

**Projeto de Monitoramento da Paisagem
Acústica Submarina da Bacia de Santos
PMPAS-BS – 2º Ciclo**

8º Relatório Técnico - Novembro/2015 a dezembro/2023

Volume Único

**Revisão 00
Agosto / 2024**



E&P

ÍNDICE GERAL

Sumário Executivo	i
I Introdução.....	1
I.1 Paisagem Acústica Submarina.....	2
I.2 1º e 2º Ciclos do PMPAS-BS.....	4
I.3 Objetivo e Estrutura do Relatório.....	6
II Materiais e Métodos	9
II.1 Área de Estudo.....	9
II.1.1 Região Costeira	10
II.1.2 Região Oceânica	15
II.2 Dados Acústicos.....	21
II.2.1 Processamento dos Dados	21
II.2.2 Caracterização dos Dados	22
III Paisagem Acústica Submarina na Bacia de Santos – Resultados e Discussão	25
III.1 Região Oceânica.....	25
III.1.1 Monitoramento Móvel – Gliders e Perfiladores	25
III.1.1.1 Comparação entre as Regiões R1, R2, R3 e R4	30
III.1.2 Monitoramento Fixo – Linhas de Fundeio Instrumentadas	38
III.1.2.1 Comparação entre as LFIs.....	38
III.1.2.2 Avaliação de Tendências de Incremento ou Estabilidade do Ruído na Bacia de Santos com Dados do Monitoramento Fixo Oceânico.....	42
III.2 Região Costeira – Monitoramento Fixo – Observatórios Submarinos	58




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

8º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2024

III.2.1	Níveis de Ruído Medidos nos Observatórios Submarinos	58
III.2.1.1	OSP1 x OS3R x OS3R1 x OS3R2	67
III.2.1.2	OSP2 x OS3.....	69
IV	Sistema de Modelagem Acústica Submarina - SIMAS	71
IV.1	Validação com Dados Medidos	72
IV.2	Resultados Obtidos.....	75
IV.2.1	Ruído Médio e Desvio Padrão	76
IV.2.2	Sazonalidade	78
IV.2.3	Diferenças Espaço-Temporais	81
IV.2.4	Categorização do Ruído Modelado	82
IV.3	Avaliação sobre os Resultados da Modelagem	86
V	Estudo de decaimento sonoro de Fontes Sísmicas in situ nos Campos de Tupi, Itapu, Aram e Iara	89
V.1	Metodologia Utilizada para Avaliação do Decaimento	91
V.1.1	Medição de Dados Acústicos	91
V.1.2	Processamento de Dados Acústicos	94
V.1.3	Estatísticas Gerais	95
V.1.4	Ruído Ambiente	98
V.2	Decaimento Sonoro	99
V.2.1	Decaimento Sonoro Horizontal – Tupi-Iracema	100
V.2.2	Decaimento Sonoro Vertical – Tupi-Iracema	101
V.2.3	Decaimento Sonoro Horizontal – Itapu, Aram e Iara	104
V.2.4	Discussão sobre o Decaimento Sonoro	107
VI	Considerações Finais.....	109
VI.1	Esforço Amostral e Conhecimento Auferido pelo PMPAS-BS	109



VI.2	Contribuições dos Monitoramentos Móvel, Fixo Oceânico e Fixo Costeiro	110
VI.3	Resultados da Análise da Paisagem Acústica.....	113
VI.4	Avaliação Estatística do Incremento ou Estabilidade de Ruído na Bacia de Santos	116
VI.5	Contribuição da Modelagem do Ruído Acústico na Bacia de Santos.....	119
VI.6	Decaimento Sonoro de Fontes Sísmicas	121
VI.7	Contribuição do PMPAS-BS com o PMC-BS	122
VII	Referências Bibliográficas	125
VIII	Equipe Técnica	133
VIII.1	Petrobras	133
VIII.2	Instituto de Pesquisas da Marinha (IPqM)	134
APÊNDICE A	Produção Científica	135
APÊNDICE B	Metodologia de Aquisição e Processamento dos Dados.....	141
B.1	Monitoramento Móvel	141
B.1.1	Aquisição dos Dados Acústicos com Perfiladores	141
B.1.2	Aquisição dos Dados Acústicos com Gliders.....	141
B.2	Monitoramento Fixo.....	143
B.2.1	Aquisição dos Dados Acústicos com Observatórios Submarinos (OS).....	143
B.2.2	Aquisição dos Dados Acústicos com Linhas de Fundeio Instrumentadas (LFIs).....	143
B.2.3	Dados Ambientais.....	144
B.3	Densidade de Embarcações	145
B.4	Georreferenciamento dos Dados Acústicos	145




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

8º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2024

B.5	Sincronização Temporal dos Dados Acústicos e dos Parâmetros espectrais	145
B.6	Sistema de Informações	145
B.7	Processamento e Arquivamento dos Dados	146
B.7.1	Consistência e Qualificação dos Dados	146
B.7.2	Definição dos Parâmetros Processados	147
B.7.3	Apresentação dos Dados e Resultados	148
B.7.3.1	Resolução Espacial Plana	148
B.7.3.2	Resolução Espacial Vertical	149
B.7.3.3	Resolução Espectral	149
B.7.3.4	Resolução Temporal	149
B.7.3.5	Densidade Amostral Espacial	150
B.7.3.6	Nível de Pressão Sonora Espacial	151
B.7.3.7	Nível da Pressão Sonora Temporal	152
B.7.3.8	Espectros de 1/3 de Oitava	153
B.7.3.9	Espectrogramas	153
B.7.3.10	Nível de Exposição Sonora – SEL _{24H}	154



FIGURAS

- Figura II.1-1: Região da Bacia de Santos, mostrando os limites geográficos da bacia e a localização atual das unidades de produção da PETROBRAS. 9
- Figura II.1.1-1: Observatórios Submarinos na Baía da Guanabara (OS1 e OS1A), nas imediações das Ilhas Cagarras (OS3R, OS3R1 e OS3R2) e mais afastados (OSP1). Os retângulos no gráfico de cima são apresentados como gráficos destacados na parte de baixo, mostrando uma ampliação das regiões onde se encontram os OS1 e OS1A (A) e os OS3R, OS3R1 e OS3R2 (B). 12
- Figura II.1.1-2: Observatórios Submarinos na Baía da Ilha Grande (OS2 no lado leste e OS2R no lado oeste da Ilha Grande). A distância entre os OS é de 32 km. 13
- Figura II.1.1-3: Observatórios Submarinos no Canal de São Sebastião (OS3 e OSP2). 14
- Figura II.1.2-1: Posição das oito linhas de fundeio instrumentadas usadas na região oceânica da Bacia de Santos no primeiro ciclo do PMPAS-BS (FA01, FA02, FA03, FA03R, FA04, FA04R, FA05 e FA06, em vermelho) e das três linhas usadas no segundo ciclo do projeto (FA, FB e FC, em azul). 17
- Figura II.1.2-2: Regiões de Interesse e densidade de navegação referentes a embarcações a serviço da PETROBRAS (mapa superior) e de terceiros (mapa inferior). (Fonte: PETROBRAS (2023)) 20
- Figura III.1.1-1: Mapa do SPL para o filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz, com os quadrados vermelhos delimitando as regiões R1, R2, R3 e R4 e a linha diagonal tracejada vermelha mostrando os pontos usados para a comparação espacial dos níveis de ruído na Bacia de Santos. Os círculos preto e magenta indicam as posições sobre a linha diagonal e dentro dos limites da Bacia de Santos



(linha tracejada azul) com valores de SPL mínimo e máximo, respectivamente. A cruzes pretas indicam posição das plataformas da PETROBRAS.	26
Figura III.1.1-2: SPL para o filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz em função da longitude ao longo da linha diagonal do mapa da Figura III.1.1-1 (gráfico de cima) e boxplot para as medições feitas em cada posição (gráfico de baixo). A linha tracejada magenta no gráfico de cima indica a posição do SPL mínimo e a linha preta a posição do SPL máximo, para medições dentro dos limites da Bacia de Santos, dados pelas linhas pontilhadas pretas que marcam as longitudes da linha diagonal para os limites sul e norte da bacia.	27
Figura III.1.1-3: Mapas do SPL para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz e para os filtros de 1/3 de oitava de 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz.	28
Figura III.1.1-4: SPL ao longo da linha mostrada nos mapas, em função da longitude, para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz e para os filtros de 1/3 de oitava centrados em 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz. As linhas pontilhadas pretas marcam as longitudes da linha diagonal para os limites sul e norte da Bacia de Santos. Os trechos destacados correspondem aos trechos em que a linha cruza as longitudes correspondentes às regiões R1, R2, R3 e R4.	29
Figura III.1.1.1-1: Comparação entre as regiões R1, R2, R3 e R4, usando todos os dados qualificados dos gliders e perfiladores nestas regiões, para o filtro de 1/3 de oitava centrado em 63 Hz. As quatro regiões são estatisticamente diferentes (ANOVA, $F=31.760,3$, $p=0$).	30
Figura III.1.1.1-2: Comparação entre as regiões R1, R2, R3 e R4, usando todos os dados qualificados dos gliders e perfiladores nestas regiões, para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz e para os filtros de 1/3 de oitava centrados em 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz. As linhas verticais ligam os percentis de 25%, 50% (mediana) e 75% para cada distribuição.	31



Figura III.1.1.1-3: Comparação entre as regiões R1, R2, R3 e R4, em cada ano, de 2016 a 2022, usando todos os dados qualificados dos gliders e perfiladores nestas regiões, para o filtro de 1/3 de oitava centrado em 63 Hz.....	32
Figura III.1.1.1-4: Comparação entre as regiões R1, R2, R3 e R4, em cada ano, de 2016 a 2023, usando todos os dados qualificados dos gliders e perfiladores nestas regiões, para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz e para os filtros de 1/3 de oitava centrados em 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz. As linhas verticais ligam os percentis de 25%, 50% (mediana) e 75% para cada distribuição. Cada conjunto de sete marcas corresponde, da esquerda para a direita, aos anos de 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022 e 2023, respectivamente.	34
Figura III.1.1.1-5: Comparação entre as regiões R1, R2, R3 e R4, para quatro faixas de profundidade, usando todos os dados qualificados dos gliders e perfiladores nestas regiões, para o filtro de 1/3 de oitava centrado em 63 Hz.....	35
Figura III.1.1.1-6: Comparação entre as regiões R1, R2, R3 e R4 e em cada região, da esquerda para a direita para as faixas de profundidades em torno de 50 m, 200 m, 500 m e 950 m, usando todos os dados qualificados dos gliders e perfiladores nestas regiões, para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz e para os filtros de 1/3 de oitava centrados em 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz. As linhas verticais ligam os percentis de 25%, 50% (mediana) e 75% para cada distribuição.	36
Figura III.1.2.1-1: Comparação entre as LFIs para todos os dados no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz.....	39
Figura III.1.2.1-2: Comparação entre as LFIs para todos os dados nos filtros de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz.....	40
Figura III.1.2.1-3: Comparação entre o SEL _{24h-LF} para as oito linhas. A linha preta tracejada corresponde ao TTS.....	41



Figura III.1.2.1-4: Comparação entre o SEL_{24h-MF} para as oito linhas. A linha preta tracejada corresponde ao TTS.	41
Figura III.1.2.2-1: Boxplots por intervalos semestrais dos dados de SPL na banda de frequência 63 Hz do espectro de 1/3 de oitava do Fundeio FA-01.....	44
Figura III.1.2.2-2: Boxplots por intervalos semestrais dos dados de SPL na banda de frequência 63 Hz do espectro de 1/3 de oitava do Fundeio FA-02.....	44
Figura III.1.2.2-3: Boxplots por intervalos semestrais dos dados de SPL na banda de frequência 63 Hz do espectro de 1/3 de oitava dos Fundeios FA-03 e FA-03R.	45
Figura III.1.2.2-4: Boxplots por intervalos semestrais dos dados de SPL na banda de frequência 63 Hz do espectro de 1/3 de oitava do Fundeio FA-04.....	45
Figura III.1.2.2-5: Boxplots por intervalos semestrais dos dados de SPL na banda de frequência 63 Hz do espectro de 1/3 de oitava do Fundeio FA-05.....	46
Figura III.1.2.2-6: Boxplots por intervalos semestrais dos dados de SPL na banda de frequência 63 Hz do espectro de 1/3 de oitava do Fundeio FA-06.....	46
Figura III.1.2.2-7: Ajustes de tendências às medianas dos dados de SPL na banda de frequência 63 Hz do espectro de 1/3 de oitava no Fundeio FA-01. Teste de Mann-Kendall indicou não haver tendência significativa de incremento.	52
Figura III.1.2.2-8: Ajustes de tendências às medianas dos dados de SPL na banda de frequência 63 Hz do espectro de 1/3 de oitava no Fundeio FA-02. Teste de Mann-Kendall indicou haver tendência significativa de incremento.....	52
Figura III.1.2.2-9: Ajustes de tendências às medianas dos dados de SPL na banda de frequência 63 Hz do espectro de 1/3 de oitava nos Fundeios	



FA-03 e FA-03R. Teste de Mann-Kendall indicou não haver tendência significativa de incremento.	53
Figura III.1.2.2-10: Ajustes de tendências às medianas dos dados de SPL na banda de frequência 63 Hz do espectro de 1/3 de oitava no Fundeio FA-04. Teste de Mann-Kendall indicou não haver tendência significativa de incremento.	53
Figura III.1.2.2-11: Ajustes de tendências às medianas dos dados de SPL na banda de frequência 63 Hz do espectro de 1/3 de oitava no Fundeio FA-05. Teste de Mann-Kendall indicou não haver tendência significativa de incremento.	54
Figura III.1.2.2-12: Ajustes de tendências às medianas dos dados de SPL na banda de frequência 63 Hz do espectro de 1/3 de oitava no Fundeio FA-06. Teste de Mann-Kendall indicou haver ligeira tendência significativa de incremento.	54
Figura III.2.1-1: Mediana dos espectros de 1/3 de oitava para as diferentes posições de instalação dos OS. As linhas verticais representam os percentis de 25% e 75% para os níveis em cada banda do espectro. ...	59
Figura III.2.1-2: Mediana dos espectros de 1/3 de oitava para as posições de instalação próximo à Baía de Guanabara: OS1, OS1A, OS3R, OS3R1, OS3R2 e OSP1. As linhas verticais representam os percentis de 25% e 75% para os níveis em cada banda do espectro.	60
Figura III.2.1-3: Mediana dos espectros de 1/3 de oitava para as posições de instalação na Baía de Ilha Grande e no Canal de São Sebastião: OS2, OS2R, OS3 e OSP2. As linhas verticais representam os percentis de 25% e 75% para os níveis em cada banda do espectro.	61
Figura III.2.1-4: Espectrograma de 1/3 de oitava para os dados gravados no dia 06 de março de 2018, no OS1, na Baía de Guanabara. As letras correspondem aos tipos de ruído observados (A = Fluxo de maré; B = Embarcações; C = Estalos/cliques; D = Coros; E = Tons 100/125 Hz)..	63



Figura III.2.1-5: Espectrograma de 1/3 de oitava para os dados gravados no dia 11 de março de 2019, no OS2, na Baía de Ilha Grande. As letras correspondem aos tipos de ruído observados (A = Fluxo de maré; B = Embarcações; D = Coros).	64
Figura III.2.1-6: Boxplots do SPL_{63Hz} , para as posições analisadas.	65
Figura III.2.1-7: Comparação entre os OS para todos os dados nos filtros de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz.	65
Figura III.2.1-8: Boxplots do SEL_{24h} , SEL_{24h-MF} e SEL_{24h-LF} , para as posições analisadas. A linha tracejada horizontal preta indica o limiar de TTS para o SEL_{24h} para o grupo de cetáceos LF. Para o grupo MF, o limiar é 1 dB abaixo.	67
Figura III.2.1.1-1: Observatórios submarinos na região da Baía de Guanabara.	68
Figura III.2.1.1-2: Espectros de 1/3 de oitava medianos dos OS3R, OS3R1, OS3R2 e OSP1.	68
Figura III.2.1.2-1: Observatórios submarinos na região do canal de São Sebastião.	69
Figura III.2.1.2-2: Espectros de 1/3 de oitava medianos dos OS3, OSP2 e OSP2-1.	70
Figura IV.1-1: Comparação entre os dados modelados (em laranja, janelas de 2 horas, 50, 200 e 1.000 metros) e os dados medidos (em azul, todas as profundidades) na trajetória do glider entre os dias 5 de julho de 2016 e 5 de maio de 2017 para 63 Hz e 125 Hz.	74
Figura IV.1-2: Comparação entre os dados modelados (em laranja, janelas de 2 horas, 50, 200 e 1.000 metros) e os dados medidos (em azul, todas as profundidades) na trajetória do glider entre os dias 31 de dezembro de 2019 e 15 de abril de 2020 para 63 Hz e 125 Hz.	74
Figura IV.2-1: Variação anual do número de registros de AIS em janelas de 2 horas, para as regiões R1, R2, R3 e R4 nos anos de 2016 a 2023. (Fonte: Banco de dados de AIS da PETROBRAS).	76



Figura IV.2.1-1: Mapas do valor médio do SPL de 2016 a 2023 para a frequência de 63 Hz, no gráfico de cima, e de 125 Hz, no gráfico de baixo, ambos na profundidade de 50 m.	77
Figura IV.2.1-2: Mapas do desvio padrão do SPL de 2016 a 2023 para a frequência de 63 Hz, no gráfico de cima, e de 125 Hz, no gráfico de baixo, ambos na profundidade de 50 m.	78
Figura IV.2.2-1: Mapa do SPL médio (dB re 1 μ Pa ²) de cada uma das estações do ano (verão, outono, inverno e primavera) durante os anos 2016 a 2023 para a frequência de 63 Hz, na profundidade de 50 m.	79
Figura IV.2.2-2: Mapa do SPL médio (dB re 1 μ Pa) de cada uma das estações do ano (verão, outono, inverno e primavera) durante os anos 2016 a 2023 para a frequência de 125 Hz, na profundidade de 50 m.	79
Figura IV.2.2-3: Distribuição do ruído modelado nas estações do ano, para os anos de 2016 a 2023, nas regiões R1, R2, R3 e R4, para a frequência de 63 Hz.	80
Figura IV.2.2-4: Distribuição do ruído modelado nas estações do ano, para os anos de 2016 a 2023, nas regiões R1, R2, R3 e R4, para a frequência de 125 Hz.	81
Figura IV.2.3-1: Diferenças dos valores médios do SPL entre os anos de 2023 e o ano de 2022 para a frequência de 63 Hz na profundidade de 50 m.	82
Figura IV.2.3-2: Diferenças dos valores médios do SPL entre os anos de 2023 e o ano de 2022 para a frequência de 125 Hz na profundidade de 50 m.	82
Figura IV.2.4-1: Mapa de categorização de ruídos para a frequência de 63 Hz na profundidade de 50 m.	84
Figura IV.2.4-2: Mapa de categorização de ruídos para a frequência de 125 Hz na profundidade de 50 m.	85
Figura V.1.1-1: Mapa ilustrando as trajetórias do glider de monitoramento específico durante as campanhas C01 a C12 (linhas) e a localização	



dos disparos de campanhas realizadas pela PETROBRAS (Tupi-Iracema, Itapu, Aram, Iara) e de outras campanhas sísmicas de terceiros (CGG e PGS).....	92
Figura V.1.1-2: Linhas do tempo das doze primeiras campanhas dos gliders de monitoramento específico e das campanhas sísmicas que tiveram algum tempo de execução comum com as campanhas dos gliders.....	92
Figura V.1.1-3: Distâncias dos disparos efetuados nas campanhas sísmicas e os gliders de monitoramento específico, durante as gravações acústicas.....	93
Figura V.1.2-1: Espectro de potência para um disparo de um arranjo de canhões de ar, mostrando a energia acumulada em função da frequência.....	94
Figura V.1.3-1: Gráfico de barras ilustrando a distribuição do número de registros acústicos em função da profundidade para todas as campanhas.....	96
Figura V.1.3-2: Histograma da distribuição de valores de distância entre o glider e a fonte sísmica para o campo de Tupi-Iracema.....	97
Figura V.1.4-1: Ruído medido na ausência de pulsos sísmicos (Ruído Ambiente).	98
Figura V.1.4-2: Ruído medido na ausência de pulsos sísmicos. No gráfico de cima, são apresentadas as medianas em função da profundidade mostradas na V.1.4-1. No gráfico de baixo, é mostrado o boxplot das medianas de cada célula apresentada no gráfico de cima.....	99
Figura V.2.1-1: Decaimento sonoro do SPL1Min para o campo de Tupi-Iracema, considerando todas as profundidades. A curva azul mostra o ajuste de uma função do tipo $SPLr = SL - N \log_{10} r$ para toda a faixa de distâncias e a curva verde mostra o trecho de distância de 20 a 150 km considerado na estimativa dos parâmetros $SL = 224,7$ e $N = 21,4$ da curva de decaimento ($R^2 = 0,62$).	101



- Figura V.2.2-1: Variação do SPL (dB re $1\mu\text{Pa}^2$) de 1 minuto integrado nas frequências de 5 a 250 Hz do filtro de 1/3 de oitava em função da distância à fonte (eixo horizontal) e da profundidade de medição (eixo vertical), para o campo de Tupi-Iracema..... 102
- Figura V.2.2-2: SPL1Min @1m (SL), considerando um decaimento de 21,4 $\log_{10}(r)$, incluindo todas as profundidades, para o campo de Tupi-Iracema. 103
- Figura V.2.2-3: SPL1Min @1m (SL), considerando um decaimento de 21,4 $\log_{10}(r)$, incluindo todas as profundidades, para o campo de Tupi-Iracema. 103
- Figura V.2.2-4: Decaimento sonoro do SPL1Min, considerando apenas medições feitas próximo à superfície (<50 m), para o campo de Tupi-Iracema. A curva vermelha mostra o ajuste de uma função do tipo $SPLr = SL - N\log_{10}r$ para toda a faixa de distâncias e a curva verde mostra o trecho de distância de 20 a 150 km considerado na estimativa dos parâmetros $SL = 262,9$ e $N = 30,3$ da curva de decaimento ($R^2 = 0,62$). A curva preta mostra o decaimento considerando medições feitas em todas as profundidades. 104
- Figura V.2.3-1: Decaimento sonoro do SPL1Min para o campo de Itapu, considerando todas as profundidades. A curva preta mostra o ajuste de uma função do tipo $SPLr = SL - N\log_{10}r$ para toda a faixa de distância e a curva verde mostra o trecho de distância de 20 a 150 km considerado na estimativa dos parâmetros $SL = 200,8$ e $N = 16,4$ da curva de decaimento ($R^2 = 0,39$). 105
- Figura V.2.3-2: Decaimento sonoro do SPL1Min para o campo de Aram, considerando todas as profundidades. A curva preta mostra o ajuste de uma função do tipo $SPLr = SL - N\log_{10}r$ para toda a faixa de distância e a curva verde mostra o trecho de distância de 20 a 150 km considerado na estimativa dos parâmetros $SL = 211,2$ e $N = 18,5$ da curva de decaimento ($R^2 = 0,62$). 106



Figura V.2.3-3: Decaimento sonoro do SPL1Min para o campo de lara, considerando todas as profundidades. A curva preta mostra o ajuste de uma função do tipo $SPL_r = SL - N \log_{10} r$ para toda a faixa de distância e a curva verde mostra o trecho de distância de 20 a 150 km considerado na estimativa dos parâmetros $SL = 212,2$ e $N = 19,3$ da curva de decaimento ($R^2 = 0,70$).	106
Figura B.7.3.5-1: Exemplo da distribuição espacial da Densidade Amostral para as profundidades entre 0 e 100 m.	151
Figura B.7.3.6-1: Exemplo da distribuição espacial de SPL para as profundidades entre 0 e 100 m.	152
Figura B.7.3.7-1: Exemplo de apresentação do SPL em função do tempo, com resolução temporal de um minuto.	152
Figura B.7.3.8-1: Exemplo de espectro de 1/3 de oitava médio e nos percentis de 5%, 50% e 95% do ruído gravado num OS.	153
Figura B.7.3.9-1: Exemplo de um espectrograma correspondente a doze minutos de gravação num trecho em que se pode observar a passagem de duas embarcações.	154
Figura B.7.3.10-1: Função de pesos para os grupos de espécies de mamíferos marinhos expostos ao ruído acústico submarino. Os parâmetros necessários para gerar as funções são fornecidos na Tabela B.7.3.10-1 (Fonte: Finneran (2016)).....	155



TABELAS

Tabela II.1.1-1: Posição e profundidade local de instalação dos Observatórios Submarinos (OS). As linhas em vermelho correspondem às posições dos OS usados no primeiro ciclo do PMPAS-BS. A posição OS1, usada no primeiro ciclo, continua sendo usada no segundo ciclo. As linhas em azul representam as duas primeiras posições do OSp usadas no segundo ciclo.	11
Tabela II.1.2-1: Posição e profundidade local de instalação das linhas de fundeio instrumentadas referentes aos primeiro (destaque em vermelho) e segundo (destaque em azul) ciclos do PMPAS-BS.....	17
Tabela II.2.2-1: Número de equipamentos, tempo de gravação, período da coleta e percentual aceito na qualificação para cada uma das estratégias de amostragem utilizadas no PMPAS-BS, separados para os dois ciclos do projeto.	24
Tabela III.1.1-1: Posição dos níveis mínimo e máximo de SPL observados sobre a linha diagonal nos mapas para cada frequência apresentada e respectiva posição. É mostrada na última coluna a diferença entre os SPL máximos e mínimos para cada frequência.	29
Tabela III.1.2.2-1: Declividade estimada pelo Método Sen's Slope para Linha FA-01. Cada célula informa o incremento do ano indicado na coluna em relação ao ano indicado no início da linha.	47
Tabela III.1.2.2-2: Declividade estimada pelo Método Sen's Slope para Linha FA-02. Cada célula informa o incremento do ano indicado na coluna em relação ao ano indicado no início da linha.	48
Tabela III.1.2.2-3: Declividade estimada pelo Método Sen's Slope para Linhas FA-03 e FA-03R. Cada célula informa o incremento do ano indicado na coluna em relação ao ano indicado no início da linha.	48



Tabela III.1.2.2-4: Declividade estimada pelo Método Sen's Slope para Linha FA-04. Cada célula informa o incremento do ano indicado na coluna em relação ao ano indicado no início da linha.....	48
Tabela III.1.2.2-5: Declividade estimada pelo Método Sen's Slope para Linha FA-05. Cada célula informa o incremento do ano indicado na coluna em relação ao ano indicado no início da linha.....	49
Tabela III.1.2.2-6: Declividade estimada pelo Método Sen's Slope para Linha FA-06. Cada célula informa o incremento do ano indicado na coluna em relação ao ano indicado no início da linha.....	49
Tabela III.1.2.2-7: Cálculo da declividade pelo Método de Tendência por Mínimos Quadrados (implementado na rotina "Trend" do Climate Data Toolbox).....	50
Tabela III.1.2.2-8: Resultados dos testes de hipótese Mann-Kendall para tendências nos dados acústicos medidos nas linhas FA-01, FA-02, FA-03, FA-04, FA-05 e FA-06.	51
Tabela III.1.2.2-9: Tempos de início da instalação e da produção de plataformas definitivas no campo de Tupi (proximidades do Fundeio FA-01)	55
Tabela III.1.2.2-10: Tempos de início da instalação e da produção de plataformas definitivas nos campos de Cessão Onerosa no norte da Bacia de Santos (proximidades do Fundeio FA-02).	56
Tabela IV.2.4-1: Classes de Ruído.....	83
Tabela IV.2.4-2: Cobertura espacial por classe de ruído na frequência de 63 Hz.	85
Tabela IV.2.4-3: Cobertura espacial por classe de ruído na frequência de 125 Hz.	86
Tabela V-1: Informações sobre as sísmicas em Tupi-Iracema, Itapu, Aram e Iara, indicando o tempo do primeiro e último disparos de produção.	89



Tabela V-2: Informações sobre as campanhas dos gliders de monitoramento específico.	90
Tabela V-3: Informações sobre as fontes sísmicas.	93
Tabela V.1.3-1: Estatísticas gerais da profundidade e dos parâmetros acústicos para janelas de 1 minuto de sinal e dados do glider durante o período de 18/06/2022 a 01/08/2023 nas campanhas ME_C01 a ME_C12 de monitoramento específico do PMPAS-BS.	96
Tabela V.1.3-2: Estatísticas gerais das distâncias das fontes sonoras de cada uma das sísmicas aos gliders para janelas de 1 minuto de sinal durante o período de 18/06/2022 a 01/08/2023 nas campanhas ME_C01 a ME_C12 de monitoramento específico do PMPAS-BS.	97
Tabela A-1: Produção científica usando dados e informações do PMPAS-BS.	135
Tabela B.7.3.3-1: Frequência central das bandas dos filtros de 1/3 de oitava, em Hz, em função do número da banda.	149
Tabela B.7.3.10-1: Sumário dos parâmetros da função de pesos e limiares de TTS e PTS. Os limiares do SEL estão em dB re 1 μ Pa ² .s e para SPL _{pico} em dB re 1 μ Pa ² . A indicação (pond.) significa que para o cálculo do SEL o espectro deve ser ponderado pelos pesos obtidos com a (B.7.3.10-1). No cálculo do SPL _{pico} não é feita a ponderação (Fonte: Finneran (2016)).	155
Tabela B.7.3.10-2: Grupos de espécies para as funções de peso baseado no audiograma (Fonte: Finneran (2016)).	156



SUMÁRIO EXECUTIVO

Introdução

Este documento é o oitavo relatório técnico anual do Projeto de Monitoramento da Paisagem Acústica Submarina da Bacia de Santos (PMPAS-BS), elaborado para atender condicionantes dos processos de licenciamento ambiental federal, conduzido pelo IBAMA, para as atividades de exploração e produção de óleo e gás da PETROBRAS na Bacia de Santos, e tem como objetivo a caracterização da paisagem acústica submarina e o monitoramento do nível de ruído submarino na região do Polo Pré-Sal na Bacia de Santos, rotas de navegação preferenciais que servem o polo e algumas regiões costeiras de interesse.

O PMPAS-BS foi elaborado considerando ciclos de implantação com duração de quatro anos ou pouco mais em função da contratação de serviços de medições acústicas. O primeiro ciclo teve uma duração de novembro de 2015 a dezembro de 2021, composto de componentes de Monitoramento Móvel com perfiladores acústicos e *gliders*, Monitoramento Fixo Costeiro com três observatórios submarinos, e Monitoramento Fixo Oceânico com seis linhas de fundeio, além de uma componente de Modelagem de Propagação Acústica. No segundo ciclo, foi otimizado o esforço amostral, mantendo a componente de Modelagem Acústica. O ano de 2022 foi considerado de transição entre o 1º e o 2º ciclo, no qual o escopo do monitoramento móvel foi realizado conforme o escopo do 2º ciclo, enquanto o escopo do monitoramento fixo foi realizado até outubro conforme o estabelecido para o 1º ciclo e a partir de novembro conforme o 2º ciclo. O 2º ciclo foi efetivamente iniciado em janeiro de 2023.


Materiais e Métodos

Os dados acústicos adquiridos foram processados para obtenção de parâmetros espectrais, posteriormente qualificados usando informações estatísticas dos próprios dados ou informações externas. O parâmetro acústico obtido foi o Nível de Pressão Sonora (SPL), nas bandas de frequência de um espectro de 1/3 de oitava. A análise dos dados foi feita nos filtros do espectro de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz e 125 Hz (ruído antropogênico)




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

8º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2024

e 500 Hz e 1.000 Hz (ruído geofônico), facilitando o acompanhamento de variações temporais e espaciais do ruído e a comparação com outros projetos.

Paisagem Acústica - Resultados do Monitoramento Móvel

Para a componente de Monitoramento Móvel, os perfiladores acústicos de livre deriva tiveram suas posições de lançamento planejadas no primeiro ciclo para que suas trajetórias cobrissem toda a Bacia de Santos, e os *gliders* foram programados para que suas trajetórias cobrissem regiões específicas da bacia em ambos os ciclos.

As medições acústicas disponibilizadas pelos perfiladores e *gliders* permitiram a elaboração de mapas acústicos de SPL para a região da Bacia de Santos, nas bandas de frequência estudadas. Nestes mapas foram selecionadas quatro regiões R1 (intensa atividade de E&P), R2 (rota intensa de navegação), R3 (região com pouca atividade de E&P) e R4 (região sem atividade de E&P) como representativas de diferentes condições de atividades exploratórias e de tráfego de embarcações (Figura II.1.2-1). Os maiores níveis observados na região oceânica da Bacia de Santos ficaram próximos à região R1, com maior volume de atividades de exploração e produção de óleo e gás.

Foram avaliados os dados em uma linha cortando transversalmente a Bacia de Santos (Figura III.1.1-1), passando pelo centro da região R1 (-25,5°, -43°). Em todas as faixas de frequência avaliadas (63 Hz, 125 Hz, 500 Hz, 1.000 Hz e banda 10 Hz-10 kHz), o comportamento é semelhante com maiores valores na região R1 e menores valores próximos de R4 (Figura III.1.1-4), com um aumento entre 13 e 21 dB na região R1 (Tabela III.1.1-1) dependendo da frequência analisada, quando comparado com outras regiões mais silenciosas ao longo daquela linha. A diferença de níveis entre as curvas para diferentes frequências se deve, em parte, ao fato de o valor apresentado representar a energia total nas bandas indicadas, e a largura destas bandas serem diferentes umas das outras.

O acompanhamento dos ruídos medidos ao longo dos anos nas quatro regiões (Figura III.1.1.1-4) de 2016 até 2023 mostrou estabilidade nas quatro bandas de frequência avaliadas, alternando-se anos mais ruidosos com anos menos ruidosos para distintas bandas. Observou-se uma estabilização nos níveis de ruído na região R1 em 2023 em relação a 2022. Nas regiões R2, R3 e R4,



observa-se um aumento em 2023 em relação a 2022 nas frequências de 63 Hz e 125 Hz. Não se observa uma tendência clara nos níveis de ruído ao longo dos anos em nenhuma das regiões, com algumas oscilações, dependendo da frequência, indicando estabilidade dos níveis de ruído no período considerado (2016-2023).

A análise dos níveis de ruído em diferentes profundidades (50 m, 200 m, 500 m e 950 m) não mostrou que existem diferenças grandes entre elas (Figura III.1.1.1-6). Na comparação entre as profundidades, verificou-se que nas frequências de 63 Hz e 125 Hz, nas regiões R2, R3 e R4, a mediana dos ruídos medidos na profundidade de 950 m é maior do que nas outras profundidades em até 3 dB, e que o ruído aumenta com o aumento da profundidade. Isto pode ser devido à propagação de ruídos de baixa frequência pelo canal sonoro profundo (Canal SOFAR), região próxima ao local de instalação dos hidrofones a 950 m. Nas frequências de 500 Hz e 1.000 Hz, a mediana para a profundidade de 50 m é mais alta do que para as outras profundidades nas regiões R1, R2 e R3 e as medianas para as demais profundidades são próximas entre si. Na região R4, as medianas para as quatro profundidades ficaram próximas entre si. A mediana mais alta na profundidade de 50 m pode estar associada a ruídos gerados na superfície do mar pelo vento e por ondas de superfície.


Paisagem Acústica - Resultados do Monitoramento Fixo Oceânico

Para a componente de Monitoramento Fixo Oceânico, foram usadas linhas de fundeio instrumentadas (LFI) para o monitoramento em pontos fixos na região oceânica da Bacia de Santos, lançadas em regiões próximas de atividades de E&P, em rotas de navegação e em regiões pristinas (Figura II.1.2-1). Uma das questões levantadas em relatórios anteriores foi o possível incremento de ruído em algumas regiões da Bacia de Santos associado ao aumento de atividades de exploração e produção em alguns campos. Os níveis de ruído medidos nas linhas de fundeio do monitoramento fixo oceânico são bons indicadores para a avaliação desta questão, pois correspondem a medições em alguns pontos fixos da bacia, cuidadosamente escolhidos para caracterizar o ruído em diversas situações de exposição a atividades antropogênicas.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

8º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2024

Foram aplicados métodos estatísticos para avaliação de tendências nos dados medidos pelas seis LFIs ao longo do primeiro ciclo (2017-2022) na banda de frequência de 63 Hz, indicada para monitoramento do incremento de ruído de origem antropogênica. Os resultados do teste de hipótese Mann-Kendall para tendências nos valores medianos do SPL na frequência de 63 Hz (Tabela III.1.2.2-8) mostraram que os únicos fundeios com indicação de incremento de ruído no nível de significância de 5% foram FA-02 e FA-06, e todos os outros fundeios tiveram indicação de não existir tendência significativa.

