



# RAIA ACÚSTICA

## FERRAMENTA ESTRATÉGICA NA GUERRA A/S

Capitão de Corveta **BRUNO NUNES MENDES**

Chefe do Departamento de Medidas Acústicas e Eletromagnéticas – CASOP (ACabo)  
MSc. Engenharia Oceânica pela UFRJ

Primeiro-Tenente (QC-CA) **RODRIGO SCARABOTTO GODINHO**

Enc. da Div. de Acústica e da Div. de Análise Acústica – CASOP (ACabo)  
Aperfeiçoado em Guerra Acústica e Mestrando em Acústica Submarina pelo IEAPM

### INTRODUÇÃO

A Segunda Grande Guerra alavancou a necessidade, seja por sobrevivência ou para obter uma vantagem estratégica sobre o inimigo, de entender como a onda sonora se propagava no mar. Neste ínterim, a Raia Acústica é criada como produto da capacidade exploratória científica do homem do mar e do seu anseio em entender como o som se propaga nesse laboratório controlado localizado em ambiente marinho.

A partir da medição do ruído irradiado pelos navios da Esquadra, o Centro de Apoio a Sistemas Operativos (CASOP) utiliza sua Raia Acústica para entregar vantagens estratégicas aos meios navais, no que tange a acústica submarina. Os dados experimentais obtidos nessa estação terminal de investigação e pesquisa da Esquadra, por intermédio das produções acadêmicas, auxilia a Marinha do Brasil a consolidar o conhecimento atento e aprofundado da acústica submarina.

### HISTÓRICO DE CRIAÇÃO

A história da Raia Acústica começa muito antes a criação do CASOP, quando o Almirante Paulo Moreira<sup>1</sup> vislumbrava a área da Ilha do Cabo Frio, em Arraial do Cabo, para explorar o efeito da Ressurgência<sup>2</sup>. Segundo relato do Comandante Parente<sup>3</sup>, na década de 1970, em uma de suas frequentes idas a Arraial, o Almirante e ele alugaram uma traineira para explorar o focinho da Ilha do Cabo Frio – Figura 1. No local, mediram a temperatura de 10 °C e, então, concluíram a existência do fenômeno ressurgência. A ideia inicial do Almirante Paulo Moreira era aspirar água gelada do fundo, fazer gelo, e a água quente da troca térmica ser-

viria para “fertilizar” o mar. A partir desse experimento, que comprovou a ressurgência, iniciava-se o “Projeto Cabo Frio” (Parente, 2023).

A partir da segunda metade da década de 1970, criou-se a raia acústica – subordinada ao IPqM (Instituto de Pesquisas da Marinha) – com a missão de medir o ruído irradiado dos navios e submarinos. Entre os motivos para a escolha do local, segundo o Comandante Parente, estavam:

- grandes profundidades relativas;
- isóbara de 100 m a poucos minutos de navegação da costa;
- isóbara de 50 m tangente à ponta do “focinho” da Ilha do Cabo Frio; e
- profundidade segura para os navios e submarinos durante as corridas.

Segundo o Comandante Parente (Parente, 2023): “Não era a melhor, mas com toda a certeza, era a mais bonita”. Além da imperceptível beleza, a concepção da Raia Acústica em Arraial do Cabo reiterou a vocação natural da região em termos acústicos submarinos. Devido à ressurgência, havia presença de todos os perfis de propagação do som durante o ano, que até aproximadamente 200 m depende, majoritariamente, da temperatura da água.

Entre os anos de 1978 e 1979, foi construído o Posto de Controle (PC) (figura 1), que serviria de importante laboratório de aquisição de dados para a Raia Acústica, capaz de realizar experimentos controlados no mar.



FONTE: CASOP

## CASOP E SUA RAIA ACÚSTICA

O CASOP, desde a sua concepção, passou a integrar, em uma única estrutura, as atividades de testes de sensores e sistemas, assessoramento técnico ao pessoal de bordo nas rotinas de manutenção, teste de aceitação de reparos, alinhamento e novas instalações de sistemas. Apesar da redução do número de cientistas da equipe de aquisição e coleta de dados, a incorporação à Esquadra trouxe notório avanço no apoio logístico às fainas de Medição de Ruído Irradiado.

