

TELES, A.M. Caracterização de sons emitidos pelas lagostas verde (*Panulirus laevicauda*) e vermelha (*Panulirus meripurpuratus*) por meio do método acústico passivo em ambiente controlado e natural

1



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO PRÓ-REITORIA DE
PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
RECURSOS PESQUEIROS E AQUICULTURA**

CARACTERIZAÇÃO DE SONS EMITIDOS PELAS LAGOSTAS VERDE
(*Panulirus laevicauda*) E VERMELHA (*Panulirus meripurpuratus*) POR MEIO DO
MÉTODO ACÚSTICO PASSIVO EM AMBIENTE CONTROLADO E NATURAL

ANANDA MARIETA SILVA TELES

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Recursos Pesqueiros e Aquicultura da
Universidade Federal Rural de Pernambuco como
exigência para obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Paulo Travassos

Orientador

Prof. Dr. Alfredo Borie

Co-orientador

Recife, 07/2024

TELES, A.M. Caracterização de sons emitidos pelas lagostas verde (*Panulirus laevicauda*) e vermelha (*Panulirus meripurpuratus*) por meio do método acústico passivo em ambiente controlado e natural

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A532c Teles, Ananda
Caracterização de sons emitidos pelas lagostas verde (*Panulirus laevicauda*) e vermelha (*Panulirus meripurpuratus*) por meio do método acústico passivo em ambiente controlado e natural / Ananda Teles. - 2024.
50 f. : il.

Orientador: Paulo Eurico Travassos.
Coorientador: Alfredo Borie.
Inclui referências e apêndice(s).

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, , Recife, 2024.

1. *Panulirus*. 2. Acústica passiva. 3. Cativeiro. 4. Ambiente natural. I. Travassos, Paulo Eurico, orient. II. Borie, Alfredo, coorient. III. Título

CDD

TELES, A.M. Caracterização de sons emitidos pelas lagostas verde (*Panulirus laevicauda*) e vermelha (*Panulirus meripurpuratus*) por meio do método acústico passivo em ambiente controlado e natural

3

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E
PÓS-GRADUAÇÃO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS PESQUEIROS E
AQUICULTURA**

CARACTERIZAÇÃO DE SONS EMITIDOS PELAS LAGOSTAS VERDE (*Panulirus laevicauda*) E VERMELHA (*Panulirus meripurpuratus*) POR MEIO DO MÉTODO ACÚSTICO PASSIVO EM AMBIENTE CONTROLADO E NATURAL

ANANDA MARIETA SILVA TELES

Dissertação julgada adequada para obtenção
do título de mestre em Recursos Pesqueiros
e Aquicultura. Defendida e aprovada em
31/07/2024 pela seguinte Banca
Examinadora.

Prof. Dr. Paulo Eurico Pires Ferreira Travassos

Orientador

Departamento de Pesca e Aquicultura
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Profa. Dra. Ilka Siqueira Lima Branco Nunes

Membro Titular Externo

Departamento de Pesca e Aquicultura
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. Dr. Paulo Guilherme Vasconcelos de Oliveira

Membro Titular Interno

Departamento de Pesca e Aquicultura
Universidade Federal Rural de Pernambuco

TELES, A.M. Caracterização de sons emitidos pelas lagostas verde (*Panulirus laevicauda*) e vermelha (*Panulirus meripurpuratus*) por meio do método acústico passivo em ambiente controlado e natural

4

Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus pais, Josete Marieta e João Teles e à minha irmã Sophia Marieta por serem a embarcação mais segura nos mares da vida.

Agradecimentos

Primeiramente gostaria de agradecer a Jesus Cristo pelo seu infinito amor e misericórdia para comigo, em seguida a minha intercessora a Virgem Maria por me proteger com o seu manto sagrado por este caminho que percorri.

Em seguida a minha família por sempre estar presente e entender a distância física que este processo exigiu. A minha mãe, Josete Marieta por me mostrar todos os dias a força do amor e como ele pode ser o propulsor das nossas vidas. Ao meu pai, João Teles, por sempre me incentivar e acreditar em mim em todos os momentos, me impulsionando a continuar. A minha irmã, Sophia Marieta por vibrar comigo a cada conquista e ser o meu alento nos momentos de fragilidade. Amo vocês!

Ao meu afilhado Chico, por ser a materialização do amor em minha vida.

A toda a minha família materna e paterna pelas orações e incentivos durante esta trajetória.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Paulo Eurico, pela orientação e confiança depositada para a realização desta pesquisa, assim como durante a vivência em laboratório.

À equipe do Laboratório de Ecologia Marinha - LEMAR, que contribuíram com o conhecimento e troca de experiências, além das amizades formadas.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pela concessão da bolsa de estudo de mestrado.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco, servidores do Departamento de Pesca e Aquicultura e professores do Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Aquicultura, que contribuíram efetivamente para a minha formação acadêmica

Por fim agradeço a todos que vieram antes de mim e lutaram pelo direito a uma educação de qualidade! Valeu a pena! Sigamos.

Resumo

Alguns crustáceos produzem sons durante interações com potenciais predadores, lagostas da família Palinuridae estão dentro deste grupo. A emissão de som por essas lagostas é um mecanismo de defesa ou comunicação, e técnicas de monitoramento acústico passivo (PAM) são ferramentas valiosas para estudar esses comportamentos. Este estudo teve como objetivo realizar de maneira experimental o registro, a análise e a caracterização da emissão sonora de duas espécies de lagostas da família Palinuridae, a lagosta vermelha (*Panulirus meripurpuratus*) e a lagosta verde (*Panulirus laeviscauda*). Espécies foram coletados através de atividade de mergulho autônomo, com uso de bicheiro (bastão com anzol sem farpa em uma extremidade), realizado em profundidades que variaram entre 15 e 25 m, em áreas da plataforma continental adjacentes ao Recife, Pernambuco, Brasil. As gravações acústicas foram realizadas no Laboratório de Ecologia Marinha e no Laboratório de Tecnologia em Aquicultura, do Departamento de Pesca e Aquicultura da UFRPE, e em ambiente natural ao largo de Recife. Foram analisados 274 registros acústicos (chamadas) em um total de 105h-41min-03s de gravação. A caracterização individual de cada sinal foi realizada utilizando-se os seguintes parâmetros acústicos: Número de pulsos/chamada (n), Duração da chamada (ms), Pico de frequência (Hz), Limite de baixa frequência (Hz) e Limites de alta frequência (Hz). Os cortes de cada registro foram feitos e utilizados para a caracterização individual de cada tipo de chamada (unidade acústica) posteriormente analisados no software Raven Pro 1.4 (Cornell Laboratory of Ornithology). Nas análises comparativas das chamadas acústicas para cada espécie foi aplicado o teste estatístico de Mann-Whitney (Wilcoxon rank-sum test). Os resultados obtidos da captação sonora das espécies em situação de estresse e condições normais, mostraram uma variação nas frequências medida, a lagosta vermelha apresentou um aumento de 29kHz na emissão sonora durante o estresse, enquanto a lagosta verde registrou um aumento de 18 kHz. A lagosta vermelha respondeu mais intensamente à presença do potencial predador, emitindo mais pulsos por minuto do que a lagosta verde. As emissões, tendo como referência a baixa frequência, a duração e o número de pulsos, diferem entre as espécies, mas pico de frequência e a alta frequência são iguais estatisticamente. Em conclusão, o nosso trabalho confirmou que as espécies de lagosta *P. laeviscauda* e *P. meripurpuratus* possuem um mecanismo de estridulação apenas na presença de um predador potencial.

Palavras-chave: *Panulirus*, acústica passiva, cativeiro e ambiente natural.

Abstract

Some crustaceans produce sounds during interactions with potential predators; lobsters from the Palinuridae family are among this group. The emission of sound by these lobsters is a defense or communication mechanism, and passive acoustic monitoring (PAM) techniques are valuable tools for studying these behaviors. The aim of this study was to record, analyze and characterize the sound emission of two species of lobsters from the Palinuridae family, the red lobster (*Panulirus meripurpuratus*) and the green lobster (*Panulirus laevicauda*). Specimens were collected through scuba diving, using a bicheiro (a stick with a barbless hook at one end), carried out at depths varying between 15 and 25 m, in areas of the continental shelf adjacent to Recife, Pernambuco, Brazil. The acoustic recordings were made at the Marine Ecology Laboratory and the Aquaculture Technology Laboratory of the Department of Fisheries and Aquaculture at UFRPE, and in a natural environment off Recife. We analyzed 274 acoustic recordings (calls) in a total of 105h-41min-03s of recording. The individual characterization of each signal was carried out using the following acoustic parameters: Number of pulses/call (n), Call duration (ms), Peak frequency (Hz), Low frequency limit (Hz) and High frequency limits (Hz). Cuts of each sound were made and used to individually characterize each type of call (acoustic unit) and then analysed using Raven Pro 1.4 software (Cornell Laboratory of Ornithology). The Mann-Whitney statistical test (Wilcoxon rank-sum test) was applied to the comparative analysis of the acoustic calls for each species. The results obtained from the sound capture of the species under stress and normal conditions showed a variation in the frequencies measured, with the red lobster showing an increase of 29 kHz in sound emission during stress, while the green lobster recorded an increase of 18 kHz. The red lobster responded more intensely to the presence of the potential predator, emitting more pulses per minute than the green lobster. The emissions, based on low frequency, duration, and number of pulses, differ between species, but the peak frequency and high frequency are statistically the same. In conclusion, our work has confirmed that the lobster species *P. laevicauda* and *P. meripurpuratus* have a stridulating mechanism only in the presence of a potential predator.

Keywords: *Panulirus*, passive acoustics, captivity, natural environment.

Lista de figuras

Figura 1 - Hidrofone estacionário do modelo SoundTrap 300 -Ocean Instruments, Nova Zelândia (oceaninstruments.co.nz).....	26
Figura 2 - Sistema de tanques em laboratório externo.....	28
Figura 3 - Localização da praia do Paiva, no município do Cabo de Santo Agostinho, Pernambuco, Brasil.	30
Figura 4 - Espectrograma da emissão sonora da Lagosta vermelha (<i>Panulirus meripurpuratus</i>) em condição normal.	33
Figura 5 - Espectrograma da emissão sonora da Lagosta vermelha (<i>Panulirus meripurpuratus</i>) em condição de estresse.	33
Figura 6 - Espectrograma da emissão sonora da Lagosta verde (<i>Panulirus laevicauda</i>) em condição normal.	33
Figura 7 - Espectrograma da emissão sonora da Lagosta verde (<i>Panulirus laevicauda</i>) em condição de estresse.	34
Figura 8 - Resultado dos parâmetros acústicos analisados para a Lagosta verde (<i>Panulirus laevicauda</i>) e Lagosta vermelha (<i>Panulirus meripurpuratus</i>).	34
Figura 9 - Espectrograma e oscilograma da paisagem acústica encontrada na Praia do Paiva..	36

Lista de tabelas

Tabela 1- Valores registrados dos parâmetros de qualidade da água ao longo do experimento para registro de sons emitidos pelas lagostas. 28

Tabela 2- Valores mínimos, máximos e médios da frequência da emissão sonora em kHz da lagosta vermelha (*Panulirus meripurpuratus*) e da lagosta verde (*P.laevicauda*) em situação ideal e estresse causado com o polvo artificial. 32

Tabela 3- Valores máximos e mínimos de duração dos pulsos sonoros em segundos em situação de estresse lagosta vermelha (*Panulirus meripurpuratus*) e a lagosta verde (*Panulirus laevicauda*). 32

Tabela 4- Valores obtidos para W e P valor a partir do teste estatístico de Mann-Whitney em laboratório. 35

Tabela 5- Mediana das variáveis analisadas de ambas as espécies para o teste estatístico de Mann-Whitney. 35

Sumário

	Página
Dedicatória	04
Agradecimento	05
Resumo	06
Abstract	07
Lista de figuras	08
Lista de tabelas	09
1- Introdução	11
2- Caracterização de sons emitidos pela lagosta verde (<i>Panulirus laevicauda</i>) e vermelha (<i>Panulirus meripurpuratus</i>) por meio do método acústico passivo	20
3- Referências	43

1. Introdução

1.1 Contextualização da pesquisa

Os oceanos são fundamentais para a vida no planeta, sendo responsáveis pela oferta de diversos serviços ecossistêmicos, como a provisão de alimentos, energia, regulação do clima, ciclagem de nutrientes, oferta de oxigênio, entre outros, como os serviços culturais associados ao lazer e recreação (BARBIER, 2017; FARONI-PEREZ et al., 2020; MOONEY et al., 2020).