O Fudeio FA-02 foi planejado para ser instalado em uma região em desenvolvimento da produção nas proximidades da Cessão Onerosa do Pré-Sal no norte da Bacia de Santos (campos de Búzios, Berbigão, Itapu, etc). Todos os sistemas nesta região tiveram suas instalações iniciadas e partiram para produção a partir de 2018 (Tabela III.1.2.2-10), com entrada gradual por ano de alguns sistemas. Esta é a principal justificativa pela qual a linha de Fudeio FA-02 indicou uma tendência significativa de incremento do ruído na banda de frequência 63 Hz impactada pelos ruídos de baixa frequência de origem antropogênica. O Fudeio FA-06 foi instalado em região de trânsito de embarcações e navios para o Pré-Sal. Com a instalação e início de operação de novos sistemas de produção na Bacia de Santos, existe aumento da quantidade tanto de navios de instalação como navios de apoio. Isto justifica o incremento de ruído em zona de navegação para o Pré-Sal.

Os dados das LFIs foram usados para o cálculo do SEL_{24h_LF} e SEL_{24h_MF} (SEL, do inglês *Sound Exposure Level*). Estes valores foram obtidos integrando a energia dos espectros de 1/3 de oitava após serem filtrados usando pesos correspondentes aos audiogramas dos grupos de baixa frequência (LF, do inglês *low-frequency*) e de média frequência (MF, do inglês *medium-frequency*) de mamíferos marinhos. Todos os dados do SEL_{24h} , tanto para o grupo LF (Figura III.1.2.1-3), quanto para o grupo MF (Figura III.1.2.1-4), ficaram abaixo do valor para o *Temporary Threshold Shift* (TTS) apresentado em Finneran, (2016), de 179 dB re $1\mu Pa^2.s$ para o grupo LF e de 178 dB re $1\mu Pa^2.s$ para o grupo MF, com exceção de alguns poucos valores extremos em uma das linhas (FA06).



Paisagem Acústica - Resultados do Monitoramento Fixo Costeiro

Com relação ao Monitoramento Fixo Costeiro, foram instalados observatórios submarinos em regiões de baixa profundidade na entrada da Baía de Guanabara, no entorno das Ilhas Cagarras, na Ilha Grande e na entrada do canal de São Sebastião (Tabela II.1.1-1). Como esperado, devido ao alto tráfego de navios com diversas finalidades, observou-se que os OSs instalados nas imediações da Baía de Guanabara (OS1, OS1A, OS3R, OS3R1, OS3R2, OSP1) são os mais ruidosos para a banda de frequência 63 Hz (Figura III.2.1-6), associada a ruído antropogênico (DEKELING *et al.*, 2014c). A posição OS2R, a oeste da Ilha Grande, é a mais silenciosa, junto com a posição OS3, no canal de São Sebastião.

A paisagem acústica de zonas costeiras (Figuras III.2.1-4 e III.2.1-5) sofre influência de sons diversos provenientes de embarcações de pequeno porte, fluxo de embarcações de grande porte em zonas portuárias, sons relacionados à ação das ondas do mar e chuva, sons de organismos costeiros (principalmente peixes, invertebrados bentônicos e alguns cetáceos). Assim, cada região, ou seja, cada habitat possui sua assinatura acústica, que desempenha um papel crucial no desenvolvimento da vida marinha local.

Os dados foram usados para calcular o SEL_{24h} para as posições dos OSs para os dados com ponderação (Figura III.2.1-8) para as respostas auditivas de cetáceos de baixa frequência (LF) e de média frequência (MF). Em todas as situações apresentadas, o SEL_{24h-MF} ficou abaixo do TTS e o SEL_{24h-LF} cruzou aquele limiar apenas para alguns pontos extremos nos OS1A e OS2, resultados, provavelmente, de uma elevação ocasional do ruído de fluxo de maré ou do aumento das atividades bióticas no local.

Os dados medidos durante o 2º ciclo do PMPAS-BS nos OSs já atingiram uma quantidade suficiente para permitir algumas avaliações com medições próximas realizadas pelos OSs no 1º ciclo. Nas imediações da Baía de Guanabara, os níveis do espectro para o OSP1 ficaram mais próximos dos OS3R1 e OS3R2 e acima do OS3R em baixas frequências e menores do que para as outras posições acima de 1 kHz (Figura III.2.1.1-2). A distância entre o OSP1 e os outros observatórios ficou entre 6,2 km, para o OS3R e 9,6 km, para o OS3R2.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

8º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2024

Nas imediações do Canal de São Sebastião, O OSP2 foi lançado na entrada do Canal de São Sebastião depois de retirado da posição OSP1, ficando cerca de 4,6 km mais a sudoeste da posição OS3, usada no primeiro ciclo do projeto (Figura III.2.1.2-1). O OSP2 foi mais ruidoso em baixas frequências entre 20 Hz e 100 Hz do que o OS3, podendo ser devido ao fato dele estar mais perto das rotas de tráfego que passam ao largo da Ilha Bela, sem entrar no canal. Para frequências acima de 2 kHz, associados aos ruídos produzidos por invertebrados, o OSP2 ficou mais silencioso do que o OS3, provavelmente devido ao fato de o OSP2 estar mais distante dos costões rochosos de Ilha Bela do que o OS3. Durante a primeira campanha do 2º ciclo nesta região, o observatório foi arrastado por uma rede de pesca, passando a gravar na posição OSP2-1, a cerca de 2 km de sua posição original. Observou-se também distintos níveis de ruído na faixa de alta frequência, acima de 2 kHz, sendo mais ruidoso no OSP2-1, mais próximo dos costões da Ilha Bela e mais silencioso no OSP2, mais afastado dos costões.

Paisagem Acústica - Resultados da Modelagem Acústica Submarina

Para a componente de Modelagem Acústica Submarina, foi desenvolvido o Sistema de Modelagem Acústica Submarina (SIMAS), que é uma ferramenta de previsão da paisagem acústica submarina usando como entradas dados do sistema AIS, a assinatura acústica de navios, dados oceanográficos e dados geofísicos e tendo como saída mapas dos níveis de ruído para a Bacia de Santos, para as frequências de 63 Hz e 125 Hz, nas profundidades de 50 m, 200 m e 1.000 m. O sistema é ajustado e validado continuamente a partir da comparação com dados acústicos obtidos em campo, e tem mostrado que é capaz de reproduzir com relativa precisão os padrões de variação espacial do ruído nos diferentes domínios fisiográficos da Bacia de Santos.

A validação do SIMAS foi feita usando dados medidos obtidos por *gliders* e perfiladores. Uma forma de avaliar os dados modelados utilizando os dados medidos, é compará-los ponto a ponto a partir das trajetórias dos equipamentos de medição *gliders* na Bacia de Santos (Figuras IV.1-1 e IV.1-2). Essa abordagem permite uma análise mais detalhada, pois é possível observar variações entre os dados medidos e modelados nas posições e nos instantes mais próximos das medições realizadas



Durante o processo de desenvolvimento, implementação, simulação, ajuste e análise dos resultados obtidos pelo SIMAS, o sistema se mostrou uma boa ferramenta para a caracterização do ruído acústico antropogênico na Bacia de Santos, nas frequências de 63 Hz e 125 Hz. A medição do erro do modelo mostrou uma tendência média (BIAS) que começou em torno de 5 dB, subestimando os dados observados em ambas as frequências (Lima *et al.*, 2020), mas que foram reduzidas para perto de 4 dB para a frequência de 63 Hz e para cerca de 0,2 dB, para 125 Hz. O RMSE em 63 Hz ficou em 5,4 dB e em 125 Hz, em 3,8 dB. Estes valores mostram que ainda há ajustes a serem feitos no modelo e nos parâmetros de entrada do sistema, mas os resultados obtidos já são adequados para o acompanhamento da evolução dos ruídos. Outros modelos também apresentam erros desta ordem de grandeza, como pode ser visto, por exemplo, em Farcas *et al.* (2020), onde o erro médio (RMSE) na frequência de 63 Hz foi de 5,3 dB, demonstrando que o desempenho do SIMAS já se encontra em um nível de maturidade compatível com outras iniciativas de modelagem em âmbito internacional.

A utilização da modelagem e o conjunto de resultados produzidos pelo SIMAS no âmbito do PMPAS-BS no período de 2016 a 2023 contribuíram para os estudos da variabilidade espacial e temporal do ruído hidroacústico na Bacia de Santos. Os mapas gerados permitiram ter uma visão abrangente do ruído e sua evolução durante os anos.

Paisagem Acústica - Resultados do Decaimento Sonoro de Fontes Sísmicas

A avaliação do decaimento sonoro, incluída no escopo do 2º ciclo do PMPAS-BS, se propõe a analisar dados acústicos medidos por *gliders* nas proximidades de campanhas sísmicas. Foram avaliados, neste oitavo relatório, os resultados obtidos do processamento das gravações das doze primeiras campanhas de monitoramento realizadas por *gliders* de monitoramento específico, com acompanhamento das sísmicas em Tupi-Iracema, Itapu, Aram e Iara (Tabela V-1).

É importante observar que a Bacia de Santos é um ambiente ruidoso, mesmo na ausência de campanhas sísmicas, de forma que é oportuno avaliar seu




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

8º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2024

ruído ambiente na região de realização da sísmica, quando disparos não estão sendo realizados (Figuras V.1.4-1 e V.1.4-2), sendo encontrado um valor de SPL mediano de 111,7 dB re 1uPa² na faixa de 5-250 Hz, e intervalo entre os 25% e o 75% percentis em torno de 2 dB.

São apresentados resultados do processamento dos dados dos *gliders* de monitoramento da atividade sísmica nos Campos de Tupi-Iracema, Itapu, Aram e Iara, entre 18 de junho de 2022 e 01 de agosto de 2023. O decaimento sonoro horizontal foi estimado para os campos de Tupi-Iracema (Figura V.2.1-1), Itapu (Figura V.2.3-1), Aram (Figura V.2.3-2) e Iara (V.2.3-3). O decaimento vertical é discutido na seção V.2.2.

Os resultados do decaimento sonoro para uma fonte sísmica mostraram um decaimento horizontal estimado para distâncias entre 20 e 150 km para o campo de Tupi-Iracema como sendo de $21,4 \cdot \log_{10}(r)$ dB, onde r é a distância em metros para a fonte sísmica. Para as campanhas em Itapu, Aram e Iara, o decaimento variou entre 16,4 e 19,3, sendo esta variação devida, provavelmente, ao menor número de medições realizadas no acompanhamento destas sísmicas, quando comparado com Tupi-Iracema. Em relação à variação dos níveis de ruído em função da profundidade, observou-se uma homogeneidade em toda a faixa de profundidade analisada (0 a 1.000 m), para uma mesma distância, para a faixa de distância de operação dos *gliders* aos navios sísmicos.

Considerações Finais

O Projeto de Monitoramento da Paisagem Acústica Submarina da Bacia de Santos (PMPAS-BS) é um projeto pioneiro na América do Sul de avaliação do ruído submarino em uma extensa região oceânica, que pode ser considerado referência em observações acústicas oceânicas (LIMA *et al.*, 2024).

O primeiro ciclo do PMPAS-BS realizou um esforço amostral acústico na borda oeste do Oceano Atlântico Sul, onde foram feitas 23 campanhas com 234 perfiladores, 52 campanhas com *gliders*, 10 campanhas com LFIs (seis linhas com gravações em três profundidades) e 106 campanhas com OSs. O segundo ciclo do PMPAS-BS, em andamento, já contabiliza 46 campanhas com *gliders*, 2 campanhas com LFIs (3 linhas com gravações nas profundidades de 500 m e 950 m) e 10 campanhas com OSs. No total do projeto, foram gravadas 189.056,28



horas de dados acústicos para *gliders*, OSs e LFI, e os perfiladores disponibilizaram parâmetros acústicos referentes a 5.020,3 horas de sinais acústicos.

A transição do primeiro para o segundo ciclo do PMPAS-BS permitiu amadurecer os bons resultados e procurar evitar problemas do primeiro ciclo para auxiliar no planejamento de um segundo ciclo de medições mais eficiente e objetivo. A componente de modelagem da propagação acústica submarina SIMAS é tão importante, e até mais estratégica, do que as próprias componentes de medição (DEKELING *et al.*, 2014a), pois permite uma ampla avaliação espacial e temporal do ruído acústico submarino que não são praticáveis por medições diretas. O desenvolvimento criterioso e validação do SIMAS é um dos principais objetivos do segundo ciclo do PMPAS-BS.

O conjunto de dados coletados no âmbito do PMPAS-BS permite uma visão abrangente da variabilidade espacial e temporal do ruído acústico na Bacia de Santos. Para os ambientes costeiros, os resultados do monitoramento se mostram suficientes para caracterização da paisagem acústica submarina, demonstrando a existência de regiões acústicas de elevada diversidade, com a coexistência de fontes variadas de ruído e de natureza distinta, incluindo principalmente: coros de peixes e invertebrados; cliques e vocalizações de cetáceos; ruído de fluxo induzido pelas correntes sobre o sensor; e ruído de embarcações, motores e bombas.

Para o ambiente oceânico, a complementação dos resultados obtidos por dados medidos pelos *gliders* da componente móvel e linhas de fundeio da componente fixa oceânica, auxiliando na validação do modelo de propagação acústica, irá fornecer o monitoramento adequado para uma região extensa e complexa, não apenas impactada por ruído de origem antropogênica por atividades de E&P, mas também impactada por muitas rotas de navegação comercial, rotas pesqueiras e militares etc.

É importante ressaltar que o PMPAS-BS também tem um foco de apoio ao desenvolvimento científico e tecnológico para a disciplina de acústica submarina, incentivando a utilização dos seus dados por pesquisadores para estudos acadêmicos, artigos científicos etc. (APÊNDICE A), além da colaboração com outras iniciativas abrangentes, como Projeto de Monitoramento de Cetáceos da Bacia de Santos (PMC-BS). Foram enviados ao PMC-BS cerca de 1.520 trechos




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

8º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2024

de áudio com detecção de vocalizações, totalizando 700 horas de gravações feitas no primeiro ciclo do PMPAS-BS. Em relação ao segundo ciclo do projeto, foram enviadas tabelas de detecção de vocalização de 24 campanhas de monitoramento contínuo e 12 de monitoramento específico. Os trechos de áudio correspondentes a estas detecções foram separados e encontram-se à disposição do PMC-BS. Foi disponibilizada, também, uma tabela com os níveis de ruído medidos pelos *gliders* nas frequências de 63 Hz e 125 Hz, juntamente com informações das sísmicas ativas a cada momento, incluindo a distância dos *gliders* aos canhões de ar e uma indicação de quando os canhões estavam disparando. Estes dados são importantes para complementar as gravações rotineiras feitas pelo PMC-BS, principalmente, para o estudo de misticetos, uma vez que a gravação feita naquele projeto tem a faixa de baixa frequência contaminada pelo ruído do navio que reboca o arranjo de hidrofones.



I INTRODUÇÃO

O Projeto de Monitoramento da Paisagem Acústica Submarina da Bacia de Santos (PMPAS-BS) foi elaborado e proposto para atender às solicitações do Termo de Referência 002/2013, emitido pela CGPEG/DILIC/IBAMA, no âmbito do processo de licenciamento ambiental dos Projetos de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural no Polo Pré-Sal da Bacia de Santos – Etapa 2 e nas renovações das licenças de operação das atividades de exploração e produção (E&P) da PETROBRAS na Bacia de Santos, bem como nos novos processos de licenciamento ambiental destas atividades da PETROBRAS na Bacia de Santos. O projeto tem como objetivo a caracterização da paisagem acústica submarina e o monitoramento do nível de ruído submarino na região do Polo Pré-Sal na Bacia de Santos e nas rotas de navegação preferenciais que servem à região. A seção I.1 define o conceito de paisagem acústica submarina e apresenta algumas referências no mundo. O propósito do PMPAS-BS é realizar medições pioneiras da paisagem acústica nesta extensa bacia e avaliar ruídos acústicos de origem antropogênica que possam ter suas fontes relacionadas com o incremento das atividades de produção na região (LIMA *et al.*, 2022). Como uma de suas possíveis aplicações, estas medições poderão subsidiar estudos e pesquisas de impactos sobre a biota marinha.

O PMPAS-BS tem uma magnitude de medições acústicas oceânicas que é pioneira na América Latina e com poucas similares no mundo, pois é feito o monitoramento de uma enorme área (~251.000 km²) por meio de diversos equipamentos com distintos métodos e sensores de aquisição acústica. Um grande desafio do projeto é garantir a qualidade e a intercambialidade dos dados medidos pelos diversos equipamentos, para que possam ser realizados estudos abrangentes com a integração dos resultados dos dados medidos pelos diferentes componentes (monitoramento móvel, fixo oceânico e fixo costeiro).

A seção I.2 descreve o primeiro e o segundo ciclos do projeto e sua gradual transição do primeiro para o segundo ciclo, auferindo todos os conhecimentos e experiências adquiridos para aprimoramento e otimização dos resultados do projeto. A seção I.3 define o objetivo e a estrutura do relatório.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

8º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2024

No APÊNDICE A, é apresentada a produção científica desenvolvida utilizando dados e informações do PMPAS-BS, em publicações e apresentações em eventos e revistas científicas no Brasil e em outras partes do mundo. Foram produzidos 40 trabalhos científicos. Além destes trabalhos, foram desenvolvidos sistemas para o processamento dos sinais de áudio (STADA - Sistema de Tratamento e Análise de Dados Acústicos), para a criação de mapas modelados de ruído (SIMAS - Sistema de Modelagem Acústica Submarina) e para a disponibilização pública dos dados processados (SIMMAO - Sistema de Medição e Modelagem Acústica Oceânica).

I.1 PAISAGEM ACÚSTICA SUBMARINA

O termo “paisagem acústica” tem sido utilizado para descrever a relação entre determinada paisagem e sua composição sonora, incluindo a biofonia, geofonia e antropofonia (PIJANOWSKI *et al.*, 2011). Nos últimos dez a vinte anos, as ações e pesquisas relacionadas à Paisagem Acústica Submarina têm atraído a atenção de diversos pesquisadores e instituições ao redor do mundo. Grande parte dessas pesquisas têm como objetivo monitorar o ruído submarino de origem antropogênica. Tais ruídos são gerados na maioria das vezes por navios (*offshore* e *nearshore* – mercantes, recreacionais e da indústria do petróleo), canhões de ar usados para levantamentos sísmicos (indústria do petróleo), sonares ativos (atividades militares e de pesquisas), explosivos submarinos (operações militares, tipos de pesca proibida, construção de portos, entre outros), sistema de produção de energia (usinas eólicas), dentre outros. Assim, o grande desafio é desenvolver programas/projetos de longo prazo e grande amplitude geográfica para avaliar, mitigar e controlar os impactos ambientais provocados pela antropofonia (COCKREM, 2014; HARRIS e RADFORD, 2014; HILDEBRAND, 2009).

A NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*, agência dos Estados Unidos) e a Comunidade Europeia possuem grandes ações/pesquisas nessa área com avanços significativos. A NOAA, por meio da *NOAA Fisheries*, possui um Programa de Acústica Submarina (2011- atual) com diversos projetos na área de paisagem acústica submarina, desde sua modelagem e estudos sobre a diversidade de mamíferos marinhos, ao monitoramento acústico passivo



contínuo e controle do ruído submarino. Além disso, como fruto desses projetos, a NOAA publicou o “*Ocean Noise Strategy Roadmap*”, um documento que reúne informações significativas sobre os efeitos do ruído antropogênico na vida marinha (GEDAMKE *et al.*, 2016).

Já a Comunidade Europeia, por meio da MSFD (*Marine Strategy Framework Directive*), estabeleceu uma lista de 11 itens (*Commission Decision 2010/477/EU*) que caracterizam a situação (*status*) do ambiente. O item (*descriptor*) 11 - Energia e Ruídos Marinhos, aborda explicitamente o levantamento dos níveis de ruído acústico submarino, constando no MSFD, como: “Introdução de energia, incluindo o ruído submarino, em níveis que não afetem adversamente o meio ambiente marinho”. Nessa publicação, dois indicadores foram descritos para a área de ruído/energia: sons impulsivos de baixas e médias frequências; e sons contínuos em baixas frequências.

Em 2014, foi publicado um guia de monitoramento para ruído submarino nos mares europeus (*Monitoring Guidance for Underwater Noise in European Seas*). Apesar de o MSFD estabelecer que o “bom *status* ambiental” (*Good Environmental Status – GES*) deveria ter sido alcançado em 2020, os critérios para o estabelecimento do GES não foram definidos no documento que propôs as diretrizes. Estas diretrizes eram para ser revisadas até 2023 (EUROPEAN COMMISSION, 2020), mas não houve nenhuma divulgação sobre isto até o momento em que este relatório foi finalizado. Em 2017, a Comissão Europeia revisou os indicadores da MSFD, exigindo valores de referência específicos para cada indicador de ruído. Em 2020 e 2022, foram delineadas metodologias para avaliar o ruído impulsivo e ruído contínuo, respectivamente, sem recomendar valores específicos (MERCHANT *et al.*, 2022a).

Além disso, a Organização Marítima Internacional (IMO) tem desenvolvido diretrizes para a redução do ruído submarino proveniente do transporte marítimo comercial (IMO MEPC.1/CIRC.833, 2014; IMO MEPC.1/CIRC.906, 2023), que fornecem uma visão geral das abordagens aplicáveis a projetistas, construtores de navios e operadores de navios para reduzir o ruído submarino de qualquer navio, além de auxiliar as partes interessadas relevantes a estabelecer



mecanismos e programas pelos quais os esforços de redução de ruído possam ser realizados.

I.2 1º E 2º CICLOS DO PMPAS-BS

O PMPAS-BS foi elaborado considerando ciclos de implantação, sendo que cada ciclo tem duração de quatro anos ou um pouco mais, conforme prazos contratuais. Isso permite uma constante avaliação do projeto e a proposição de eventuais melhorias e ajustes do seu escopo ao final de cada ciclo. Como primeiro ciclo do PMPAS-BS, foi considerado o período de novembro de 2015 (início do monitoramento móvel) a dezembro de 2021 (o monitoramento fixo oceânico iniciou, efetivamente, em setembro de 2017).

O objetivo principal deste primeiro ciclo foi iniciar a coleta de dados acústicos *in situ* e realizar a modelagem da propagação acústica como forma de caracterizar a paisagem acústica na Bacia de Santos, permitindo entender a distribuição dos níveis acústicos tanto nas regiões oceânicas, de águas profundas, como em alguns pontos em regiões costeiras, de águas rasas. Na componente de modelagem, foi desenvolvida uma ferramenta computacional para a geração de mapas modelados do ruído, baseado em informações sobre a presença de embarcações e sobre as características do meio de propagação. Esta ferramenta possibilita entender melhor a distribuição do ruído em toda a bacia, mesmo em locais onde nenhum dado acústico foi coletado.

Nesse sentido, o escopo de levantamento de dados do PMPAS-BS do primeiro ciclo compreendeu:

- **Monitoramento Móvel:** realizado através de um *glider* (equipamento de navegação autônoma) e perfiladores acústicos de livre deriva;
- **Monitoramento Fixo Costeiro:** realizado através de três observatórios submarinos rasos instalados em regiões costeiras da Bacia de Santos (próximas a portos utilizados pelas embarcações a serviço da PETROBRAS, em profundidades de até 30 m);
- **Monitoramento Fixo Oceânico:** realizado com a instalação de seis linhas de fundeio instrumentadas próximas a unidades de produção,



rotas de navegação e em áreas com menor intensidade de atividades de E&P, sendo que em cada linha havia três sistemas de gravação acústica (50, 200 e 950 m).

Os resultados obtidos com as medições acústicas no primeiro ciclo foram muito promissores e, baseado em toda experiência auferida neste ciclo com o tratamento e análise de uma gama extensa de medições com distintos equipamentos e sensores, foram propostas algumas alterações nas três componentes para aprimoramento e otimização do projeto em seu segundo ciclo, conforme descrito nas conclusões do artigo Lima *et al.* (2022) com a descrição do projeto e seu caráter pioneiro no monitoramento acústico em região oceânica brasileira. Deste modo, para o segundo ciclo do PMPAS-BS, o escopo de levantamento continuou com as mesmas componentes de monitoramento, sendo feitas as seguintes alterações:


- **Monitoramento Móvel:** realizado através de equipamento de navegação autônoma do tipo *glider*, passando de um para até três *gliders* em operação simultânea e contínua. A coleta usando perfiladores acústicos de livre deriva foi descontinuada;
- **Monitoramento Fixo Costeiro:** realizado através de observatórios submarinos rasos instalados em regiões costeiras da Bacia de Santos, passou de três para dois observatórios operando continuamente, sendo que um poderá ser instalado em regiões da plataforma continental até 100 m de profundidade;
- **Monitoramento Fixo Oceânico:** realizado com a instalação de linhas de fundeio instrumentadas próximas a unidades de produção, rotas de navegação e em áreas com menor intensidade de atividades de E&P, passando de seis linhas com três equipamentos por linha, para três linhas com dois equipamentos por linha (500 e 950 m).

O ano de 2022 foi considerado de transição entre o 1º e o 2º ciclo, no qual o escopo do monitoramento móvel foi realizado conforme o escopo do 2º ciclo, enquanto o escopo do monitoramento fixo foi realizado até outubro conforme o




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

8º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2024

estabelecido para o 1º ciclo e a partir de novembro conforme o 2º ciclo. O 2º ciclo do PMPAS-BS foi efetivamente iniciado em janeiro de 2023.

O presente relatório apresenta os dados relativos tanto ao primeiro ciclo quanto ao segundo ciclo de implantação do PMPAS-BS. Os dados foram obtidos no período de novembro de 2015 a dezembro de 2023 para o monitoramento móvel, de março de 2017 a dezembro de 2023 para o monitoramento fixo costeiro e de setembro de 2017 a dezembro de 2023 para o monitoramento fixo oceânico.

1.3 OBJETIVO E ESTRUTURA DO RELATÓRIO

O principal objetivo deste relatório técnico é apresentar toda sequência e desenvolvimento do projeto PMPAS-BS com dados acústicos medidos de novembro de 2015 até dezembro de 2023, apresentando materiais e métodos, tratamento dos sinais acústicos, controle de qualidade e análises específicas feitas com dados medidos em todas as componentes do projeto (Monitoramento Móvel, Monitoramento Fixo Costeiro e Monitoramento Fixo Oceânico) como forma de caracterizar a paisagem acústica da Bacia de Santos. Está incluído neste relatório um tópico relacionado ao Sistemas de Modelagem Acústica Submarina (SIMAS), usado para simulação da propagação acústica submarina por modelagem numérica. Foi também acrescentado um tópico para análise do decaimento sonoro de fontes sísmicas a partir de dados medidos *in situ*, por *gliders*.

É oportuno definir algumas questões que este relatório se propõe a responder para contribuir com uma visão abrangente do projeto. Algumas questões são contínuas e serão repetidas ao longo da duração do projeto PMPAS-BS, como a constante atualização do esforço amostral e contribuições das componentes do monitoramento para a caracterização acústica da bacia, e outras são específicas e voltadas para atender algum ponto analisado pelo relatório. Seguem as perguntas:

- (a) Qual foi o esforço amostral do PMPAS-BS até dezembro de 2023 e como o projeto contribuiu para o conhecimento da Paisagem Acústica Submarina da Bacia de Santos até este período?



- (b) Quais foram as contribuições das componentes de Monitoramento Móvel, Monitoramento Fixo Costeiro e Monitoramento Fixo Oceânico para a caracterização da Paisagem Acústica Submarina da Bacia de Santos?
- (c) Com base na análise da paisagem acústica obtida pelas medições realizadas, quais são os padrões espaciais do ruído nas bandas de frequência mais comumente usadas para avaliação de ruído com fontes antropogênicas no oceano (63 e 125 Hz do filtro de 1/3 de oitava)?
- (d) Com o crescimento das atividades de E&P da Petrobras e outras empresas na Bacia de Santos, buscando identificar eventual relação da instalação de novas unidades de produção e tráfego de embarcações com ruído decorrente, é possível identificar um incremento do nível de ruído acústico nas regiões ativas de E&P com relação a outras regiões da bacia?
- (e) Quais resultados da modelagem de propagação acústica para a caracterização da Paisagem Acústica Submarina da Bacia de Santos são destacados?
- (f) Com relação às medições próximas de fontes sísmicas, como os níveis sonoros irradiados variam em função da distância da fonte (decaimento horizontal e vertical) utilizando dados medidos por *gliders* em campanhas de aquisição sísmica nos campos de Tupi, Itapu, Aram e Iara?
- (g) Qual é a contribuição do PMPAS-BS para outros projetos condicionantes de licença ambiental na Bacia de Santos como, por exemplo, o Projeto de Monitoramento de Cetáceos (PMC)?

No início deste documento, é apresentado um sumário executivo, ressaltando pontos de todo o relatório, de forma a permitir uma visão expedita do documento.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

8º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2024

O relatório apresenta, no Capítulo II (Materiais e Métodos), os dados utilizados e é feita uma descrição da área de estudo com foco nas regiões em que são realizados os monitoramentos fixo e móvel.

No Capítulo III (Paisagem Acústica Submarina na Bacia de Santos – Resultados e Discussão), são apresentados os resultados obtidos a partir do processamento dos dados, incluindo uma discussão sobre a relevância destes resultados e avaliação estatística do incremento ou estabilidade do ruído na Bacia de Santos.

O Capítulo IV (Sistema de Modelagem Acústica Submarina - SIMAS) apresenta os resultados obtidos com o Sistema de Modelagem Acústica Submarina.

O Capítulo V (Estudo de decaimento sonoro de Fontes Sísmicas *in situ* nos Campos de Tupi, Itapu, Aram e Iara) apresenta os resultados do estudo do decaimento sonoro de fontes sísmicas *in situ* nos Campos de Tupi-Iracema, Itapu, Aram e Iara.

O Capítulo VI (Considerações Finais) sintetiza os principais resultados deste relatório e aponta para perspectivas e análises futuras.

O Capítulo VII traz as referências bibliográficas.

No Capítulo VIII, é apresentada a equipe técnica coordenadora das atividades para a preparação deste relatório.

O APÊNDICE A apresenta a produção científica realizada a partir dos dados e informações obtidos no PMPAS-BS.

No APÊNDICE B, são apresentados os métodos de coleta adotados no monitoramento acústico deste projeto; a descrição da metodologia da qualificação, processamento e arquivamento dos dados; a descrição dos critérios para a seleção dos parâmetros a serem acompanhados; e a descrição de algumas das formas de apresentação de resultados, que estão sendo adotadas.



II MATERIAIS E MÉTODOS

II.1 ÁREA DE ESTUDO

Situada na região sudeste brasileira, entre os paralelos 23° (Alto de Cabo Frio) e 28° (Plataforma de Florianópolis) Sul, a Bacia de Santos é a maior bacia sedimentar *offshore* do país. Ela ocupa cerca de 350.000 km² até a cota batimétrica de 3.000 m e abrange os litorais dos Estados do Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná e Santa Catarina (MOREIRA *et al.*, 2007). A Figura II.1-1 apresenta os limites da região da Bacia de Santos, que é a área de interesse para os estudos aqui apresentados, e a localização das unidades de produção da PETROBRAS. É importante esclarecer que, mesmo antes de uma atuação mais abrangente da PETROBRAS na Bacia de Santos, esta região oceânica da costa sudeste brasileira já era uma zona impactada com ruído acústico de origem antropogênica (navegação de cabotagem, pesca, atividades militares etc.).

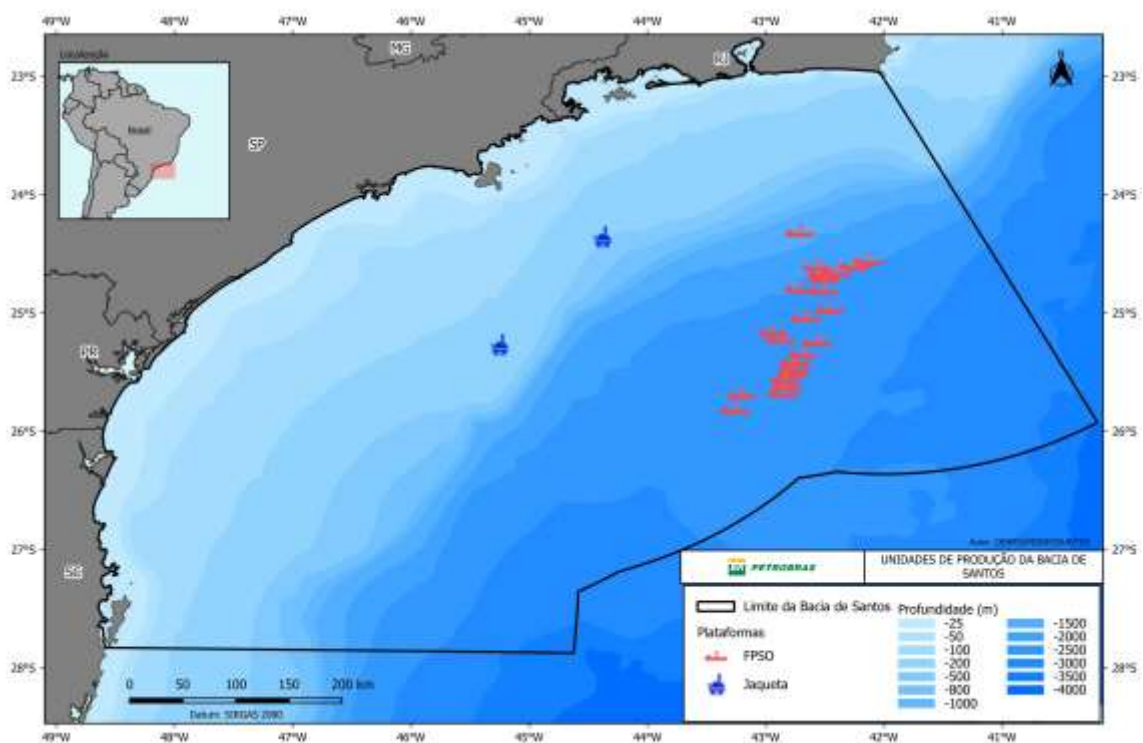


Figura II.1-1: Região da Bacia de Santos, mostrando os limites geográficos da bacia e a localização atual das unidades de produção da PETROBRAS.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

8º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2024

II.1.1 Região Costeira

O monitoramento fixo da região costeira da Bacia de Santos foi feito utilizando-se Observatórios Submarinos (OS) em regiões de baixa profundidade e com alto tráfego de embarcações, tanto da PETROBRAS como de terceiros.

No primeiro ciclo do PMPAS-BS, os pontos selecionados foram na entrada da Baía de Guanabara (OS1, OS1A), mostrados na Figura II.1.1-1, na Baía de Ilha Grande, no seu lado leste (OS2) e no seu lado oeste (OS2R), mostrados na Figura II.1.1-2, na entrada do Canal de São Sebastião (OS3), mostrado na Figura II.1.1-3 e nas Ilhas Cagarras (OS3R, OS3R1 e OS3R2), mostrados também na Figura II.1.1-1.

As instalações dos OS na Baía de Guanabara, Baía de Ilha Grande e Canal de São Sebastião foram previstas considerando as bases de apoio marítimo dessas localidades, tendo sido utilizado como referência o Estudo de Impacto Ambiental do processo de licenciamento da Etapa 2. Já a instalação dos OS no Monumento Natural das Ilhas Cagarras (MoNa Cagarras) foi realizada para o atendimento da condicionante específica nº 2.8 da Autorização de Licença ALA 02/2019 emitida pelo GABIN do ICMBio no âmbito do processo de licenciamento da Etapa 3.

No segundo ciclo do PMPAS-BS, foram utilizados dois observatórios, sendo um deles mantido na Baía de Guanabara, em local próximo ao OS1 e outro, chamado de "Observatório Submarino da Plataforma – OSp", que foi posicionado em diferentes regiões na plataforma continental com lâmina d'água de até 100 m, conforme apresentado na Tabela II.1.1-1 e Figuras II.1.1-1 e II.1.1-3, com o objetivo de obter mais informações para subsidiar a verificação do modelo de ruído ambiente na Bacia de Santos.