O Departamento de Medidas Acústicas e Eletromagnéticas do CASOP (CASOP-60) é o responsável por medir o ruído irradiado dos meios navais de superfície e submarinos da Esquadra. Está situado em Arraial do Cabo/RJ, ocupando parte do prédio da Administração do IEAPM (Instituto de Estudos do Mar Alte. Paulo Moreira), na Ilha do Cabo Frio (edificações e equipamentos da Raia de Sensores Eletromagnéticos) e em terreno no Morro do Atalaia, onde está instalado o Posto de Controle para medições do ruído irradiado, levantamento de dados táticos das curvas de giro e apoio às corridas da milha e aos alinhamento e sensibilidade dos equipamentos MAGE (Medidas de Apoio à Guerra Eletrônica).

A seguir, serão abordados os aspectos técnicos da aquisição dos sinais acústicos submarinos e os desafios inerentes a esse processo.

## ABORDAGEM TEÓRICA DE ACÚSTICA E OS DESAFIOS DO PROCESSO DE AQUISIÇÃO DO SINAL

Assim como na acústica aérea, as ondas acústicas oriundas das vibrações dos navios têm a capacidade de se propagarem, de maneira ainda mais

fácil no meio submarino e sensibilizarem hidrofones, que são sensores capazes de medir a variação da pressão acústica no meio submarino.

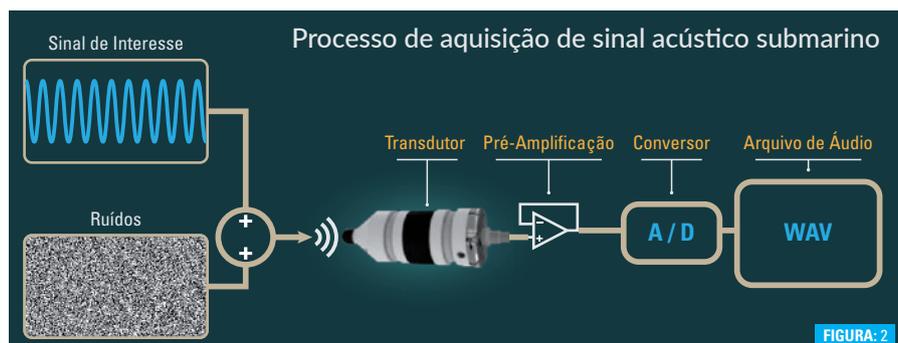
O sinal de interesse – ruído do navio – que chega no receptor sofre, também, a interferência do ruído ambiente, que pode degradar de maneira significativa o sinal de interesse quando esse tiver característica não estacionárias e dividir a mesma banda de sinal (figura 2). Um dos primeiros desafios desse processo de aquisição do sinal é conhecer os ruídos presentes na medição, posteriormente, reduzi-los e, até mesmo, desenvolver a capacidade de prevêê-los.

No ambiente submarino, os ruídos podem ser classificados como ruídos naturais (bióticos e abióticos) e antropogênicos. Os ruídos bióticos, biológicos, são aqueles gerados por animais marinhos como peixes, baleias e camarões, enquanto os abióticos são originados pelo ruído da chuva, vento, ondas e terremotos. Os ruídos antropogênicos são produzidos pelas atividades humanas, como os ruídos de embarcações, atividades de exploração e portuárias, canhões de ar (*airgun*) e sonares ativos militares (LURTON, 2002).

Os ruídos possuem níveis espectrais que estão vinculados à posição geográfica, às características do sinal transmitido e às estações do ano (BURDIC, 2003). Ao se propagar no canal acústico submarino, a onda sofre diversas atenuações em virtude da dispersão do pulso acústico e, na medida em que se afasta da fonte de origem, e do efeito de absorção, que é o resultado da conversão da energia sonora em energia térmica. A absorção afeta principalmente as altas frequências, fato que explica a pouca ou nenhuma penetração das ondas eletromagnéticas na água.

Além da absorção, as interações físicas do pulso acústico com a superfície e o fundo do mar resultam nas múltiplas reflexões dos ecos do sinal, fenômeno conhecido como reverberação, o que é fator limitante no desempenho das comunicações submarinas, especialmente pela interferência simbólica.

Os aspectos técnicos são alicerces para as inúmeras pesquisas e estudos e, por consequência, tornam tão importantes os dados obtidos a partir da Raia Acústica.