No entanto, as atividades antropogênicas exercem uma crescente pressão sobre oceanos, levantando preocupações sobre a necessidade de manejo e conservação da vida marinha (Marques et al., 2013). Nesse cenário, a emissão de sons no ambiente marinho é uma ferramenta crucial de comunicação para diversas espécies. Os sons produzidos por esses organismos constituem a chamada Paisagem Acústica Submarina (PAS). Esta, corresponde ao conjunto de sons presentes em um ambiente, sendo classificados em: biofonia (origem biológica), geofonia (origem abiótica) e antropofonia (origem antropogênica). A interação entre estes sons produz uma assinatura acústica específica que pode variar em uma escala temporal e/ou espacial. A interação entre esses diferentes tipos de sons cria uma assinatura acústica específica para cada ambiente marinho, que pode variar em uma escala temporal e/ou espacial. Isso significa que a paisagem acústica submarina pode mudar ao longo do tempo (diariamente, sazonalmente ou anualmente) e de lugar para lugar, dependendo dos fatores biológicos, geofísicos e antropogênicos presentes. (Pijanowski et al., 2011; Farina, 2014; Campbell et al., 2019; Minello et al., 2022). Assim, estudos dos sinais acústicos emitidos por organismos aquáticos são de grande importância para melhor entender como estes organismos interagem entre si e usam esta comunicação para diferentes atividades e ocupação dos ecossistemas que habitam.

Diversos animais marinhos utilizam de sinais acústicos para realizar uma ampla gama de atividades biológicas. Alguns desses sons podem ser gerados sem intencionalidade,

mas na maioria dos casos eles são emitidos para fins de comunicação com diferentes objetivos (McCauley e Cato 2000; Tyack e Clark 2000), como reprodução (Lobel 2002; Lucrezi e Schlacher 2014) ou defesa contra predadores (Patek, 2001; Buscaino et al., 2011; Amorim et al., 2015).

Uma grande variedade de organismos marinhos emite sons, incluindo os invertebrados (Everest et al. 1948; Iversen et al., 1963; Popper et al. 2001). No ambiente marinho, invertebrados de diferentes grupos taxonômicos são amplamente estudados em relação à sua biologia e ecologia devido à sua importância ecológica, econômica e como indicadores de saúde ambiental. Esses estudos abrangem uma variedade de aspectos, desde a fisiologia e comportamento dos invertebrados até suas interações ecológicas e respostas a mudanças ambientais. (SAMADI et al., 2006; ELLIS et al., 2011) e alguns, também por sua importância econômica. Apesar disso, somente a partir dos anos 90, surgiram os primeiros estudos bioacústicos desses organismos (Williams et al., 2015). Diversos estudos já demonstraram que invertebrados marinhos, como camarões, lagostas, bivalves e ouriços, além de contribuírem para a formação da paisagem acústica submarina, também são afetados por ela (Kaifu; Segawa; Tsuchiya, 2007; Hughes; Mann; Kimbro, 2014), por meio das interferência acústicas.

Dados empíricos sobre propagação sonora e faixa de detecção de invertebrados marinhos, como crustáceos, são escassos (Youenn Jézéquel et al., 2023), não havendo estudos que permitam uma validação de potenciais papéis ecológicos para esses sons (Youenn Jézéquel et al. 2020).

Os invertebrados marinhos são considerados como principais contribuintes das paisagens acústicas costeiras (COQUEREAU et al., 2016), podendo ser diretamente influenciados pelos ruídos antropogênicos (HAWKINS; POPPER, 2017). Apesar de sua importância ecológica e econômica, ainda não há dados suficientes para a maioria dos invertebrados, a respeito da produção e detecção do som, nem sobre os impactos da antropofonia nesses organismos (CHARIFI et al., 2017). Sendo assim, para melhor

preservação e gestão desses recursos naturais, faz-se necessária, a ampliação de estudos com a abordagem bioacústica para esse grupo taxonômico. Dada a importância dessas comunicações acústicas e tendo em vista que elas podem ser utilizadas para melhor compreender a ocupação e funcionamento dos ecossistemas, estudos que tenham como enfoque avaliar a paisagem acústica vem sendo realizados em diversas partes do mundo. Em ambientes marinhos, pesquisas tem registrado a predominância de sons biológicos (biofônicos) produzidos por diversas espécies de mamíferos (JANIK et al., 2005), peixes (KAATZ, 2002; AMORIM et al., 2006) e crustáceos (BOON et al., 2009). Além disso, alguns estudos têm também mencionado que há grandes impactos antropogênicos, provocados principalmente pelos sons da propulsão dos motores de embarcações de usos diversos, que produzem ruídos capazes de impactar negativamente a comunicação entre os organismos e alterar seu comportamento (KAPLAN et al., 2016; PINE et al., 2016). No entanto, muitas tecnologias utilizadas em estudos sobre esse tema não são sustentáveis e possuem caráter invasivo (WYNSBERGHE e DONHAUSER, 2018). Uma alternativa a isso é o uso de técnicas de Monitoramento Acústico Passivo (MAP), que se baseiam na recepção de sinais acústicos por meio de sensores. Diversos estudos mostraram que o MAP é uma ferramenta inovadora e não invasiva (MERCHANT et al., 2015; HOWE et al 2019; MOONEY et al., 2020).

1.2. Monitoramento Acústico Passivo

O Monitoramento Acústico Passivo (PAM) é um método não invasivo para amostrar e monitorar ecossistemas através da gravação e análise dos sons gerados no ambiente, permitindo a análise de informações sobre a emissão de sons específicos. Existem muitas vantagens de implementar o PAM para fins de monitoramento subaquático (Fatin Izzati MA Hadi et al., 2021). Utiliza-se sons produzidos pelos próprios animais para fazer inferências sobre sua distribuição e ocorrência (MARQUEL et al., 2012), migração (CATO et al., 2006) e para identificar seus comportamentos (ICHIKAWA et al., 2006).

Entretanto, o conhecimento prévio sobre o comportamento vocal da espécie, no entanto, é extremamente necessário para analisar e classificar as detecções (CATO et al., 2006). Assim, o registro do conjunto de sons de um determinado ecossistema permite avaliar e caracterizar a paisagem acústica existente, indicando seu estado de conservação e o grau de diversidade de algumas espécies, além de ser útil para avaliar a ocorrência e distribuição dos organismos capazes de emitir sons (PIJANOWSKI et al., 2011; FARINA e PIERETTI, 2012). A acústica passiva oferece a possibilidade de levantamento de dados de ocorrência em situações em que pesquisas visuais não seriam possíveis como, por exemplo, em situações climáticas e oceanográficas adversas e na ausência de luz (Mellinger et al. 2007. Johnston&-Wyatt.2015)

Logo, este método se constitui em uma alternativa interessante para o estudo de diferentes tipos de ecossistemas marinhos, apresentando ainda a vantagem de ser uma tecnologia inovadora de pesquisa não invasiva, para fins de monitoramento, conservação e gestão de recursos vivos destes ambientes.

Neste contexto, o uso dessa técnica parece se adequar perfeitamente bem ao estudo de um dos mais importantes recursos pesqueiros do Nordeste do Brasil, representados pelas lagostas da família Palinuridae, principalmente das espécies *Panulirus meripurpuratus* (lagosta vermelha) e *Panulirus laeviscauda* (lagosta verde), espécies acusticamente ativas (Hamilton et al. 2019) e abundantes nesta parte da costa brasileira. Assim, compreender a escala acústica dessas espécies, pode ajudar ainda mais a entender o papel ecológico que elas desempenham (Youenn Jézéquel et al., 2022).

A lagosta vermelha pode ser encontrada no Brasil desde o Pará (2°S) até Santa Catarina (27°S), incluindo a ilhas oceânicas de Fernando de Noronha, Atol das Rocas e Arquipélago de São Pedro e São Paulo (GIRALDES e SMYTH, 2016). Já a lagosta verde, pode ocorrer na Flórida, Golfo do México, ilhas Bermudas, em todo o Caribe e no Brasil, do Amapá até Santa Catarina, incluindo o Atol das Rocas e o Arquipélago de Fernando de Noronha (Lima et al., 2017).

Os sons gerados pelos crustáceos contribuem substancialmente para caracterizar as paisagens sonoras marinhas (Patek & Oakley 2003, Freeman et al. 2014) e podem conter informações importantes sobre o uso do habitat por diferentes espécies (Watanabe et al. 2002, Piercy et al., 2014). Cerca de 39 espécies de Lagostas espinhosas (Palinuridae) também são conhecidas por produzir sons, comumente chamados de estridulação (George & Main 1967; Kanciruk, 1980; Holthuis, 1991; Patek & Oakley 2003; Childress & Júri 2006). Sabe-se que a maioria das espécies de lagosta espinhosa (Palinuridae) gera um som anti-predador ('rasp'), produzido pela fricção de duas superfícies na base das antenas (Patek and Baio 2007).

Estudos recentes mostram que os sons produzidos pelas lagostas espinhosas variam significativamente com seus tamanhos corporais, com indivíduos maiores emitindo sons de maior amplitude, em comparação com indivíduos menores. Novos estudos devem relacionar essas variações com o desenvolvimento de estruturas produtoras de som em lagostas (Youenn Jézéquel et al., 2020).

1.3. Pesca da lagosta no Brasil

A pesca de lagostas no Brasil é realizada comercialmente com foco em cinco espécies citadas em ordem de importância econômica: lagosta vermelha, *Panulirus meripurpuratus* (Giraldes & Smyth, 2016), lagosta verde, *Panulirus laevicauda* (Latreille, 1817), as lagostas sapateiras, *Scyllarides brasiliensis* (Rathbun, 1906) e *Scyllarides delfosi* (Holthuis, 1960), e a lagosta pintada, *Panulirus echinatus* (Smith, 1869). Os Palinurídeos são o item alimentar de origem marinha de maior valor de comercialização, tendo ampla distribuição em águas tropicais e subtropicais (Conceição, 1987; Lipcius & Cobb, 1994). Nas espécies pertencentes ao gênero *Panulirus*, a lagosta vermelha *Panulirus meripurpuratus* apresenta a maior área de distribuição, estando presente em ilhas oceânicas, em bancos submarinos e na plataforma continental. A espécie *Panulirus laevicauda*, conhecida como lagosta verde, concentra-se em menores profundidades e suas capturas possuem representatividade apenas no nordeste brasileiro

(CASTRO e SILVA: CAVALCANTE, 1994; CRUZ et al., 1987; PAIVA. 1968). Vale ressaltar que, em trabalho recente, a lagosta vermelha da costa brasileira, historicamente identificada como *Panulirus argus*, teve uma reclassificação taxonômica, passando a ser citada como *Panulirus meripurpuratus* (Giraldes & Smyth, 2016).

A pesca na costa brasileira se iniciou na costa nordeste em meados da década de 1950, tendo Fortaleza (CE), no Nordeste Setentrional, e Recife (PE), no Nordeste Oriental, como centros pioneiros, atualmente sendo tipicamente artesanal e praticada com uso de covos (ou manzuá) (Paiva et al., 1975; IBAMA, 2008, Aragão & Cintra, 2018). Atualmente, os litorais das regiões Nordeste e Norte do Brasil constituem a principal área produtora de lagostas no País. (Lima et al., 2017).

A exploração lagosteira ao longo da costa nordeste do Brasil iniciou-se no ano de 1955 (PAIVA, 1973, 1974), com a compra da produção artesanal para a exportação e processamento industrial, principalmente de caudas congeladas (FONTELES-FILHO, 2007), foi demonstrado a viabilidade econômica da exploração pela grande demanda e consequente aumento no preço das lagostas (PAIVA, 1997). Caracterizada pelo importante papel sócio-econômico (IBAMA, 2008), a atividade desenvolveu-se rapidamente, passando a ser majoritariamente industrial já na década de 1980, quando as embarcações de grande porte (cerca de 24 m) e casco de ferro, passaram a operar, ainda com uso de covos (Aragão, 2013).

Outros petrechos e métodos de pesca foram sendo usados ao longo dos anos de evolução da pescaria, como a rede de emalhe (tipo caçoeira) e o mergulho com uso de marambaias (espécie de recife artificial construído com tonéis de ferro para servir como refúgio para lagostas, facilitando suas capturas).