Tabela II.1.1-1: Posição e profundidade local de instalação dos Observatórios Submarinos (OS). As linhas em vermelho correspondem às posições dos OS usados no primeiro ciclo do PMPAS-BS. A posição OS1, usada no primeiro ciclo, continua sendo usada no segundo ciclo. As linhas em azul representam as duas primeiras posições do OSp usadas no segundo ciclo.

OS	Local	Latitude	Longitude	Prof. (m)
OS1	Baía de Guanabara	22° 55,900'S	43° 08,500'W	27
OS1A	Baía de Guanabara	22° 55,392'S	43° 09,079'W	19
OS2	Lado Leste da Baía de Ilha Grande	23° 03,991'S	44° 05,160'W	23
OS2R	Lado Oeste da Baía de Ilha Grande	23° 07.460'S	44° 22,650'W	23
OS3	Canal de São Sebastião	23° 52,377'S	45° 27,420'W	24
OS3R	Ilhas Cagarras	23° 00,941'S	43° 11,205'W	24
OS3R1	Ilhas Cagarras	23° 00,631'S	43° 09,420'W	28
OS3R2	Ilhas Cagarras	23° 00,613'S	43° 08,785'W	24
OSp1	Baía de Guanabara (embocadura)	23°02,597'S	43°05,839'W	38
OSp2	Canal de São Sebastião	23° 54.467'S	45° 28.954'S	35

O deslocamento do OS1 para a posição OS1A teve motivação logística, devido a problemas relativos às atividades de manutenção que ocorriam constantemente numa boia de sinalização próxima do OS1. A posição do OS1A está a cerca de 1.360 m da posição do OS1. A análise dos dados dos dois OS foi feita de forma conjunta, mas são feitas algumas comparações para se verificar se existem diferenças nos níveis gravados nas duas posições.

O deslocamento do OS3R para a posição OS3R1 e, posteriormente, para OS3R2 foi feita para avaliar condições contrastantes de intensidade de tráfego de embarcações no entorno do MoNa Cagarras: área de menor intensidade de tráfego (OS3R) e área de maior intensidade de tráfego (OS3R1 e OS3R2). A alteração da posição OS3R1 para OS3R2 ocorreu por questões de segurança dos mergulhadores que realizavam as atividades de manutenção dos OS. A distância entre o OS3R e OS3R1 é de cerca de 3.100 m e entre o OS3R1 e OS3R2 é de cerca de 1.100 m.

Os OS1, OS1A, OS3R, OS3R1, OS3R2 e OSP1 estão numa mesma região, a Baía de Guanabara, com os OS1 e OS1A mais para dentro da baía, os OS3R, OS3R1 e OS3R2 mais para fora, em uma profundidade de até 28 m e o OSP1



ainda mais para fora, em uma profundidade local de 38 m. A distância entre o OS1 e o OS3R1 é de quase 9 km. A distância do OS3R1 até o OSP1 é de cerca de 6.500 m.

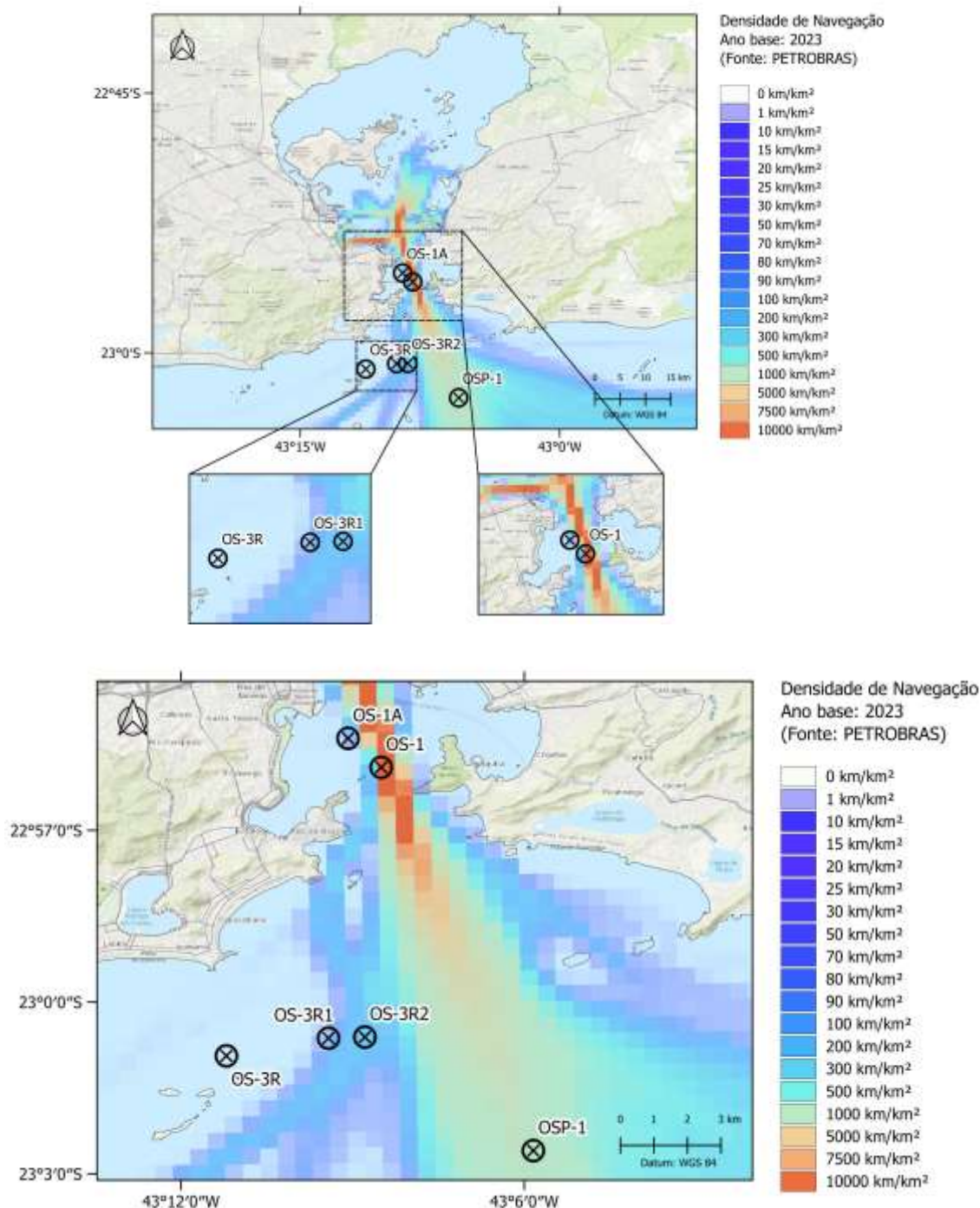


Figura II.1.1-1: Observatórios Submarinos na Baía da Guanabara (OS1 e OS1A), nas imediações das Ilhas Cagarras (OS3R, OS3R1 e OS3R2) e mais afastados (OSP1). Os retângulos no gráfico de cima são apresentados como gráficos destacados na parte de baixo, mostrando uma ampliação

das regiões onde se encontram os OS1 e OS1A (A) e os OS3R, OS3R1 e OS3R2 (B).

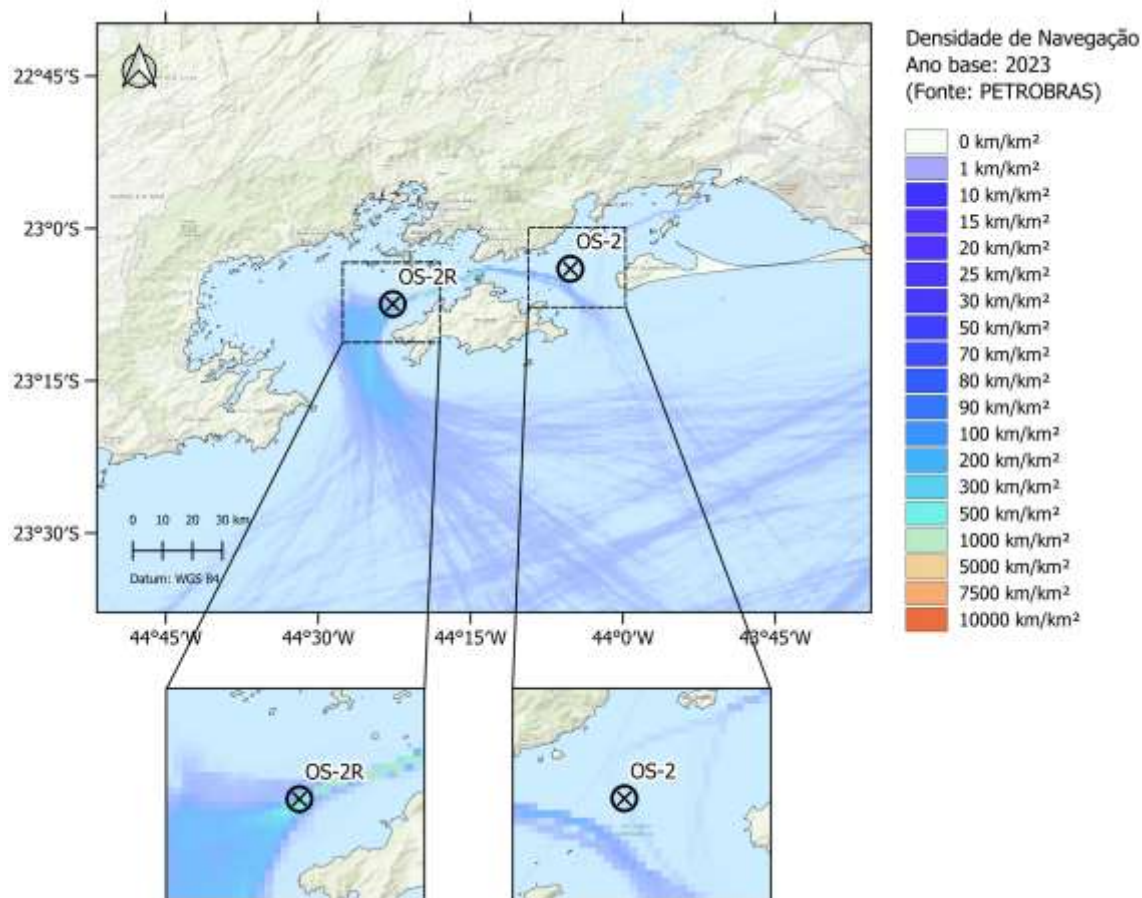


Figura II.1.1-2: Observatórios Submarinos na Baía da Ilha Grande (OS2 no lado leste e OS2R no lado oeste da Ilha Grande). A distância entre os OS é de 32 km.



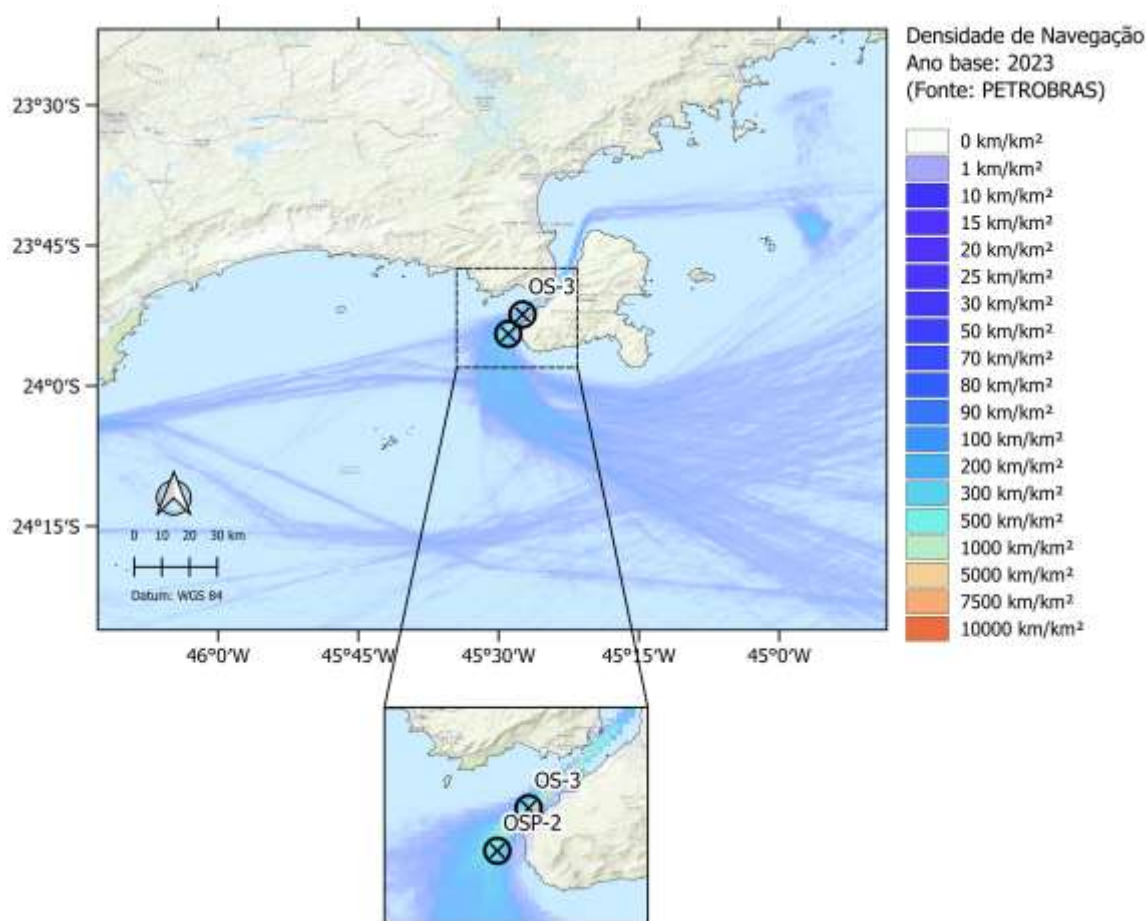


Figura II.1.1-3: Observatórios Submarinos no Canal de São Sebastião (OS3 e OSP2).



Coordenador da Equipe



Técnico Responsável

8º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2024

II.1.2 Região Oceânica

Na região oceânica, no primeiro ciclo do PMPAS-BS, foram usadas Linhas de Fundeio Instrumentadas (LFI), instaladas em posições fixas, além de *gliders* e perfiladores acústicos se deslocando nesta região com a finalidade de permitir a caracterização do ruído acústico ao longo do tempo e do espaço. No segundo ciclo, foram usados *gliders* e linhas de fundeio.

Em relação aos *gliders*, no primeiro ciclo do projeto foi usado um *glider* para a medição do ruído ambiente na Bacia de Santos e no segundo ciclo, são usados três *gliders*, sendo que dois deles estão dedicados ao monitoramento do ruído ambiente (Monitoramento Continuado) e o terceiro está dedicado à medição de atividades específicas associadas à exploração e produção de óleo e gás na região (Monitoramento Específico), como a prospecção sísmica, perfurações, operação das plataformas, dentre outras.

Os perfiladores usados no primeiro ciclo obtiveram dados que foram essenciais para uma primeira visualização da distribuição do ruído na Bacia de Santos. No segundo ciclo, o uso de perfiladores foi descontinuado por se considerar que sua utilização tinha restrições associadas ao pequeno número de amostragem diária, necessitando um grande número de perfiladores para uma cobertura mínima adequada. Outro fator na decisão pela descontinuidade do seu uso foi o fato do equipamento não permitir o uso do sinal acústico para outros propósitos, uma vez que ele não armazena as gravações acústicas nem é recuperado. Os dados são processados pelo próprio equipamento e transmitidos via satélite, sendo inviável a transmissão dos dados acústicos brutos. Seus dados continuam sendo usados nas análises comparativas feitas neste relatório.

Quanto ao uso das LFIs, a Figura II.1.2-1 mostra a localização das LFIs usadas no primeiro ciclo dentro da região oceânica da Bacia de Santos. A localização original das LFIs foi feita considerando informações sobre rotas de navegação, batimetria e atividades atuais e futuras na Bacia de Santos, tendo como referência as informações de 2015, quando o Projeto Executivo original do PMPAS-BS foi elaborado. Foram coletados dados em dez campanhas com o lançamento das linhas FA01, FA02, FA05 e FA06 nas posições indicadas. As linhas FA03 e FA04 foram lançadas nas cinco primeiras campanhas. A partir da




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

8º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2024

sexta campanha, elas foram reposicionadas e renomeadas para FA03R e FA04R, respectivamente, pois a FA03 estava posicionada numa área que foi adquirida por outra operadora em 2018 e a FA04 foi realocada para suprir demandas específicas do escopo de modelagem, numa região fora de qualquer campo de produção ou bloco exploratório. Estas alterações também foram autorizadas pelo IBAMA por meio do ofício nº 71/2020/COPROD/CGMAC/DILIC, de 10/02/2020. Na oitava campanha, a linha FA04R voltou a ser instalada em sua posição inicial, atendendo a pedido do IBAMA para monitoramento na região sul da Bacia de Santos, sendo chamada, novamente, de FA04. A Tabela II.1.2-1 apresenta as posições e profundidades locais para as LFIs.

No segundo ciclo do PMPAS-BS, o número de linhas de fundeio foi reduzido de seis para três e o número de gravadores por linha passou de três, nas profundidades de 50 m, 200 m e 950 m, para dois, a 500 m e 950 m de profundidade. A alteração das profundidades dos equipamentos foi devida ao elevado ruído induzido nos equipamentos mais rasos pela passagem das correntes marítimas existentes na região e à geração de ruídos espúrios associados à vibração da linha e que se acentua em linhas de fundeio mais extensas. As posições destas novas linhas, denominadas FA, FB e FC1, são mostradas em azul na Figura II.1.2-1 e suas coordenadas são apresentadas na Tabela II.1.2-1, também destacadas em azul.



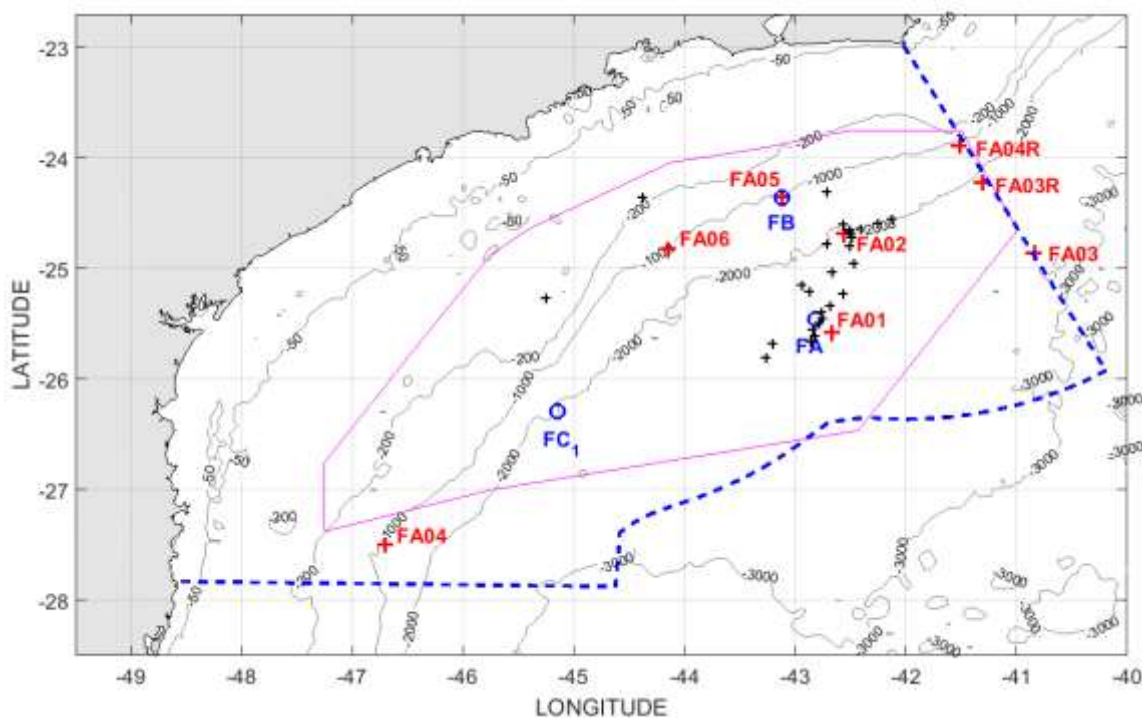


Figura II.1.2-1: Posição das oito linhas de fundeio instrumentadas usadas na região oceânica da Bacia de Santos no primeiro ciclo do PMPAS-BS (FA01, FA02, FA03, FA03R, FA04, FA04R, FA05 e FA06, em vermelho) e das três linhas usadas no segundo ciclo do projeto (FA, FB e FC, em azul).

Tabela II.1.2-1: Posição e profundidade local de instalação das linhas de fundeio instrumentadas referentes aos primeiro (destaque em vermelho) e segundo (destaque em azul) ciclos do PMPAS-BS.

Fundeio	Latitude	Longitude	Profundidade (m)
FA01	25°34'18,40"S	42°39'52,40"W	2.199
FA02	24°40'58,00"S	42°33'31,30"W	2.005
FA03	24°51'24,18"S	40°50'25,86"W	2.830
FA04	27°29'55,14"S	46°42'04,44"W	1.109
FA05	24°21'19,50"S	43°06'54,20"W	1.122
FA06	24°49'05,09"S	44°08'46,30"W	1.108
FA03R	24°13'37,92"S	41°18'18,30"W	2.200
FA04R	23°53'07,98"S	41°30'55,74"W	1.000
FA	25°27'19,64"S	42°48'50,75"W	2.200
FB	24°21'21,36"S	43°06'51,48"W	1.100
FC ₁	26°17'16,80"S	45°08'31,20"W	2.000

Dentro desta região oceânica, foram selecionadas quatro regiões, de aproximadamente 12.000 km² (quadrado de 1° de latitude por 1° de longitude) cada, com o objetivo de caracterizar situações distintas de exposição a fontes de ruído antropogênico. Apenas os dados obtidos pelo monitoramento móvel foram usados nas comparações entre estas regiões:

- **Região 1 – Atividade de E&P**, caracterizada por forte atividade de E&P da PETROBRAS, localizada no centro da região do Pré-Sal da Bacia de Santos, compreendida nos limites geográficos de longitudes 42,5°W até 43,5°W e latitudes 25°S até 26°S;
- **Região 2 – Rota de Navegação**, caracterizada por intensa rota de navegação da Baía de Guanabara para o Pré-Sal, tanto de embarcações da PETROBRAS como de terceiros, compreendida nos limites geográficos de longitudes 42°W até 43°W e latitudes 23,55°S até 24,55°S;
- **Região 3 – Área com pouca atividade**, localizada em áreas com pouca atividade de E&P e navegação da PETROBRAS, mas com forte presença de rota de terceiros, como navios mercantes, compreendida nos limites geográficos de longitudes 43,88°W até 44,88°W e latitudes 25,62°S até 26,62°S;
- **Região 4 – Área com pouca atividade**, localizada fora das áreas de atividade de E&P e navegação da PETROBRAS, mas ainda em rota de terceiros, como navios mercantes, compreendida nos limites geográficos de longitudes 45,7°W até 46,7°W e latitudes 26,7°S até 27,7°S. Esta região fica mais ao sul do que a Região 3 e foi incluída por representar regiões menos ruidosas na Bacia de Santos.

A Figura II.1.2-2 mostra estas quatro regiões de interesse e as densidades de navegação computadas a partir de dados do **Automatic Identification System (AIS)** para o ano de 2023, no âmbito do Projeto de Monitoramento do Tráfego de Embarcações da Bacia de Santos (PMTE-BS). A figura superior mostra as embarcações a serviço da PETROBRAS e a figura inferior mostra as embarcações de terceiros.



É interessante notar que as regiões R1 e R2, apesar de apresentarem maior tráfego de embarcações da PETROBRAS, indicam uma contribuição significativa do tráfego de embarcações de terceiros e que as regiões R3 e R4 são afetadas, em sua maior parte, por atividades de terceiros.





Coordenador da Equipe





Técnico Responsável

8º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2024

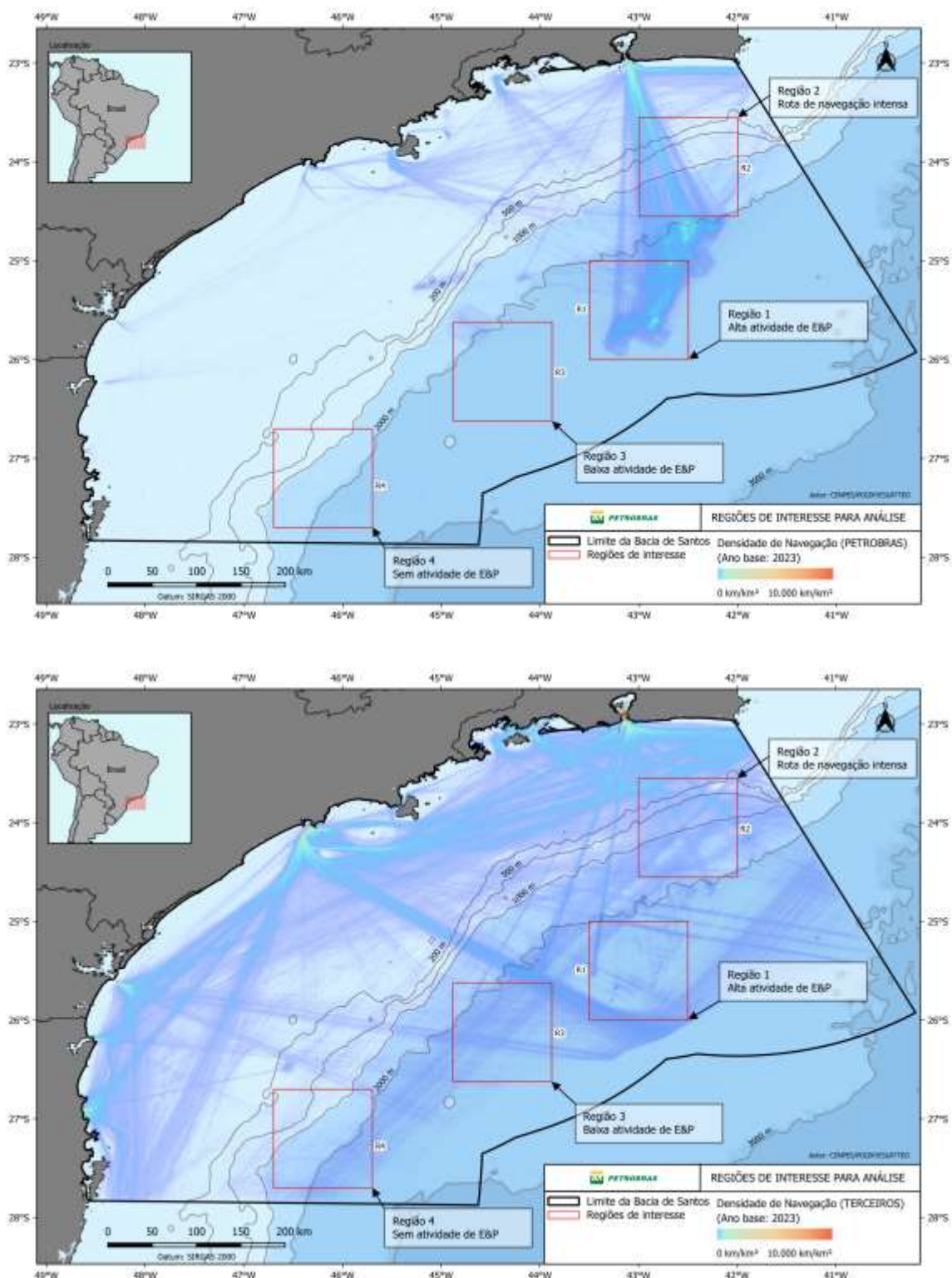


Figura II.1.2-2: Regiões de Interesse e densidade de navegação referentes a embarcações a serviço da PETROBRAS (mapa superior) e de terceiros (mapa inferior). (Fonte: PETROBRAS (2023))



Coordenador da Equipe



Técnico Responsável

8º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2024

II.2 DADOS ACÚSTICOS

Os equipamentos usados para a coleta de dados acústicos na Bacia de Santos no monitoramento móvel por *gliders* e perfiladores acústicos (em regiões oceânicas), e no monitoramento fixo por linhas de fundeio instrumentadas (instaladas na região oceânica) e observatórios submarinos (instalados na região costeira) são descritos com mais detalhes no APÊNDICE B.

II.2.1 Processamento dos Dados

Os dados adquiridos pelos diferentes sistemas de aquisição foram recebidos e processados seguindo os seguintes passos:

1. Consistência e integridade: os arquivos de dados recebidos são avaliados quanto à presença de artefatos indesejados, como saturação ou nível muito baixo dos sinais, sendo removidos os dados que apresentam problemas;
2. Processamento e obtenção de parâmetros espectrais: os sinais são processados para se obter parâmetros espectrais a cada minuto de sinal gravado. Estes parâmetros representam o nível de pressão sonora (SPL do inglês *Sound Pressure Level*), em dB re $1\mu\text{Pa}^2$ e foram usados nas comparações feitas neste documento;
3. Qualificação dos parâmetros espectrais: após a obtenção dos parâmetros espectrais, é feita a sua qualificação usando informações estatísticas dos próprios dados ou informações externas, como a intensidade das correntes oceânicas;
4. O tempo associado aos dados acústicos usados neste relatório corresponde ao horário de Brasília (GMT -3h), sem correções para o horário de verão que, porventura, tenha sido observado em algum período.

Além destas etapas de processamento, os sinais acústicos foram pesquisados para a detecção de vocalização de cetáceos, sendo os trechos encontrados encaminhados para análises mais aprofundadas pelo Projeto de Monitoramento de Cetáceos na Bacia de Santos (PMC-BS). Foram enviados ao




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

8º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2024

PMC-BS cerca de 1.520 trechos de áudio com detecção de vocalizações, totalizando 700 horas de gravações feitas no primeiro ciclo do PMPAS-BS. Em relação ao segundo ciclo do projeto, foram enviadas as tabelas de detecção de vocalização de 24 campanhas de monitoramento contínuo e 12 de monitoramento específico. Os trechos de áudio correspondentes a estas detecções foram separados e encontram-se à disposição do PMC-BS. Estes dados são importantes para complementar as gravações rotineiras feitas pelo PMC-BS, principalmente, para o estudo de misticetos, uma vez que a gravação feita naquele projeto tem a faixa de baixa frequência contaminada pelo ruído do navio que reboca o arranjo de hidrofones. Foi enviada, também, uma tabela com os níveis de ruído medidos pelos *gliders* nas frequências de 63 Hz e 125 Hz, juntamente com informações das sísmicas ativas a cada momento, incluindo a distância dos *gliders* aos canhões de ar e uma indicação de quando os canhões estavam disparando.

Também são feitas detecções da passagem de embarcações próximo aos sensores acústicos usados no PMPAS-BS. Os trechos com estas detecções são correlacionados com as informações disponíveis em registros AIS para buscar uma identificação da embarcação. As embarcações identificadas positivamente e com níveis de sinais bem acima do ruído ambiente são processadas para a obtenção dos níveis irradiados por elas. Estas informações são usadas para aprimorar o modelo de ruídos do PMPAS-BS.

Uma descrição mais detalhada das etapas do processamento dos dados é apresentada no APÊNDICE B.

II.2.2 Caracterização dos Dados

No período de novembro de 2015 a dezembro de 2023, foram recebidos e processados os seguintes conjuntos de dados:

- **Perfiladores:** no período entre novembro de 2015 e janeiro de 2022, 224 de 234 perfiladores, lançados em 23 ciclos de lançamento, adquiriram um total de 301.219 janelas acústicas de um minuto (5.020,3 horas), das quais 297.732 (4.962,2 horas) foram aceitas no processo de qualificação (98,8%). Destas janelas acústicas qualificadas, 146.026 (49%) foram realizadas dentro da Bacia de Santos e 151.706 fora dela;



- **Gliders:** no período entre novembro de 2015 e dezembro de 2023, foram realizadas 52 campanhas de lançamento e recolhimento de *gliders*, referentes ao primeiro ciclo do PMPAS-BS, e 34 campanhas de monitoramento continuado e 12 campanhas de monitoramento específico, referentes ao segundo ciclo do PMPAS-BS, com gravação e processamento de 1.029.497 janelas acústicas de um minuto (17.158,28 horas), sendo que 809.833 destes minutos (13.497,2 horas – 78,7%) foram aceitos no processo de qualificação. Dos minutos aceitos, 797.594 (98,5%) foram medidos dentro da Bacia de Santos e 12.239 fora dela. No primeiro ciclo, foram feitas cerca de 9.132,3 horas de gravação, em um período de 2.184 dias (~4,2 horas/dia). Já no segundo ciclo, até o final de 2023 tinham sido feitas 8.026,02 horas de gravação em 637 dias (~12,6 horas/dia), o que representa um aumento em torno de três vezes no esforço de aquisição no segundo ciclo, comparado com aquele do primeiro ciclo, compatível com o aumento no número de *gliders* em operação simultânea, que passou de um *glider* no primeiro ciclo para até três no segundo ciclo.
- **Linhas de Fundeio Instrumentadas (LFIs):** no período entre setembro de 2017 e dezembro de 2023, foram realizadas 10 campanhas de lançamento e recolhimento das LFIs no primeiro ciclo do PMPAS-BS e duas no segundo ciclo. Devido a problemas ocorridos durante as duas campanhas do segundo ciclo e à necessidade de informações adicionais sobre os equipamentos usados nas linhas, os dados coletados no segundo ciclo do projeto não são usados neste relatório, devendo ser incluídos quando tiverem sido realizadas novas campanhas e obtidas as informações necessárias para o correto processamento dos dados. Para este relatório, foram feitas a gravação e o processamento de 3.602.474 janelas acústicas de um minuto (60.041,2 horas), referentes ao 1º Ciclo do projeto. Foram aceitos no processo de qualificação 1.314.108 minutos (21.901,8 horas).
- **Observatórios Submarinos (OS):** no período entre março de 2017 e dezembro de 2023, foram realizadas 115 campanhas de lançamento e recolhimento dos OS, sendo 10 destas campanhas correspondentes ao segundo ciclo do projeto. Foram realizados, no total, gravação e



processamento de 6.711.409 janelas acústicas de um minuto (111.856,8 horas), sendo aceitas no processo de qualificação 5.524.917 janelas (92.082,0 horas), correspondendo a 82,3%.

A Tabela II.2.2-1 mostra os dados apresentados acima, incluindo o percentual de dados aceitos no processo de qualificação em relação ao total de dados coletados por cada uma das estratégias de amostragem utilizadas no PMPAS-BS, separados para os dois ciclos do projeto. O menor percentual de dados qualificados ocorreu nas LFIs, devido, principalmente, ao ruído próprio provocados pelas correntes oceânicas. O percentual para os *gliders* no segundo ciclo ficou um pouco acima do obtido no primeiro ciclo. Em relação aos OS, houve uma redução no percentual de dados qualificados no segundo ciclo, quando comparado com o primeiro ciclo. As diferenças entre os percentuais de dados qualificados para os dois ciclos ainda não estão claras, devendo ser mais bem estudadas.

Tabela II.2.2-1: Número de equipamentos, tempo de gravação, período da coleta e percentual aceito na qualificação para cada uma das estratégias de amostragem utilizadas no PMPAS-BS, separados para os dois ciclos do projeto.

Sistemas	LFIs		Perf.		Gliders		OS				
	1º	2º	1º	2º	1º	2º	1º	2º			
Equipamentos	18		Variável ¹		1		3		3		2
T. de gravação (h)	60.041,2		5.020,3		9.132,3		8.026,0		98.529,0		11.618,2
Período (dias)	1.853		2.272		2.184		637		2.041		415
Qualificação	36,5%		98,8%		76,6%		81,0%		87,5%		73,7%

1. Foram lançados dez perfiladores a cada três meses e a transmissão de seus dados cessou apenas quando suas respectivas baterias descarregaram, de forma que o número de perfiladores ativos a cada momento foi variável.



III PAISAGEM ACÚSTICA SUBMARINA NA BACIA DE SANTOS – RESULTADOS E DISCUSSÃO

III.1 REGIÃO OCEÂNICA

III.1.1 Monitoramento Móvel – Gliders e Perfiladores

Os dados obtidos no monitoramento móvel com *gliders* e perfiladores foram usados para mapear os níveis de ruído ambiente na Bacia de Santos, na faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz e nas bandas de 1/3 de oitava de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz, 1.000 Hz. A Figura III.1.1-1 mostra o mapa do SPL no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz para os dados dos *gliders* e perfiladores juntos.

