS, K. The acoustics of the snapping shrimp *Synalpheus parneomeris* in Kaneohe Bay. **Journal of the Acoustical Society of America**, v. 103, n. March, p. 41–47, 1998.
- BARROSO, G. F.; HENRIQUE, L. H. S. P.; CAVALLI, O. R. **Sistemas de cultivos aquícolas na zona costeira do Brasil: recursos, tecnologias, aspectos ambientais e sócio-econômicos**. Rio de Janeiro: Museu Nacional, 2007.
- BORTHAGARAY, C. A.; CARRANZA, A. Mussels as ecosystem engineers : their contribution to species richness in a rocky littoral community. **Acta oecologica**, v. 31, p. 243–250, 2007.
- BRAVO, S. M. I. .; CHUNG, K. S.; PÉREZ, J. E. Salinity and temperature tolerances of the green and brown mussels , *Perna viridis* and *Perna perna* ( Bivalvia : Mytilidae ). **Biol. trop.**, v. 7, p. 121–125, 1998.
- BUTLER, J.; BUTLER, M. J. I.; GAFF, H. Acoustic-based model estimation of snapping shrimp populations and the effects of a sponge die-off. **bioRxiv**, p. 36, 2016.
- CHARIF, R. A.; WAACK, A. M.; STRICKMAN, L. M. **Raven Pro 1 . 4 user ' s manual** Ithaca, NY Cornell Lab of Ornithology , 2010.
- CHARIFI, M. et al. The sense of hearing in the Pacific oyster , *Magallana gigas*. **PLoS ONE**, v. 12, p. 1–19, 2017.
- COELHO-SOUZA, S. A. et al. Biophysical interactions in the Cabo Frio upwelling system , southeastern Brazil. **Brazilian journal of oceanography**, v. 60, n. 3, p. 353–365, 2012.
- COQUEREAU, L. et al. Sound production and associated behaviours of benthic invertebrates from a coastal habitat in the north - east Atlantic. **Marine Biology**, n. May, p. 13, 2016.
- CORTEZ, F. S. et al. Science of the Total Environment Ecotoxicological effects of losartan on the brown mussel *Perna perna* and its occurrence in seawater from Santos Bay ( Brazil ). **Science of the Total Environment**, v. 637–638, p. 1363–1371, 2018.
- DI IORIO, L. et al. Hydrophone detects cracking sounds: Non-intrusive monitoring of bivalve movement. **Journal of experimental Marine biology and ecology**, v. 432–433, n. October, p. 9–16, 2012.
- ELLERS, O. Discrimination Among Wave-Generated Sounds by a Swash-Riding Clam. **Biological Bulletin**, v. 189, n. 2, p. 128–137, 1995.
- FREITAS, M.; ABROLHOS, R. Ictiofauna associada a um cultivo de mexilhão *Perna perna* ( Linnaeus , 1758 ) Norte Catarinense , Sul do Brasil. n. January 2010, 2015.
- GUIMARAENS, A. M.; COUTINHO, R. Spatial and temporal variation of benthic marine algae at the Cabo Frio upwelling region , Rio de. **Aquatic Botany**, v. 52, p. 283–299, 1996.
- HARRIS, S. A.; RADFORD, C. A. Marine Soundscape Ecology. **Inter-noise**, p. 1–9, 2014.
- HUGHES, A. R. et al. Predatory fish sounds can alter crab foraging behaviour and influence bivalve abundance. **Proceedings of the Royal Society. B**, v. 281, 2014.

JÉZÉQUEL, Y. et al. Sound characterization of the European lobster *Homarus gammarus* in tanks. **Youenn Jézéquel**, v. 27, p. 13–23, 2018.

JOLIVET, A. et al. Validation of trophic and anthropic underwater noise as settlement trigger in blue mussels. **Scientific Reports**, v. 6, n. 1, p. 33829, 2016.

JONES, C. G.; LAWTON, J. H.; SHACHAK, M. Positive and negative effects of organisms as physical ecosystem engineers. **Ecological Society of America**, v. 78, n. 7, p. 1946–1957, 1997.