Como já dito acima, a atividade de pesca baseia-se na captura das duas espécies principais: a lagosta vermelha, que participa com cerca de 70% do total da produção, e a lagosta verde, com 29%, 1% restante corresponde as outras espécies pescadas no país. Essas espécies são capturadas ao longo de todo o litoral do Nordeste e do Espírito Santo, cobrindo uma área de aproximadamente 8.434 km², com poucas lagostas sendo

capturadas fora dessa área (FONTES-FILHO, 1994a). A evolução das capturas desde o início da exploração, indica a tendência clássica de um crescimento rápido da produção, atingido o nível máximo de 11.119 t em 1979, após o qual uma queda contínua é observada até atingir o nível de 8.000 t em 1980, exprimindo uma exploração acima do limite sustentável dos estoques e a clara ineficiência no manejo da atividade no Brasil (Fontelles-Filho, 1994b; IBAMA, 2003).

O grande número de embarcações envolvidas na atividade de pesca da lagosta no Nordeste brasileiro foi um dos fatores que mais contribuíram para a queda da biomassa dos estoques, a diminuição da produção e o início da crise interna no setor (MAMEDE, 2006)

O aumento do esforço de pesca junto com a pesca ilegal e a má gestão da atividade geraram o resultado que impactam até hoje, o serviço passa por uma grave crise de sustentabilidade, com inúmeros conflitos e graves consequências sobre o recurso (BRASIL, 2000). A exploração dos recursos pesqueiros no Brasil, como em outras regiões do mundo, tem aumentado o número de estoques sobre pescados alcançando um nível assintótico na década de 1990 (GARCIA; MORENO, 2003).

A produção lagosteira do país, que inclui a de Pernambuco, atende substancialmente ao mercado externo, constituindo-se como o principal item da balança comercial brasileira de pescado. Atualmente, a sua produção estimada é de 6.100 t (FAO 2018), da qual 95% são direcionadas às exportações (Aragão et al., 2019). Conforme as análises explicitadas por Santos (2019) acerca da balança comercial brasileira, a lagosta é o principal produto pesqueiro de exportações do pescado no Brasil, representando 30% do total enviado ao exterior em 2019.

A pesca no estado de Pernambuco é predominantemente artesanal, mas se destaca por ser tecnologicamente mais avançada em comparação com outras pescarias. Essa diferença tecnológica se deve, em parte, ao alto valor comercial das lagostas, o que justifica o investimento em embarcações e técnicas mais modernas. No entanto, o

sistema pesqueiro de Pernambuco foi avaliado como tendo um baixo grau de sustentabilidade, apesar de apresentar uma alta correlação com os atributos da dimensão econômica. Isso significa que, embora a pesca tenha um impacto econômico significativo, ela enfrenta desafios relacionados à sustentabilidade ambiental e à gestão de recursos pesqueiros (LESSA et al., 2009). Em 2018, Pernambuco se destacou como o quinto maior estado exportador de lagosta no Brasil, com um total de 189 toneladas, representando 3,61% das exportações nacionais. Estudos realizados em Pernambuco indicam uma dominância da lagosta vermelha (*Panulirus argus*) na captura. Essa espécie foi responsável por 85% das capturas no passado (Moura, 1965) e manteve uma alta participação em anos mais recentes, com 83% das capturas (OLIVEIRA et al., 2015), foi mais acentuada do que a registrada para o início e meados da década de 2000. (Lima et al., 2009).

Atualmente, a PORTARIA SAP/MAPA Nº 221, DE 8 DE JUNHO DE 2021, proíbe a pesca da lagosta vermelha (*Panulirus meripurpuratus*) e da lagosta verde (*P. laevis*) no período anual de defeso, que se estende de 1 Novembro a 30 de Abril, fixa o tamanho mínimo de captura da *Panulirus meripurpuratus* em 14 cm de cauda e 8 cm de cefalotórax e da *Panulirus laevis* em 11 cm de cauda e 6,5 cm de cefalotórax, define o covo com malha quadrada de 5 cm e cangalha como os apetrechos de pesca autorizados para uso e proíbe o uso de rede de emalhe, marambaia e mergulho de qualquer natureza, assim como o aumento do esforço da pesca, não sendo permitida a concessão de novas autorizações de pesca para o ingresso de novas embarcações na atividade.

Segundo (Silva e Fonteles-Filho, 2011), as artes de pesca proibidas, como o mergulho, são frequentemente utilizadas durante a temporada de pesca em alguns estados, incluindo Pernambuco. Essa prática ilegal não se limita apenas ao período de pesca, pois não é improvável que pescadores que já atuam de maneira ilegal durante a temporada continuem operando dessa forma durante o defeso. O defeso é um período crítico em que a pesca é suspensa para permitir a reprodução e recuperação dos estoques

pesqueiros. No entanto, a continuidade das práticas ilegais durante este período demonstra uma tentativa de burlar os regulamentos legais para manter a atividade econômica, mesmo que isso comprometa a sustentabilidade dos recursos pesqueiros a longo prazo.

Esse comportamento de desrespeito às regulamentações pode resultar em impactos negativos significativos, incluindo a diminuição dos estoques de lagosta, prejudicando a biodiversidade marinha e afetando a viabilidade futura da pesca artesanal. As autoridades enfrentam o desafio de fortalecer a fiscalização e promover a conscientização entre os pescadores sobre a importância da observância das leis de pesca para garantir a sustentabilidade dos recursos. (MADRID e CRUZ, 2013; RODRIGUES FILHO *et al.*, 2016). Apesar da existência de um Plano de Gestão para o Uso Sustentável de Lagostas no Brasil, elaborado sob a coordenação do IBAMA e aprovado pelo Comitê de Gestão do Uso Sustentável de Lagostas (CGSL), que integra diversas instâncias do governo e da sociedade civil, a atividade pesqueira continua sendo marcada por padrões predatórios e predominantemente ilegais. Esse plano foi desenvolvido com o objetivo de promover a sustentabilidade da pesca de lagostas, estabelecendo diretrizes e medidas de controle para garantir a conservação dos estoques. A continuidade dessas práticas ilegais indica uma lacuna na fiscalização e na aplicação das regulamentações estabelecidas pelo plano de gestão. (DIAS-NETO, 2008). Neste contexto, a acústica passiva pode contribuir para melhor compreender o comportamento e/ou funções ecológicas associadas aos sons que estas lagostas produzem (Popper *et al.*, 2001; Taylor e Patek, 2010) uma vez que eles estão associados a atividades específicas, como movimento sobre o substrato, natação, reprodução, defesa, territorialismo e alimentação (Boon *et al.*, 2009).

Desta forma, espera-se que o presente estudo possa contribuir com a geração de informações capazes de contribuir para melhor caracterizar os padrões sonoros das duas

espécies estudadas, e com a adoção de medidas voltadas para a conservação e exploração racional de seus estoques pesqueiros.

1.2. Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

- Analisar e caracterizar os padrões acústicos sonoros emitidos pela lagosta verde em laboratório e ambiente natural (*Panulirus laevicauda*) e vermelha (*Panulirus meripurpuratus*).

1.2.2 Objetivos específicos

- Registrar, analisar e caracterizar os sons emitidos pelas lagostas verde e vermelha em cativeiro;
- Realizar análise comparativa dos sons emitidos pelas duas espécies;
- Gravar e identificar os sons emitidos em ambiente natural pelas lagostas verde e vermelha para fins de registros de presença.

TELES, A.M. Caracterização de sons emitidos pelas lagostas verde (*Panulirus laevicauda*) e vermelha (*Panulirus meripurpuratus*) por meio do método acústico passivo em ambiente controlado e natural

21

2- Artigo científico

CARACTERIZAÇÃO DE SONS EMITIDOS PELAS LAGOSTAS VERDE (*Panulirus laevicauda*) E VERMELHA (*Panulirus meripurpuratus*) POR MEIO DO MÉTODO ACÚSTICO PASSIVO EM AMBIENTE NATURAL E CONTROLADO

Artigo científico a ser encaminhado para Revista The International Journal of Animal Sound and its Recording

Recife, 2024

CARACTERIZAÇÃO DE SONS EMITIDOS PELAS LAGOSTAS VERDE (*Panulirus laevicauda*) E VERMELHA (*Panulirus meripurpuratus*) POR MEIO DO MÉTODO ACÚSTICO PASSIVO EM AMBIENTE NATURAL E CONTROLADO

Ananda Teles¹, , Alfredo Borie², Paulo Travassos¹.

^{12º} Laboratório de Ecologia Marinha (LEMAR), Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Pesca e Aquicultura, Av. Dom Manuel de Medeiros s/n, Dois Irmãos, 52171- 900, Recife, PE, Brasil. E-mail: anandamarieta@hotmail.com

²Universidade Federal de Alagoas, Departamento de Pesca e Aquicultura, Av. Beira Rio s/n, Penedo, Penedo. AB CEP 57200 000. Brasil. Email: alfredo.mojica@penedo.ufal.br

Resumo

Este estudo teve como objetivo realizar o registro, a análise e a caracterização da emissão sonora de duas espécies de lagostas da família Palinuridae, a lagosta vermelha (*Panulirus meripurpuratus*) e a lagosta verde (*Panulirus laevicauda*). Espécimens foram coletados (04) através de atividade de mergulho autônomo, com uso de bicheiro (bastão com anzol sem farpa em uma extremidade), realizado em profundidades que variaram entre 15 e 25 m, em áreas da plataforma continental adjacentes ao Recife, Pernambuco, Brasil. As gravações acústicas foram realizadas no Laboratório de Ecologia Marinha e no Laboratório de Tecnologia em Aquicultura, do Departamento de Pesca e Aquicultura da UFRPE, e em ambiente natural ao largo de Recife. Foram analisados 274 registros acústicos (chamadas) em um total de 105h-41min-03s de gravação. A caracterização individual de cada sinal foi realizada utilizando-se os seguintes parâmetros acústicos: Número de pulsos/chamada (n), Duração da chamada (ms), Pico de frequência (Hz), Limite de baixa frequência (Hz) e Limites de alta frequência (Hz). Os cortes de cada som foram feitos e utilizados para a caracterização individual de cada tipo de chamada (unidade acústica) posteriormente analisados no software Raven Pro 1.4 (Cornell Laboratory of Ornithology). Nas análises comparativas das chamadas acústicas para cada espécie foi aplicado o teste estatístico de Mann-Whitney (Wilcoxon rank-sum test). Os resultados obtidos da captação sonora das espécies em situação de estresse e condições normais, mostraram uma variação nas frequências medida, a lagosta vermelha apresentou um aumento de 29kHz na emissão sonora durante o estresse, enquanto a lagosta verde registrou um aumento de 18 kHz. A lagosta vermelha respondeu mais intensamente à presença do potencial predador, emitindo mais pulsos por minuto do que a lagosta verde. As emissões, tendo como referência a baixa frequência, a duração e o número de pulsos, diferem entre as espécies, mas o pico de frequência e a alta frequência são iguais estatisticamente.

Palavras-chave: *Panulirus*, acústica passiva, cativeiro e ambiente natural.

Abstract

The aim of this study was to record, analyze and characterize the sound emission of two species of lobsters from the Palinuridae family, the red lobster (*Panulirus meripurpuratus*) and the green lobster (*Panulirus laevicauda*). Specimens were collected through scuba diving, using a bicheiro (a stick with a barbless hook at one end), carried out at depths varying between 15 and 25 m, in areas of the continental shelf adjacent to Recife, Pernambuco, Brazil. The acoustic recordings were made at the Marine Ecology Laboratory and the Aquaculture Technology Laboratory of the Department of Fisheries and Aquaculture at UFRPE, and in a natural environment off Recife. We analyzed 274 acoustic recordings (calls) in a total of 105h-41min-03s of recording. The individual characterization of each signal was carried out using the following acoustic parameters: Number of pulses/call (n), Call duration (ms), Peak frequency (Hz), Low frequency limit (Hz) and High frequency limits (Hz). Cuts of each sound were made and used to individually characterize each type of call (acoustic unit) and then analysed using Raven Pro 1.4 software (Cornell Laboratory of Ornithology). The Mann-Whitney statistical test (Wilcoxon rank-sum test) was applied to the comparative analysis of the acoustic calls for each species. The results obtained from the sound capture of the species under stress and normal conditions showed a variation in the frequencies measured, with the red lobster showing an increase of 29 kHz in sound emission during stress, while the green lobster recorded an increase of 18 kHz. The red lobster responded more intensely to the presence of the potential predator, emitting more pulses per minute than the green lobster. The emissions, based on low frequency, duration, and number of pulses, differ between species, but the peak frequency and high frequency are statistically the same.

Keywords: *Panulirus*, passive acoustics, captivity, natural environment.