Os quatro quadrados vermelhos representam as regiões selecionadas para comparações, R1, R2, R3 e R4, descritas na Seção II.1.2. A linha vermelha passando pelo centro da região R1 (-25,5°, -43°) indica os pontos selecionados para se verificar, de forma um pouco mais extensa, a variação espacial dentro da Bacia de Santos. Esta linha foi escolhida por passar por diversas áreas do mapa onde os níveis sonoros variam de valores aparentemente mais baixos até valores mais elevados, quando cruza a região R1. Dois círculos indicados no mapa identificam os pontos nesta linha onde foram encontrados o valor máximo (círculo magenta, próximo à região R1) e o valor mínimo de SPL (círculo preto na parte de baixo da linha), considerando apenas pontos no interior do polígono delimitando a Bacia de Santos (linha tracejada azul na figura).

Os níveis para as posições nesta linha são mostrados nos gráficos da Figura III.1.1-2, em função da longitude. No gráfico de cima, são apresentados os 5°, 25°, 50° (mediana), 75° e 95° percentis. No gráfico de baixo, as distribuições das medições em cada posição da linha são apresentadas por meio de *boxplots*.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

8º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2024

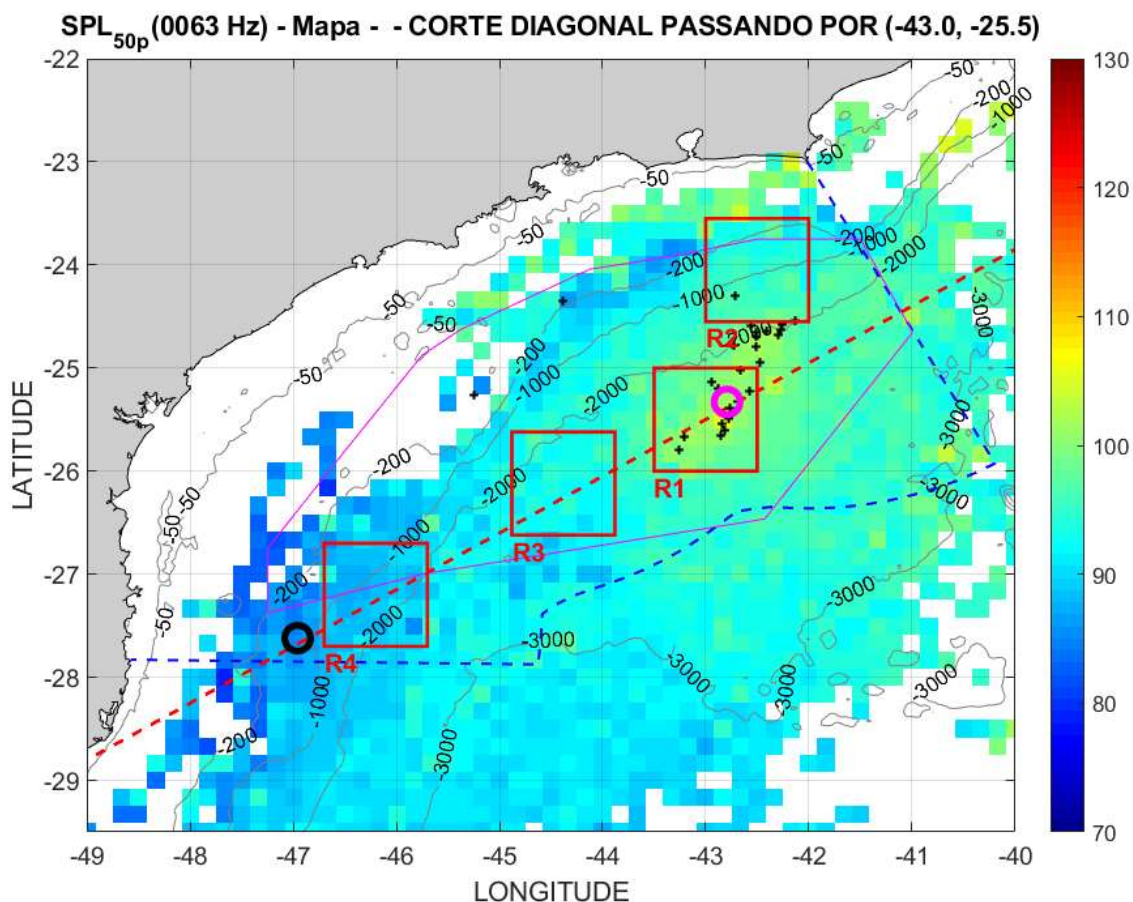


Figura III.1.1-1: Mapa do SPL para o filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz, com os quadrados vermelhos delimitando as regiões R1, R2, R3 e R4 e a linha diagonal tracejada vermelha mostrando os pontos usados para a comparação espacial dos níveis de ruído na Bacia de Santos. Os círculos preto e magenta indicam as posições sobre a linha diagonal e dentro dos limites da Bacia de Santos (linha tracejada azul) com valores de SPL mínimo e máximo, respectivamente. A cruzes pretas indicam posição das plataformas da PETROBRAS.

Observa-se uma variação de 20 dB na mediana das medições, com um máximo de 105,0 dB re 1 μ Pa² na posição indicada pelo círculo magenta (-25,45°, -42,92°), correspondendo à extremidade nordeste da região R1 e um mínimo de 85,0 dB re 1 μ Pa², na posição indicada pelo círculo preto (-27,75°, -47,08°), no extremo sudoeste da região R4. Mais abaixo do limite sul da Bacia de Santos, ocorrem valores de SPL ainda menores, embora o número de medições nesta região seja menor do que dentro dos limites da Bacia de Santos, tornando estes valores menos precisos. Observa-se que em algumas longitudes, aparecem muitos valores extremos (cruzes vermelhas no *boxplot*), que neste contexto não



significam valores espúrios, mas sim valores próximos à cauda da distribuição e com menor frequência.

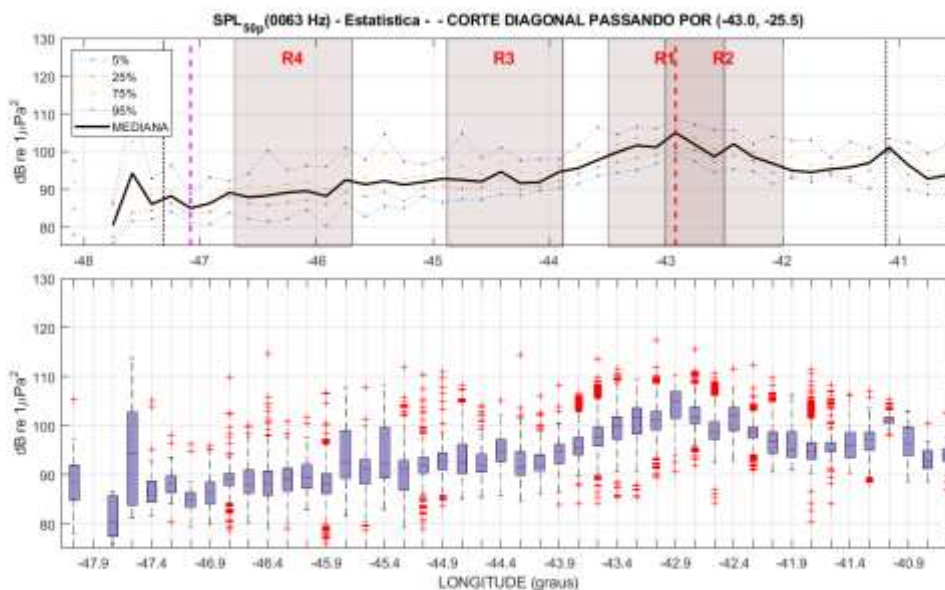


Figura III.1.1-2: SPL para o filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz em função da longitude ao longo da linha diagonal do mapa da Figura III.1.1-1 (gráfico de cima) e boxplot para as medições feitas em cada posição (gráfico de baixo). A linha tracejada magenta no gráfico de cima indica a posição do SPL mínimo e a linha preta a posição do SPL máximo, para medições dentro dos limites da Bacia de Santos, dados pelas linhas pontilhadas pretas que marcam as longitudes da linha diagonal para os limites sul e norte da bacia.

A Figura III.1.1-4 apresenta os mapas com os SPL para a banda de 10 Hz a 10 kHz e para os filtros de 1/3 de oitava centrados em 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz, de forma complementar à Figura II.1.1-1. São apresentadas em todos eles as regiões R1, R2, R3 e R4, a linha diagonal que é usada para a comparação entre os níveis de ruído e as posições dos pontos com níveis mínimo e máximo nesta linha.

A Figura III.1.1-5 mostra a mediana dos valores ao longo da linha diagonal vermelha para os gráficos das Figuras III.1.1-1 e III.1.1-4 em função da longitude, e a Tabela III.1.1-1 mostra as posições e valores dos máximos e mínimos encontrados na linha e a diferença entre estes valores. Estão destacados na figura os trechos onde a linha cruza as longitudes referentes às regiões R1, R3 e R4.

Em todas as faixas de frequência apresentadas, o comportamento é semelhante ao observado no filtro de 1/3 de oitava centrado em 63 Hz,



apresentado na Figura III.1.1-1, com um aumento entre 13 e 21 dB na região R1, dependendo da frequência analisada, quando comparado com outras regiões mais silenciosas ao longo daquela linha. A diferença de níveis entre as curvas para diferentes frequências se deve, em parte, ao fato de o valor apresentado representar a energia total nas bandas indicadas e a largura destas bandas serem diferentes umas das outras. Como exemplo, se os níveis espectrais (energia por unidade de frequência) fossem iguais em todas as bandas, as diferenças esperadas, tomando a banda de 63 Hz como referência, seriam de 3 dB para 125 Hz, 9 dB para 500 Hz, 12 dB para 1.000 Hz e 22 dB para a faixa de 10 Hz a 10 kHz. No entanto, é interessante observar que os níveis para 500 Hz e 1.000 Hz são praticamente iguais e o nível para 63 Hz é maior do que os níveis para os filtros centrados em 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz, mesmo tendo uma largura de banda menor.

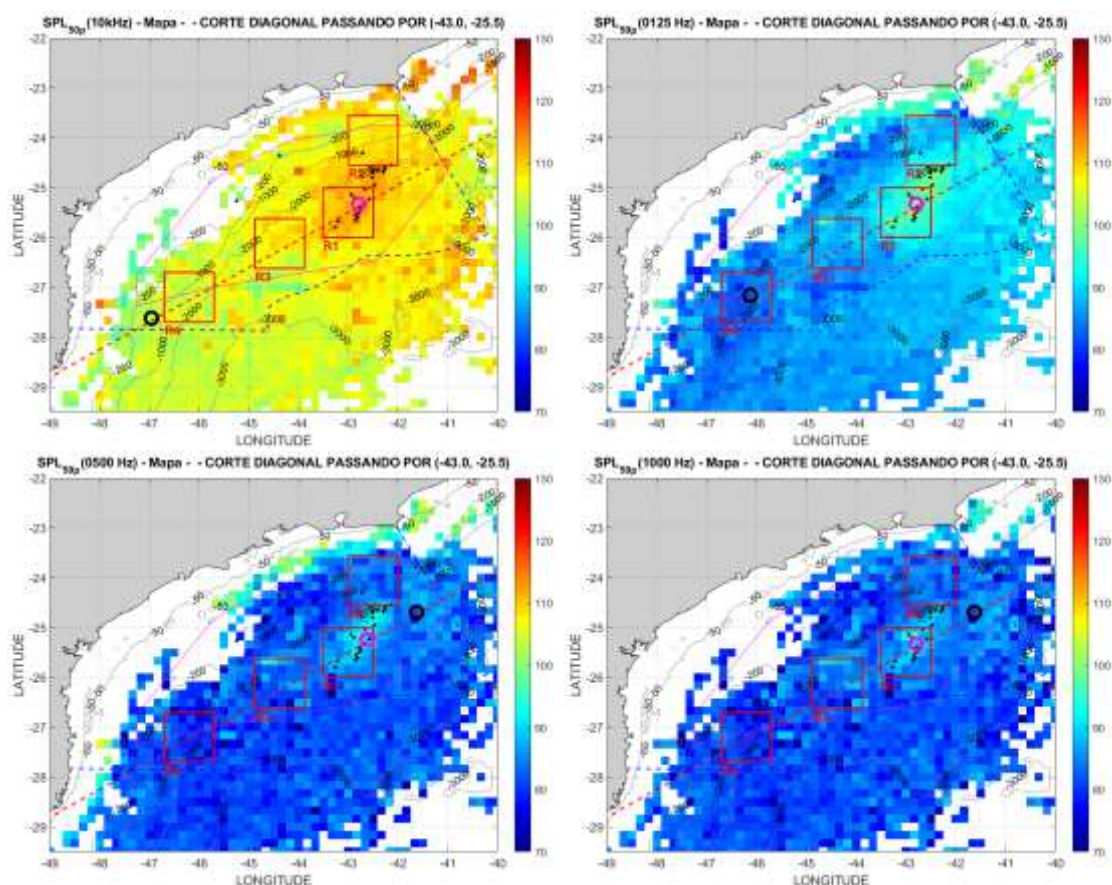


Figura III.1.1-3: Mapas do SPL para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz e para os filtros de 1/3 de oitava de 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz.



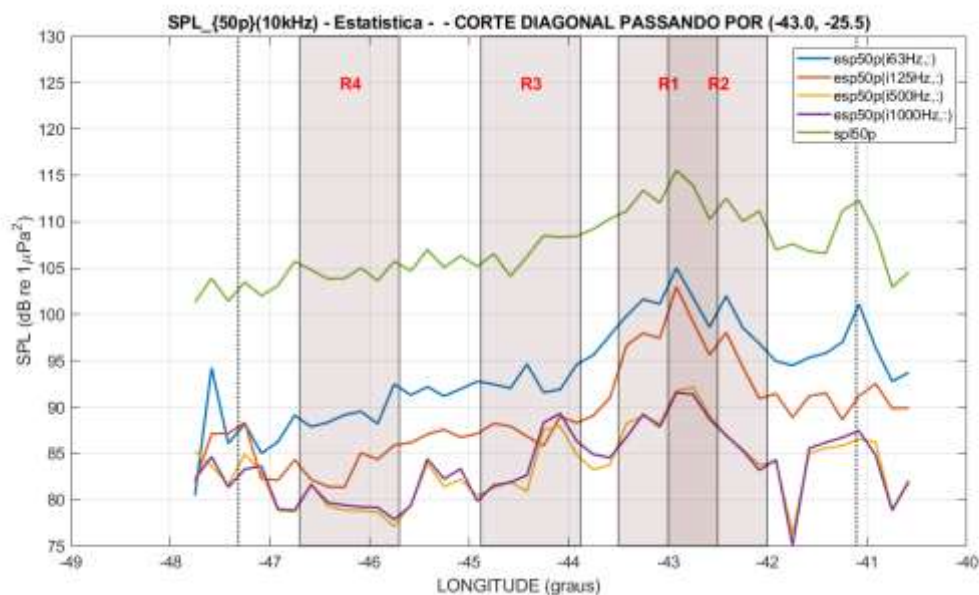


Figura III.1.1-4: SPL ao longo da linha mostrada nos mapas, em função da longitude, para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz e para os filtros de 1/3 de oitava centrados em 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz. As linhas pontilhadas pretas marcam as longitudes da linha diagonal para os limites sul e norte da Bacia de Santos. Os trechos destacados correspondem aos trechos em que a linha cruza as longitudes correspondentes às regiões R1, R2, R3 e R4.

Tabela III.1.1-1: Posição dos níveis mínimo e máximo de SPL observados sobre a linha diagonal nos mapas para cada frequência apresentada e respectiva posição. É mostrada na última coluna a diferença entre os SPL máximos e mínimos para cada frequência.

Frequência	SPL Mínimo (dB re 1 μ Pa ²)	Long./Lat. (graus)	SPL Máximo (dB re 1 μ Pa ²)	Long./Lat. (graus)	Diferença (dB)
63 Hz	85,0	(-47,08,-27,75)	105,0	(-42,92,-25,45)	20,0
125 Hz	81,4	(-46,25,-27,29)	102,9	(-42,92,-25,45)	21,5
500 Hz	76,3	(-41,75,-24,81)	92,2	(-42,75,-25,36)	15,9
1.000 Hz	75,1	(-41,75,-24,81)	91,6	(-42,92,-25,45)	16,5
10 Hz a 10 kHz	102,0	(-47,08,-27,75)	115,5	(-42,92,-25,45)	13,5

III.1.1.1 Comparação entre as Regiões R1, R2, R3 e R4

A Figura III.1.1.1-1 apresenta a comparação entre as medições das quatro regiões, R1, R2, R3 e R4, para o filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz, usando *boxplots*. Foram considerados todos os dados qualificados disponíveis de *gliders* e perfiladores, incluindo medições em todas as profundidades. A região R1 é a mais ruidosa, seguida pela região R2, depois a região R3, com a região R4 sendo a mais silenciosa.

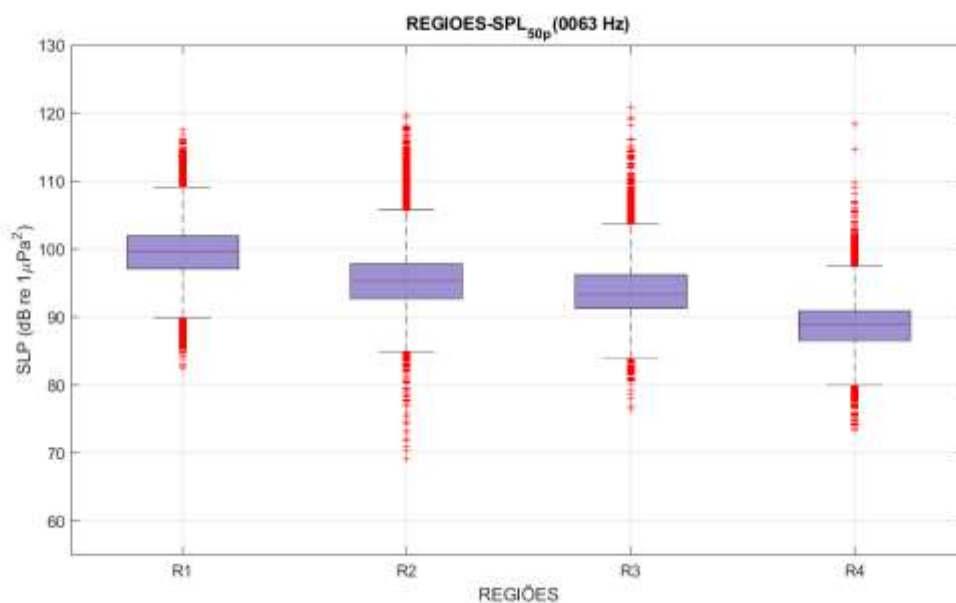


Figura III.1.1.1-1: Comparação entre as regiões R1, R2, R3 e R4, usando todos os dados qualificados dos *gliders* e perfiladores nestas regiões, para o filtro de 1/3 de oitava centrado em 63 Hz. As quatro regiões são estatisticamente diferentes (ANOVA, $F=31.760,3$, $p=0$).

A Figura III.1.1.1-2 apresenta a comparação entre as regiões R1, R2, R3 e R4 para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz e para os filtros de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz, mostrando o SPL nos percentis de 25%, 50% (mediana) e 75% para cada distribuição.

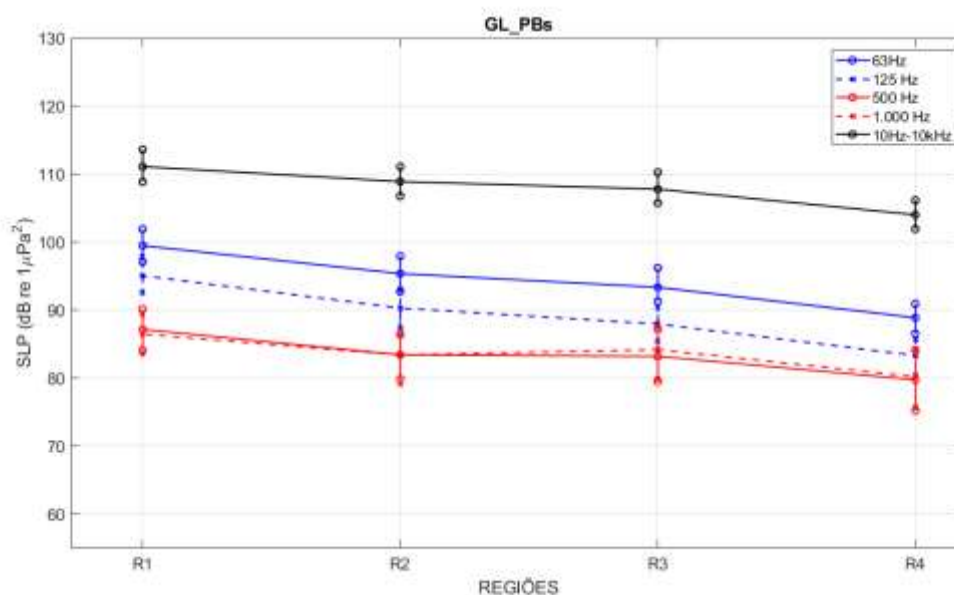


Figura III.1.1.1-2: Comparação entre as regiões R1, R2, R3 e R4, usando todos os dados qualificados dos gliders e perfiladores nestas regiões, para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz e para os filtros de 1/3 de oitava centrados em 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz. As linhas verticais ligam os percentis de 25%, 50% (mediana) e 75% para cada distribuição.

O mesmo comportamento visto na frequência de 63 Hz entre as regiões se observa para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz e para os filtros de 1/3 de oitava centrados em 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz, sendo a região R1 mais ruidosa, seguida pela região R2 depois a região R3 e então a região R4. As exceções são na frequência de 500 Hz, onde não é possível dizer que há diferenças entre as regiões R2 e R3 e na frequência de 1.000 Hz, onde a região R3 é um pouco mais ruidosa do que a região R2.

As regiões R1, R2 e R3 foram mais bem amostradas, com um número de medições de cinco a doze vezes maior do que na região R4. No entanto, uma comparação entre a distribuição de cada região e banda de frequência com uma distribuição feita usando o mesmo número de medições da região R4, selecionados aleatoriamente, não mostrou diferenças significativas, indicando que o número de amostras na região R4 permite representar bem os níveis de ruído nas regiões.



A Figura III.1.1-3 apresenta a comparação entre as regiões R1, R2, R3 e R4 para a frequência de 63 Hz usando *boxplots*, mas separando os dados obtidos em cada ano, de 2016 a 2023. Na Figura III.1.1.1-4 são apresentados os percentis de 25%, 50% (mediana) e 75% para as regiões R1, R2, R3 e R4 para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz e para os filtros de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz.

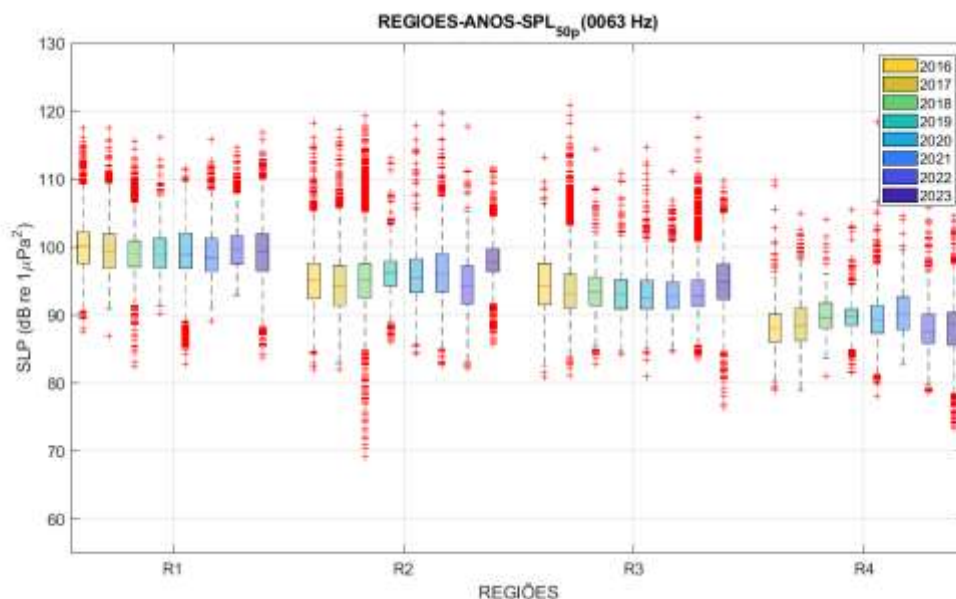


Figura III.1.1.1-3: Comparação entre as regiões R1, R2, R3 e R4, em cada ano, de 2016 a 2022, usando todos os dados qualificados dos gliders e perfiladores nestas regiões, para o filtro de 1/3 de oitava centrado em 63 Hz.

Para a frequência de 63 Hz, na região R1, a diferença entre as medianas das distribuições ficou menor que 2 dB até 2023, com o ano de 2016 mais ruidoso e 2021 mais silencioso, indicando uma estabilidade nos níveis de ruído nesta banda de frequência. Na região R2, a diferença entre as medianas ficou em no máximo 3,7 dB, com o ano de 2023 mais ruidoso e 2022 mais silencioso. Na região R3, a diferença entre as medianas ficou perto de 2,2 dB, com o ano de 2023 sendo o mais ruidoso e o ano de 2020 o mais silencioso. Na região R4, a diferença entre as medianas ficou abaixo de 3 dB, sendo 2021 o ano mais ruidoso e 2022 o mais silencioso.

Para a frequência de 125 Hz, na região R1, a diferença entre os anos ficou em no máximo 2,4 dB, com o ano de 2016 mais ruidoso e o ano de 2021 mais



silencioso. Na região R2, a diferença máxima ficou em 7,3 dB, com o ano de 2023 mais ruidoso e o ano de 2017 mais silencioso. Na região R3, a diferença máxima ficou em 5,3 dB, sendo o ano de 2023 mais ruidoso e o ano de 2021 mais silencioso. Na região R4, a maior diferença ficou em 8,6 dB entre o ano de 2018, mais ruidoso e o ano de 2022, mais silencioso.

Para a frequência de 500 Hz, na região R1, a diferença máxima entre as medianas ficou em 3,1 dB, entre os anos de 2020, mais ruidoso, e 2018, mais silencioso. Na região R2, a diferença máxima entre as medianas ficou em 4,7 dB, entre os anos de 2019, mais ruidoso, e 2020, mais silencioso. Na região R3, a diferença máxima ficou em 5,9 dB, com o ano de 2022 mais ruidoso e o ano de 2021 mais silencioso. Na região R4, a diferença máxima ficou em 4,3 dB, com o ano de 2020 mais ruidoso e o ano de 2016 mais silencioso.

Para a frequência de 1.000 Hz, na região R1, a diferença máxima entre as medianas ficou em 2,8 dB, entre os anos de 2020, mais ruidoso, e 2018, mais silencioso. Na região R2, a diferença máxima entre as medianas ficou em 5,9 dB, entre os anos de 2019, mais ruidoso e 2020, mais silenciosos. Na região R3, a diferença máxima ficou em 7,4 dB, com o ano de 2022 mais ruidoso e o ano de 2021 mais silencioso. Na região R4, a diferença máxima ficou em 5,6 dB, com o ano de 2020 mais ruidoso e o ano de 2018 mais silencioso.

Para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz, na região R1, a diferença máxima foi de cerca de 3 dB, com o ano de 2016 mais ruidoso e 2022 mais silencioso. Na região R2, a diferença máxima ficou em 4,0 dB entre os anos de 2023, mais ruidoso, e 2022, mais silencioso. Na região R3, a diferença máxima ficou em 4,1 dB, sendo o ano de 2016 mais ruidoso e o ano de 2019 mais silencioso. Na região R4, a diferença máxima ficou em 3,7 dB, sendo o ano de 2021 mais ruidoso e o ano de 2022 mais silencioso.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

8º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2024

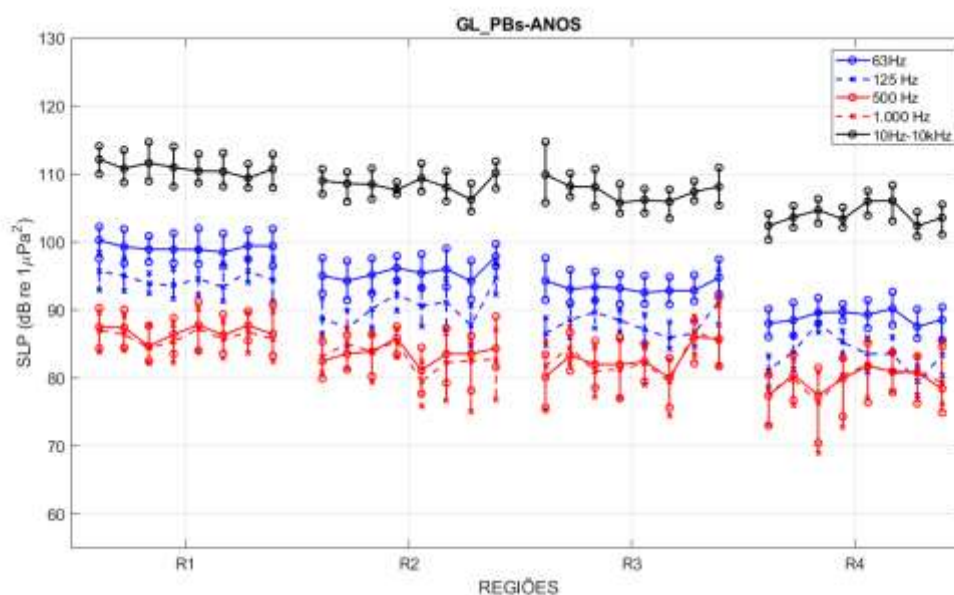


Figura III.1.1.1-4: Comparação entre as regiões R1, R2, R3 e R4, em cada ano, de 2016 a 2023, usando todos os dados qualificados dos gliders e perfiladores nestas regiões, para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz e para os filtros de 1/3 de oitava centrados em 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz. As linhas verticais ligam os percentis de 25%, 50% (mediana) e 75% para cada distribuição. Cada conjunto de sete marcas corresponde, da esquerda para a direita, aos anos de 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022 e 2023, respectivamente.

Observou-se uma estabilização nos níveis de ruído na região R1 em 2023 em relação a 2022. Nas regiões R2, R3 e R4, observa-se um aumento em 2023 em relação a 2022 nas frequências de 63 Hz e 125 Hz. Não se observa uma tendência clara nos níveis de ruído ao longo dos anos em nenhuma das regiões, com algumas oscilações, dependendo da frequência considerada, indicando estabilidade dos níveis de ruído no período considerado (2016-2023). Segundo Merchant *et al.* (2016), tendências podem demorar até décadas para serem detectadas, sendo possível, entretanto, definir a situação atual do ruído para permitir as atividades de planejamento e a verificação futura da evolução destes ruídos.

A Figura III.1.1.1-5 apresenta comparações entre as regiões R1, R2, R3 e R4 para quatro faixas de profundidade em torno de 50 m (0-150 m), 200 m (150-350 m), 500 m (400-600 m) e 950 m (850-1.100 m), para a frequência de 63 Hz.



Na Figura III.1.1.1-6 são apresentados os percentis de 25%, 50% (mediana) e 75% para as regiões R1, R2, R3 e R4 para os filtros de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz e para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz.

Para a frequência de 63 Hz, na região R1, a diferença entre as medianas para as faixas de profundidade é de no máximo 0,5 dB, sendo mais silenciosa em 50 m e mais ruidosa em 200 m. Para as outras regiões, a profundidade de 50 m é mais silenciosa e a de 950 m mais ruidosa, com a variação máxima entre estas profundidades sendo menor que 2 dB nas regiões R2 e R3 e de 3,9 dB na região R4.

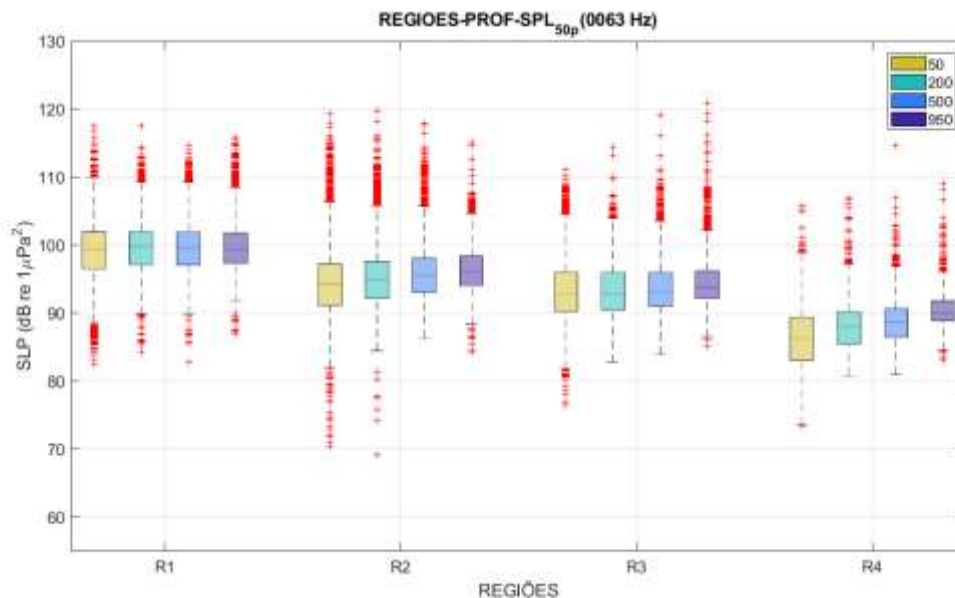


Figura III.1.1.1-5: Comparação entre as regiões R1, R2, R3 e R4, para quatro faixas de profundidade, usando todos os dados qualificados dos gliders e perfiladores nestas regiões, para o filtro de 1/3 de oitava centrado em 63 Hz.

Para a frequência de 125 Hz, na região R1, a diferença máxima entre as medianas do ruído para as profundidades foi de 0,4 dB entre 200 m (mais ruidosa) e 950 m (mais silenciosa). Para as demais regiões, observa-se um aumento de ruído com o aumento da profundidade, com a variação entre o máximo e o mínimo de ruído ficando acima de 1 dB, chegando a 4,4 dB na região R4.

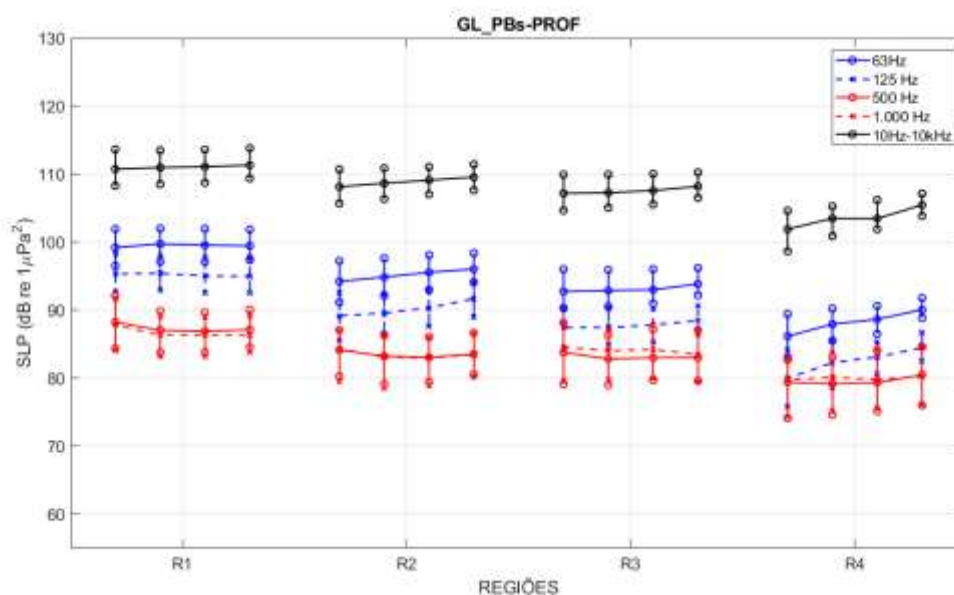


Figura III.1.1.1-6: Comparação entre as regiões R1, R2, R3 e R4 e em cada região, da esquerda para a direita para as faixas de profundidades em torno de 50 m, 200 m, 500 m e 950 m, usando todos os dados qualificados dos gliders e perfiladores nestas regiões, para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz e para os filtros de 1/3 de oitava centrados em 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz. As linhas verticais ligam os percentis de 25%, 50% (mediana) e 75% para cada distribuição.