LASIAK, T.; DYE, A. The Ecology of the Brown Mussel *Perna perna* in Transkei , Southern Africa : Implications for the Management of a Traditional Food Resource. **Biological Conservation**, v. 47, p. 245–257, 1989.

LILLIS, A.; BOHNENSTIEHL, D. R.; EGGLESTON, D. B. Soundscape manipulation enhances larval recruitment of a reef-building mollusk. **PeerJ**, v. 3, n. June, p. e999, 2015.

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. 21–23, 2013.

LILLIS, A.; EGGLESTON, D. B.; BOHNENSTIEHL, D. R. Estuarine soundscapes: Distinct acoustic characteristics of oyster reefs compared to soft-bottom habitats. **Marine Ecology Progress Series**, v. 505, p. 1–17, 2014a.

LILLIS, A.; EGGLESTON, D. B.; BOHNENSTIEHL, D. R. Soundscape variation from a larval perspective : the case for habitat-associated sound as a settlement cue for weakly swimming estuarine larvae. **Marine Ecology Progress Series**, v. 509, n. August, p. 57–70, 2014b.

LILLIS, A.; HOLE, W. Soundscapes and Larval Settlement: Characterizing the Stimulus from a Larval Perspective. **Advances in Experimental Medicine and Biology**, v. 875, 2015.

MARENZI, A. W. C.; BRANCO, J. O. O mexilhão *Perna perna* (Linnaeus) (Bivalvia, Mytilidae) em cultivo na Armação do Itapocoroy, Santa Catarina, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 22, n. 2, p. 394–399, 2005.

NARCHI, W.; GALVÃO, B. M. S. *Revista Brasileira de Zoologia*. v. 14, n. 1, p. 135–168, 1997.

PENG, C. et al. Effects of anthropogenic sound on digging behavior , activity , and metabolism-related gene expression of the bivalve *Sinonovacula constricta*. n. March, p. 1–12, 2016.

PIERRI, B. S.; FOSSARI, T. D.; MAGALHÃES, A. R. M. O mexilhão. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 68, p. 404–414, 2016.

PIJANOWSKI, B. C. et al. Soundscape ecology : the science of sound in the landscape. **BioScience**, v. 61, n. 3, p. 203–216, 2011.

R, C. T. (2018). **R: A language and environment for statistical computing** Vienna, Austria R Foundation for Statistical Computing, , 2018.

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

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

RESGALLA, C. et al. The effect of temperature and salinity on the physiological rates of the

mussel *Perna perna* ( Linnaeus 1758 ). **Brazilian archives of biology and technology**, v. 50, n. May, p. 543–556, 2007.

RESGALLA, C.; WEBER, L. I.; CONCEIÇÃO, M. B. **Mexilhão, o - Perna perna (L.) - biologia, ecologia e aplicações**. Rio de Janeiro: Interciência, 2008.

ROBERTS, L. et al. Sensitivity of the mussel *Mytilus edulis* to substrate-borne vibration in relation to anthropogenically generated noise. **Marine Ecology Progress Series**, v. 538, n. December, p. 185–195, 2015.

VAZZANA, M. et al. Are mussels able to distinguish underwater sounds ? Assessment of the reactions of *Mytilus galloprovincialis* after exposure to lab-generated acoustic signals. **Comparative Biochemistry and Physiology, Part A**, v. 201, n. June, p. 61–70, 2016.

WILKENS, S. L.; STANLEY, J. A.; JEFFS, A. G. Induction of settlement in mussel ( *Perna canaliculus* ) larvae by vessel noise. **Biofouling : The Journal of Bioadhesion and Biofilm**, v. 28, p. 37–41, 2012.

ZHADAN, P. M. Directional Sensitivity of the Japanese Scallop *Mizuhopecten yessoensis* and Swift Scallop *Chlamys Swifti* to Water-Borne Vibrations. **Russian Journal of Marine Biology**, v. 31, n. 1, p. 28–35, 2005.