Introdução

Já se é conhecido que diversos organismos aquáticos emitem sons para se comunicar e que essa comunicação é essencial para uma variedade de comportamentos e funções biológicas (TYACK, 1998), como reprodução, defesa contra predadores, entre outras. Assim, caracterizar a paisagem acústica de um determinado ambiente, contribui para indicar seu estado de conservação, estimar a presença e diversidade de espécies que geram sons (PIJANOWSKI et al., 2011; FARINA e PIERETTI, 2012), apoiando pesquisas que objetivem melhor conhecer esses ambientes sob diversos aspectos bióticos e abióticos (URICK, 2020).

Dentre os organismos marinhos que emitem som, se destacam espécies de mamíferos (Moore et al. 2006; Mellinger et al., 2007), peixes (AMORIM et al., 2006; Luczkovich et al., 2008; Picciulin et al., 2013) e invertebrados (Everest et al. 1948; Iversen et al., 1963; Popper et al. 2001). Neste último grupo, as funções potenciais das emissões dos sons são ainda pouco descritas (Taylor e Patek, 2010; Edmonds et al., 2016). Tendo como enfoque os invertebrados marinhos, vários táxons foram investigados em maior detalhe, incluindo camarões (Au & Banks 1998, Bohnenstiehl et al. 2016; Patek & Caldwell 2006), lagostas espinhosas (Patek & Oakley 2003) e caranguejos semi-terrestres (Boon et al. 2009). Esses táxons produzem sons através de uma variedade de mecanismos, sendo a estridulação um dos métodos mais comuns, resultante do atrito entre duas partes do corpo. A acústica passiva é um campo emergente como ferramenta para estudos em biologia marinha que, até recentemente, recebia pouca atenção dos cientistas e gestores voltados para o uso sustentável dos oceanos (ROUNTREE et al., 2006). O uso de técnicas de Monitoramento Acústico Passivo (MAP) é uma abordagem inovadora e não invasiva para a avaliação dos ecossistemas marinhos. O MAP envolve o registro de sinais acústicos através de sensores subaquáticos que captam os sons produzidos por organismos marinhos e pelo ambiente, fornecendo informações importantes sobre a saúde e a dinâmica desses ecossistemas (MERCHANT et al., 2015; HOWE et al., 2019). Com o advento de novas tecnologias acústicas, essa ferramenta

será cada vez mais utilizada em estudos sobre os ecossistemas aquáticos de maneira geral (ROUNTREE et al., 2006).

Os sons produzidos pelos organismos marinhos integram a chamada Paisagem Acústica Submarina (PAS), que corresponde ao conjunto de sons presentes em um ambiente marinho. Estes podem ser classificados em: biofonia (origem biológica), geofonia (origem abiótica) e antropofonia (origem antropogênica). A interação entre os sons produzidos pelos organismos e pelos ruídos ambientais cria uma assinatura acústica específica para cada ambiente. Essa assinatura acústica pode variar em uma escala temporal e/ou espacial, refletindo as características únicas dos ecossistemas em diferentes momentos e locais (PIJANOWSKI et al., 2011; FARINA, 2014; CAMPBELL et al., 2019; MINELLO et al., 2022).

Existem diversas razões para a implementação de um MAP, incluindo o estudo da vida marinha, já que, os sons produzidos por mamíferos, peixes, invertebrados e até mesmo por organismos microscópicos podem fornecer informações valiosas sobre suas atividades, comportamento e distribuição. Os sons oceânicos desempenham um papel crucial no estudo dos processos marinhos. Eles podem fornecer uma riqueza de informações sobre uma variedade de fenômenos físicos e biológicos de diferentes ecossistemas. Essas informações são valiosas na tomada de decisões sobre a conservação e o manejo dos recursos marinhos.

Os invertebrados marinhos são considerados alguns dos principais contribuintes, em relação às paisagens acústicas costeiras (COQUEREAU et al., 2016a). A capacidade dos invertebrados de detectar e responder a sinais sonoros desempenha um papel fundamental em muitos aspectos do seu comportamento e sobrevivência, desde a detecção de predadores até a comunicação social e a reprodução. Estudos têm mostrado que alguns invertebrados têm órgãos sensoriais especializados para detectar vibrações e sons subaquáticos (Youenn Jézéquel et al., 2022). O estudo da acústica dos invertebrados marinhos não apenas fornece dados valiosos sobre o comportamento dessas espécies, mas também tem implicações importantes para o monitoramento e

conservação dos ecossistemas oceânicos. O uso de técnicas acústicas como a usada nesta pesquisa, pode ajudar no monitoramento das populações de invertebrados, entendendo os padrões de migração e avaliando os impactos das atividades humanas no ecossistema.

Nas lagostas da família Palinuridae, pulsos sonoros (chamados de rasps) são gerados por um órgão estridente (Parker 1878; Hamilton et al., 2019). O som produzido pelas lagostas é geralmente associado aos seus comportamentos defensivos, sendo usados principalmente como uma forma de alerta contra predadores, como polvos (Cobb 1981; Bouwma e Herrnkind 2009; Patek et al., 2009; Buscaino et al., 2011). As lagostas vermelhas (*Panulirus meripurpuratus*, Giraldez e Smyth 2016) e verde (*Panulirus laevicauda* Latreille, 1817) são importantes recursos pesqueiros no Brasil (Lima e Andrade 2017). A produção atende ao mercado nacional e internacional. No ano de 2012, os principais importadores dos produtos de lagostas foram os Estados Unidos, Japão e países da Europa, como Holanda, Portugal e França (Santos et al., 2019). Esse mercado se diversificou ao longo do tempo e atualmente a Ásia, principalmente a China, tem dominado a pauta de exportações de pescados do Brasil (Alencar et al., 2020).

Segundo Melo e Barros (2006), a pesca da lagosta se destaca como uma das mais importantes atividades pesqueiras do país, com uma produção média anual em torno de 8 mil toneladas de lagostas inteiras. De acordo com o IBAMA (2003), há uma grande preocupação com a pesca da lagosta nacionalmente. Após ter atingido o nível máximo de produção em 1979, com 11.119 toneladas, a produção apresentou uma queda significativa, chegando a cerca de 8.000 toneladas em 1980 (MELO; BARROS, 2006). A situação se agravou, com a produção caindo para níveis críticos em torno de 5.000 toneladas entre os anos de 1983 e 1986. A queda na produtividade da pesca da lagosta foi uma das mais drásticas já registradas em pescarias brasileiras (MELLO, 2007).

Neste contexto, o objetivo deste estudo foi caracterizar e analisar a emissão de sons emitidos pelas lagostas verde (*Panulirus laevicauda*) e vermelha (*Panulirus meripurpuratus*) por meio do método acústico passivo.

Material e métodos

Equipamentos

Os registros acústicos foram realizados com uso de dois equipamentos específicos para este fim. Um deles foi o hidrofone estacionário (Figura 1) do modelo SoundTrap 300 (Ocean Instruments, Nova Zelândia; $n = 2$), que é um hidrofone acústico autônomo omnidirecional (sensibilidade -186 dB re $1 \mu\text{Pa}$), que operou em uma faixa de frequência de 20 Hz a 60 kHz ± 3 dB. O outro equipamento, também um hidrofone AS-1 (Figura 2), no modelo H5 Handy Recorder 200M (Aquarian Audio, Anacortes, WA, EUA), que opera em faixa útil de 100 KHz, sensibilidade de -180 dB re: $1 \text{ V} / \mu\text{Pa}$, resposta de frequência plana: ± 4 dB na faixa: 20 Hz a $4,5$ kHz).



Figura 1- Hidrofone estacionário do modelo SoundTrap 300 -Ocean Instruments, Nova Zelândia (oceaninstruments.co.nz).

Os registros e análises dos sons emitidos numa amostragem com a frequência de 96 kHz pelas duas espécies de lagostas no presente trabalho foram realizados em duas etapas, uma feita em ambiente controlado, nas instalações do Laboratório de Tecnologia em Aquicultura, do Departamento de Pesca e Aquicultura da UFRPE e outra em ambiente

natural, na praia do Paiva no município de Cabo de Santo Agostinho, a 28km de Recife no estado de Pernambuco.

Estudo em laboratório

Para os experimentos em laboratório, foram coletados 02 exemplares de cada espécie de lagosta. Esses exemplares foram obtidos através de mergulhos autônomos a cerca de 25m de profundidade, em locais ao largo da costa de Recife, Pernambuco (08°10'S e 34°49'W). Os animais capturados foram imediatamente colocados em caixa térmica com água do mar e mantidos sob aeração constante até chegada ao laboratório, na Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE).

No laboratório, os indivíduos foram separados por espécie e mantidos em dois tanques circulares de fibra de vidro (500 litros e 1 m de diâmetro). Esses tanques (Figura 2) foram conectados a um sistema de recirculação de água salina (35) que incluía filtros mecânicos e biológicos, mantendo a temperatura em cerca de 26°C e oxigênio dissolvido em valores elevados, acima de 6,0 mg/L. No fundo de cada tanque, dois tubos de PVC (10 cm de diâmetro; 25 cm de comprimento) foram colocados para servir de abrigo para as lagostas. Quanto à alimentação, foram ofertadas porções de peixe (pescada *Merluccius hubbsi*) e marisco (marisco pedra *Anomalocardia flexuosa*) a uma taxa de 10% da biomassa das lagostas, fornecidos uma vez ao dia às 16:00. Alimentos não consumidos e fezes foram removidos do tanque na manhã seguinte.



Figura 2- Sistema de tanques em laboratório externo

Os resultados referentes ao monitoramento dos parâmetros de qualidade da água ao longo do experimento estão disponíveis na Tabela 1 abaixo.

Tabela 1- Valores registrados dos parâmetros de qualidade da água ao longo do experimento para registro de sons emitidos pelas lagostas.

Parâmetros	Mínima	Média	Máxima
Oxigênio dissolvido (mg/L)	2,8	3,2	3,5
Salinidade (%)	31	33	42
Temperatura (°C)	24	27	29
pH	6	7	8
Amônia (mg/L)	0	1	3
Nitrito(mg/L)	0,5	2	3,5

Para a análise bioacústica, foi utilizado apenas um exemplar de cada espécie. A lagosta verde teve peso de 141,5 g e 98,0 mm de comprimento de cauda e a lagosta vermelha, de 148,7g e 99,0 mm de cauda.

Um tempo de aclimação de aproximadamente uma semana foi considerado para a manutenção das lagostas em cativeiro permitindo a realização dos experimentos de registro acústico. Os sons gerados pelas lagostas em situações controladas foram registrados em espécies. As captações foram realizadas com ausência de aeração dos tanques para evitar interferências do som do aerador no registro sonoro emitido pelos indivíduos. Foram avaliadas situações de estresse induzido e ambiente normal. Para provocar o estresse, foi utilizado um polvo artificial (comprimento total = 21cm), simulando a presença de um predador natural da lagosta, a fim de avaliar possíveis registros sonoros nessa situação. Após o ciclo de gravações, a alimentação e monitoramento da água dos tanques seguiu normalmente até o fim do plano de trabalho. O som foi gravado com hidrofone omnidirecional (SoundTrap 300 STD, Ocean Instruments, NZ) com resposta linear de frequência de 2 Hz a 60 kHz, sensibilidade de -173 dB e taxa de amostragem de 288 kS/seg (16 bits), posicionado no centro do tanque a 20 cm do fundo.

Estudo em ambiente natural

Esta parte da pesquisa foi realizada no campo, em ambiente natural da plataforma continental do estado de Pernambuco (Figura 4), ao largo da Praia do Paiva. O ponto de amostragem foi previamente definido de acordo com o tipo de fundo (cascalho e formação de recifes submersos) e a profundidade local, com acesso por mergulho autônomo. O equipamento SoundTrap 300 STD foi instalado sobre fundo com lajes de pedra e recifes de arenito e coral, em profundidade de 30 m e fixado a uma marambaia (estrutura que simula abrigo artificial, feita normalmente com tonéis metálicos achatados na circunferência, e onde as lagostas se refugiam e agregam, facilitando sua captura tempos depois de sua instalação no fundo do mar). O aparelho foi instalado no

dia 27 de novembro de 2020 e retirado no dia 14 de dezembro do mesmo ano, resultando em dezessete dias de registros. Em laboratório, os dados foram transferidos para o computador para posterior análise.