Para a frequência de 500 Hz, a profundidade de 50 m é a mais ruidosa e a de 500 m mais silenciosa nas regiões R1 e R2. Na região R3, a profundidade de 50 m é a mais ruidosa e a de 200 m a mais silenciosa. Na região R4, a profundidade de 950 m é a mais ruidosa e a de 200 m mais silenciosa. A maior diferença entre as medianas dos dados, no entanto, ficou abaixo de 1,5 dB.

Para a frequência de 1.000 Hz, a mediana dos dados para a profundidade de 50 m é a mais alta das quatro profundidades nas regiões R1, R2 e R3, enquanto a profundidade de 950 m é mais ruidosa para a região R4. As profundidades mais silenciosas são as de 950 m nas regiões R1 e R3; 500 m na região R2; e 50 m na região R4. A maior diferença entre as medianas das profundidades foi de 1,5 dB, na região R1.

Para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz, em todas as regiões, o ruído é maior na profundidade de 950 m e menor na de 50 m e aumenta com o aumento

da profundidade, com a diferença entre as profundidades de 50 m e 950 m indo de 0,6 dB na região R1 a 3,6 dB na região R4.

Na comparação entre as profundidades, verificou-se que nas frequências de 63 Hz e 125 Hz, nas regiões R2, R3 e R4, a mediana dos ruídos medidos na profundidade de 950 m é maior do que nas outras profundidades em até 3 dB, e que o ruído aumenta com o aumento da profundidade. Isto pode ser devido à propagação de ruídos de baixa frequência pelo canal sonoro profundo (Canal SOFAR), região próxima ao local de instalação dos hidrofones a 950 m. Na região R1, não se observa uma diferença grande entre as medianas para as profundidades.

Nas frequências mais altas, de 500 Hz e 1.000 Hz, a mediana para a profundidade de 50 m é mais alta do que para as outras profundidades nas regiões R1, R2 e R3 e as medianas para as demais profundidades são próximas entre si. Na região R4, as medianas para as quatro profundidades ficaram próximas entre si. A mediana mais alta na profundidade de 50 m pode estar associada a ruídos gerados na superfície do mar pelo vento e por ondas de superfície. Entre as medianas nas profundidades de 200 m, 500 m e 950 m as diferenças não são grandes e se alternam dependendo da região e da faixa de frequência.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

8º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2024

III.1.2 Monitoramento Fixo – Linhas de Fundeio Instrumentadas

III.1.2.1 Comparação entre as LFIs

A qualificação dos dados das LFIs foi feita usando-se um limiar para a velocidade de corrente medida próximo à posição dos equipamentos de gravação do áudio para a qual a correlação do SPL para as bandas de frequência de 63, 125, 500 e 1.000 Hz fosse menor ou igual a 10% (IPQM, 2021). Este limiar foi variável para cada linha em cada campanha, ao invés de ser um limiar fixo, como foi usado em alguns dos relatórios anteriores. Embora o número total de dados qualificados usando cada um destes critérios não altere muito, o critério atualmente adotado garante uma quantidade maior de dados livres da contaminação do ruído próprio das linhas. Mesmo assim, nenhum dos dois critérios garante que os dados aceitos estejam livres da interferência dos ruídos provocados pela corrente, podendo, estas interferências, influenciar, de alguma forma, as estatísticas apresentadas.

Os dados usados nas análises apresentadas nesta seção consideram apenas os dados coletados durante o primeiro ciclo do PMPAS-BS. A Figura III.1.2.1-1 apresenta os *boxplots* para todos os dados das oito posições de instalação das LFIs, no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz. Os valores extremos observados nos *boxplots* podem ter sido causados pela passagem de embarcações próximo à linha, mas também podem ser devidos ao ruído próprio provocado pela corrente oceânica, mesmo com os dados tendo sido validados pelo processo de qualificação.



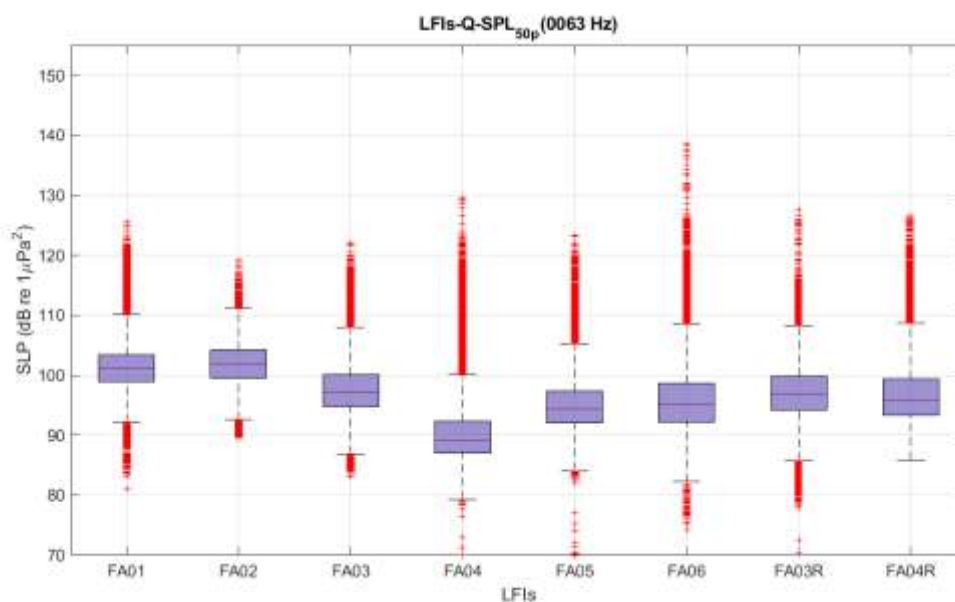


Figura III.1.2.1-1: Comparação entre as LFIs para todos os dados no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz.

Na Figura III.1.2.1-2 são apresentadas as medianas para os filtros de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz. As linhas verticais nos gráficos ligam os percentis de 25% e 75% de cada distribuição.

Em todas as frequências a linha FA02 é a mais ruidosa, seguida pela FA01. A linha mais silenciosa é a FA04 nas frequências de 63 Hz e 125 Hz e a linhas FA06, nas frequências de 500 Hz e 1.000 Hz.

O fato das linhas FA01 e FA02 serem as mais ruidosas em todas as faixas de frequência se justifica pelo fato de elas estarem localizadas nas regiões com maior atividade de E&P e com alto tráfego de navegação.

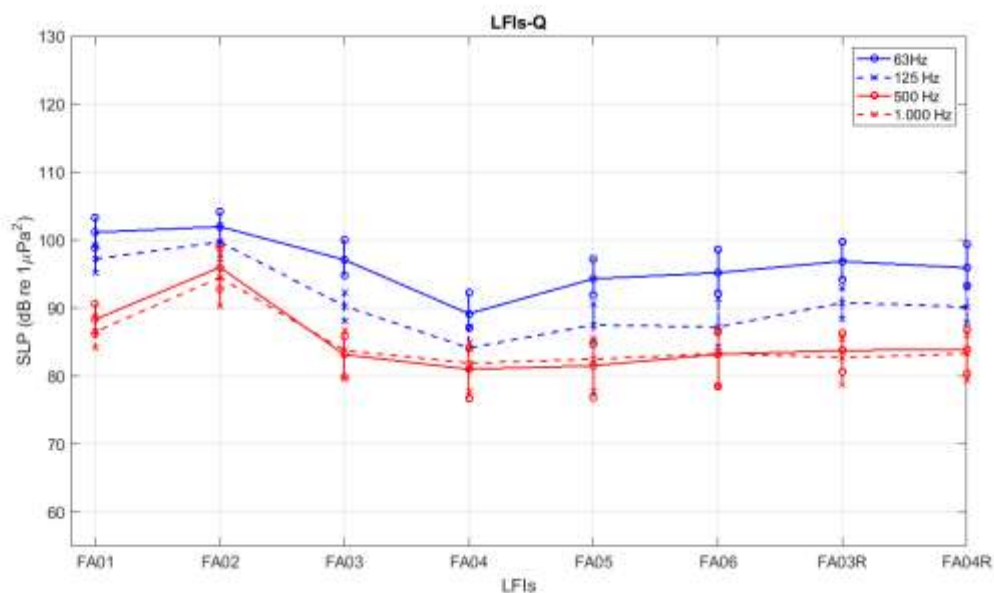


Figura III.1.2.1-2: Comparação entre as LFIs para todos os dados nos filtros de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz.

A Figura III.1.2.1-3 mostra os *boxplots* para o SEL_{24h_LF} (SEL, do inglês *Sound Exposure Level*) e a Figura III.1.2.1-4 para o SEL_{24h_MF} . Estes valores foram obtidos integrando a energia dos espectros de 1/3 de oitava após serem filtrados usando pesos correspondentes aos audiogramas dos grupos de baixa frequência (LF, do inglês *low-frequency*) e de média frequência (MF, do inglês *medium-frequency*) de mamíferos marinhos, obtidos a partir de Finneran (2016). A linha preta tracejada no gráfico corresponde ao limiar para o *Temporary Threshold Shift* (TTS) apresentado em Finneran (2016), para o grupo LF (179 dB re $1\mu Pa^2 \cdot s$). Para o grupo MF, o TTS é de 178 dB re $1\mu Pa^2 \cdot s$, apenas 1 dB abaixo. O limiar para o *Permanent Threshold Shift* (PTS) apresentado por Finneran (2016), é 20 dB acima do TTS, sendo de 199 dB re $1\mu Pa^2 \cdot s$ para o grupo LF e de 198 dB re $1\mu Pa^2 \cdot s$ para o grupo MF.

Todos os dados do SEL_{24h} , tanto para o grupo LF, quanto para o grupo MF, ficaram abaixo do valor de limiar para o TTS, com exceção de alguns poucos valores extremos na linha FA06.

Para o SEL_{24h_LF} , os maiores níveis foram obtidos para a linha FA02 e os menores para a linha FA04. Para o SEL_{24h_MF} , os maiores níveis foram obtidos para a linha FA-02, enquanto as outras linhas ficaram com níveis muito próximos.



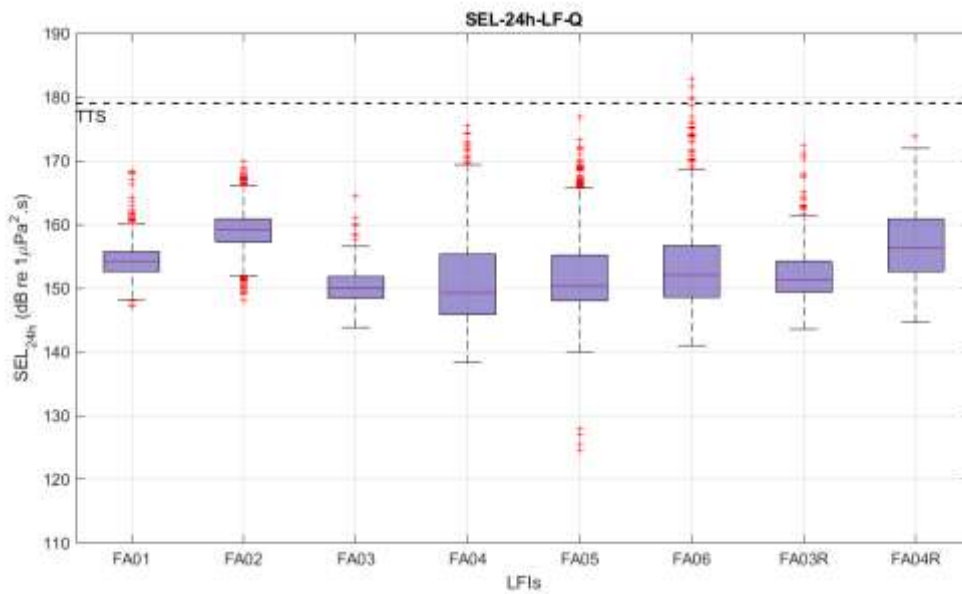


Figura III.1.2.1-3: Comparação entre o SEL_{24h-LF} para as oito linhas. A linha preta tracejada corresponde ao TTS.

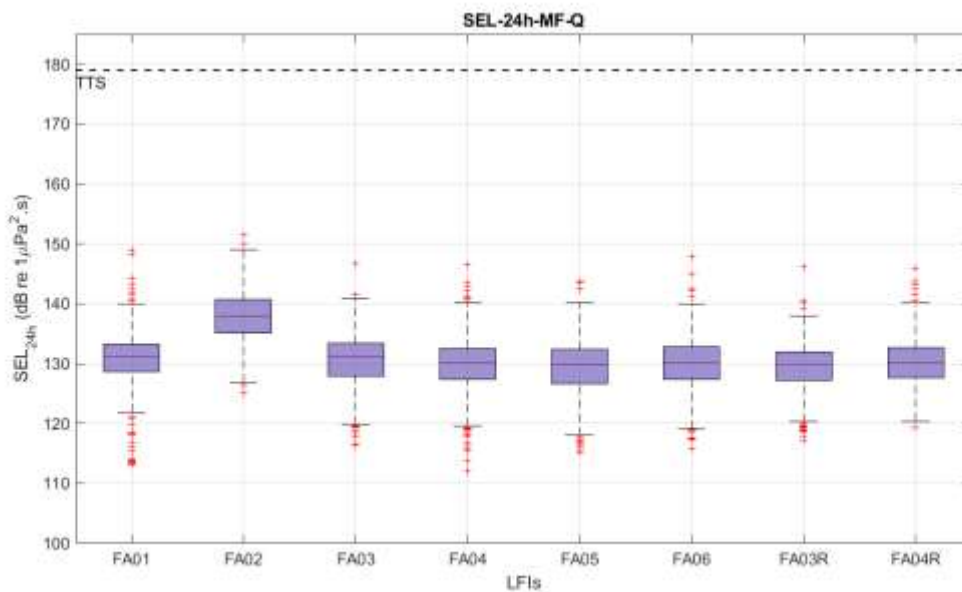


Figura III.1.2.1-4: Comparação entre o SEL_{24h-MF} para as oito linhas. A linha preta tracejada corresponde ao TTS.

III.1.2.2 Avaliação de Tendências de Incremento ou Estabilidade do Ruído na Bacia de Santos com Dados do Monitoramento Fixo Oceânico

Uma das questões levantadas em relatórios anteriores foi o possível incremento de ruído em algumas regiões da Bacia de Santos associado ao aumento de atividades de exploração e produção em alguns campos. Os níveis de ruído medidos nas linhas de fundeio do monitoramento fixo oceânico são bons indicadores para avaliação desta questão, pois correspondem a medições em alguns pontos fixos da bacia, cuidadosamente escolhidos para caracterizar o ruído em diversas situações de exposição a atividades antropogênicas. Foram selecionadas as seis linhas do primeiro ciclo do PMPAS-BS (Figura II.1.2-1) para avaliação da evolução temporal de ruído na bacia:

- Fundeio FA-01 (região em plena produção desde o início do PMPAS-BS), planejado e instalado em região próxima ao campo de Tupi (anteriormente denominado campo de Lula) que se encontrava em produção desde 2009, com o teste de produção de longa duração baseado no FPSO BW Cidade de São Vicente, e teve o início de produção em 2010 com seu primeiro sistema de produção definitivo baseado no FPSO Cidade de Angra do Reis. A produção atual do campo de Tupi compreende 9 plataformas tipo FPSO (Cidade de Angra dos Reis, Cidade de Maricá, Cidade de Paraty, Cidade de Saquarema, Cidade de Mangaratiba, Cidade de Itaguaí, P-66, P-67 e P-69);
- Fundeio FA-02 (região em desenvolvimento da produção no início do PMPAS-BS), planejado e instalado em região próxima da Cessão Onerosa, que teve seu primeiro sistema definitivo de produção instalado no campo de Búzios em 2018 baseado na plataforma FPSO P-74. Atualmente, o campo de Búzios opera com cinco plataformas (P-74, P-75, P-76, P-77 e Almirante Barroso), o campo de Berbigão e Sururu com uma plataforma (P-68), o campo de Atapu com uma plataforma (P-70) e o campo de Itapu com uma plataforma (P-71);



- Fundeio FA-03 (região com atividade exploratória e tráfego marítimo não associada a E&P), planejado inicialmente para ser instalado em região pristina a leste da bacia, mas com o andamento das medições foi identificada a realização de campanhas sísmicas para blocos não operados pela PETROBRAS, assim como intenso tráfego de navios mercantes. Nesta análise foi considerada também a posição FA-03R que se encontrava no mesmo alinhamento da FA-03, apenas em posição um pouco mais rasa;
- Fundeio FA-04 (região sem atividade de E&P), planejado inicialmente para ser instalado em região pristina a sudoeste da bacia, sujeita apenas ao tráfego ocasional de navios mercantes;
- Fundeio FA-05 (região com tráfego de embarcações para atividades de E&P no Pré-Sal), planejado e instalado em uma das rotas de navegação com intenso fluxo de embarcações de apoio ao polo Pré-Sal, atendendo à rota de tráfego marítimo na região mais central da bacia;
- Fundeio FA-06 (região com tráfego de embarcações para atividades de E&P no polo Pré-Sal), planejado e instalado em uma das rotas de navegação com intenso fluxo de embarcações de apoio ao polo Pré-Sal, atendendo à rota de tráfego marítimo mais a oeste da bacia.

Estas seis linhas de fundeio possuíam equipamentos de medição acústica em três níveis (50 m, 200 m e 950 m abaixo do nível médio do mar) durante o primeiro ciclo do PMPAS-BS. Esta seção do relatório técnico avalia estatisticamente as tendências de incremento ou estabilidade de ruído utilizando os valores medianos do nível de pressão sonora SPL (dB re $1\mu\text{Pa}^2$) na banda de 63 Hz do espectro de 1/3 de oitava, indicada para monitoramento do ruído de origem antropogênica (DEKELING *et al.*, 2014a).

Para melhorar a resolução dos intervalos de tempo usados na definição de tendências, optou-se por agrupar os dados em séries semestrais para as linhas de fundeio instrumentadas FA-01, FA-02, FA-03, FA-04, FA-05 e FA-06. Os *boxplots* de cada uma destas séries são apresentados nas Figuras III.1.2.2-1 até III.1.2.2-6 respectivamente.



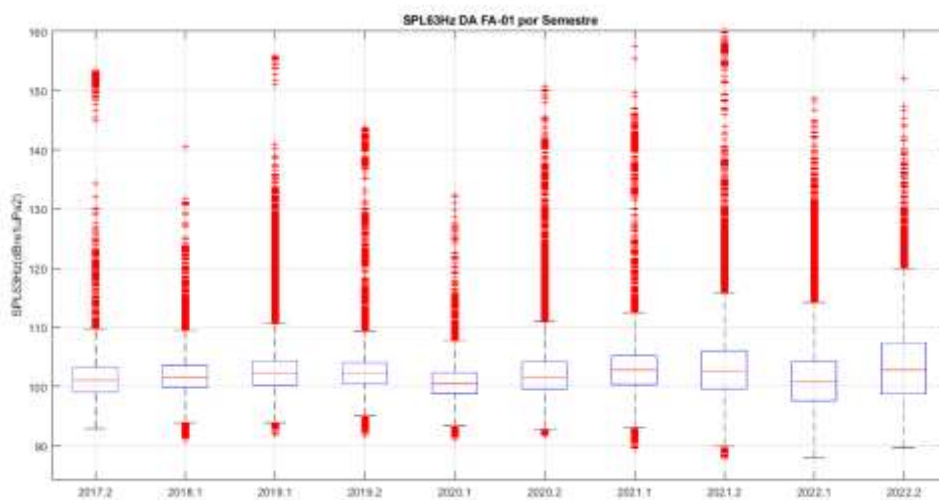


Figura III.1.2.2-1: Boxplots por intervalos semestrais dos dados de SPL na banda de frequência 63 Hz do espectro de 1/3 de oitava do Fundeio FA-01.

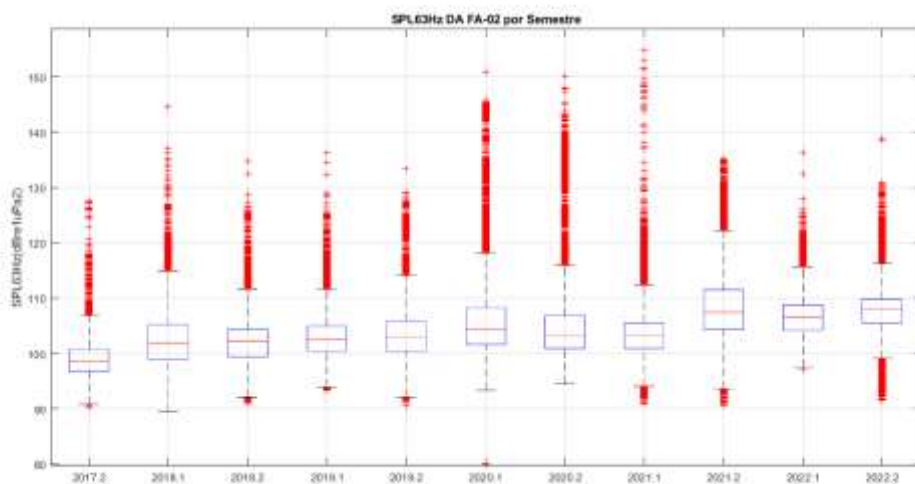


Figura III.1.2.2-2: Boxplots por intervalos semestrais dos dados de SPL na banda de frequência 63 Hz do espectro de 1/3 de oitava do Fundeio FA-02.

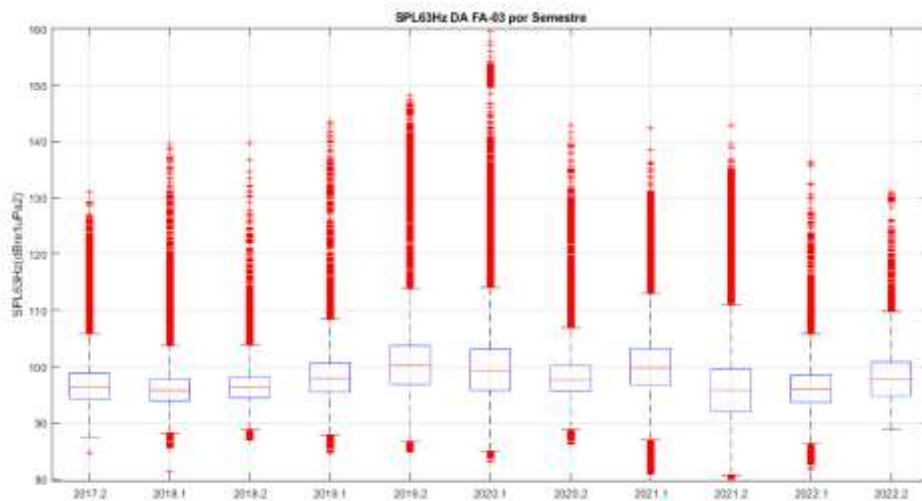


Figura III.1.2.2-3: Boxplots por intervalos semestrais dos dados de SPL na banda de frequência 63 Hz do espectro de 1/3 de oitava dos Fundeios FA-03 e FA-03R.

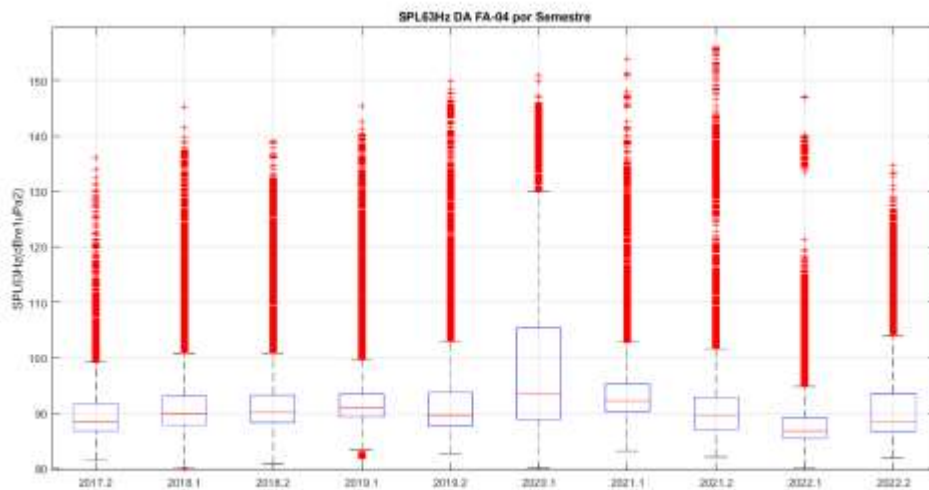


Figura III.1.2.2-4: Boxplots por intervalos semestrais dos dados de SPL na banda de frequência 63 Hz do espectro de 1/3 de oitava do Fundeio FA-04.

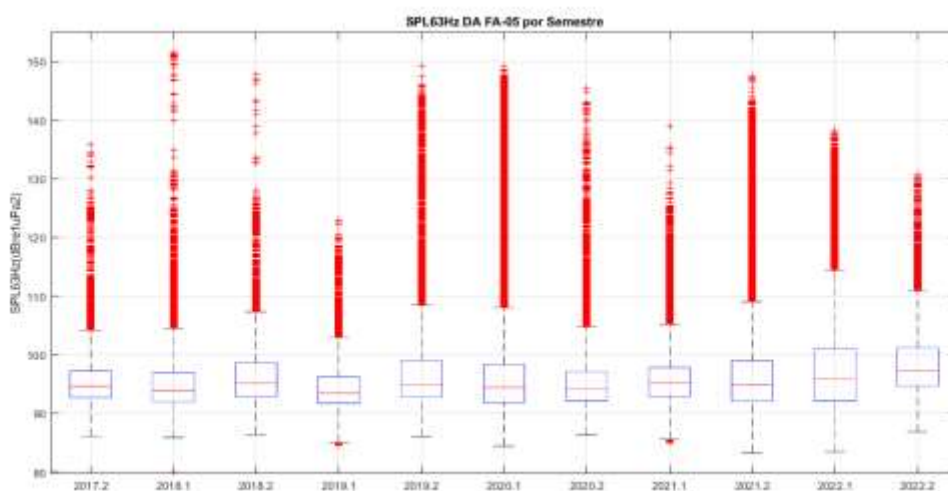


Figura III.1.2.2-5: Boxplots por intervalos semestrais dos dados de SPL na banda de frequência 63 Hz do espectro de 1/3 de oitava do Fundeio FA-05.

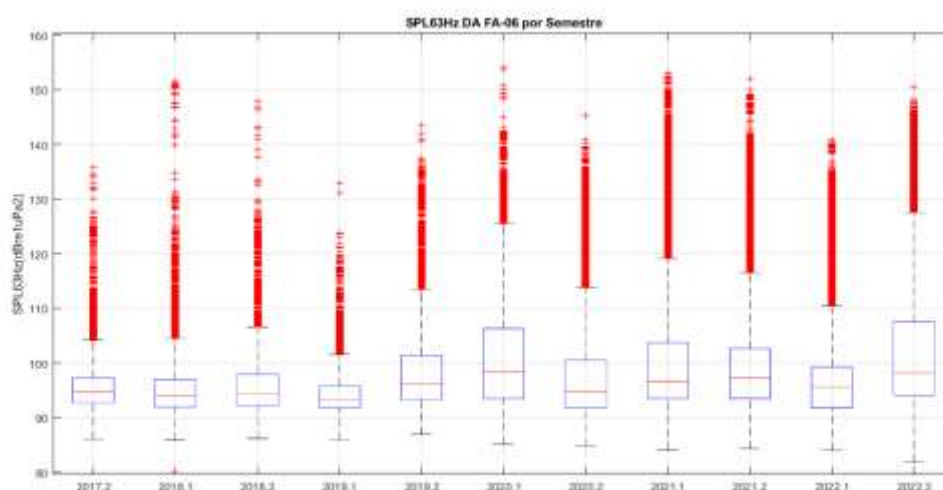


Figura III.1.2.2-6: Boxplots por intervalos semestrais dos dados de SPL na banda de frequência 63 Hz do espectro de 1/3 de oitava do Fundeio FA-06.

Existem diversas técnicas para avaliação de tendências em séries de dados aplicados a problemas de geociência e engenharia. Uma boa discussão destas metodologias é apresentada em Gilbert (1987), onde é descrito o método de Sen's Slope para estimativa de tendência e o teste de hipótese Mann-Kendall. O método Sen's Slope foi proposto por Sen (1968) como uma técnica não paramétrica para estimar a inclinação da reta para uma série temporal univariada. Essa metodologia é baseada no cálculo das inclinações $(\Delta x_{j-i} / \Delta t_{j-i})$ para todos os pares de pontos de tempo, onde os instantes j são superiores ao instante i . Ao final utiliza-se a

mediana de todas as inclinações calculadas como uma estimativa da inclinação do conjunto de dados.

$$\beta = \text{Mediana} \left(\frac{X_j - X_i}{j - i} \right)$$

onde $x = \epsilon$ o parâmetro analisado no tempo i e sucessivos tempos j .

As Tabelas III.1.2.2-1 até III.1.2.2-6 apresentam as declividades calculadas para intervalos anuais pelo método de Sen's Slope. Estas declividades são estimativas de possíveis tendências de aumento (declividade positiva) ou de redução (declividade negativa) dos níveis de ruído no período considerado. As tendências estimadas foram de 0,193 dB/ano para o fundeio FA-01; 1,372 dB/ano para o fundeio FA-02; -0,019 dB/ano para os fundeios FA-03 e FA-03R; 0,178 dB/ano para o fundeio FA-04; 0,212 dB/ano para o fundeio FA-05; e 0,532 dB/ano para o fundeio FA-06. É importante ressaltar que a metodologia Sen's Slope é amplamente utilizada para estimar tendências de incremento ou redução de valores em séries temporais em geo-ciências e engenharia ambiental, mas não indica se as tendências calculadas são estatisticamente significantes em um determinado nível de significância. Com este intuito, este relatório apresenta, também, o método "Trend" do *Climate Data Toolbox* e teste de hipótese Mann-Kendall, também amplamente usados.


Tabela III.1.2.2-1: Declividade estimada pelo Método Sen's Slope para Linha FA-01. Cada célula informa o incremento do ano indicado na coluna em relação ao ano indicado no início da linha.

FA-01 Cálculo da Declividade Método Sen's Slope (dB/ano)						
	Mediana ano	2018	2019	2020	2021	2022
2017	101,014	0,583	0,620	-0,089	0,407	0,115
2018	101,597		0,657	-0,426	0,348	-0,003
2019	102,254			-1,509	0,193	-0,223
2020	100,745				1,895	0,420
2021	102,640					-1,054
2022	101,586					
Mediana Sen's Slope						0,193




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

8º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2024

Tabela III.1.2.2-2: Declividade estimada pelo Método Sen's Slope para Linha FA-02. Cada célula informa o incremento do ano indicado na coluna em relação ao ano indicado no início da linha.

FA-02 Cálculo da Declividade Método Sen's Slope (dB/ano)						
	Mediana ano	2018	2019	2020	2021	2022
2017	98,703	3,322	2,014	1,740	1,412	1,629
2018	102,024		0,707	0,950	0,776	1,206
2019	102,732			1,193	0,810	1,372
2020	103,924				0,428	1,462
2021	104,352					2,495
2022	106,847					
Mediana Sen's Slope						1,372

Tabela III.1.2.2-3: Declividade estimada pelo Método Sen's Slope para Linhas FA-03 e FA-03R. Cada célula informa o incremento do ano indicado na coluna em relação ao ano indicado no início da linha.

FA-03 Cálculo da Declividade Método Sen's Slope (dB/ano)						
	Mediana ano	2018	2019	2020	2021	2022
2017	96,255	-0,271	1,359	0,757	0,297	-0,019
2018	95,984		2,988	1,271	0,487	0,043
2019	98,972			-0,446	-0,764	-0,938
2020	98,526				-1,082	-1,184
2021	97,444					-1,286
2022	96,158					
Mediana Sen's Slope						-0,019

Tabela III.1.2.2-4: Declividade estimada pelo Método Sen's Slope para Linha FA-04. Cada célula informa o incremento do ano indicado na coluna em relação ao ano indicado no início da linha.

FA-04 Cálculo da Declividade Método Sen's Slope (dB/ano)						
	Mediana ano	2018	2019	2020	2021	2022
2017	88,328	1,549	0,810	1,285	0,521	-0,227
2018	89,877		0,071	1,153	0,178	-0,671
2019	89,948			2,236	0,232	-0,919
2020	92,184				-1,772	-2,496
2021	90,412					-3,221
2022	87,191					
Mediana Sen's Slope						0,178



Tabela III.1.2.2-5: Declividade estimada pelo Método Sen's Slope para Linha FA-05. Cada célula informa o incremento do ano indicado na coluna em relação ao ano indicado no início da linha.

FA-05 Cálculo da Declividade Método Sen's Slope (dB/ano)						
	Mediana ano	2018	2019	2020	2021	2022
2017	94,673	-0,260	-0,147	-0,125	0,094	0,327
2018	94,413		-0,035	-0,057	0,212	0,473
2019	94,378			-0,080	0,336	0,643
2020	94,298				0,751	1,004
2021	95,050					1,256
2022	96,306					
Mediana Sen's Slope						0,212

Tabela III.1.2.2-6: Declividade estimada pelo Método Sen's Slope para Linha FA-06. Cada célula informa o incremento do ano indicado na coluna em relação ao ano indicado no início da linha.

FA-06 Cálculo da Declividade Método Sen's Slope (dB/ano)						
	Mediana ano	2018	2019	2020	2021	2022
2017	94,673	-0,495	-0,067	0,521	0,573	0,329
2018	94,177		0,362	1,030	0,929	0,535
2019	94,540			1,697	1,213	0,592
2020	96,237				0,728	0,040
2021	96,965					-0,648
2022	96,317					
Mediana Sen's Slope:						0,535

Como alternativa ao método de Sen's Slope para cálculo de tendências foi também utilizada a rotina "trend" do *Climate Data Toolbox*, descrito por Greene *et al.* (2019), onde é realizada a estimativa da tendência por um ajuste linear por mínimos quadrados e fornecido o *p-value* para a significância estatística do ajuste. Os resultados são apresentados na Tabela III.1.2.2-7. Observa-se que apenas o fundeio FA-02 apresentou uma tendência com valor significativo no nível de significância 5% ($p\text{-value} \leq 0,05$). Os valores de *p-value* para todos os outros fundeios foram superiores a 0,05.



Tabela III.1.2.2-7: Cálculo da declividade pelo Método de Tendência por Mínimos Quadrados (implementado na rotina "Trend" do Climate Data Toolbox).

Fundeio	Tendência (dB/ano)	p-value
FA-01	0,1281	0,7071
FA-02	1,3971	0,0085
FA-03/FA-03R	0,0677	0,8762
FA-04	-0,0694	0,8153
FA-05	0,2163	0,0617
FA-06	0,5224	0,1328

O teste de Mann-Kendall é um teste de hipótese para avaliar se existe uma tendência temporal estatisticamente significativa em uma série de dados. Foi desenvolvido por Mann (1945) e Kendall (1975). A análise aplicada no teste tem como base duas hipóteses: a hipótese nula (H_0), que não existe tendência na série de dados; ou a hipótese alternativa (H_1), que indica existir uma tendência que pode ser positiva (crescimento) ou negativa (decréscimo). A decisão de rejeitar ou não essa hipótese é baseada em um nível de significância pré-estabelecido, que representa a probabilidade de cometer um erro ao rejeitar H_0 quando ela é verdadeira.

A variável estatística S , para uma série de n dados do teste de Mann-Kendall, é calculada a partir da somatória dos sinais da diferença, par a par, de todos os valores da série (x_k) em relação aos valores futuros (x_j):

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sign}(x_j - x_k)$$

onde $\text{sign}(x_j - x_k) = 1$ se $x_j - x_k > 0$; $\text{sign}(x_j - x_k) = 0$ se $x_j - x_k = 0$; e $\text{sign}(x_j - x_k) = -1$ se $x_j - x_k < 0$.

Deste modo, como sumário do teste Mann-Kendall a ser aplicado nas medianas semestrais dos dados acústicos dos fundeios:

- Hipótese nula H_0 = ausência de tendência nos dados acústicos medidos nos fundeios;
- Hipótese alternativa H_1 = presença de tendência nos dados medidos.



O resultado do teste Mann-Kendall para o nível de significância de 5% (0,05) escolhido é dado por:

- $H = 1$ indica a rejeição da hipótese nula (ou seja, indica que existe tendência);
- $H = 0$ indica impossibilidade de rejeitar a hipótese nula (ou seja, não existe tendência).