FONTE: CASOP

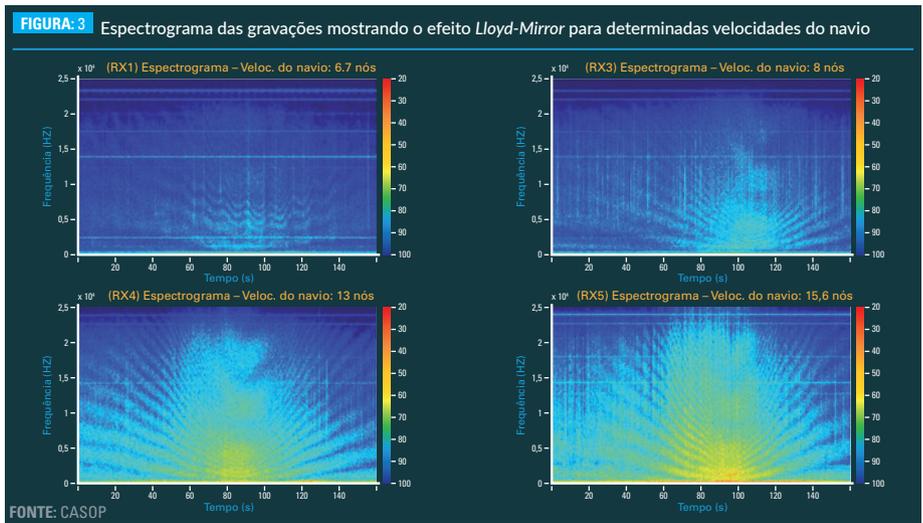
## DESENVOLVIMENTO DE ESTUDOS A PARTIR DE DADOS DA RAIA ACÚSTICA

A Raia Acústica, além de ser importante instrumento técnico da Esquadra, contribui para a aquisição de dados para inúmeras dissertações de mestrado e teses de doutorado de militares e civis vinculados à Marinha do Brasil.

Diversos trabalhos foram desenvolvidos para modelar e compreender a propagação por modos, que utiliza as componentes de baixa frequência da cavitação do navio para detectá-los e acompanhá-los a longas distâncias. As baixas frequências (100–200 Hz) além de terem a capacidade de se propagarem a longas distâncias por meio do modelo cilíndrico, no qual se considera que a fonte acústica está localizada entre duas superfícies planas paralelas perfeitamente refletoras, sofrem, também, reflexão total no fundo e na superfície. A propagação da onda no fundo e na superfície permite que a onda se cancele ou se reforce, dependendo da diferença de fase entre a frente de onda e sua reflexão. Os conhecimentos a serem adquiridos em detectar e acompanhar contatos a longas distâncias, ~100 km, são extremamente importantes nos sistemas de tempo real e se traduzem em vantagem competitiva (CHAVES, 2015; XAVIER, 2016; ANDRADE, 2020; MENDES, 2021).

A experimentação com dados reais e em tempo real dos modelos que usaram apenas dados sintéticos, conforme proposto por Andrade (2020, p. 23), pode trazer ganhos significativos para a detecção e o acompanhamento de contatos de superfície e submarinos para sonares passivos, sobretudo, em águas rasas que é palco das guerras modernas.

O Efeito *Lloyd-Mirror*, na acústica submarina, é conhecido por produzir um padrão de interferência construtiva e destrutiva entre os raios diretos e os refletidos da onda acústica na superfície do mar (figura 3). Essa é uma das características da interação de um campo acústico com a superfície do mar lisa, entretanto a interação com o leito marinho pode ser tão ou mais importante quanto esse efeito, principalmente em um ambiente de águas rasas (URICK, 1982).



FORTE: CASOP

Inúmeras outras experiências podem ser capazes de explorar as principais características físicas da raia. A Raia Acústica, como ponto terminal de investigação e pesquisa no mar, tem a capacidade, além de medir o ruído irradiado dos navios da Esquadra, de “escutar” navios de oportunidade e de desenvolver e aprimorar modelos de propagação em águas rasas como é o caso do MODPRES. O MODPRES – Sistema de Previsão de Alcance Sonar Ativo – é um *software* desenvolvido para avaliação do ambiente acústico – previsão de alcance sonar ativo e passivo, além de cálculo da cobertura antissubmarino – utilizado no planejamento das Operações Navais de Guerra Antissubmarino.

Todos os estudos, trabalho e modelos desenvolvidos podem servir de ferramenta no principal produto entregue à Esquadra: A Medição de Ruído Irradiado (MRI).