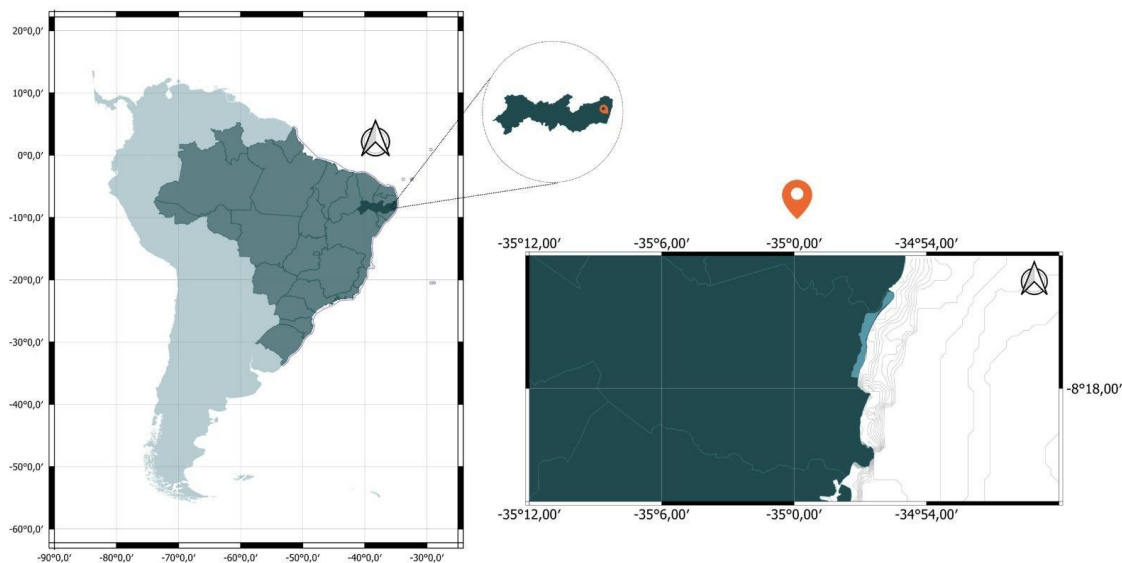


Figura 3- Localização da praia do Paiva, no município do Cabo de Santo Agostinho, Pernambuco, Brasil.

Análises dos dados

Nas gravações realizadas nos tanques em laboratório, foram analisadas 272 chamadas (conjunto de emissão por tempo de gravação), correspondendo a 48h:41 minutos:03s de gravação. Desse total, 24h:09min foram registros da lagosta vermelha (*Panulirus meripurpuratus*) e 23h:32min03s da lagosta verde (*Panulirus laevicauda*). Já nas gravações em ambiente natural, o total registrado foi de 57 horas.

Os cortes de cada som foram feitos e utilizados para análise de caracterização individual de cada tipo de chamada (“rasps”). Os cortes foram escolhidos de acordo com a qualidade e intensidade, sendo selecionados os cortes onde não havia sobreposição do sinal (manuseio do equipamento ou disposição da alimentação). As partes selecionadas

foram então filtradas dentro dos limites das bandas de frequência observadas para cada sinal acústico nos espectrogramas.

A caracterização individual de cada sinal foi realizada utilizando os seguintes parâmetros acústicos: 1. Número de pulsos (n), 2. Duração do pulso (tempo entre o primeiro e o último pulso, ms), 3. Pico de frequência (Hz) 4. Limite de baixa frequência (Hz), 5. Limites de alta frequência (Hz).

Para a análise individual de cada assinatura acústica (112 chamadas da lagosta vermelha e 160 da lagosta verde) foi utilizado o software Raven Pro 1.4 (Cornell Laboratory of Ornithology). Os parâmetros acústicos foram analisados a partir de oscilogramas e espectrogramas, utilizando-se resolução (DFT) de 1024. Em seguida os dados foram transferidos para uma tabela no software R 3.4.4 (R Core Team, 2018 - Rstudio), onde foram realizados todos os testes estatísticos ao nível de significância de 5% (0,05).

Os parâmetros acústicos de cada sinal sonoro foram comparados utilizando-se testes não paramétricos de comparações múltiplas de Mann-Whitney (Wilcoxon rank-sum test), que é indicado para comparação de dois grupos (lagosta vermelha e lagosta verde) não pareados, para se verificar se pertencem ou não à mesma população.

Resultados

A. Análise em laboratório

Os registros sonoros das espécies de lagostas em situação normal e de estresse provocado, mostraram diferenças importantes nas frequências medidas em Hertz. A análise dos dados do experimento em cativeiro indicou alterações na emissão sonora de ambas as espécies estudadas em resposta aos diferentes estímulos sofridos. Observou-se uma diferença na frequência (kHz) da situação de estresse e condições normais. Especificamente, a lagosta vermelha apresentou um aumento de 29kHz na emissão sonora durante o estresse, enquanto a lagosta verde registrou um aumento de 18 kHz

(Tabela 2). No entanto, não foram observadas diferenças significativas na mediana da duração dos pulsos sonoros ao comparar as duas espécies (Tabela 03).

Tabela 2- Valores mínimos, máximos e médios do pico da frequência da emissão sonora em kHz da lagosta vermelha (*Panulirus meripurpuratus*) e da lagosta verde (*P. laeviscauda*) em situação ideal e estresse causado com o polvo artificial.

Espécies	<i>P. meripurpuratus</i>			<i>P. laeviscauda</i>		
Condição	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd
Normal	0,5	7,8	352,5	0,2	7,3	366,2
Estresse	18	47	10832,5	1,1	21	2447,4

Tabela 3- Valores máximos e mínimos de duração dos pulsos sonoros em segundos em situação de estresse lagosta vermelha (*Panulirus meripurpuratus*) e a lagosta verde (*Panulirus laeviscauda*).

	Vermelha(<i>Panulirus meripurpuratus</i>)	Verde (<i>Panulirus laeviscauda</i>)
Máxima	0,007 s	0,006 s
Mínima	0,003 s	0,001s
Média	0,004 s	0,004 s

Pôde-se observar a diferença entre as espécies estudadas, se tornando mais notáveis nos testes de estresse provocados, como mostrado nas figuras abaixo. Ambas as espécies de lagosta avaliadas tiveram uma emissão em condição normal como esperada (sem emissão sonora) conforme confirmado por Patek & Oakley 2003. Já em condição de estresse, a lagosta vermelha teve uma emissão com maior intensidade e frequência quando comparada com a lagosta verde, conforme espectrogramas abaixo (Figuras 04 e

05). Além disso, a lagosta vermelha atingiu uma duração dos pulsos sonoros máximos e mínimos superiores aos da lagosta verde (Tabela 02).

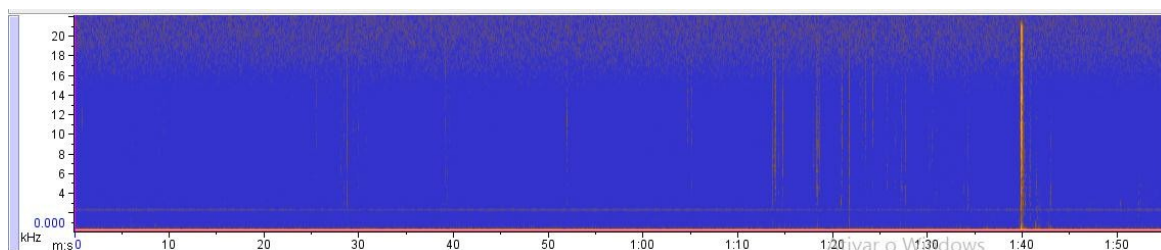


Figura 4- Espectrograma da emissão sonora da Lagosta vermelha (*Panulirus meripurpuratus*) em condição normal.

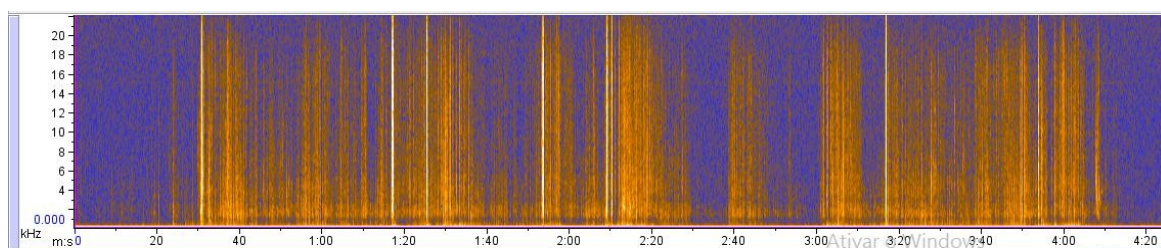


Figura 5- Espectrograma da emissão sonora da Lagosta vermelha (*Panulirus meripurpuratus*) em condição de estresse.

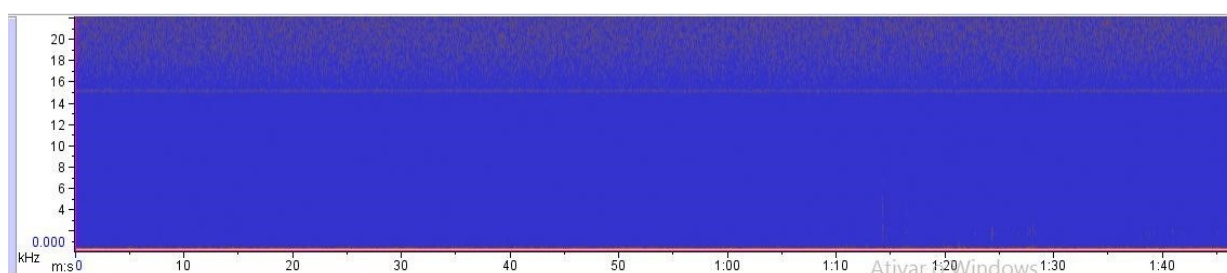


Figura 6- Espectrograma da emissão sonora da Lagosta verde (*Panulirus laevicauda*) em condição normal.

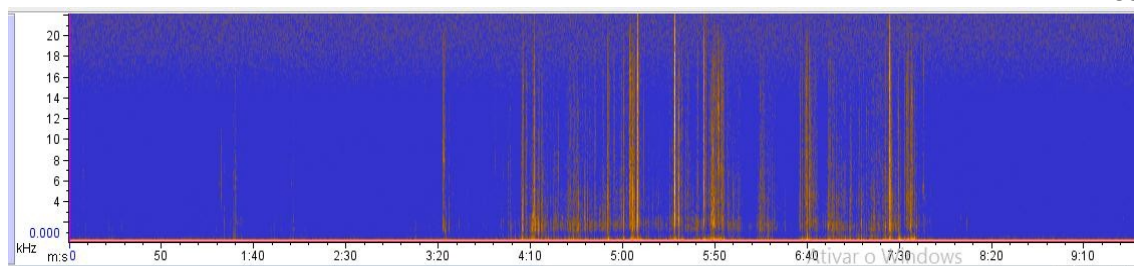


Figura 7- Espectrograma da emissão sonora da Lagosta verde (*Panulirus laeviscauda*) em condição de estresse.

Nos espectrogramas é possível visualizar que as duas espécies emitiram sons formados por diversos pulsos, embora a maioria dos parâmetros sonoros não permitam diferenciar as duas espécies do ponto de vista acústico. A lagosta vermelha respondeu mais intensamente à presença do potencial predador no teste com estresse provocado, emitindo mais pulsos por minuto do que a lagosta verde, o que pode ser observado nos dados de alta frequência (Tabela 02).

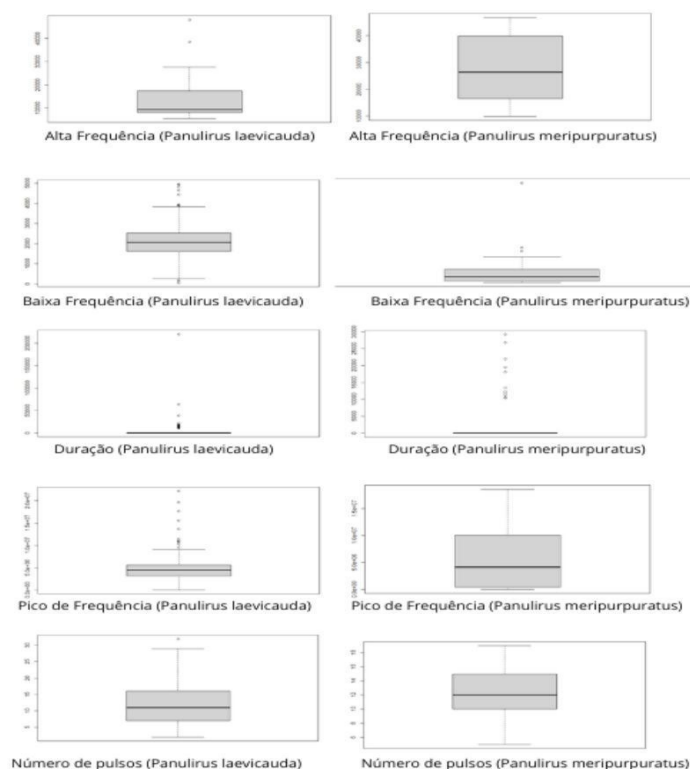


Figura 8- Resultado dos parâmetros acústicos analisados para a lagosta verde (*Panulirus laeviscauda*) e lagosta vermelha (*Panulirus meripurpuratus*) em laboratório.