Com relação ao *p-value*:

- Se o *p-value* do teste for menor que 0,05, a hipótese nula é rejeitada;
- Se o *p-value* for maior que 0,05, não existe evidência suficiente para rejeitar a hipótese nula.

Os resultados dos testes de Mann-Kendall para tendências nos valores medianos do SPL na frequência de 63 Hz estão apresentados na Tabela III.1.2.2-8. Como observado na tabela, os únicos fundeios com indicação de incremento de ruído no nível de significância 5% foram FA-02 e FA-06, e todos os outros fundeios tiveram indicação de não existir tendência significativa. Observem que o *p-value* no fundeio FA-06 é apenas ligeiramente abaixo de 0,05, indicando apenas leve tendência de incremento do ruído nesta posição, contrastando com o *p-value* bem inferior do fundeio FA-02 que apresenta uma tendência de incremento bem consolidada.

Tabela III.1.2.2-8: Resultados dos testes de hipótese Mann-Kendall para tendências nos dados acústicos medidos nas linhas FA-01, FA-02, FA-03, FA-04, FA-05 e FA-06.

Fundeio	Resultados do Teste de Mann-Kendall	p-value
FA-01	H=0 não existe tendência significativa	0,1391
FA-02	H=1 existe tendência significativa	0,0002
FA-03	H=0 não existe tendência significativa	0,8763
FA-04	H=0 não existe tendência significativa	0,8153
FA-05	H=0 não existe tendência significativa	0,0617
FA-06	H=1 existe tendência significativa	0,0429

As Figuras III.1.2.2-7 até III.1.2.2-12 apresentam as tendências ajustadas para as medianas dos dados dos fundeios FA-01, FA-02, FA-03, FA-04, FA-05 e FA-06 respectivamente, utilizando os métodos de Sen's Slope e ajuste linear pela



rotina “trend” do *Climate Data Toolbox*. Observa-se claramente a estabilidade do ruído medido na frequência de 63 Hz do espectro de 1/3 de oitava nos fundeios FA-01, FA-03, FA-04 e FA-05, a tendência de incremento de ruído no Fundeio FA-02 e a ligeira tendência do Fundeio FA-06. As possíveis causas deste comportamento serão discutidas a seguir.

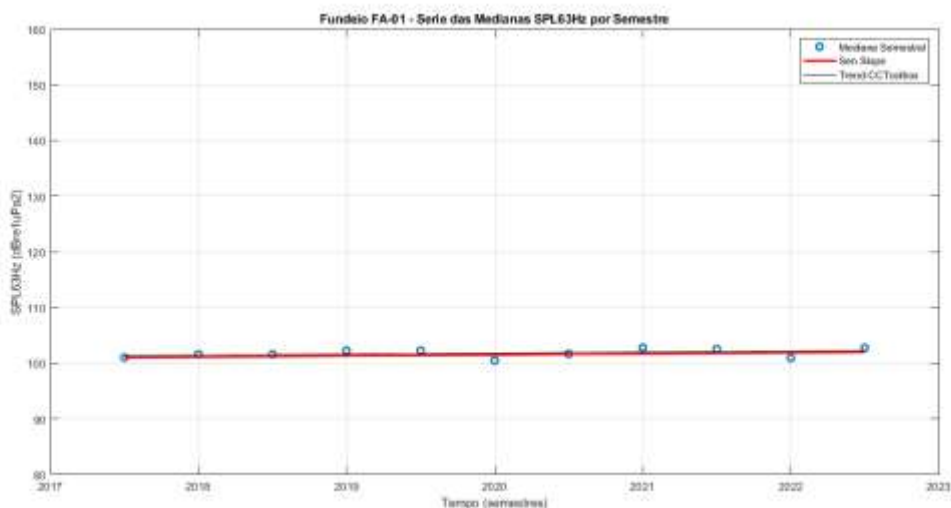


Figura III.1.2.2-7: Ajustes de tendências às medianas dos dados de SPL na banda de frequência 63 Hz do espectro de 1/3 de oitava no Fundeio FA-01. Teste de Mann-Kendall indicou não haver tendência significativa de incremento.

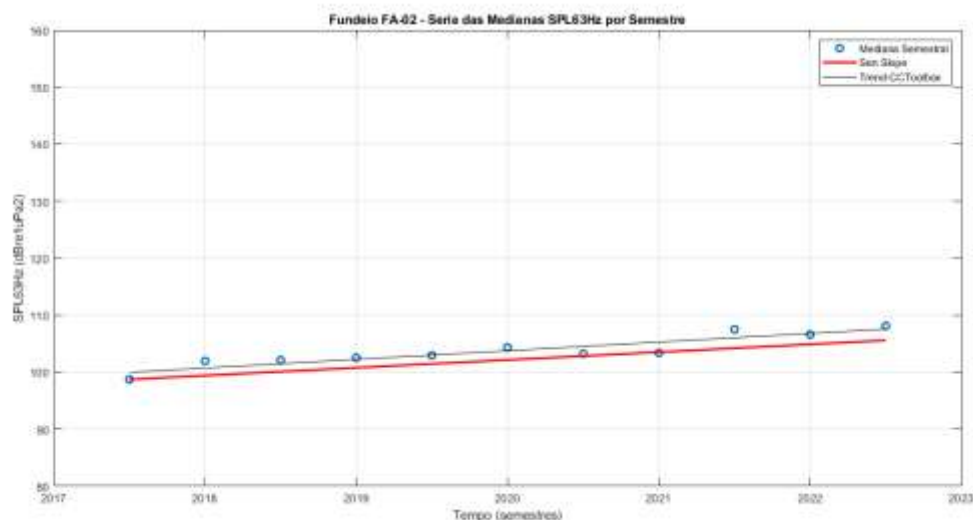


Figura III.1.2.2-8: Ajustes de tendências às medianas dos dados de SPL na banda de frequência 63 Hz do espectro de 1/3 de oitava no Fundeio FA-02. Teste de Mann-Kendall indicou haver tendência significativa de incremento.

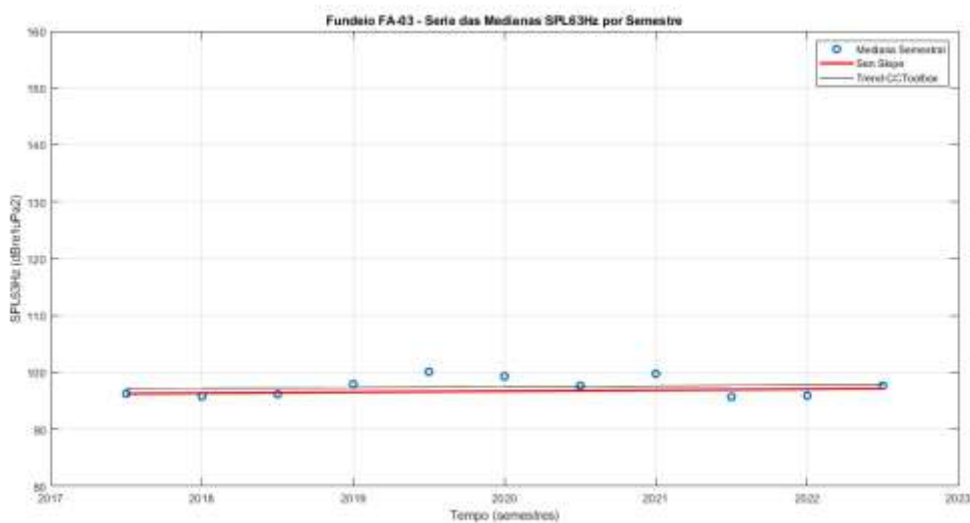


Figura III.1.2.2-9: Ajustes de tendências às medianas dos dados de SPL na banda de frequência 63 Hz do espectro de 1/3 de oitava nos Fundeios FA-03 e FA-03R. Teste de Mann-Kendall indicou não haver tendência significativa de incremento.

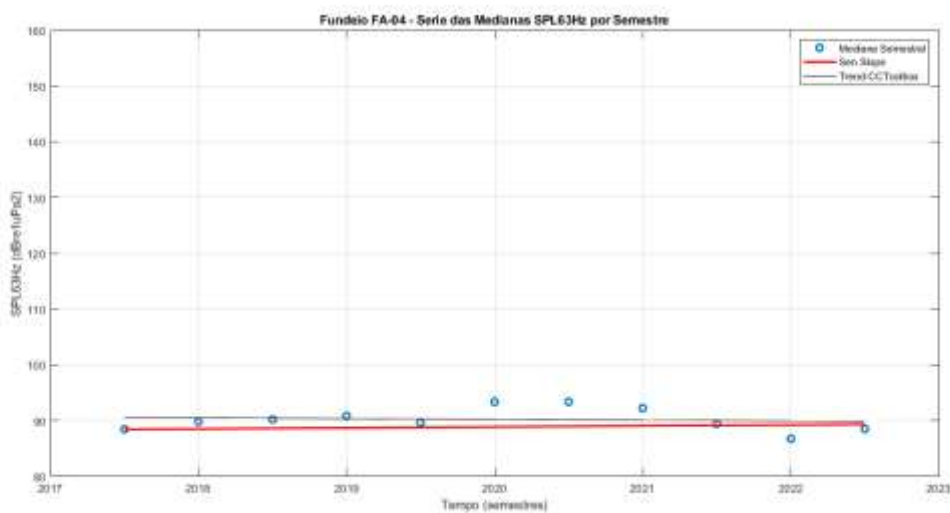


Figura III.1.2.2-10: Ajustes de tendências às medianas dos dados de SPL na banda de frequência 63 Hz do espectro de 1/3 de oitava no Fundeio FA-04. Teste de Mann-Kendall indicou não haver tendência significativa de incremento.



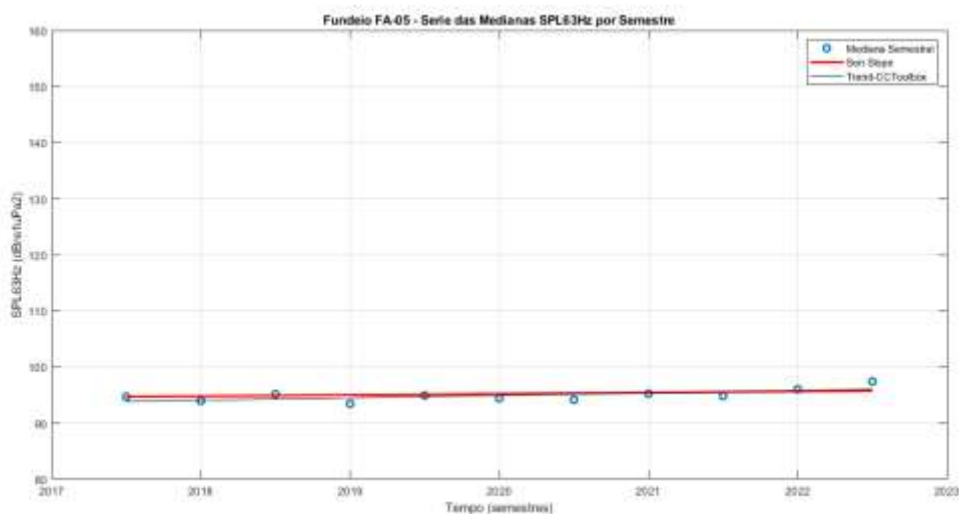


Figura III.1.2.2-11: Ajustes de tendências às medianas dos dados de SPL na banda de frequência 63 Hz do espectro de 1/3 de oitava no Fundeio FA-05. Teste de Mann-Kendall indicou não haver tendência significativa de incremento.

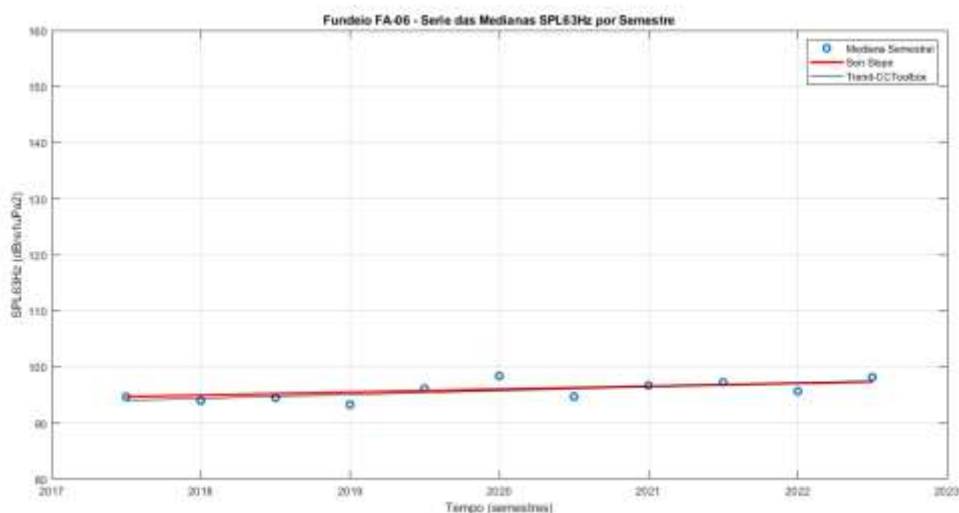


Figura III.1.2.2-12: Ajustes de tendências às medianas dos dados de SPL na banda de frequência 63 Hz do espectro de 1/3 de oitava no Fundeio FA-06. Teste de Mann-Kendall indicou haver ligeira tendência significativa de incremento.

O Fundeio FA-01 foi planejado para ser instalado em uma região com plena produção do Pré-Sal. As medições com os fundeios do primeiro ciclo de PMPAS-BS iniciaram em 2017 e observa-se na Tabela III.1.2.2-9 que o campo de Tupi já estava com 7 plataformas de produção instaladas em plena operação. Depois de 2017 só foram instalados dois sistemas (P-69 e P-67), mas que já estavam com as operações de instalação iniciadas em 2017. Ou seja, a linha FA-01 já foi



lançada em uma região no Pré-Sal da Bacia de Santos em estágio avançado de produção, na qual não houve significativo incremento de atividades desde 2017. Esta é, provavelmente, a causa de não haver indicação de tendência significativa de incremento de ruído nos testes realizados para esta linha.

Tabela III.1.2.2-9: Tempos de início da instalação e da produção de plataformas definitivas no campo de Tupi (proximidades do Fundeio FA-01)

Sistema Produção	PLATAFORMA	INÍCIO INSTALAÇÃO	INÍCIO PRODUÇÃO
Piloto Tupi (Lula)	FPSO Cidade de Angra dos Reis	16/03/2010	27/10/2010
Lula Nordeste, Campo de Lula, BM-S-11	FPSO Cidade de Paraty	19/04/2013	06/06/2013
Lula – Área de Iracema Sul, Campo de Lula, BM-S-11	FPSO Cidade de Mangaratiba	19/04/2014	14/10/2014
Lula - Área de Iracema Norte, Campo de Lula, BM-S-11	FPSO Cidade de Itaguaí	22/04/2015	31/07/2015
Lula Alto	FPSO Cidade de Maricá	21/09/2015	06/02/2016
Lula Central	FPSO Cidade de Saquarema	30/01/2016	08/07/2016
Lula Sul	P-66	15/12/2016	19/05/2017
Lula Extremo Sul	P-69	10/12/2017	23/10/2018
Lula Norte	P-67	24/07/2017	01/02/2019

O Fundeio FA-02 foi planejado para ser instalado em uma região em desenvolvimento da produção nas proximidades da Cessão Onerosa do Pré-Sal no norte da Bacia de Santos. As medições da FA-02 também foram iniciadas em 2017, e observa-se na Tabela III.1.2.2-10 que ainda não existia nenhum sistema definitivo de produção instalado em Búzios ou campos próximos nesta data. Todos os sistemas tiveram suas instalações iniciadas e partiram para produção a partir de 2018, com entrada gradual por ano de alguns sistemas. Esta é a principal justificativa pela qual a linha de Fundeio FA-02 indicou uma tendência significativa de incremento do ruído na banda de frequência 63 Hz impactada pelos ruídos de baixa frequência de origem antropogênica.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

8º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2024

Tabela III.1.2.2-10: Tempos de início da instalação e da produção de plataformas definitivas nos campos de Cessão Onerosa no norte da Bacia de Santos (proximidades do Fundeio FA-02).

Sistema de Produção	PLATAFORMA	INÍCIO INSTALAÇÃO	INÍCIO PRODUÇÃO
Búzios 1	P-74	18/01/2018	20/04/2018
Búzios 2	P-75	18/04/2018	11/11/2018
Búzios 3	P-76	29/09/2018	20/02/2019
Búzios 4	P-77	02/11/2018	19/03/2019
Berbigão e Sururu	P-68	26/04/2019	14/11/2019
Atapu 1	P-70	06/01/2020	25/06/2020
Itapu	P-71	19/07/2022	21/12/2022
Búzios 5	FPSO Almirante Barroso	05/03/2022	31/05/2023

O Fundeio FA-03 foi inicialmente planejado para ser instalado em uma região sem atividade de E&P da PETROBRAS, mas suas medições indicaram um nível de ruído da mesma ordem dos fundeios FA-05 e FA-06 instalados em região de trânsito de embarcações para o Pré-Sal. A investigação dos possíveis motivos resultou na descoberta de que havia campanhas sísmicas sendo realizadas nesta região para blocos operados por outras empresas. Além disso, esta posição está em rota de navegação mercante intensa vinda do sul da África e Oceano Índico para os portos do sudeste brasileiro. O fundeio foi posteriormente deslocado para a posição FA-03R, mais rasa no mesmo alinhamento, para não atrapalhar atividades de sísmica que estavam ocorrendo para outra operadora na posição anterior. Não houve indicação de tendência de incremento de ruído para os fundeios FA-03 e FA-03R.

O Fundeio FA-04 foi planejado para ser instalado em região sem atividade de E&P, apenas exposto à navegação comercial, pois toda Bacia de Santos é rota de navios para o Cone Sul da América do Sul. Este fundeio apresentou os menores níveis de ruído entre as seis linhas instrumentadas oceânicas e não foi identificada tendência significativa de incremento.

Os Fundeio FA-05 e FA-06 foram instalados em regiões de trânsito de embarcações e navios para o Pré-Sal. Os testes para o FA-05 indicaram não haver tendência de incremento de ruído e para o FA-06, o teste Mann-Kendall indicou um ligeiro incremento tendendo à estabilidade, apesar do ajuste linear pela rotina "Trend" do *Climate Data Toolbox* não haver indicado tendência significativa nesta



posição. A justificativa é que mesmo com o incremento do número de plataformas em operações na Bacia de Santos, os navios de serviço e *supply-boats* tendem a levar insumos para diversas unidades simultaneamente, ou seja, o aumento de embarcações atendendo ao Pré-Sal com insumos não cresce na mesma proporção do início de produção de novas unidades. O maior impacto ocorre durante a fase de instalação, como percebido na linha FA-02, pois nesta fase são utilizados navios de instalação dos sistemas de ancoragem (estacas torpedo, linhas, etc), navios de instalação dos sistemas submarinos de produção (*risers*, *manifolds*, etc), e sondas para completação dos poços. Terminada a fase de instalação, a tendência é ocorrer uma redução ou estabilidade do ruído, pois a quantidade de navios nos serviços de instalação é interrompida.

Desta forma, a análise de tendências de ruído na Bacia de Santos é bem representada pelos seis fundeios da primeira fase do PMPAS-BS, indicando apenas incremento significativo de ruído na região norte do Pré-Sal (campos de Búzios, Itapu, Atapu, Berbigão, etc), nas proximidades do FA-02, onde ainda existe atividade de instalação de novos sistemas. As demais regiões indicaram estabilidade do ruído medido, com ligeira exceção para rotas de navegação onde foi identificado um ligeiro incremento na posição FA-06.



Coordenador da Equipe

Técnico Responsável8º Relatório
TécnicoRevisão 00
08/2024

III.2 REGIÃO COSTEIRA – MONITORAMENTO FIXO – OBSERVATÓRIOS SUBMARINOS

III.2.1 Níveis de Ruído Medidos nos Observatórios Submarinos

A Figura III.2.1-1 mostra os espectros medianos dos SPL nas diferentes localidades monitoradas. Os espectros foram calculados usando dados aceitos no processo de qualificação, considerando apenas os dados coletados a partir de janeiro de 2018. Esta seleção foi necessária tendo em vista problemas de ruídos provocados pelo próprio sistema de gravação acústica identificados nas primeiras campanhas de monitoramento, iniciadas em 2017.

É possível constatar que, de uma maneira geral, os OS instalados no interior e nas imediações da Baía de Guanabara (OS1, OS1A, OS3R, OS3R1, OS3R2 e OSP1) são os mais ruidosos para a maior parte do espectro de frequências, particularmente entre 10 e 300 Hz e acima de 2 kHz. A posição OS2R, a oeste da Ilha Grande, é a mais silenciosa em praticamente toda a faixa de frequência dos espectros, alternando-se com a posição OS3, junto ao Canal de São Sebastião, entre 300 Hz e 1.000 Hz e com a posição OS2 (a lesta da Ilha Grande) e OS3R1 (Ilhas Cagarras) acima de 10kHz. Na faixa de frequência entre 300 e 1.000 Hz, o OS2 seguido do OS1A são os mais ruidosos.



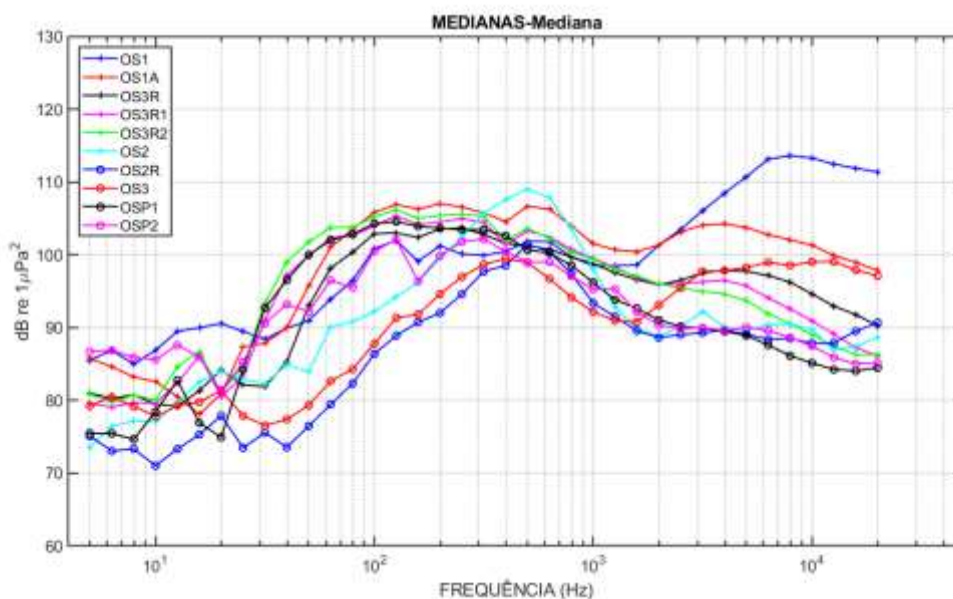


Figura III.2.1-1: Mediana dos espectros de 1/3 de oitava para as diferentes posições de instalação dos OS. As linhas verticais representam os percentis de 25% e 75% para os níveis em cada banda do espectro.

A Figura III.2.1-2 mostra os espectros medianos para os dados obtidos nos OS na região da Baía de Guanabara (OS1, OS1A, OS3R, OS3R1, OS3R2 e OSP1). Destaca-se nestes espectros o aumento de níveis no OS1 na faixa de baixa frequência, abaixo de 30 Hz e na faixa de alta frequência, acima de 2 kHz.

É interessante notar que, apesar da proximidade, o espectro obtido no OS1 apresenta uma tendência de aumento do SPL abaixo de 30 Hz e acima de aproximadamente 2 kHz em relação ao OS1A. Entre as frequências de 40 e 1.000 Hz, no entanto, o OS1A é mais ruidoso.



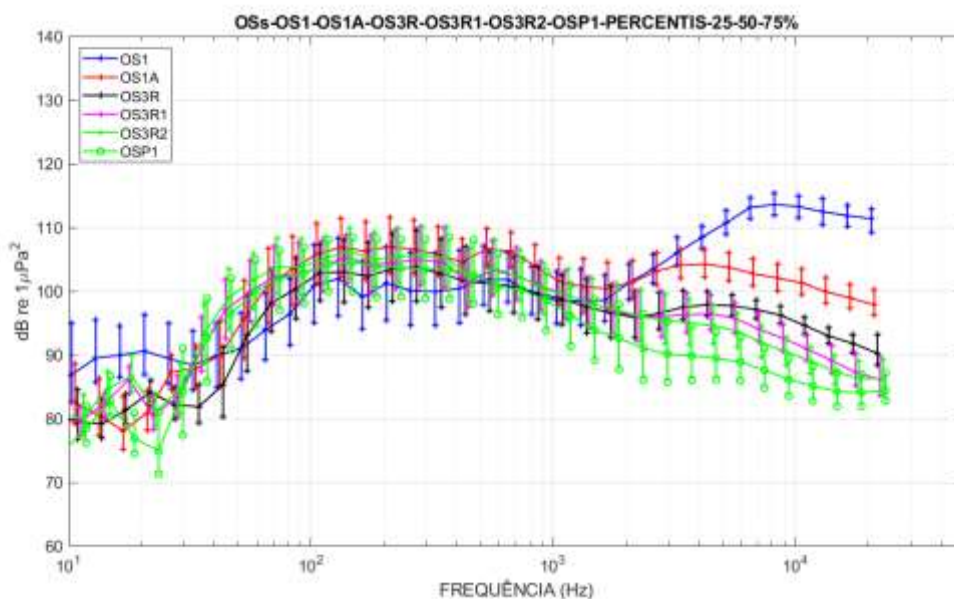


Figura III.2.1-2: Mediana dos espectros de 1/3 de oitava para as posições de instalação próximo à Baía de Guanabara: OS1, OS1A, OS3R, OS3R1, OS3R2 e OSP1. As linhas verticais representam os percentis de 25% e 75% para os níveis em cada banda do espectro.

A Figura III.2.1-3 mostra os espectros medianos dos dados obtidos nos OS instalados na Baía de Ilha Grande (OS2, do lado leste da Ilha Grande e OS2R do lado oeste) e no Canal de São Sebastião (OS3 e OSP2). A posição OS2 é mais ruidosa em praticamente todas as bandas até 1.000 Hz. A partir de 2.000 Hz, a posição OS3 é a mais ruidosa.

Um aspecto notável é a diferença entre os níveis espectrais estimados para o OS2 e OS2R a leste e oeste da Ilha Grande, respectivamente, onde o ruído obtido no primeiro é em média superior ao segundo em 5 dB, para uma ampla faixa do espectro. Tal aspecto pode estar relacionado à existência de mais rotas de embarcações nas proximidades de OS2, o que é evidenciado na Figura II.1.1-2.

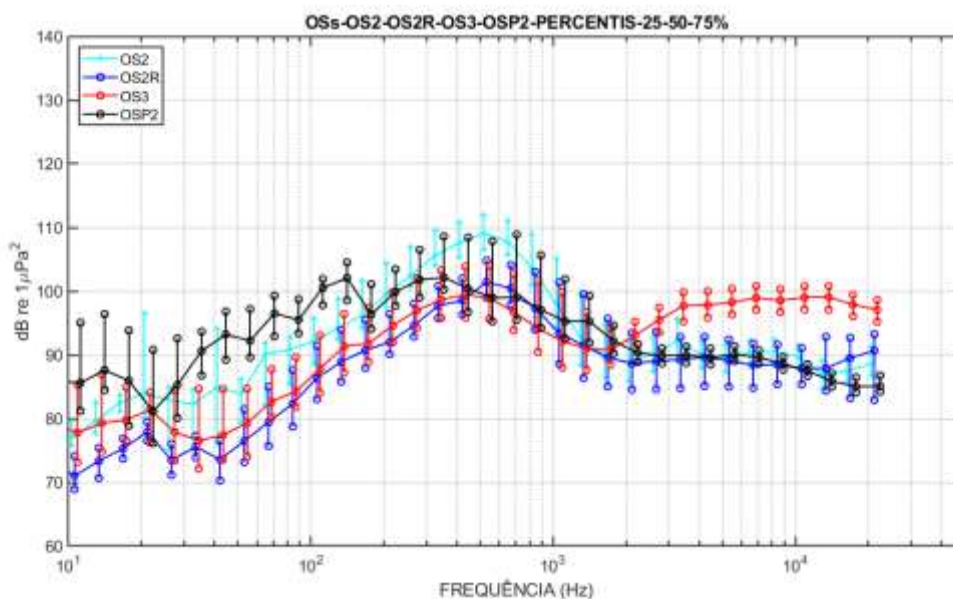


Figura III.2.1-3: Mediana dos espectros de 1/3 de oitava para as posições de instalação na Baía de Ilha Grande e no Canal de São Sebastião: OS2, OS2R, OS3 e OSP2. As linhas verticais representam os percentis de 25% e 75% para os níveis em cada banda do espectro.

Estes resultados mostram que zonas bem próximas podem ter assinaturas acústicas distintas. A paisagem acústica de zonas costeiras sofre influência de sons diversos provenientes de embarcações de pequeno porte, fluxo de embarcações de grande porte em zonas portuárias, sons relacionados à ação das ondas do mar e chuva, sons de organismos costeiros (principalmente peixes, invertebrados bentônicos e alguns cetáceos) (ANDRADE, 2018).

Assim, cada região, ou seja, cada *habitat* possui sua assinatura acústica (RADFORD; STANLEY e JEFFS, 2014), que desempenha um papel crucial no desenvolvimento da vida marinha local. Os espectros apresentados, também permitem observar que, apesar de diferentes, as assinaturas acústica possuem características semelhantes e que remetem às principais fontes acústicas que influenciam cada faixa de frequência (ANDRADE, 2018; WENZ, 1962; XAVIER, 2021).

Para o conjunto de frequências analisadas, tem-se três principais faixas: (A) 0 a 200 Hz, (B) 200 Hz a 2 kHz e (C) 2 a 24 kHz. As faixas (A) e (B) são influenciadas principalmente por sons antropogênicos (ex.: embarcações), abióticos (ex.: corrente de maré) e bióticos (ex.: peixes e alguns invertebrados).



Já a faixa (C) sofre mais influência de invertebrados e é caracterizada por um som que se assemelha a um chiado ou fritura.

Além de cada local possuir uma assinatura acústica própria, as variações temporais e sazonais dos fatores bióticos e abióticos podem alterar as principais características dessas assinaturas (BUSCAINO *et al.*, 2016; XAVIER, 2021). Por exemplo, Bohnenstiehl; Lillis e Eggleston (2016)) mostram em seu trabalho que variações de temperatura, luminosidade, maré, fases da lua e estações do ano podem afetar consideravelmente determinadas populações de organismo marinhos e conseqüentemente seus hábitos acústicos.

Em buscas por padrões que indicassem a presença de prováveis fontes de ruído que contribuíssem para a paisagem acústica, foram encontradas fontes com as seguintes características:

- a) Elevações de ruído em baixas frequências, provocado pelo fluxo das correntes de maré (BASSETT *et al.*, 2014; HILDEBRAND, 2009; VAN GEEL *et al.*, 2020);
- b) Elevações de ruído de baixas frequências até frequências altas, provocado pela passagem de embarcações (HILDEBRAND, 2009; WILLIAMS *et al.*, 2015);
- c) Elevações de ruído ocorrendo acima de 2 kHz, com sons de estalos/cliques, com provável associação a invertebrados (BUTLER; BUTLER e GAFF, 2017; COQUEREAU *et al.*, 2016; LILLIS e MOONEY, 2018);
- d) Elevações de ruído em baixas e médias frequências, com regiões tempo-frequência relativamente bem definidas, com sons de chiado e associação provável com coros de peixes ou invertebrados (COQUEREAU *et al.*, 2016; ERBE *et al.*, 2015; HAWKINS e POPPER, 2017);
- e) Tom em 100/125 Hz e harmônicos ocorrendo em período definido do dia, com provável origem antropogênica.

Como exemplos, as Figuras III.2.1-4 e III.2.1-5 mostram espectrogramas cobrindo o período de 24 horas do ruído acústico gravado no OS1 e no OS2, respectivamente, apresentando alguns ruídos padrões encontrados nestas regiões.



No OS1 (III.2.1-4) estão destacados os ruídos de fluxo devido às marés (A), ruídos de embarcações (B), ruídos de estalos/cliques acima de 2 kHz (C), três tipos diferentes de coros de peixes ou invertebrados (D1, D2 e D3) e tons de 100/125 Hz e harmônicos (E).

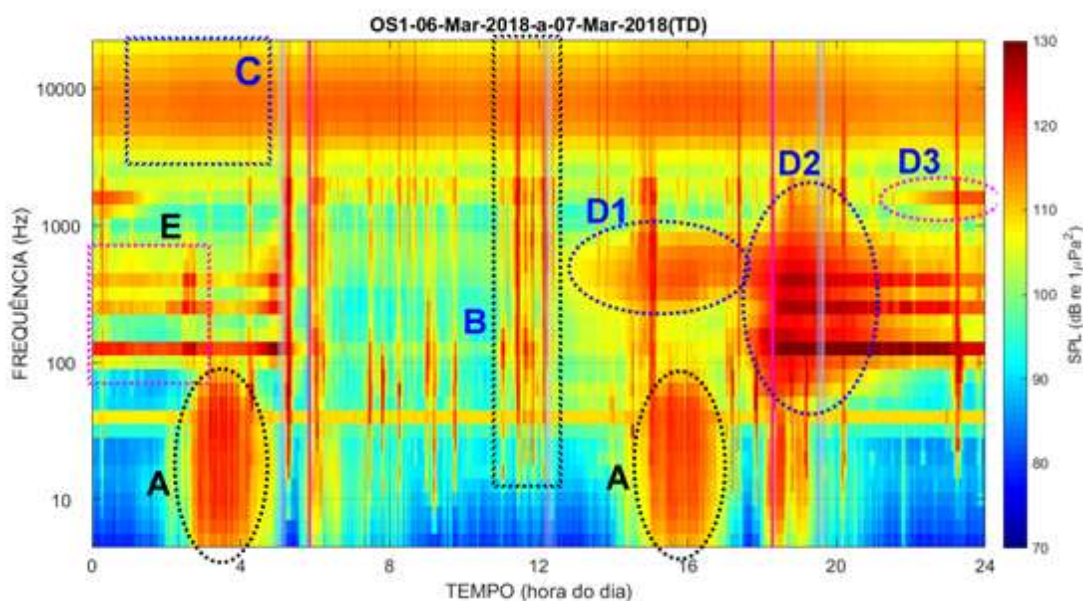


Figura III.2.1-4: Espectrograma de 1/3 de oitava para os dados gravados no dia 06 de março de 2018, no OS1, na Baía de Guanabara. As letras correspondem aos tipos de ruído observados (A = Fluxo de maré; B = Embarcações; C = Estalos/cliques; D = Coros; E = Tons 100/125 Hz).

Para o OS2, instalado na Baía de Ilha Grande (III.2.1-5), estão destacados os ruídos provocados pela maré (A), pelas embarcações (B) e pelos coros (D1, D2, D3, D4 e D5). Não foram observados os ruídos de estalos/cliques (C) nem os tons de 100/125 Hz (E).

Mais características destes ruídos para todos os OS são apresentadas em IPqM/PETROBRAS (2022).