## MEDIÇÃO DE RUÍDO IRRADIADO

A MRI acontece em duas etapas, de acordo com as figuras 4 e 5, sendo a primeira medição estática e a segunda medida dinâmica. A partir do gráfico da figura 4, na medição estática, comparam-se os equipamentos redundantes, por exemplo, os geradores, e determina-se qual é o mais silencioso.



O gráfico indica a densidade de potência espectral e é apresentada em 1/3 de oitava – método que soma as bandas de frequências, representando-as de forma coesa (ANSI, 2014). Utiliza-se as análises LOFAR (*Low Frequency Analysis and Recording*) e DEMON (*Demodulation of Noise*) como ferramentas auxiliares na determinação da frequência principal e dos harmônicos de cada equipamento medido.

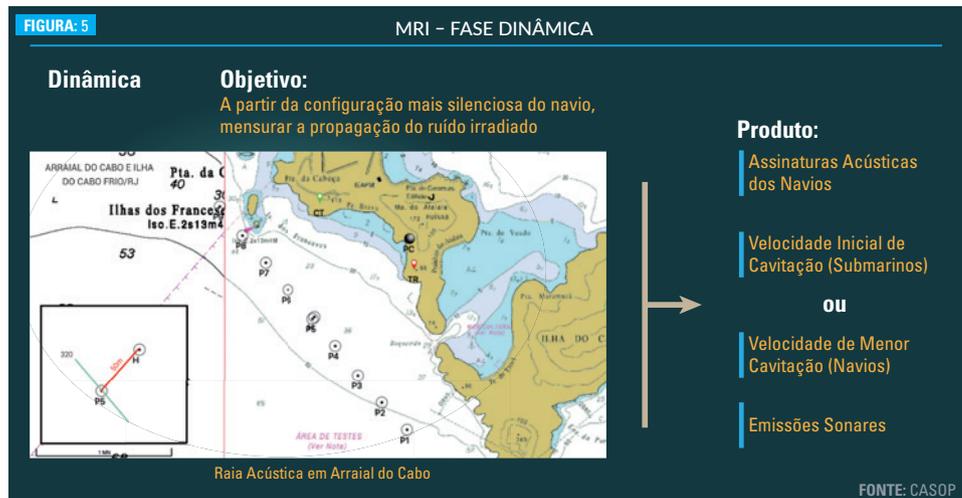
Os resultados da fase estática auxiliam na determinação da planta mínima mais silenciosa e, por consequência, da configuração mais silenciosa do navio. Na Raia Acústica (figura 5), o navio realiza corridas com diferentes configurações de máquinas em diferentes regimes de máquina/passos, para que seja definida a assinatura acústica do meio. A assinatura acústica, por analogia, é a impressão digital do ruído acústico submarino emitido pelo navio. A partir das assinaturas acústicas, podem ser implementados sistemas de detecção, identificação e classificação de navios.

Os produtos da MRI são ferramentas de assessoria à tomada de decisão dos Comandantes de Força e dos Comandantes de Navio quando, por exemplo, sob ameaça de superfície e/ou submarinas. São também essas entregas que evidenciam os desafios do CASOP em atender a Esquadra e agregar valor operacional aos meios navais.

## DESAFIOS DA RAIA ACÚSTICA E A RAIA DO FUTURO

A Raia Acústica é o ponto terminal de investigação do CASOP – braço técnico da Esquadra. Poucos lugares no mundo possuem as características de Arraial do Cabo – diferentes perfis de velocidade do som ao longo do ano, isóbara de 100 metros próxima à costa, além da proximidade com a Esquadra.

A Marinha do Brasil já desenvolve e planeja incorporar, nos próximos anos, as novas Fragatas Classe “Tamandaré” e o Submarino Nuclear “Álvaro Alberto”, ademais, os primeiros Submarinos Classe “Riachuelo”, que já estão sendo avaliados operacionalmente. A MRI dos novos meios, mais silenciosos, no caso do novo submarino, já é um desafio aos atuais sistemas de aquisição e análise de dados acústicos. O novo método de aquisição do Submarino “Riachuelo”, na fase estática da Avaliação Operacional (AO), testou a flexibilidade dos sistemas atuais de medição e a situação de contorno, definida desde a concepção dos sistemas, foi alcançada devido ao baixo



nível de ruído do novo meio e às condições ambientais em que foram medidas. Na fase dinâmica, expôs-se a necessidade de acompanhar tons discretos das máquinas auxiliares, uma vez que o submarino não cavita em determinados regimes de máquinas. Nessa fase, também, explicitou-se a necessidade de usar a propagação por modos e do desenvolvimento de modelos de previsão da paisagem acústica do local em que são feitas as medições.