Com o resultado das análises das chamadas acústicas para cada espécie foi aplicado o teste estatístico de Mann-Whitney (Wilcoxon rank-sum test), que consiste na comparação da mediana (Tabela 04) das variáveis analisadas de cada espécie onde foi obtido o resultado mostrado na tabela a seguir

Tabela 4- Valores obtidos para W e P valor a partir do teste estatístico de Mann-Whitney.

	Baixa Frequência (Hz)	Alta Frequência (Hz)	Duração (ms)	Pico Frequência (Hz)	deNúmero de pulsos (n)
W	723,5	16083	8429	6680,5	10736
P valor	0,5192	< 2.2e-16	0,1938	0,06156	0,01988

Tabela 5- Mediana das variáveis analisadas de ambas as espécies para o teste estatístico de Mann-Whitney.

Mediana	Baixa Frequência (Hz)	*Alta Frequência (Hz)	Duração (ms)	*Pico Frequência (Hz)	deNúmero de pulsos (n)
Lagosta vermelha (<i>Panulirus meripurpuratus</i>)	1270	26431	0,069	4125,00	12
Lagosta verde (<i>Panulirus laevicauda</i>)	2058	9419	008	4500,0	11

*Dados estatisticamente iguais

B. Análise em ambiente natural

Os resultados obtidos através da análise dos dados registrados em ambiente natural sugerem que não houve emissão sonora de nenhuma das espécies estudadas. A análise em ambiente natural mostra uma paisagem acústica marinha composta de emissões sonoras de diversos animais (Figura 10).

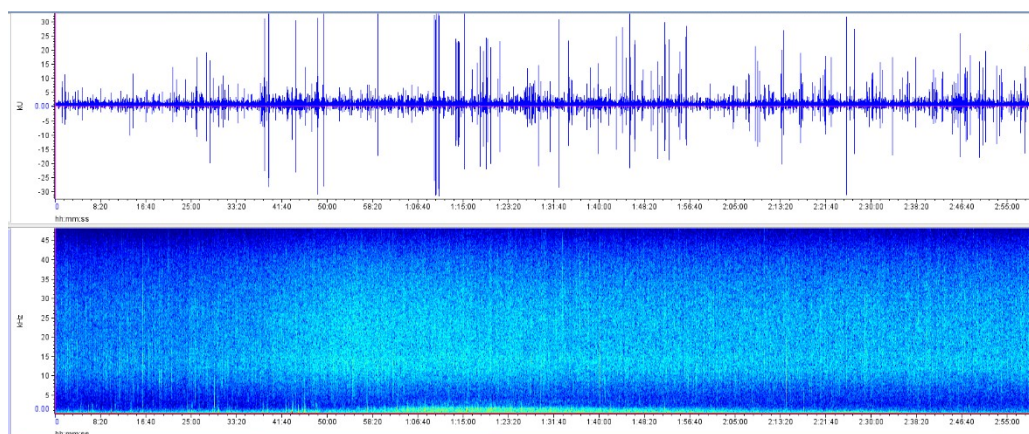


Figura 10- Espectrograma e oscilograma da paisagem acústica encontrada na Praia do Paiva.

Discussão

A emissão sonora feita por espécies de lagostas está geralmente associada ao comportamento de defesa contra predadores, como o polvo (Bouwma e Herrnkind 2009; Patek et al. 2009; Buscaino et al. 2011), permitindo que elas evitem desencorajem um ataque imediato (Patek 2001). Como esperado, este comportamento foi notado neste estudo para ambas as espécies analisadas, diferindo da situação normal mostrada nos espectrogramas, nos quais não ocorreu emissão sonora

Muitos palinurídeos, como as lagostas espinhosas, adotam estratégias anti-predadores que incluem tanto a evitação de predadores quanto o uso de mecanismos defensivos ativos. Essas estratégias abrangem uma combinação de comportamentos e adaptações físicas que ajudam a aumentar suas chances de sobrevivência. A maioria das lagostas exibe comportamento gregário, compartilhando abrigos (Childress & Herrnkind 1997, 2001) e formando grupos com relações complexas e coordenadas (Herrnkind et al.

2001), detectando sinais de alarme olfativo (Briones-Fourzán et al. 2008) que podem estar associados à atividade alimentar, o que sugere a emissão sonora nesta condição que está ligada ao comportamento antipredador como confirmado neste estudo.

Os sons de alimentação e de locomoção da *Panulirus meripurputarus* e *P. laevicauda* foram avaliados, mostrando registros produzidos pela *P. meripurpuratus* e emitido pelo movimento da antena, como anteriormente observado por Patek (2002) para esta espécie e confirmado para a *P. Laevicauda* neste estudo. Para a emissão deste som, estudos anteriores comprovam que as lagostas vermelhas e verdes têm um mecanismo de emissão sonora semelhante ao descrito para outras espécies do gênero *Panulirus* (Meyer-Rochow e Penrose 1976; Patek 2002; Patek e Baio 2007). A variação de tamanho da estrutura de comunicação pode ser significativamente influenciada por questões fisiológicos e biomecânicas ao longo do ciclo de vida das espécies (Nowicki et al., 1992; Nowicki e Podos, 1993). Neste experimento, o resultado obtido mostra que o número de pulsos sonoros emitidos por ambas as espécies possui características diferentes para as lagostas *P. laevicauda* e *P. meripurpuratus*, com mecanismos de estridulação semelhantes, como outras lagostas do gênero *Panulirus*. Além disso, esta semelhança na morfologia padrão foi refletida nas características gerais do som produzido por essas lagostas (Santiago et al.2019). É provável que mudanças na duração, e possivelmente frequência, tenham sido influenciadas pelo nível de excitação e/ou fadiga (Henninger et al.2005).

Dado que as lagostas podem ser sensíveis apenas para baixas frequências (<1 kHz), as raspagens antenais de alta frequência e longa distância das lagostas, provavelmente estão fora do alcance da audição de muitos animais. Esse tipo de sinal acústico pode ser usado para outros fins que não envolvem necessariamente a audição direta por outros animais, como a comunicação com membros da mesma espécie em curtas distâncias ou a criação de um ambiente acústico que confunde predadores. Assim, podemos concluir que as distâncias de comunicação são muito menores que os alcances de detecção (Youenn Jézéquel et al. 2020). Tal explicação pode ser levada em consideração para a

não detecção do padrão acústico das espécies abordadas em ambiente natural neste estudo. Kikuchi et al. (2015) sugerem que a frequência dos sons estridulantes reflete possivelmente na atividade e na presença de lagostas comercialmente importantes do mesmo gênero. Como o ambiente em que o hidrofone foi instalado em ambiente natural neste estudo é uma área com atividade pesqueira para ambas as espécies, é muito provável que a detecção do padrão sonoro para as lagostas tanto em ambiente natural quanto em laboratório está ligado à existência de um predador. Sendo assim, as lagostas podem produzir sons de alerta estridentes contra predadores até durante o período de ecdise, incluindo o período em que o exoesqueleto é suavizado e elas são mais suscetíveis à predação (Patek 2001). Além disso, as lagostas podem usar uma ampla gama de mecanismos antipredadores, como escapar para distâncias seguras (Briones Fourzán et al. 2006), apontar ou desviar as antenas contra o predador para mantê-lo à distância, raspando os predadores juntando as antenas espinhosas (Lavalli & Herrnkind 2009), agarrando-se ao substrato e evitando abrigos infundidos com o predador (Berger & Butler 2001, Briones-Fourzán et al. 2008). Todos esses mecanismos citados necessitam de um grande gasto energético para execução. No entanto, a defesa por meio da emissão acústica, como descrita neste estudo, é eficaz e tem um gasto mínimo de energia, impactando minimamente o comportamento das lagostas após o contato com o predador.

O momento da produção do som, assim como o contato com o polvo, sugere que a estridulação pode ser um tipo de exibição multiforme, surpreendendo o predador. O sobressalto pode causar uma pausa no ataque, aumentando assim a eficácia da fuga. No entanto, não observamos nenhuma pausa no ataque aos polvos enquanto atacava lagostas silenciadas ou as que estavam emitindo som (Bouwma et al. 2010). Isto nos leva a concluir que para as lagostas vermelhas (*Panulirus meripurputarus*) a estridulação pode alertar membros da mesma espécie sobre o perigo, acionar outras lagostas ou atrair um predador adicional. O acionamento de membros da mesma espécie parece improvável a menos que eles estejam muito próximos, pois a distância para a

percepção desta frequência é pequena, já que provavelmente não conseguirão detectar o sinal. No entanto, os predadores de lagostas, mais comumente os polvos, podem ser capazes de detectar a estridulação e serem interferidos por ela (Bouwma et al. 2010), já que muitos dos peixes conhecidos por atacar lagostas podem detectar sons na faixa produzidos por lagostas perturbadas (Popper, 2003).

Adicionalmente é preciso inferir sobre a tentativa de fuga desses indivíduos dos predadores após a emissão sonora. Bouwma et al. (2010) relatam que as lagostas vermelhas escaparam do ataque dos polvos com mais frequência e permaneceram sem sofrer ataques por mais tempo durante os encontros com geração de sons do que os indivíduos experimentalmente silenciados. Tal afirmação reafirma a importância da emissão acústica em lagostas para os processos ecológicos em seus habitats, comportamento este que também foi notado em laboratório neste estudo.

Segundo Patek et al. (2003) a morfologia desempenha um papel fundamental nas origens evolutivas das estruturas de comunicação, bem como nos limites nutricionais e no desempenho impostos pelas estruturas compartilhadas de outros sistemas comportamentais. Essas interações são complexas e exigem vários níveis de análise – dentro das espécies, dentro dos períodos de desenvolvimento e entre clados. As lagostas oferecem um sistema particularmente interessante para estudos dos limites estruturais na evolução da comunicação devido ao seu mecanismo de produção de som relativamente simples e ao pequeno número de táxons (Patek et al. 2003). Ainda dentro desta simplicidade é possível inferir resultados complexos e que garantem por exemplo que a taxa de pulso mostra uma correlação positiva com o tamanho do animal, as características dos rasps podem ser mais influenciadas pelo movimento de uma ou duas antenas (Patek et al. 2009). Os indivíduos utilizados nesta pesquisa podem ser classificados como juvenis e com o tamanho médio de 95,5 mm de cauda, o que revela um panorama da caracterização da emissão acústica para a espécie e fase de vida. Mesmo que não se saiba em que fase do seu ciclo de vida o mecanismo da produção sonora torna-se operacional e biologicamente útil nestes animais (Jézéquel et al. 2018).

Henninger et al. (2005) realizaram uma pesquisa de um ano com 1723 lagostas onde demonstrou que todas as classes de tamanho de lagostas podem produzir vibrações corporais e que a tendência é semelhante para machos e fêmeas. Esses resultados sugerem que essas vibrações de carapaça e/ou os sinais aquáticos associados são usados por todas as lagostas, possivelmente para fins defensivos, em vez de desempenhar um papel atrelado a um comportamento, como o acasalamento, que é exclusivo de um subconjunto particular de lagostas. Embora existam relatos dispersos, este estudo foi o primeiro a demonstrar experimentalmente a produção de vibração da carapaça gerada pelo músculo em um crustáceo.

Segundo Kikuchi et al. (2015) durante o movimento ativo das antenas das lagostas é frequente que exista a movimentação da mesma o que gera estridulantes sons são produzidos fisicamente como resultado da locomoção (Kikuchi et al. 2015). Em ambiente natural, a paisagem acústica registrada no presente estudo não detectou a emissão sonora das espécies estudadas. Análises de sons bem estruturados também mostram que diversas espécies e comportamentos podem ser diferenciados usando características como o número de pulsos que são independentes da frequência e de níveis de som e, portanto, não são influenciados por alguns fatores que não podem ser controlados para quando utilizamos a acústica passiva (Coquereau et al. 2016a). Nossos resultados mostram que a frequência dos sons reflete no índice de atividade das espécies.