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

8º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2024

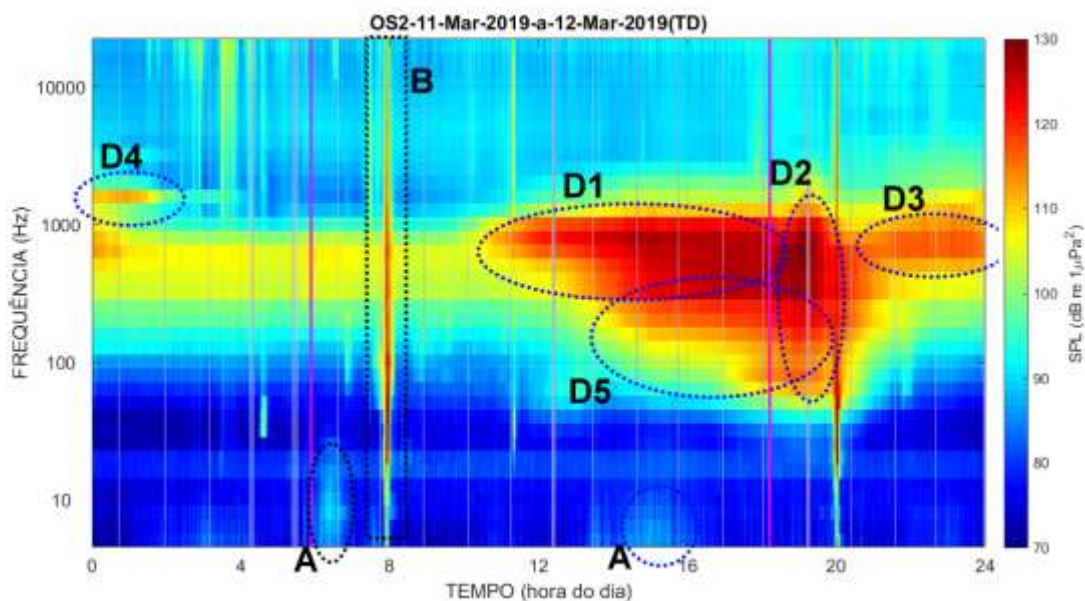


Figura III.2.1-5: Espectrograma de 1/3 de oitava para os dados gravados no dia 11 de março de 2019, no OS2, na Baía de Ilha Grande. As letras correspondem aos tipos de ruído observados (A = Fluxo de maré; B = Embarcações; D = Coros).

A Figura III.2.1-6 apresenta *boxplots* para a banda de frequência centrada em 63 Hz para cada OS e a Figura III.2.1-7 mostra as medianas e os percentis de 25% e 75% para as bandas de frequência centradas em 63 Hz, 125, 500 e 1.000 Hz.

Na banda de 63 Hz (Figura III.2.1-6), os OS1, OS1A, OS3R, OS3R1, OS3R2 e OSP1 são mais ruidosos, com o OS3R1 e OS3R2 sendo os de maior nível medido. Nesta faixa de frequência, o OS2R é o mais silencioso, seguido pelo OS3 e depois o OS2. É interessante notar o elevado número de valores fora da faixa de 1,5 vezes o intervalo interquartil para o OS2, OS2R e OS3, o que pode indicar a existência de algum processo intermitente nestas localidades como, por exemplo, a passagem de embarcações e a intensificação das correntes, os quais elevam os níveis de ruído para valores bem acima do ruído ambiente médio. Uma análise mais detalhada nos dados gravados mostrou a passagem de um número pequeno de embarcações por dia, mas com níveis elevados de ruído devidos, provavelmente, ao grande porte destas embarcações e à proximidade de sua passagem pelos OS.

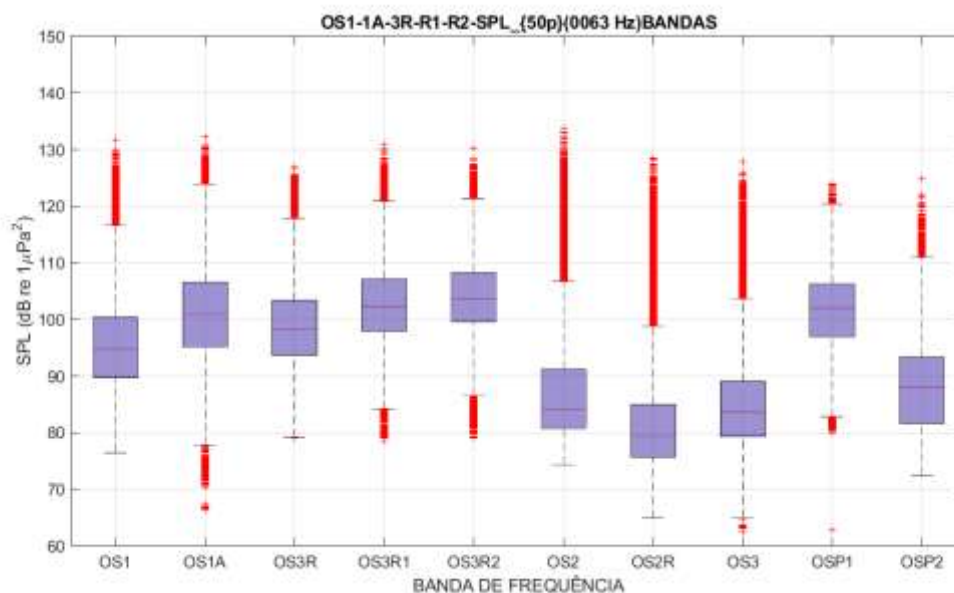


Figura III.2.1-6: Boxplots do SPL_{63Hz} , para as posições analisadas.

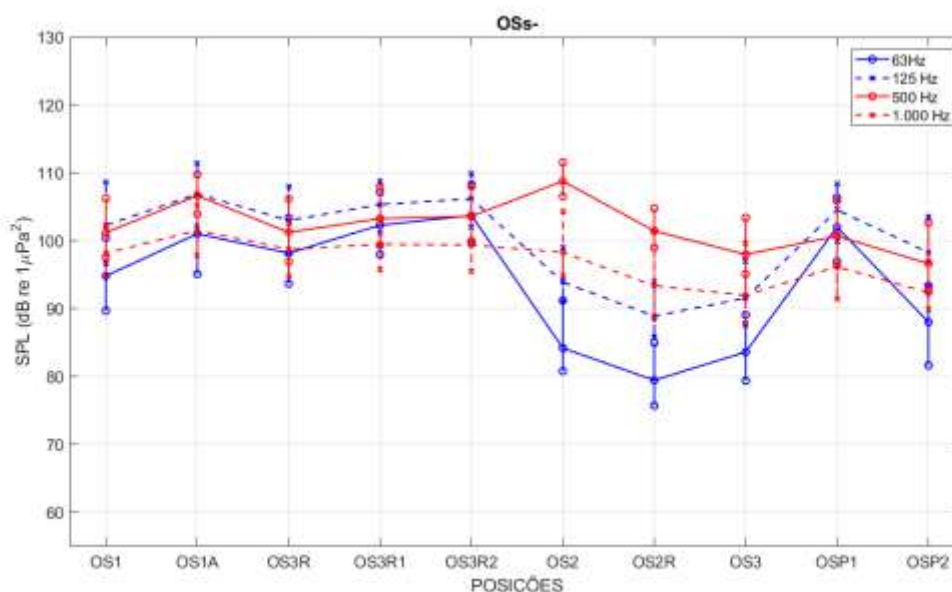


Figura III.2.1-7: Comparação entre os OS para todos os dados nos filtros de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz.

Para a banda centrada em 125 Hz (Figura III.2.1-7), os resultados são semelhantes aos obtidos para a banda de 63 Hz, com os maiores níveis sendo atingidos pelo OS1A, OS1, OS3R, OS3R1, OS3R2 e OSP1. Os menores níveis ocorreram no OS2R, seguidos pelo OS3 e, depois, o OS2.



Para a banda de frequência de 500 Hz (Figura III.2.1-7), os níveis de ruído nas diferentes localidades monitoradas mostram-se mais próximos. Os maiores níveis ocorrem no OS2, seguido do OS1A. Os menores níveis ocorrem no OSP2.

Na banda de frequência de 1.000 Hz (Figura III.2.1-7), os níveis são ainda mais próximos. Os maiores valores ocorrem no OS1A, seguido dos OS3R, OS3R1, OS3R2 e OS1. Os menores níveis ocorrem nos OS3 e OSP2. Os níveis do OS2 ficaram próximos aos níveis dos OS localizados na região da Baía de Guanabara.

Na Figura III.2.1-8 são mostrados *boxplots* do SEL_{24h} calculado para as oito posições analisadas, sem usar pesos na frequência (SEL_{24h}) e usando pesos para considerar a resposta auditiva de cetáceos de média frequência (SEL_{24h-MF}) e cetáceos de baixa frequência (SEL_{24h-LF}). A linha preta tracejada horizontal marca o valor do TTS para o grupo de baixa frequência.

Quando se usou toda a faixa de frequência, a maior mediana foi obtida para o OS1 e a menor para o OS2R.

Quando o espectro foi ponderado para considerar a resposta auditiva de cetáceos de média frequência, a maior mediana foi obtida para o OS1 e a menor para o OS2R.

Já para os dados com a resposta auditiva dos cetáceos de baixa frequência, a maior mediana foi obtida para o OS1A e a menor para o OSP1.

Nas três situações, os maiores níveis ficaram com o OS1, enquanto os menores ficaram com o OS2R (toda a faixa ou MF) ou com o OSP1 (LF).



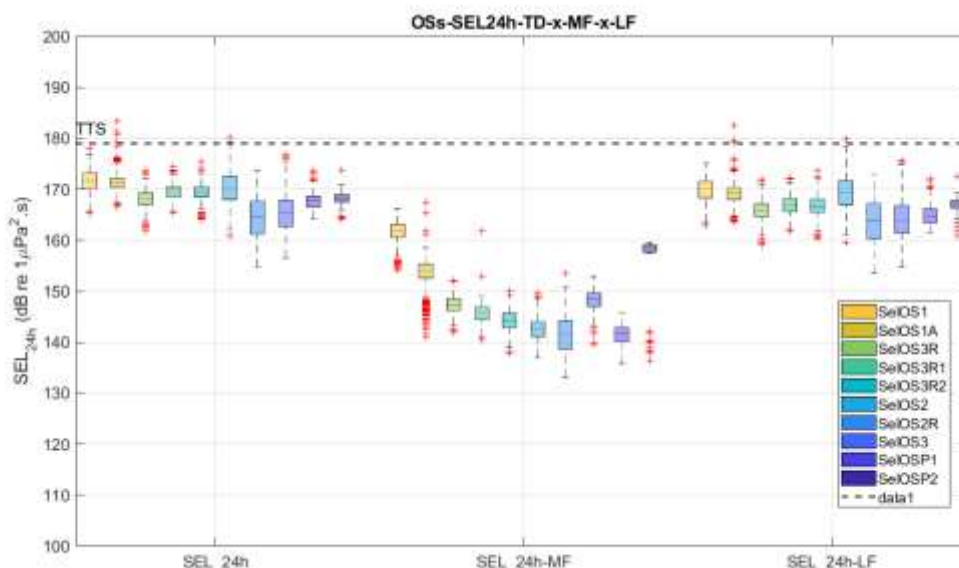


Figura III.2.1-8: Boxplots do SEL_{24h} , SEL_{24h-MF} e SEL_{24h-LF} , para as posições analisadas. A linha tracejada horizontal preta indica o limiar de TTS para o SEL_{24h} para o grupo de cetáceos LF. Para o grupo MF, o limiar é 1 dB abaixo.

Em todas as situações apresentadas, o SEL_{24h-MF} ficou abaixo do TTS e o SEL_{24h-LF} cruzou aquele limiar apenas para alguns pontos extremos nos OS1A e OS2, resultados, provavelmente, de uma elevação ocasional do ruído de fluxo de maré ou do aumento das atividades bióticas no local. No OS2, o percentil de 75% da distribuição ficou próximo do TTS, podendo ter como causa os maiores níveis de ruído observados nesta posição na faixa de frequência de 300 a 1.000 Hz, provocados, provavelmente, por fatores bióticos como coros de peixes e invertebrados.

III.2.1.1 OSP1 x OS3R x OS3R1 x OS3R2

O observatório submarino de plataforma (OSP), usado no segundo ciclo do PMPAS-BS, foi lançado inicialmente na região das Ilhas Cagarras, como mostrado na Figura III.2.1.1-1, sendo nomeado OSP1. A Figura III.2.1.1-2 mostra os níveis dos espectros de 1/3 de oitava medianos, comparando gravações feitas pelo OSP1 e pelos OS3R, OS3R1, OS3R2, que são os observatórios mais próximos do OSP1. A distância entre o OSP1 e os outros observatórios ficou entre 6,2 km, para o OS3R e 9,6 km, para o OS3R2. Os níveis do espectro para o OSP1 ficaram



mais próximos dos OS3R1 e OS3R2 e acima do OS3R em baixas frequências e menores do que para as outras posições acima de 1 kHz.

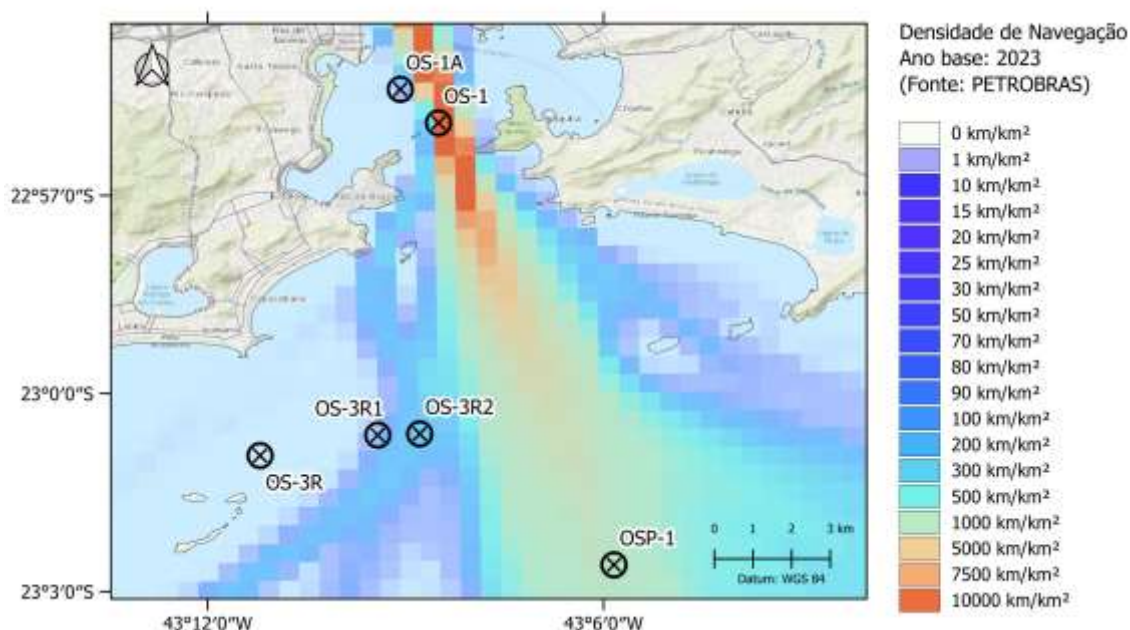


Figura III.2.1.1-1: Observatórios submarinos na região da Baía de Guanabara.

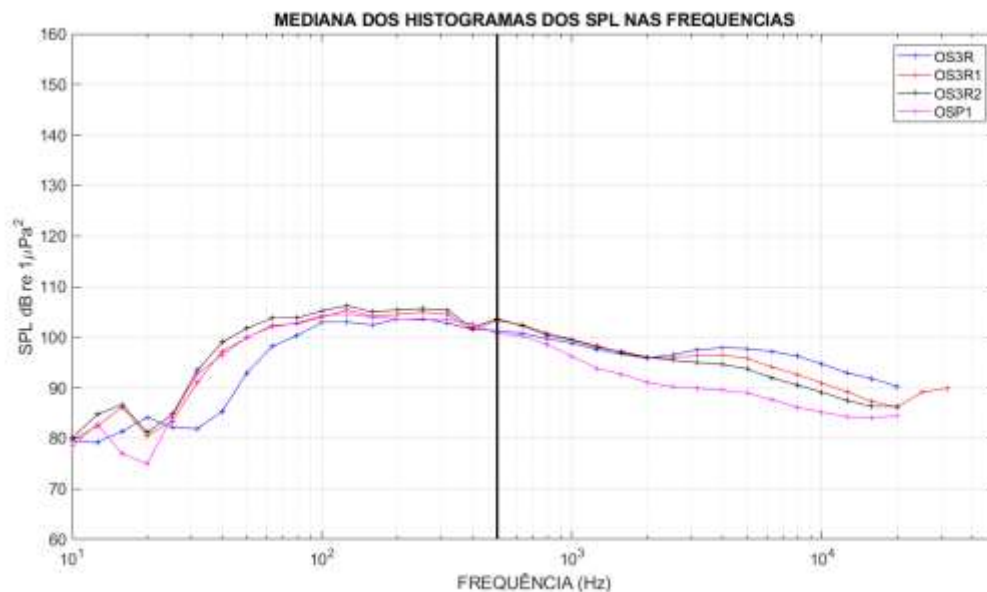


Figura III.2.1.1-2: Espectros de 1/3 de oitava medianos dos OS3R, OS3R1, OS3R2 e OSP1.

III.2.1.2 OSP2 x OS3

A segunda posição do observatório submarino de plataforma, OSP2, foi na entrada do Canal de São Sebastião, onde ele foi lançado depois de retirado da posição OSP1. Esta posição ficou cerca de 4,6 km mais a sudoeste da posição OS3, usada no primeiro ciclo do projeto, como mostrado na Figura III.2.1.2-1. Durante a primeira campanha nesta região, o observatório foi arrastado por uma rede de pesca, passando a gravar na posição OSP2-1 (23° 54' 19,476"S, 45° 27' 45.18" W, 13 m de profundidade, marca OSP2 mais à direita na figura), a cerca de 2 km de sua posição original.

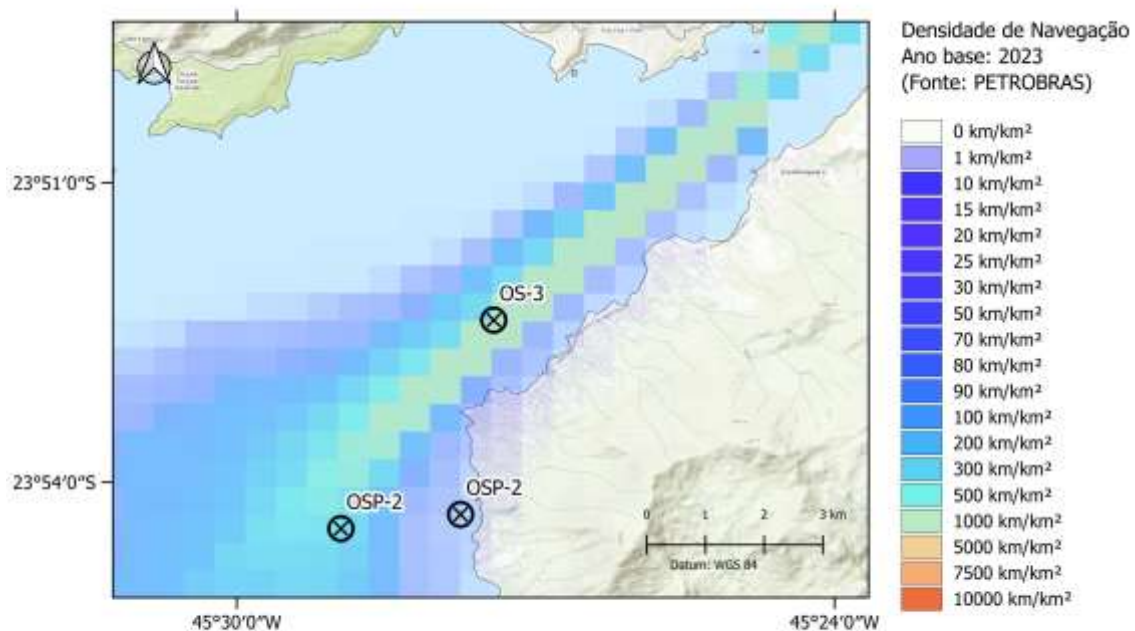


Figura III.2.1.2-1: Observatórios submarinos na região do canal de São Sebastião.

A Figura III.2.1.2-2 mostra os espectros de 1/3 de oitava medianos comparando os níveis de ruído nas três posições. Chama a atenção os diferentes níveis de ruído na faixa de alta frequência, acima de 2 kHz, que devem estar associados aos ruídos de invertebrados, sendo mais ruidoso no OSP2-1, mais próximo dos costões da Ilha Bela e mais silencioso no OSP2, mais afastado dos costões. Em baixas frequências, o OSP2 ficou mais ruidoso entre 20 Hz e 100 Hz, podendo ser devido ao fato dele estar mais perto das rotas de tráfego que passam ao largo da Ilha Bela, sem entrar no canal.



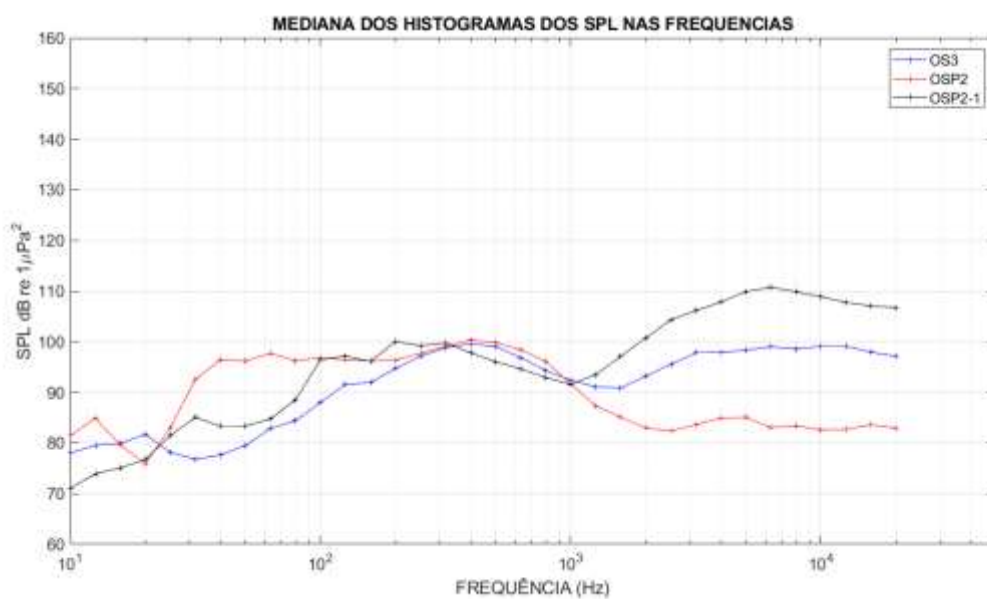


Figura III.2.1.2-2: Espectros de 1/3 de oitava medianos dos OS3, OSP2 e OSP2-1.



IV SISTEMA DE MODELAGEM ACÚSTICA SUBMARINA - SIMAS

O Sistema de Modelagem Acústica Submarina (SIMAS) é uma ferramenta para a previsão da paisagem acústica submarina, que tem como entrada os dados do sistema de identificação automática de navios (AIS), a assinatura acústica dos navios, os dados oceanográficos e os dados geofísicos. O sistema utiliza um modelo de propagação acústica baseado em modos normais para o desenvolvimento e implementação de um modelo computacional do ruído oceânico num domínio tridimensional para a Bacia de Santos. Este sistema é ajustado e validado continuamente a partir da comparação com dados acústicos obtidos em campo. Seu principal objetivo é auxiliar no acompanhamento do ruído na região e apoiar o gerenciamento das estratégias que visem ao controle deste ruído. Um bom funcionamento do modelo pode reduzir a necessidade de medições contínuas em longo prazo, além de permitir estimar os níveis de ruído em regiões onde seria pequena a viabilidade de obtenção de medições *in situ*.

A região oceânica modelada está compreendida entre as latitudes 20°S e 30°S, e longitude 39°W e a linha de costa sul-sudeste brasileira. Para a produção dos mapas de ruído são gerados mapas instantâneos, obtidos por meio da sobreposição do nível sonoro irradiado de múltiplas fontes sonoras e recebidos ao longo de uma grade regular. Este procedimento é repetido a cada janela de tempo de duas horas, produzindo uma série temporal de mapas de ruído.

Os produtos do SIMAS são mapas do ruído oceânico com resolução horizontal de 1/6° produzidos por fontes antrópicas (navios, plataformas etc.) e ambientais (ruído ambiente associado a ondas, ventos) nas bandas de 1/3 de oitava centradas nas frequências de 63 e 125 Hz, e nas profundidades de 50 m, 200 m e 1.000 m, com caracterização dos níveis de ruído médio por mês; nas estações do ano: verão (janeiro, fevereiro, março), outono (abril, maio, junho), inverno (julho, agosto, setembro) e primavera (outubro, novembro, dezembro); e anualmente. A resolução de 1/6° vem sendo adotada como referência para representação e análise espacial de resultados gerados pelos projetos ambientais



regionais desenvolvidos pela PETROBRAS na Bacia de Santos, para os quais se busca uma integração de produtos e resultados.

IV.1 VALIDAÇÃO COM DADOS MEDIDOS

A validação do modelo foi feita calculando-se a diferença entre os níveis obtidos pelo modelo (SPL_{MOD}) e aqueles calculados a partir dos dados observados (SPL_{OBS}) para as mesmas posições. A partir desta diferença (erro = $SPL_{MOD} - SPL_{OBS}$), foi calculada a tendência do modelo (*bias*), que é a média aritmética dos erros, e o erro médio quadrático (RMSE, do inglês *Root Mean Square Error*), que é a raiz quadrada da média dos erros ao quadrado. A tendência indica o quanto o modelo subestima (*bias* < 0) ou superestima (*bias* > 0) os dados medidos, e o RMSE quantifica a grandeza do erro do modelo, considerando de uma mesma maneira tanto erros positivos quanto negativos.

A validação do SIMAS foi feita usando dados medidos obtidos por *gliders* e perfiladores no período de 2016 a 2021. Uma forma de avaliar os dados modelados utilizando os dados medidos é compará-los ponto a ponto a partir das trajetórias dos equipamentos de medição na Bacia de Santos. Essa abordagem permite uma análise mais detalhada, pois é possível observar variações entre os dados medidos e modelados nas posições e nos instantes mais próximos das medições realizadas.

A Figura IV.1-1 mostra a comparação entre os dados modelados (pontos em vermelho) e os dados medidos (pontos em azul) de um trecho de medições com *glider* para as frequências de 63 Hz e 125 Hz, realizado no primeiro ciclo do PMPAS-BS entre 5 de julho de 2016 e 5 de maio de 2017. Já a Figura IV.1-2 mostra a comparação entre os dados modelados e os dados medidos entre 31 de dezembro de 2019 e 15 de abril de 2020. Para essas comparações, foram selecionados os dados modelados (janela de 2 horas, 50, 200 e 1.000 metros) correspondentes à posição e ao horário mais próximos dos dados medidos (todas as profundidades), acompanhando a trajetória feita pelo *glider* em cada período. Apesar das flutuações apresentadas nos dados medidos, foi obtida uma correlação de 0,47 para 63 Hz, com um *bias* de -5,5 dB e um RMSE de 5,3 dB e 0,65 para 125 Hz, *bias* de 4,6 dB e RMSE de 5,3 dB no trecho entre os dias 5 de



julho de 2016 e 5 de maio de 2017. Para o trecho entre os dias 31 de dezembro de 2019 e 15 de abril de 2020, a correlação entre os dados foi de 0,46 para 63 Hz, com *bias* de -4,5 dB e RMSE de 4,0 dB e 0,44 para 125 Hz, com *bias* de 3,5 dB e RMSE de 5,1 dB.

Observa-se nas figuras que os dados modelados acompanham as tendências dos dados medidos em ambas as frequências. Essa correspondência entre os dados modelados e medidos é indicativo que o modelo está capturando adequadamente os padrões de ruído observados na região. Além disso, a comparação ponto a ponto permite identificar com maior precisão as variações e flutuações entre os dados, o que pode ser útil para os ajustes e melhorias do modelo com o objetivo de obter resultados ainda mais próximos da realidade.

As causas destas diferenças podem estar associadas aos valores usados no modelo para o ruído ambiente na ausência de embarcações e para os níveis das fontes representando o ruído irradiado pelas embarcações listadas no AIS. O modelo sofre constantes correções e atualizações com vistas a melhorar sua precisão. Dentre os estudos que estão sendo realizados, destacam-se a inclusão de novas fontes de ruído, como as fontes usadas na prospecção sísmica; a estimação dos níveis de ruído ambiente na ausência de embarcações como função do estado do mar e velocidade do vento; e a estimação dos níveis do ruído irradiado por navios, em função da velocidade de deslocamento informada pelo AIS.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

8º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2024

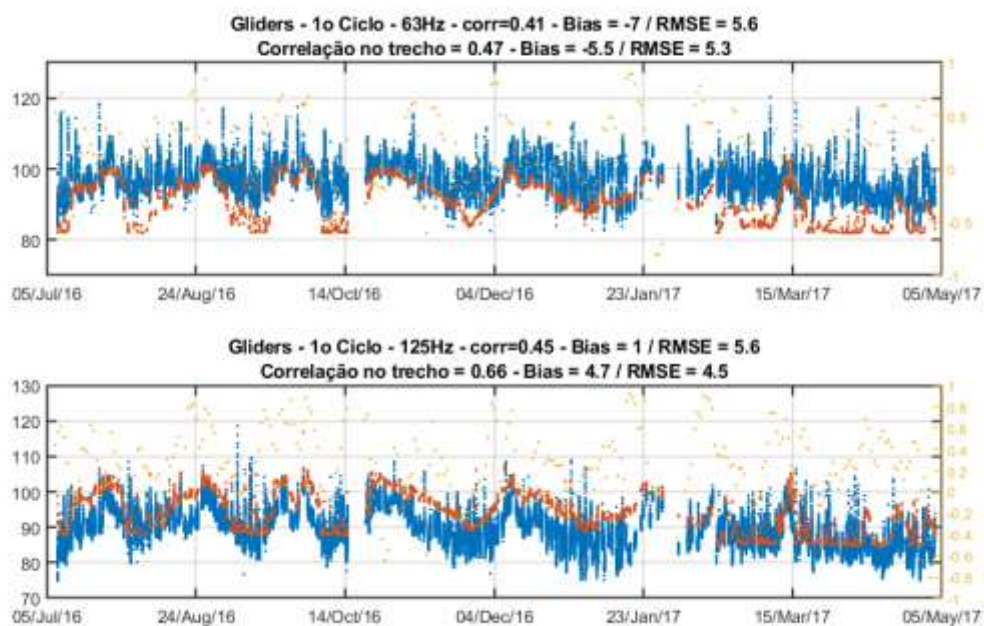


Figura IV.1-1: Comparação entre os dados modelados (em laranja, janelas de 2 horas, 50, 200 e 1.000 metros) e os dados medidos (em azul, todas as profundidades) na trajetória do glider entre os dias 5 de julho de 2016 e 5 de maio de 2017 para 63 Hz e 125 Hz.

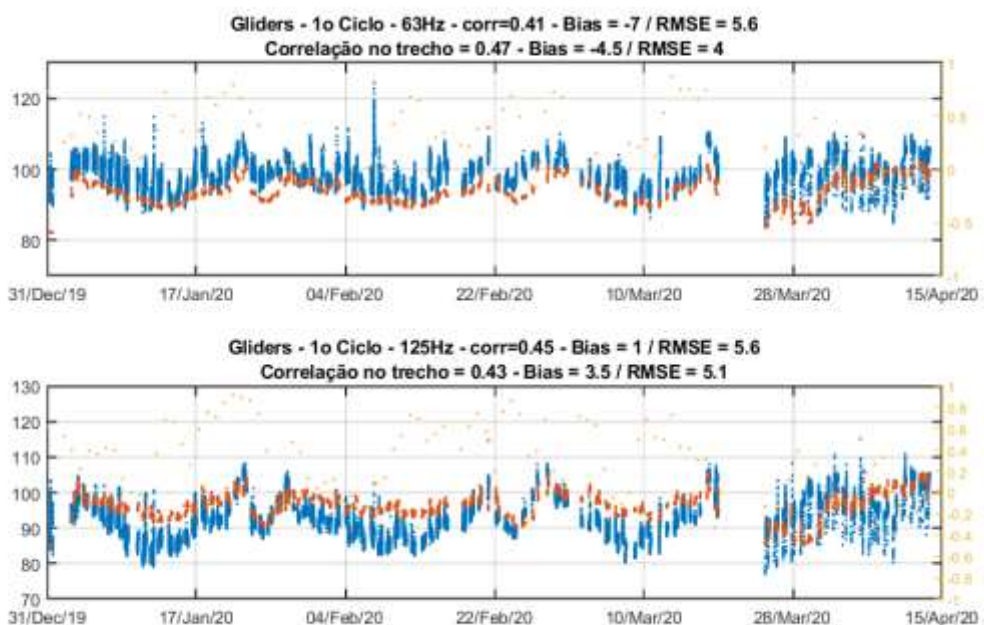


Figura IV.1-2: Comparação entre os dados modelados (em laranja, janelas de 2 horas, 50, 200 e 1.000 metros) e os dados medidos (em azul, todas as profundidades) na trajetória do glider entre os dias 31 de dezembro de 2019 e 15 de abril de 2020 para 63 Hz e 125 Hz.



IV.2 RESULTADOS OBTIDOS

Os dados modelados foram usados para caracterizar a paisagem acústica da região da Bacia de Santos, por meio de mapas e de estatísticas dos níveis do ruído ambiente modelado. São apresentados mapas modelados em diferentes situações e feitas comparações dos níveis de ruído nas regiões R1, R2, R3 e R4, descritas em II.1.2. A Figura IV.2-1 mostra os *boxplots* da densidade de registros AIS nas Regiões R1, R2, R3 e R4, para os anos de 2016 a 2023. Os dados utilizados como entrada no SIMAS e usados para a preparação desta figura foram fornecidos pelo Programa de Monitoramento do Tráfego de Embarcações da Bacia de Santos (PMTE-BS).

Observa-se que a região R1 apresenta maior densidade de fontes AIS seguida pela região R2, sendo as regiões R3 e R4 aquelas com as menores densidades. Observa-se também um crescimento do número de registros de AIS entre os anos de 2019 e 2023 que pode ser verificado nas demais regiões analisadas. Na região R1, houve uma gradual redução da densidade de navegação ao longo dos anos de 2016 a 2019. Nas demais regiões, as variações de densidade de tráfego são menos evidentes. Observa-se também um crescimento gradual do número de registros de AIS a partir de 2020 e que pode ser verificado nas quatro regiões monitoradas.

No SIMAS, os dados brutos de posicionamento são manipulados e processados de forma a atender as premissas estabelecidas na configuração do sistema, ao invés de utilizar os resultados processados pelo PMTE-BS. As tendências gerais das fontes de ruído antropogênico, no entanto, devem estar alinhadas com o indicado pelo monitoramento do tráfego de embarcações, tendo em vista que ambos utilizam a mesma fonte de informação.



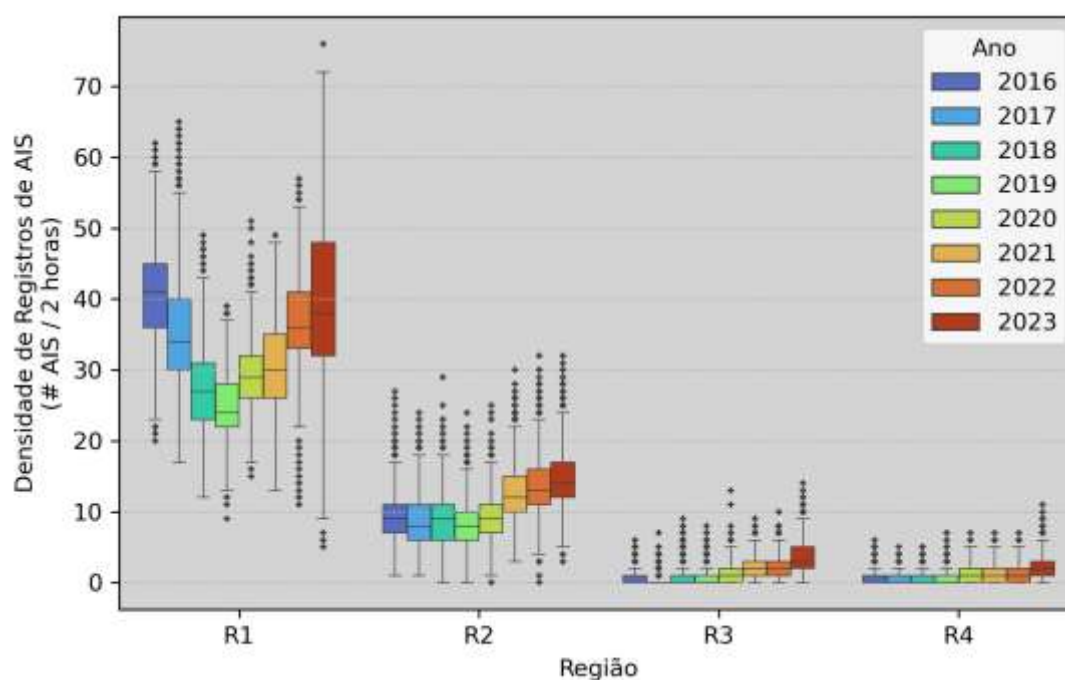


Figura IV.2-1: Variação anual do número de registros de AIS em janelas de 2 horas, para as regiões R1, R2, R3 e R4 nos anos de 2016 a 2023. (Fonte: Banco de dados de AIS da PETROBRAS).