Da mesma maneira que os meios, a Raia Acústica deve seguir a crescente de modernização, seja por meio da modelagem de novos métodos, ou principalmente pela renovação tecnológica dos sistemas desenvolvidos, em sua grande maioria, nos anos 1990. Sistemas modernos são capazes de aumentar a capacidade do CASOP em processar os sinais acústicos e entregar aos meios relatórios em tempo hábil mais curto e com maior acurácia dos dados – mitigando as influências do canal durante as medições. Sistemas de aquisição e análise modernos requerem dados, incluindo navios de oportunidade, que fazem parte do tráfego marítimo, para desenvolver os modelos, testar hipóteses e validar conceitos.

A Raia Acústica do futuro tem como horizonte solucionar as dificuldades técnicas da Raia atual e entregar, cada vez mais, produtos interessantes aos meios. A renovação tecnológica dos sistemas de aquisição e processamento deve ser acompanhada, também, do incremento da manutenibilidade do sistema.

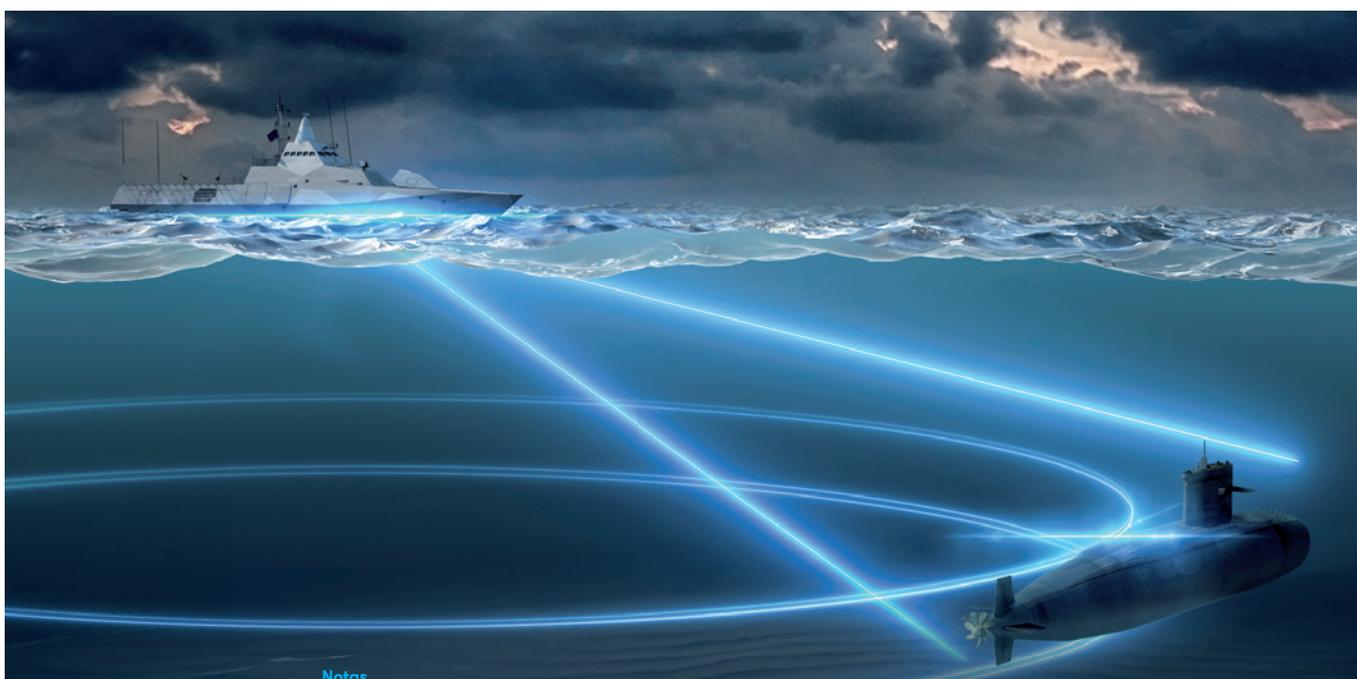
Atualmente, antes de cada MRI, quase 3.000 metros de cabo eletroacústico são lançados ao mar para que os dados sejam coletados pelo hidrofone e transmitidos de forma on-line para o Posto de Controle. Deve-se alinhar tecnologia e manutenibilidade à Raia do Futuro, por exemplo, ao implementar um dispositivo capaz de transmitir por rádio os dados obtidos do navio, por meio de boia fundeada equipada com hidrofone e sistema de transmissão rádio, ao Posto de Controle que faz o processamento desses dados.