Para a determinação do padrão sonoro de emissão foi preciso analisar algumas variáveis, pois diferentes características sonoras são comumente apresentadas na literatura bioacústica. Para isso, foram avaliadas as características espectrais (frequências de pico, largura de banda), tempo (duração, taxa de pulso, tempo entre pulsos) e energia medida (SPL) e energia da fonte (SL; ou seja, SPL estimado a uma distância de uma fonte) (Jézéquel et al. 2018). Como parte deste experimento foi realizado em laboratório, foi preciso admitir variáveis que não fossem impactadas por reverberações do som nas paredes do tanque, como características de tempo duração de

todo o som, tempo pulso a pulso intervalo, número de pulsos por rasp e taxa de pulso (Jézéquel et al. 2018). Em conclusão, medições acústicas em condições de laboratório devem ser cuidadosamente controladas junto com observações comportamentais. Estas medições e observações combinadas servem como um referencial essencial e devem ser a base para comparação de qualquer pesquisa in situ subsequente (Coquereau et al. 2016b).

A semelhança na morfologia do mecanismo de estridulação de ambas as espécies estudadas quando comparadas com outras lagostas do gênero *Panulirus* foi comprovada e refletiu nas características gerais do som produzido (Santiago et al. 2019). Além da análise do som, este estudo utilizou microscopia eletrônica de varredura (MEV) para as estruturas ligadas a emissão sonora da *Panulirus meripurputarus* e *P. laevicauda*. Esta análise revelou pela primeira vez a presença de poros (<1 µm de diâmetro) com vestígios de cerdas cuticulares que poderiam estar envolvidos no controle mecanossensorial da produção de som em lagostas. Kikuchi et al. (2014) afirma que a estrutura específica da sequência de pulso do som da lagosta pode refletir na produção do som no órgão e que o intervalo entre pulsos pode estar relacionado com o comprimento do intervalo de uma palheta e a velocidade de fricção.

O tamanho das antenas e dos aparelhos de produção de som são especialmente relevantes em seus respectivos papéis na dissuasão de predadores. Um aumento no tamanho do aparelho de produção de som deve permitir a produção de sinais mais altos, com maior número de pulsos ou com maior frequência de pulso, com maior probabilidade de assustar um predador, da mesma forma que cores brilhantes, padrões de cores distintos e produtos químicos nocivos geram sinais contra potenciais predadores (Guilford 1990; Jetz et al. 2001; Sherratt 2002). Isso nos leva a deduzir que a emissão sonora da lagosta vermelha tenha atingido valores de frequência mais altos e uma resposta mais intensa à presença do potencial predador (polvo), em decorrência dela ter um comprimento e peso superiores aos da lagosta verde. Patek et al. (2003) defendem a tese de que o aumento no tamanho provavelmente aumenta o desempenho

em dissuadir predadores, comprovado quando aplicou testes comparativos em lagostas *Palinuridae* em um sistema acústico.

Concluindo, este trabalho confirmou que as lagostas *P. laevicauda* e *P. meripurpuratus* estridulam apenas durante ataques de um predador natural, com a *P. meripurpuratus* atingindo valores de emissão sonora superiores. embora a emissão entre as duas espécies seja igual nas variáveis de pico de frequência e a alta frequência. No mais, reiteramos a importância da utilização do método acústico passivo como uma forma eficaz e sustentável no uso de pesquisas para estas espécies e para o desenvolvimento futuro de pesquisas.

Referências bibliográficas

- ARAGÃO, J.A.N., 2013. A pesca de lagostas no Brasil: monitorar para ordenar. Bol. Téc. Cient. CEPENE, Tamandaré - PE - v. 19, n. 1, p. 103-106.
- ARAGÃO, J.A.N. & Cintra, I.H.A. Avaliação do estoque de lagosta vermelha *Panulirus argus* na costa brasileira. Arq. Ciên. Mar, Fortaleza, v. 51, n. 2, p. 7-26, 2018.
- AMORIM, M. C. P. Diversity of sound production in fish. Communication in fishes, v.1, p.71-104, 2006.
- AMORIM, M. C. P.; STRATOUDAKIS, Y.; HAWKINS, A. D. Sound production during competitive feeding in the grey gurnard. Journal of fish biology, v.65, 182-194, 2004.
- AU WWL, Banks K (1998) The acoustics of the snapping shrimp *Synalpheus parneomeris* in Kaneohe Bay. J Acoust Soc Am 103: 41–47.
- BARBIER, E. B. (2017). Marine ecosystem services. Current Biology, 2017, v. 27 (11), p. R507-R510.
- BOON, P. Y.; YEO, D. C. J.; TODD, P. A, 2009, Sound production and reception in mangrove crabs *Perisesarma* spp. (Brachyura: Sesarmidae). Aquatic Biology, v. 5, n. 2, p. 107-116.
- BERGER DK, Butler MJ IV (2001) Octopuses influence den selection by juvenile Caribbean spiny lobster. Mar Freshw Res 52:1049–1053.
- BOON, P. Y.; YEO, D. C. J.; TODD, P. A. Sound production and reception in mangrove crabs *Perisesarma* spp. (Brachyura: Sesarmidae). Aquatic Biology, v. 5, n. 2, p. 107-116, 2009. ISSN 10.3354/ab00136.
- BOHNENSTIEHL DR, Lillis A, Eggleston DE (2016) The curious acoustic behavior of estuarine snapping shrimp: temporal patterns of snapping shrimp sound in sub-tidal oyster reef habitat. PLoS ONE 11: e143691.

BOUWMA PE, Herrnkind WF (2009) Sound production in Caribbean spiny lobster *Panulirus argus* and its role in escape during predatory attack by *Octopus briareus*. New Zeal J Mar Freshw Res 43:3–13.

BUSCAINO G, Filiciotto F, Gristina M, Buffa G, Bellante A, Maccarrone V, Patti B, Mazzola S (2011) Defensive strategies of European spiny lobster *Palinurus elephas* during predator attack. Mar Ecol Prog Ser 423:143–154.

BRIONES-FOURZÁN P, Lozano-Álvarez E (2005) Seasonal variations in chemical response to conspecific scents in the spotted spiny lobster, *Panulirus guttatus* (Latreille). N Z J Mar Freshw Res 39:383–390.

CAMPBELL, D.; XAVIER, F. C.; MELO JUNIOR, U. G.; SILVEIRA, N. G.; VERSIANI, L.L.; NETTO, E. B. (2019). Underwater soundscape pattern during high season of nautical tourism in Cabo Frio island, Brazil. Proceedings of Meetings on Acoustics 5ENAL, 37,070003.

CATO, Douglas; McCAULEY, Robert; ROGERS, Tracey; NOAD, Michael. 2006. Passive acoustics for monitoring marine animals – progress and challenges. First Australasian Acoustical Societies' Conference, Acoustics 2006: Noise of Progress, p.453-461, Christchurch New Zealand.

COQUEREAU, L.; GRALL, J.; CHAUVAUD, L.; GERVAISE, C.; CLAVIER, J.; JOLIVET, A.; IORIO, L. DI. Sound production and associated behaviours of benthic invertebrates from a coastal habitat in the northeast Atlantic. Marine Biology, v. 163, n. 5, p. 1–13, 2016.

CHILDRESS MJ, Jury SH, 2006, Behaviour. In: Phillips BF ed. Lobsters: biology, management, aquaculture, and fisheries. Oxford, Blackwell, 78-112.

CRUZ, M.G. T. A pesca da lagosta no Nordeste um enfoque informativo como processo de extensão uiversitária Dissertação de Graduação, Departamento de Engenharia de Pesca, Universidade Federal do Ceara, 35 p, Fortaleza, 1988.

CONCEIÇÃO, R.N.L. Ocorrência de puerulas de *Panulirus larvicauda* (Latreille) nas capturas de arrastão-de-praia, no município de Fortaleza (Ceará-Brasil). Arq. Ciên. Mar, Fortaleza, v.26, p.83-85, 1987.

FAO (2018) Fishery and aquaculture statistics. Global capture production 1950–2016 (Fishstat J). In: FAO Fisheries and Aquaculture Department. Rome. www.fao.org/fishery/statistics/software/fishstatj/en. Acesso em 28 de Maio de 2024.

FARINA, A. Landscape Ecology and the General Theory of Resources: Comparing Two Paradigms. 2012, Journal of Landscape Ecology, v. 4, n. 1.

FARINA, A. (2014). Soundscape Ecology: Principles Patterns Methods and Applications. Springer Netherlands.

FREEMAN, P.W. & Lemen, C.A., 2014, Simple predictors of bite force in bats: the good, the better and the better still. J. Zool. 282: 284–290.

GARCÍA, S. M.; MORENO, I. L.; Global overview of marine fisheries. In: SINCLAIR. M. VALDIMARSSON, G. (Ed.). Responsible Fisheries in the Marine Ecosystem. Roma, FAO e CABI publishing. Wallingford, UK. p. 1-24, 2003.

GEORGE RW, Main AR, 1967, The evolution of spiny lobsters (Palinuridae): a study of evolution in the marine environment., Evolution, 21: 803-820.

GIRALDES, B. W., and Smyth, D. M. (2016). Recognizing *Panulirus meripurpuratus* sp. nov. (Decapoda: Palinuridae) in Brazil – systematic and biogeographic overview of *Panulirus* species in the Atlantic Ocean. Zootaxa 4107, 353.

HARLEY, C.D.G., ANDERSON, K.M., DEMES, K.W., JORVE, J.P., KORDAS, R.L., COYLE, T.A., GRAHAM, M.H. Effects of Climate Change on Global Seaweed Communities. J. Phycol. v.48, p.1064–1078, 2012.

IVERSEN RTS, Perkins PJ, Dionne RD (1963) An indication of underwater sound production by squid. Nature 199:250–25.

ICHIKAWA, Kotaro et al. 2006. Dugong (*Dugong dugon*) vocalization patterns recorded by automatic underwater sound monitoring systems. The Journal Of The

Acoustical Society Of America, [s.l.], v. 119, n. 6, p.3726- 3733. Acoustical Society of America (ASA).

INSTITUTO Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. Recursos marinhos. IBAMA. 2008 Plano de gestão para o uso sustentável de lagostas no Brasil: *Panulirus argus* (Latreille, 1804) e *Panulirus laevicauda* (Latreille, 1817). Organizador: José Dias Neto. Brasília, DF. 121p.

IVERSEN RTS, Perkins PJ, Dionne RD, 1963, An indication of underwater sound production by squid, *Nature*, 199:250–251.

FONTES-FILHO, A. A., 1994b. State of lobster fishery in north-east Brazil, , In: Spiny Lobster Management, eds. B. F. Phillips, J. S. Cobb & J. Kittaka. Fishing News Books, London pp. 108- 118.

JÉZÉQUEL Y, Bonnel J, Coston-Guarini J, Guarini JM, Chauvaud L (2018) Sound characterization of the European lobster *Homarus gammarus* in tanks. *Aquat Biol* 27:13–23. <https://doi.org/10.3354/ab00692>.

JÉZÉQUEL, Y., J. Coston-Guarini, L. Chauvaud, and J. Bonnel. 2020. Acoustic behaviour of male European lobsters (*Homarus gammarus*) during agonistic encounters. *J. Exp. Biol.* **223**: jeb211276.

JÉZÉQUEL, Y., S. Cones, F. H. Jensen, H. Brewer, J. Collins, and T. A. Mooney. 2022. Pile driving repeatedly impacts the giant scallop (*Placopecten magellanicus*). *Sci. Rep.* **12**: 15380.

JETZ, W., C. Rowe, and T. Guilford 2001. Nonwarning odors trigger innate color aversions—as long as they are novel. *Behav. Ecol.* 12:134–139.

KAIFU K., Segawa S., Tsuchiya K. (2007). Behavioral responses to underwater sound in the small benthic octopus *Octopus ocellatus*. *J. Mar. Acoustics Soc. Japan* 34 (4), 266–273. doi: 10.3135/jmasj.34.266 .

KAATZ, I. M., 2002, Multiple sound-producing mechanisms in teleost fishes and hypotheses regarding their behavioural significance, *Bioacoustics*, v. 12, n. 2-3, p. 230-233.

KAPLAN, M. B. et al, 2016, Temporal and spatial variability in vessel noise on tropical coral reefs, v. 005002, p. 005002.

KANCIRUK P, 1980, Ecology of juvenile and adult Palinuridae (spiny lobsters), In: Cobb JS, Phillips BF, Academic Press, . The Biology and management of lobsters, Volume I, Physiology and behaviour. . Pp. 59-96.

KIKUCHI M, Akamatsu T, Takase T (2015) Passive acoustic monitoring of Japanese spiny lobster stridulating sounds. *Fish Sci* 81:229-234.

KNOWLTON RE, Moulton JM (1963) Sound production in the snapping shrimps *Alpheus* (Crangon) and *Synalpheus*. *Biol Bull* 125: 311-331

LAVALLI KL, Spanier E (2001) Does gregariousness function as an antipredator mechanism in the Mediterranean slipper lobster, *Scyllarides latus*? *Mar Freshw Res* 52:1133-114.

LIPCIUS, RI. & Cobb, J.S. Ecology and fisheries biology of spiny lobsters. In: Phillips, B.F. Cobb, JS. & Kittaka, J. (Eds.) *Spiny lobsters management*. Cambridge, The University Press, p. 1-30, 1994.

LESSA, R.P.; MONTEIRO, A.; DUARTE-NETO, P.J.; VIEIRA, A.C. 2009 Multidimensional analysis of fishery production systems in the state of Pernambuco, Brazil. *Journal of Applied Ichthyology*, 25(1): 1 - 13.

LESSA, R.; Duarte-Neto, P.; Morizes, E. & Maciel, R. Otolith microstructure analysis with OTC validation confirms age overestimation in Atlantic herring *Opisthonema oglinum* from north-eastern Brazil. *Journal of Fish Biology*, v. 73, n. 7, p. 1690-1700, 2008.

LIMA, S. A. O.; ANDRADE, H. A. Variações nas capturas das lagostas vermelha (*Panulirus meripurpuratus*), verde (*Panulirus laevis* Latreille, 1817) e sapata

(*Scyllarides brasiliensis* Rathbun, 1906) na costa de Pernambuco. Boletim do Instituto de Pesca, São Paulo, v. 43, n. 2, p. 194-206, 2017.

LUCZKOVICH, J. J., Pullinger, R. C., Johnson, S. E., & Sprague, M. W. (2008). Identifying sciaenid critical spawning habitats by the use of passive acoustics. *Transactions of the American Fisheries Society*, **137**, 576–605.

MARQUES, Tiago A. et al. 2012. Estimating animal population density using passive acoustics. *Biological Reviews*, [s.l.], v. 88, n. 2, p.287-309. Wiley-Blackwell.

MADRID, R.M.M.; CRUZ, R. 2013 Lagosta brasileira: um diamante desvalorizado. *Ciência Hoje*. 303(1): 1-22.

MAMEDE. P. O mar não está para lagosta. *Revista Universidade Pública*. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, n. 33, p. 20-27. 2000.

MMA. 2007. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas. Áreas Prioritárias para Conservação, Uso Sustentável e Repartição de Benefícios da Biodiversidade Brasileira: Atualização - Portaria MMA nº9, de 23 de janeiro de 2007. Série: Biodiversidade Nº 31. Título. IV. Série. CDU (1ed.) Brasília:574p.

MERCHANT, N. D.; FRISTRUP, K. M.; JOHNSON, M. P.; TYACK, P. L.; WITT, M. J.; BLONDEL, P.; PARKS, S. E. Measuring acoustic habitats. *Methods in Ecology and Evolution*, v.6, p.257-265, 2015.

MELLO, R. J. F. B. O retorno da sustentabilidade na pesca de lagostas no Brasil. Comitê de Gestão do Uso Sustentável de Lagostas - MMA/IBAMA, Brasília, 2007. Disponível em:<

http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf/_arquivos/sustentabilidade_pesca_lagosta.pdf>.

Acesso em: 07 junho 2024.

MELO, A. S. S. A.; BARROS, A. D. Pesca predatória da lagosta no Brasil: um modelo insustentável. In: XLIV Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural, Fortaleza: SOBER, 2006. Disponível em: >
<http://www.sober.org.br/palestra/5/1162.pdf>>. Acesso em: 07 junho 2024.

MEYER-Rochow VB, Penrose JD (1976) Sound production by the western rock lobster *Palinurus longipes* (Milne Edwards). J Exp Mar Biol Ecol 23: 191–209

MINELLO, M.; BARROSO, V.; LESSA, A.; HOFFMANN, L.; ARAÚJO, S.; RAMOS, Y.; NETTO, E.; XAVIER, F.; & PARO, A.; JÚNIOR, U. (2022). A acústica submarina como ferramenta de monitoramento ambiental. Gestão ambiental e sustentabilidade em áreas costeiras e marinhas: conceitos e práticas. Edition: 1Publisher: IVIDES.ORG, v. 2, p.433-461.

MOONEY, T. A.; DI IORIO, L.; LAMMERS, M.; LIN, T-H.; NEDELEC, S. L.; PARSONS, M.; RADFORD, C.; URBAN, E.; STANLEY, J. (2020). Listening forward: approaching marine biodiversity assessments using acoustic methods. Royal Society open science, v. 7, n.8, 201287. DOI: 10.1098/rsos.201287.

MOORE, S. E. , Stafford, K. M. , Mellinger, D. K. , and Hildebrand, J. A. (2006). “Listening for Large Whales in the Offshore Waters of Alaska,” *BioScience*_ 56, 49–55.
MCCAULEY RD, Cato DH,2000,Patterns of fish calling in a nearshore environment in the Great Barrier Reef. Philos Trans R Soc LondB Biol Sci 355:1289-1293.

MELLINGER DK, Stafford KM, Moore SE, Dziak R, Matsumoto H,2007,An overview of fixed passive acoustic observation methods for cetaceans.,*Oceanography*,20:36–45.

MERCHANT, N. D.; FRISTRUP, K. M.; JOHNSON, M. P.; TYACK, P. L.; WITT, M.J.; BLONDEL, P.; PARKS, S. E. (2015). Measuring acoustic habitats. *Methods in Ecology and Evolution*, 6, p. 257-265. DOI: 10.1111/2041-210X.12330.

MINELLO, M.; BARROSO, V.; LESSA, A.; HOFFMANN, L.; ARAÚJO, S.; RAMOS, Y.; NETTO, E.; XAVIER, F.; & PARO, A.; JÚNIOR, U. (2022). A acústica submarina como ferramenta de monitoramento ambiental. Gestão ambiental e sustentabilidade em áreas costeiras e marinhas: conceitos e práticas. Edition: 1Publisher: IVIDES.ORG, v. 2, p.433-461.

- MOURA, S.J.C. 1965 Indícios de sobrepesca de lagostas na área do Pina, Pernambuco. Boletim Estatístico da Pesca, 6(2): 7-21.
- MOONEY, T. A.; DI IORIO, L.; LAMMERS, M.; LIN, T-H.; NEDELEC, S. L.; PARSONS, M.; RADFORD, C.; URBAN, E.; STANLEY, J. (2020). Listening forward: approaching marine biodiversity assessments using acoustic methods. Royal Society open science, v. 7, n.8, 201287. DOI: 10.1098/rsos.201287.
- NOWICKI, S. & Podos, J. 1993. Complexity, coupling, and contingency in the production of birdsong. In: Perspectives in Ethology, Vol. 10. Behavior and Evolution (Ed. by P. P. G. Bateson, P. H. Klopfer & N. S. Thompson), pp. 159–186. New York: Plenum Press
- OLIVEIRA, V.S.; ANDRADE, H.A.; HAZIN, F.H.V.; VIEIRA, A.C. 2015 Pesca da lagosta com covos na costa central de Pernambuco: taxas de captura da lagosta e fauna acompanhante. Boletim do Instituto de Pesca, 41(2): 373 – 385.
- OWEN T., WALKER J.C. What Do We Know About the Origin of the earth's oceans? Sci. Am. N1–6..1999.
- PAIVA FILHO, D.L. e ALCÂNTARA FILHO, P., 1975, Pescarias comerciais de lagostas com redes de espera no estado do Ceará (Brasil)., Arq. Ciên. Mar, 15(1): 41-44.
- PAIVA, M. P. Estudo sobre a pesca de lagostas no Ceará durante o ano de 1971 Arq. Mar. Fortaleza 12, n.1, p.43-49, 1977.
- PATEK SN (2001) Spiny lobsters stick and slip to make sound. Nature 411:153–154.
- PATEK SN (2002) Squeaking with a sliding joint: mechanics and motor control of sound production in palinurid lobsters. J Exp Biol 205:2375–2385.
- PATEK SN, Oakley TH (2003) Comparative tests of evolutionary trade offs in a palinurid lobster acoustic system. Evolution 57:2082–2100.
- PATEK, SN and Caldwell, RL. 2006. Extreme impact and cavitation forces of a biological hammer: Strike forces of the peacock mantis shrimp (*Odontodactylus scyllarus*).

PATEK SN, Baio JE (2007) The acoustic mechanics of stick–slip friction in the California spiny lobster (*Panulirus interruptus*). J Exp Biol 210:3538–3546. <https://doi.org/10.1242/jeb.009084>.

PATEK SN, Shipp LE, Staaterman ER (2009) The acoustics and acoustic behavior of the California spiny lobster (*Panulirus interruptus*). J Acoust Soc Am 125:3434–3443. <https://doi.org/10.1121/1.3097760>.

PICCIULIN, M., Bolgan, M., Codarin, A., Fiorin, R., Zucchetta, M., & Malavasi, S. (2013). Passive acoustic monitoring of *Sciaena umbra* on rocky habitats in the Venetian littoral zone. *Fishery Research*, 145, 76–81.

PIJANOWSKI, B. C.; VILLANUEVA-RIVERA, L.J.; DUMYAHN, S. L.; FARINA, A.; KRAUSE, B. L.; NAPOLETANO, B. M.; PIERETTI, N. Soundscape ecology: the science of sound in the landscape. *BioScience*, v.61, p.203-216, 2011.

PIJANOWSKI, B. C.; FARINA, A.; GAGE, S. H.; DUMYAHN, S. L.; KRAUSE, B. L. (2011). What is soundscape ecology? An introduction and overview of an emerging new science. *Landscape ecology*, v. 26, n. 9, p. 1213-1232. DOI: 10.1007/s10980-011-9600-8.

PINE, M. K. et al. The potential for vessel noise to mask biologically important sounds within ecologically significant embayments. *Ocean and Coastal Management*, v. 127, p. 63-73, 2016. ISSN 10.1016/j.ocecoaman.2016.04.007.

POPPER AN, Salmon M, Horch KW (2001) Acoustic detection and communication by decapod crustaceans. *J Comp Physiol A* 187:83–89.

POPPER A.N., Fewtrell J., Smith M.E., and McCauley R.D. 2003. Anthropogenic sound: effects on the behavior and physiology of fishes. *Mar. Technol. Soc. J.* **37**: 35–40.

ROUNTREE RA, Gilmore RG, Goudey CA, Hawkins AD, LuczkovichJ, Mann DA. Listening to fish: applications of passive acoustics to fisheries science. *Fisheries*.2006; 31:433–446TAYLOR, J. R. A. and Patek, S. N. (2010). Crustacean seismic

communication: heard but not present? In *The Use of Vibrations in Communication: Properties, Mechanisms and Function Across Taxa* (ed. C. E. O'Connell-Rodwell), pp. 9-23. Research Signpost.

RODRIGUES FILHO, J.L.; COUTO, E.C.G.; BARBIERI, E., BRANCO, J.O. 2016 Ciclos sazonais da carcinofauna capturada na pesca do camarão-sete-barbas, *Xiphopenaeus kroyeri* no litoral de Santa Catarina. Boletim do Instituto de Pesca, 42(3): 648-661.

SAMADI, S.; BOTTAN, L.; MACPHERSON, E.; FORGES, B. R. DE; BOISSELIER, M. C. Seamount endemism questioned by the geographic distribution and population genetic structure of marine invertebrates. *Marine Biology*, v. 149, n. 6, p. 1463–1475, 2006.

SANTOS, W. (2019). Análise da Balança Comercial de Pescado 2019 - Parte 2 (item exportação). Acesso em 25 de maio 2024, em <http://seafoodbrasil.com.br/analise-da-balanca-comercial-de-pescado-2019-parte-2>.

SEITZ, A. & Watanabe, T. Psychophysics: is subliminal learning really passive? *Nature* **422**, 36 (2003).

TYACK P, Clark C, 2000. Communication and acoustic behaviour of dolphins and whales. In: Au WL, Fay R, Popper A (eds) *Hearing by whales and dolphins*. Springer, 156–224.

VERSLUIS M, Schmitz B, von der Heydt A, Lohse D (2000). How snapping shrimp snap: through cavitating bubbles. *Science* **289**: 2114–2117.

WARD D, Morison F, Morrissey E, Jenks K, Watson WH (2011) Evidence that potential fish predators elicit the production of carapace vibrations by the American lobster. *J Exp Biol* **214**: 2641–2648.

Wynsberghe, A., Donhauser, J.: (2018) The dawning of the ethics of environmental robots. *Sci. Eng. Ethics* **24**(6), 1777–1800.

TELES, A.M. Caracterização de sons emitidos pelas lagostas verde (*Panulirus laevicauda*) e vermelha (*Panulirus meripurpuratus*) por meio do método acústico passivo em ambiente controlado e natural