Assim como o extinto GDS (Grupo de Desenvolvimento de Submarinos) (Parente, 2023) que solucionava problemas ao desenvolver equipamentos para os submarinos, na década de 1980, o CASOP tem o potencial de ser o elo entre o meio operativo, como representante da Esquadra, e o setor técnico, interagindo com as OMs de ICT (Inovação, Ciência e Tecnologia) – IPqM e IEAPM – tanto na encomenda quanto durante a modernização e desenvolvimento de novos sistemas.

As parcerias com OMs de ICT aceleram os entraves burocráticos na aquisição de materiais, nacionais ou importados, e na contratação de serviços de engenharia que dão continuidade ao desenvolvimento dos sistemas, no sentido de gerar um produto robusto e confiável à Esquadra.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na Guerra Acústica, o trinômio “detectar, classificar e identificar” significa uma desejada vantagem operacional. De fato, a Raia Acústica é o ponto terminal de investigação e pesquisa do CASOP – braço técnico da Esquadra –, que é um dos responsáveis por agregar conhecimento operativo aos meios no tema acústica submarina e, a partir da MRI, entregar à Esquadra uma análise do efeito do ruído emitido pelos navios que se traduza em vantagem no teatro de operações da guerra A/S.



### Notas

- 1- Almirante Paulo Moreira: nasceu no Rio de Janeiro/RJ em 18 de outubro de 1919 e faleceu em maio de 1983, após mais de 45 anos de serviço. O trabalho realizado pelo oficial-general alcançou marcos relevantes nas áreas de climatologia, oceanografia, meteorologia, biologia marinha e hidrografia (MARINHA DO BRASIL, 2023).
- 2- Ressurgência: também chamada de “afloramento”, é um fenômeno dos oceanos onde águas frias de profundidade sobem para a superfície do mar.
- 3- Comandante Parente: Capitão de Mar e Guerra (Ref) Carlos Eduardo Parente Ribeiro. Atualmente é Professor Adjunto da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Tem experiência na área de Oceanografia, com ênfase em Oceanografia Física. Atuando principalmente nos seguintes temas: Análise Direcional de Ondas, Análise Espectral (UFRJ, 2023).

### Referências

- AMERICAN NATIONAL STANDARD. **Specification for octave-band and fractional-octave-band analog and digital filters**. Melville, NY: Standards Secretariat Acoustical Society of America, 2014.
- ANDRADE, Diego F. G. de. **Determinação de parâmetros de alvos submarinos a partir de interferências devidas ao Efeito Lloyd-Mirror**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.
- BURDIC, William. S. **Underwater acoustic system analysis**. [S. l.]: Prentice-Hall, 2003.
- CHAVES, Antonio Hugo S. **Um estudo sobre o padrão de interferência sonora em**

**águas rasas e suas aplicações no aprimoramento da estimativa de distância e velocidade por método passivo**. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia Oceânica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

LURTON, Xavier. **An introduction to underwater acoustics: principles and applications**. Berlin: Springer Praxis Books, 2010.

MARINHA DO BRASIL. **Almirante Paulo Moreira**: Senado homenageia centenário do Almirante Paulo Moreira. Brasília: Marinha do Brasil, [2019]. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/almirante-paulo-moreira>. Acesso em: 5 abr. 2023.

MENDES, Bruno N. **Uso do efeito Lloyd Mirror na detecção do ruído irradiado em águas rasas**. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

RIBEIRO, Carlos Eduardo Parente. **Raia acústica em Arraial do Cabo**: história e aspectos técnicos. [Entrevista], Rio de Janeiro, abr. 2010.

URICK, Robert J. **Sound propagation in the sea**. [S. l.]: Peninsula Publisher, 1982.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO. **Prof. Carlos Eduardo Parente Ribeiro**. [Rio de Janeiro], [2023]. Disponível em: <https://oceanica.ufrj.br/docente/carloseduardoparente>. Acesso em: 5 abr. 2023.

XAVIER, Fabio C. **Um estudo sobre o uso de interferometria de banda larga aplicada a caracterização do ruído de banda larga de navios**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.