IV.2.1 Ruído Médio e Desvio Padrão

Os mapas modelados foram usados para a visualização dos níveis de ruído médio ocorrido entre 2016 e 2023. A Figura IV.2.1-1 mostra a média do ruído para este período, na frequência de 63 Hz, no gráfico de cima, e para 125 Hz, embaixo, ambos na profundidade de 50 m. Estes mapas mostram a região R1 como sendo a área mais ruidosa, resultado este já esperado uma vez que a região R1 concentra boa parte das atividades produtivas na Bacia de Santos. Em seguida vem a região costeira, indo da região de São Sebastião até acima da região de Cabo Frio.

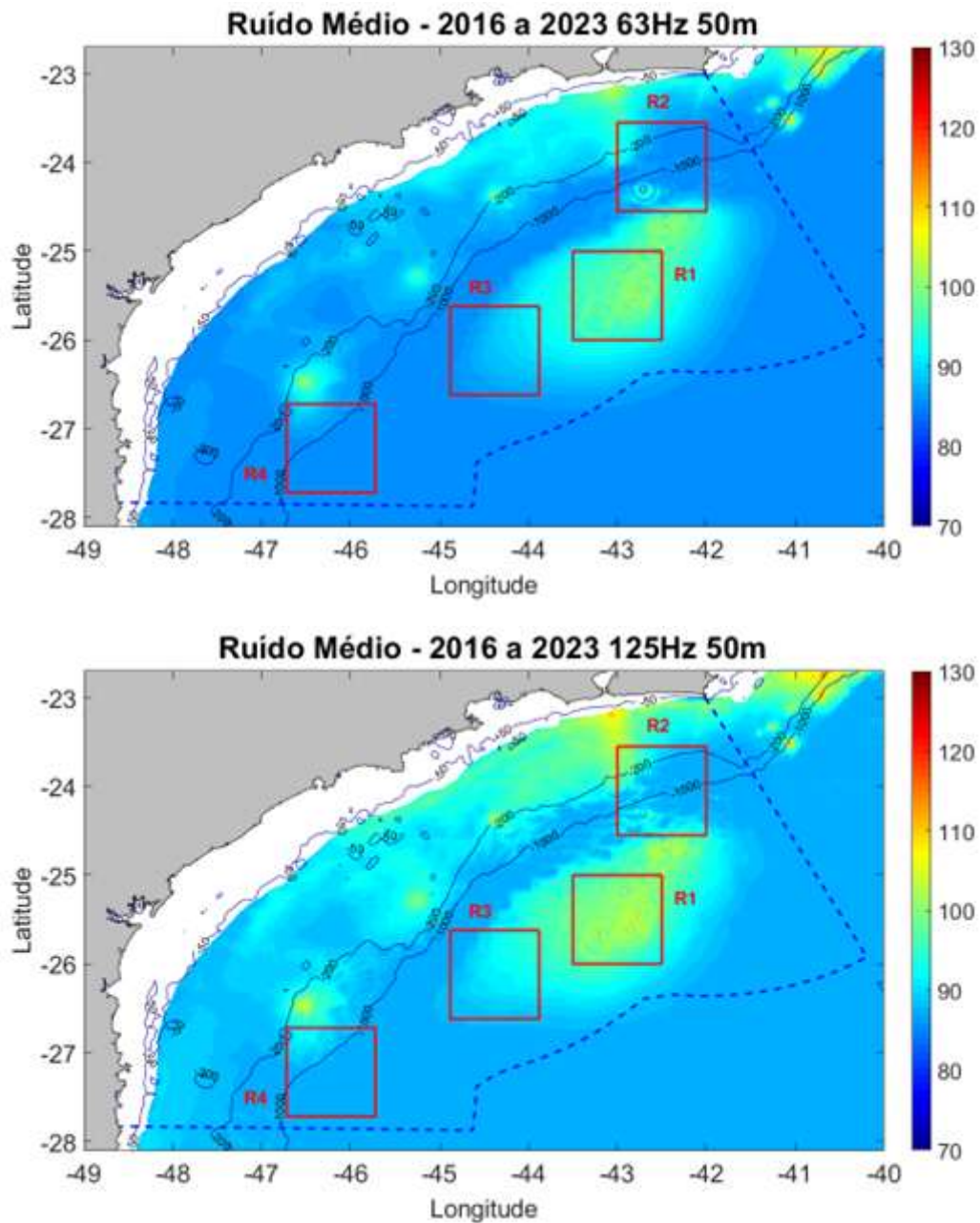


Figura IV.2.1-1: Mapas do valor médio do SPL de 2016 a 2023 para a frequência de 63 Hz, no gráfico de cima, e de 125 Hz, no gráfico de baixo, ambos na profundidade de 50 m.

Junto dos mapas dos níveis de ruído médio, também foram calculados os de desvio padrão no mesmo período, mostrados na Figura IV.2.1-2 para a frequência de 63 Hz, no gráfico de cima, e para 125 Hz, no gráfico de baixo, ambos na profundidade de 50 m. As maiores variações nos níveis ocorreram mais próximo à costa, já na plataforma continental, provocadas, possivelmente, pela variação de tráfego nesta região.



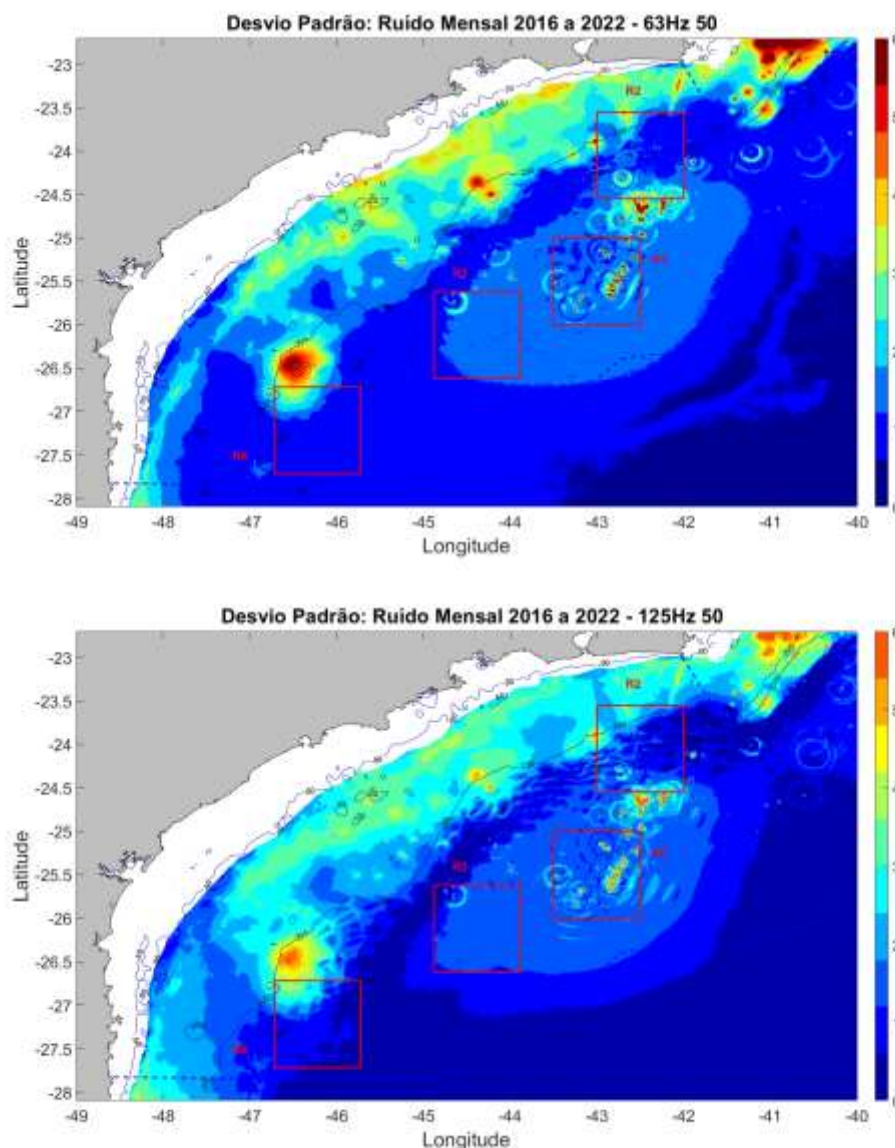


Figura IV.2.1-2: Mapas do desvio padrão do SPL de 2016 a 2023 para a frequência de 63 Hz, no gráfico de cima, e de 125 Hz, no gráfico de baixo, ambos na profundidade de 50 m.

IV.2.2 Sazonalidade

No período de 2016 – 2023 foram avaliados se os efeitos da sazonalidade são significativos para as frequências de 63 Hz e 125 Hz. Os resultados modelados na profundidade de 50 m foram agrupados em quatro categorias de acordo com o período (estações) do ano, resultando em mapas para o verão (janeiro a março), outono (abril a junho), inverno (julho a setembro) e primavera (outubro a dezembro).



A Figura IV.2.2-1 mostra mapas gerados pelo SIMAS para a frequência de 63 Hz na profundidade de 50 m, referentes à média do ruído de cada uma das estações do ano (verão, outono, inverno e primavera) durante os anos 2016 a 2023. A Figura IV.2.2-2 mostra os mapas equivalentes para a frequência de 125 Hz.

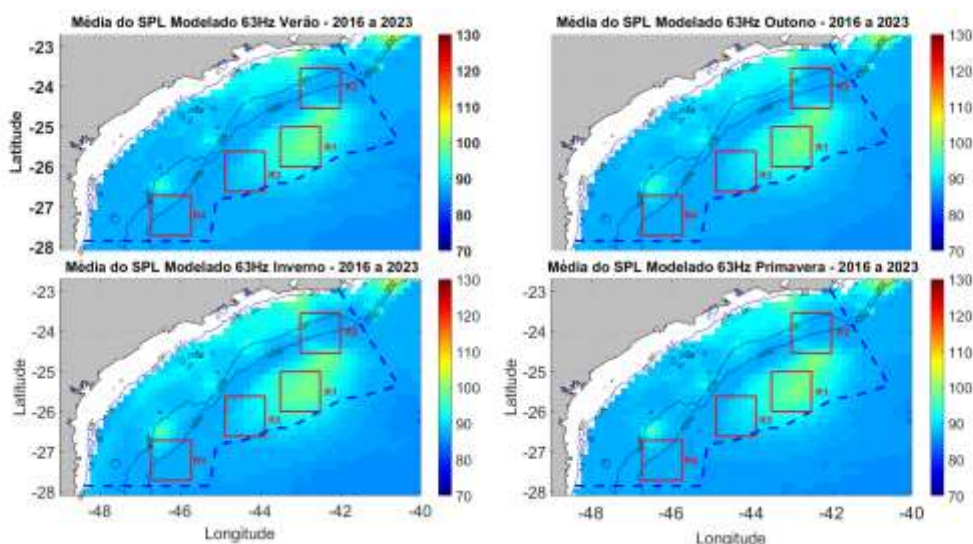


Figura IV.2.2-1: Mapa do SPL médio (dB re $1\mu Pa^2$) de cada uma das estações do ano (verão, outono, inverno e primavera) durante os anos 2016 a 2023 para a frequência de 63 Hz, na profundidade de 50 m.

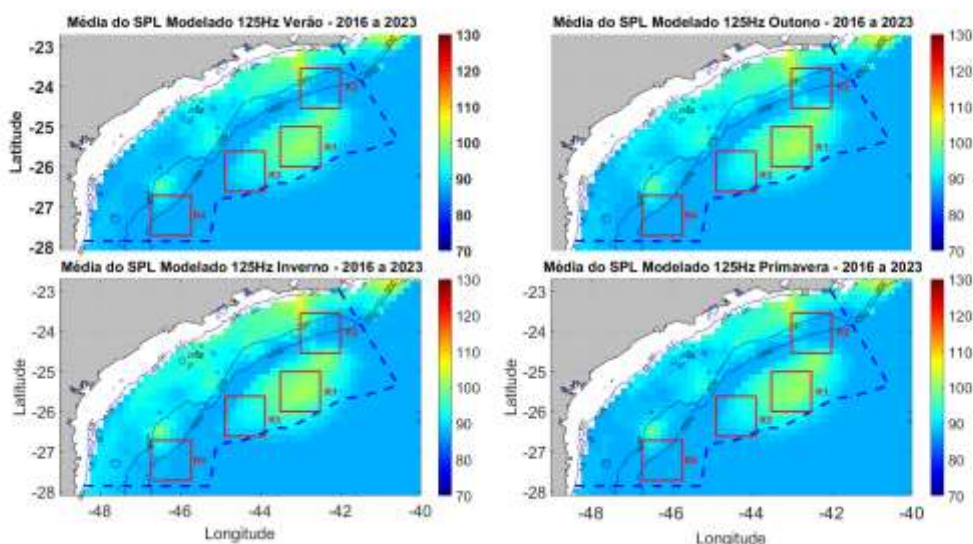


Figura IV.2.2-2: Mapa do SPL médio (dB re $1\mu Pa$) de cada uma das estações do ano (verão, outono, inverno e primavera) durante os anos 2016 a 2023 para a frequência de 125 Hz, na profundidade de 50 m.



Nos mapas, tanto para a frequência de 63 Hz quanto para 125 Hz não se constata uma evidente sazonalidade na região R1, mais ruidosa, no centro da bacia, caracterizada pela atividade de E&P e navegação. No entanto, observa-se um aumento do nível de ruído no inverno, próximo ao litoral. Variações sazonais mais claras seriam esperadas para bandas de frequência mais influenciadas por forçantes ambientais, como as bandas de 500 e 1.000 Hz. Deve-se lembrar, no entanto, que o modelo atual ainda não usa informações sobre onda e vento para a estimativa do ruído ambiente, de forma que variações associadas às forçantes ambientais não devem aparecer.

Para as frequências 63 Hz e 125 Hz foi examinada a evolução temporal do ruído ocorrida no período de 2016 a 2023, para as quatro regiões, R1 a R4. As Figuras IV.2.2-3 e IV.2.2-4 mostram as medianas do ruído modelado na profundidade de 50 m para cada estação do ano no período de 2016 a 2023 nas regiões R1, R2, R3 e R4, nas frequências de 63 Hz e 125 Hz, respectivamente. Nota-se uma redução nos níveis de ruído de 2016 até 2019, seguido de uma estabilização nos níveis até 2023. Os resultados também apontam no sentido da inexistência de variações sazonais muito claras dentro das regiões selecionadas.

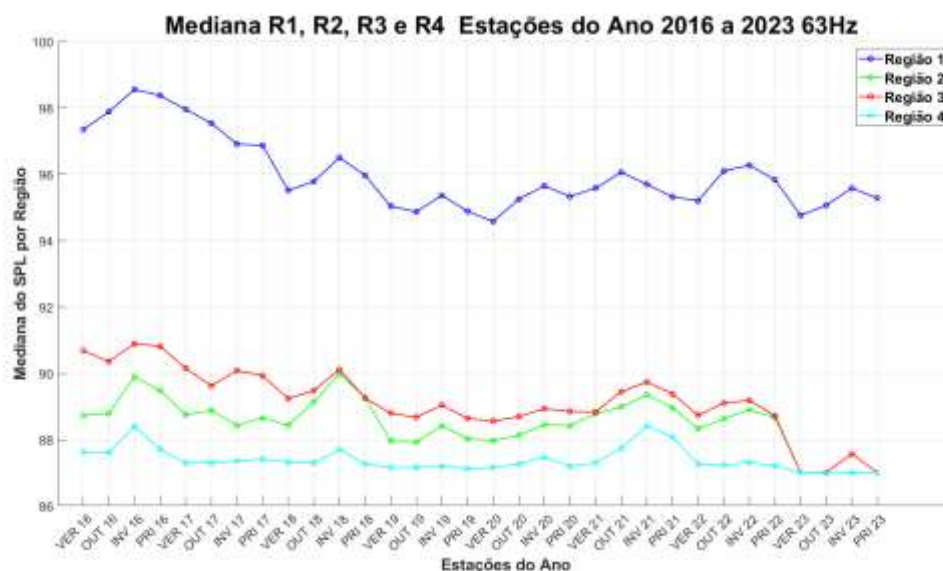


Figura IV.2.2-3: Distribuição do ruído modelado nas estações do ano, para os anos de 2016 a 2023, nas regiões R1, R2, R3 e R4, para a frequência de 63 Hz.



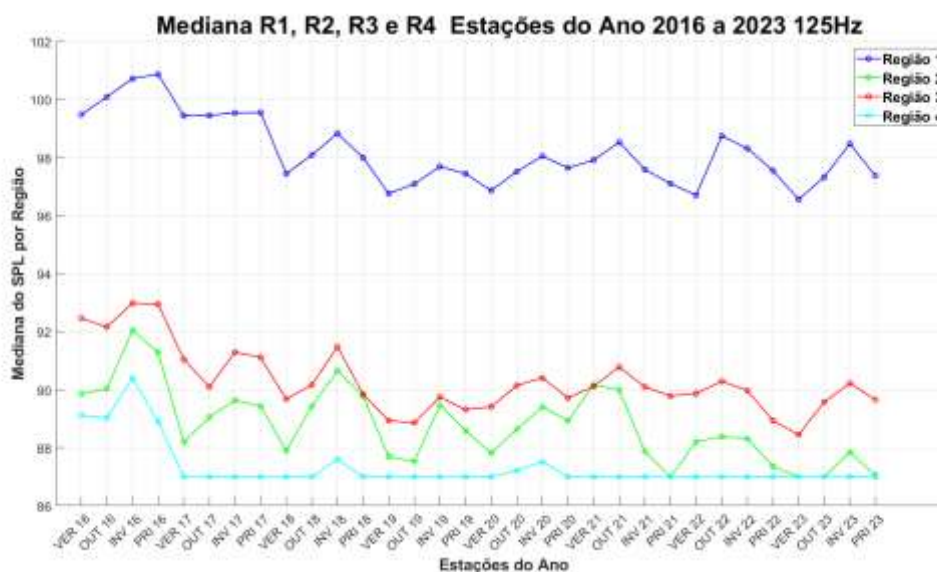


Figura IV.2.2-4: Distribuição do ruído modelado nas estações do ano, para os anos de 2016 a 2023, nas regiões R1, R2, R3 e R4, para a frequência de 125 Hz.

IV.2.3 Diferenças Espaço-Temporais

Os mapas modelados foram usados, também, para mostrar diferenças ocorridas entre duas datas específicas. As Figuras IV.2.3-1 e IV.2.3-2: mostram os mapas referentes às diferenças dos valores médios anuais do SPL entre os anos de 2023 e o ano de 2022 na profundidade de 50 m para as frequências de 63 Hz e 125 Hz, respectivamente.

Na frequência de 63 Hz, nota-se uma redução nos níveis de boa parte da Bacia de Santos, com algumas pequenas regiões com aumentos (-2,26 dB +/- 0,79 dB). Para a frequência de 125 Hz a tendência é parecida (-0.52 dB +/- 0.97 dB).



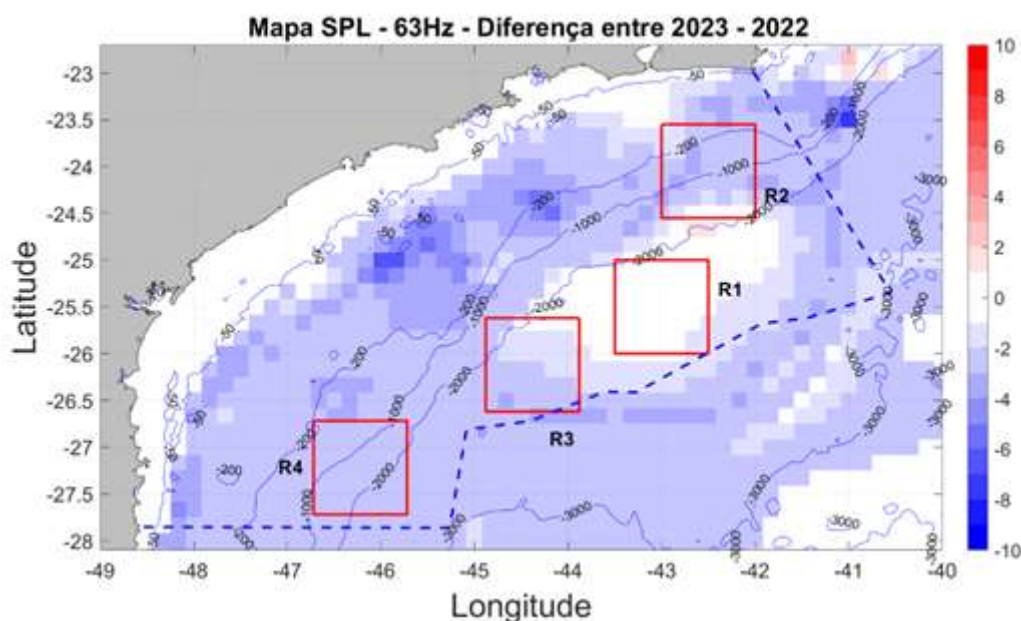


Figura IV.2.3-1: Diferenças dos valores médios do SPL entre os anos de 2023 e o ano de 2022 para a frequência de 63 Hz na profundidade de 50 m.

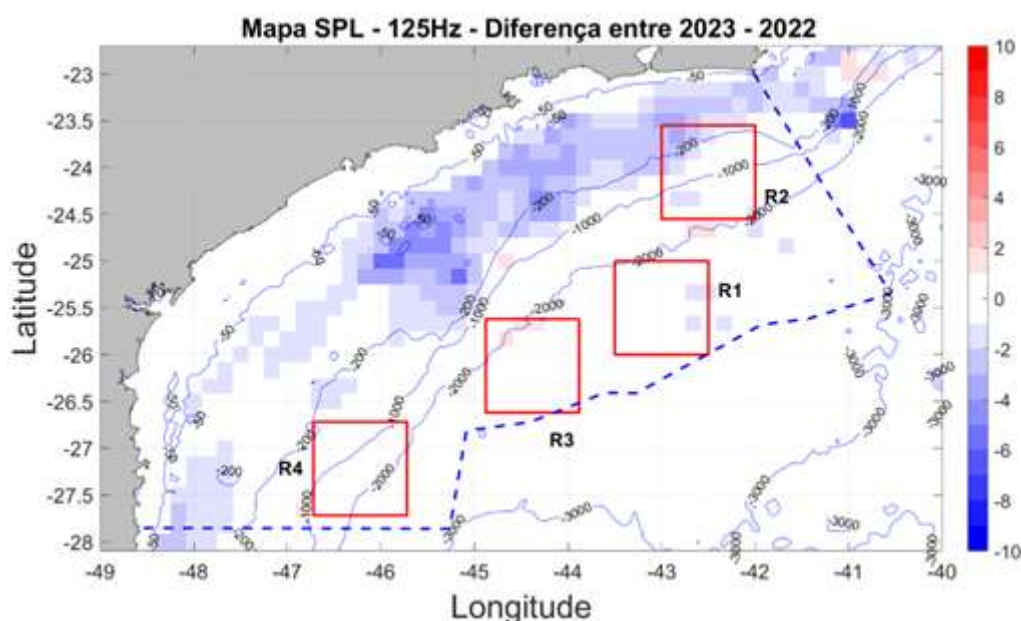


Figura IV.2.3-2: Diferenças dos valores médios do SPL entre os anos de 2023 e o ano de 2022 para a frequência de 125 Hz na profundidade de 50 m.

IV.2.4 Categorização do Ruído Modelado

Uma forma de melhorar a identificação de regiões com níveis de ruído semelhantes é apresentando os níveis por categorias ou classes, ou seja,

reduzindo o número de níveis de ruído apresentado. Esta abordagem proporciona uma compreensão mais objetiva da distribuição espacial e temporal do ruído sendo possível representar de forma mais direta as características de ruído em cada região através de diferentes categorias. A Tabela IV.2.4-1 mostra as faixas de níveis de ruído incluídas em cada classe. A Classe 1 abrange valores de SPL acima de 85 dB e até 92 dB. Essa classe é considerada próxima ao ruído ambiente submarino utilizado na modelagem e, além disso, corresponde a uma estimativa média do ruído medido na região. A Classe 1 corresponde a situações em que o nível de ruído é relativamente baixo, comparado às demais áreas e geralmente está associado a regiões com menor densidade de fontes. A Classe 2 engloba valores de SPL acima de 92 dB e até 98 dB. Nessa classe, o nível de ruído submarino pode ser considerado como moderado e pode estar associado a áreas com atividade sonora um pouco mais intensa, como regiões com maior densidade de tráfego de embarcações. Já a Classe 3 (SPL acima de 98 dB e até 104 dB), Classe 4 (SPL acima de 104 dB e até 110) e a Classe 5 referem-se a valores de SPL mais elevados, no entanto com cobertura espacial menor em relação às demais áreas.

Tabela IV.2.4-1: Classes de Ruído

Classe	SPL (dB re. 1μ Pa)
Classe 1	85 < SPL \leq 92
Classe 2	92 < SPL \leq 98
Classe 3	98 < SPL \leq 104
Classe 4	104 < SPL \leq 110
Classe 5	SPL > 110

As Figuras IV.2.4-1 e IV.2.4-2 mostram os mapas de ruído com a distribuição dessas classes. Os mapas correspondem à média do ruído mensal entre os anos de 2016 e 2023, para a profundidade de 50 m. A faixa branca próximo à costa corresponde a regiões com profundidade local menor que 50 m e, portanto, não são modeladas nestes mapas.

Observa-se nos mapas para as duas frequências que apenas alguns trechos modelados têm níveis correspondentes a classes diferentes da Classe 1.



A Classe 2 ocorre mais frequentemente em regiões costeiras e no entorno de polos de produção. As Classes 3, 4 e 5, com valores de SPL mais elevados, têm cobertura espacial menor em relação às demais classes e ocorre em alguns trechos de regiões costeiras e no centro dos polos de produção.

As Tabelas IV.2.4-2 e IV.2.4-3 mostram o percentual das coberturas de cada classe a cada ano, de 2016 a 2023, além do valor médio para todos os dados de 2016 a 2023, para as frequências de 63 Hz e 125 Hz, respectivamente, oferecendo uma visão sobre a distribuição das diferentes classes de ruído ao longo do tempo. Ao analisar a tabela de categorização do ruído para a frequência de 63 Hz, observa-se que a Classe 1, que representa o nível mais baixo de ruído, apresenta uma média de 90,61% da cobertura espacial ao longo dos anos. Isso indica que, em média, a maior parte dos dados modelados se enquadram nessa classe de ruído. Já a Classe 5, que representa o nível mais alto de ruído, apresenta uma média de apenas 0,12% do total da cobertura espacial.

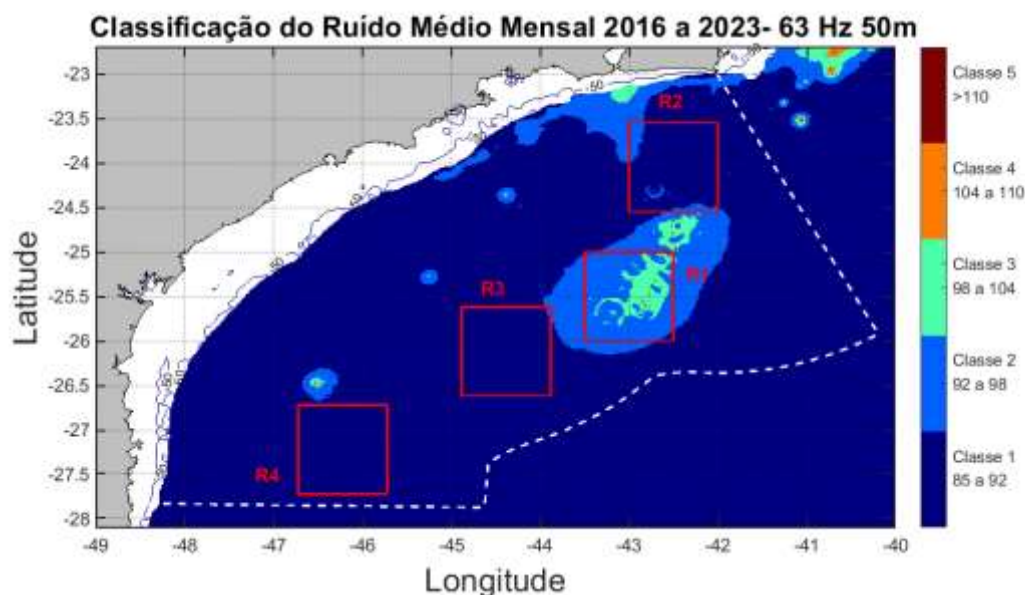


Figura IV.2.4-1: Mapa de categorização de ruídos para a frequência de 63 Hz na profundidade de 50 m.

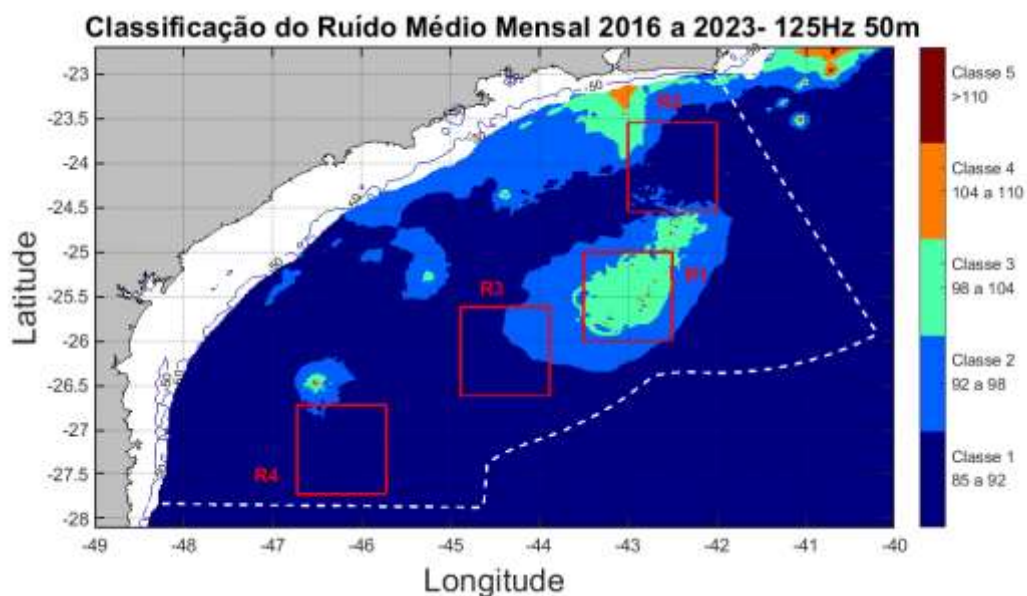


Figura IV.2.4-2: Mapa de categorização de ruídos para a frequência de 125 Hz na profundidade de 50 m.

Ao comparar as proporções entre os anos, pode-se observar variações nas categorias do ruído. Em 2016, a Classe 1 teve a proporção de 89,35%, enquanto em 2018 esse valor subiu para 93,15%, indicando um aumento de área para esse nível de ruído. No entanto, em 2019, houve uma queda para 88,05% em relação a 2018.

Tabela IV.2.4-2: Cobertura espacial por classe de ruído na frequência de 63 Hz.

Ano	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5
2016	89,35%	8,21%	1,95%	0,33%	0,16%
2017	90,06%	7,67%	1,79%	0,36%	0,11%
2018	93,15%	5,30%	1,24%	0,24%	0,07%
2019	88,05%	9,21%	2,20%	0,35%	0,19%
2020	88,08%	9,15%	2,14%	0,47%	0,15%
2021	92,93%	5,53%	1,21%	0,26%	0,07%
2022	92,15%	6,13%	1,43%	0,21%	0,08%
2023	91,11%	6,81%	1,72%	0,25%	0,10%
Média	90,61%	7,25%	1,71%	0,31%	0,12%

Para a frequência de 125 Hz, a análise é semelhante. A Classe 1 apresenta uma média de 82,89% ao longo dos anos, enquanto a Classe 5 tem uma média



de 0,20%. Observa-se, também, algumas variações entre os anos. Por exemplo, em 2016, a Classe 1 representou 79,63% das medições, enquanto em 2018 esse valor subiu para 84,75%. No entanto, em 2019, houve uma queda para 77,07%.

Tabela IV.2.4-3: Cobertura espacial por classe de ruído na frequência de 125 Hz.

Ano	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5
2016	79,63%	13,66%	5,48%	0,94%	0,29%
2017	83,54%	10,94%	4,50%	0,83%	0,19%
2018	84,75%	11,02%	3,56%	0,52%	0,15%
2019	77,07%	14,68%	6,57%	1,28%	0,41%
2020	83,28%	11,48%	4,34%	0,74%	0,15%
2021	83,92%	11,92%	3,53%	0,50%	0,13%
2022	83,41%	11,70%	4,42%	0,78%	0,17%
2023	87,55%	9,12%	2,82%	0,37%	0,14%
Média	82,89%	11,82%	4,40%	0,75%	0,20%

Comparando as duas frequências, verifica-se que as porcentagens na Classe 1 são mais altas para 63 Hz em comparação com 125 Hz. Contudo, o padrão geral é o mesmo.

A categorização do ruído estabelece um método padronizado de avaliação e comparação, o que facilita a compreensão e interpretação dos níveis de ruído. Essa classificação permite identificar padrões e tendências ao longo do tempo, ajudando a compreender a dinâmica da paisagem acústica e a identificar regiões caracterizadas por diferentes níveis de ruído.

IV.3 AVALIAÇÃO SOBRE OS RESULTADOS DA MODELAGEM

A utilização da modelagem e o conjunto de resultados produzidos pelo SIMAS no âmbito do PMPAS-BS no período de 2016 a 2023 contribuíram para os estudos da variabilidade espacial e temporal do ruído hidroacústico na Bacia de Santos. Os mapas gerados permitiram ter uma visão abrangente do ruído e sua evolução durante os anos.



Durante o processo de desenvolvimento, implementação, simulação, ajuste e análise dos resultados obtidos pelo SIMAS, o sistema se mostrou uma boa ferramenta para a caracterização do ruído acústico antropogênico na Bacia de Santos, nas frequências de 63 Hz e 125 Hz. A medição do erro do modelo mostrou uma tendência média (*bias*) que começou em torno de 5 dB, subestimando os dados observados em ambas as frequências (LIMA *et al.*, 2020), mas que foram reduzidas para perto de 4 dB para a frequência de 63 Hz e para cerca de 0,2 dB, para 125 Hz. O RMSE em 63 Hz ficou em 5,4 dB e em 125 Hz, em 3,8 dB. Estes valores mostram que ainda há ajustes a serem feitos no modelo e nos parâmetros de entrada do sistema, mas os resultados obtidos já são adequados para o acompanhamento da evolução dos ruídos. Outros modelos também apresentam erros desta ordem de grandeza, como pode ser visto, por exemplo, em Farcas *et al.* (2020), onde o erro médio (RMSE) na frequência de 63 Hz foi de 5,3 dB, demonstrando que o desempenho do SIMAS já se encontra em um nível de maturidade compatível com outras iniciativas de modelagem em âmbito internacional.

O SIMAS, como está configurado atualmente, é útil na identificação das regiões com maiores e menores níveis de ruído, servindo para auxiliar no gerenciamento destes ruídos ao permitir sua estimativa em regiões onde não foram feitas medições e mesmo ao possibilitar o estudo de cenários diferentes do real, como ao simular um maior ou menor número de embarcações em uma dada região.

Como parte da evolução do SIMAS, foram definidos procedimentos para a medição dos erros do modelo, baseando-se na comparação dos dados modelados com medições realizadas em campo e apresentação destas diferenças por meio de indicadores estatísticos adequados (LIMA *et al.*, 2020). A estratégia adotada para a redução dos erros observados no modelo passa pela utilização de diferentes conjuntos de parâmetros de entrada, como os dados de ventos de modelos atmosféricos globais, citados anteriormente, e outras formas de definição dos níveis de ruído irradiado pelas embarcações. A inclusão de outras fontes de ruído antropogênico, além das embarcações registradas pelo AIS, também pode ajudar a reduzir as diferenças ainda existentes entre dados medidos e modelados.



V ESTUDO DE DECAIMENTO SONORO DE FONTES SÍSMICAS IN SITU NOS CAMPOS DE TUPI, ITAPU, ARAM E IARA

A avaliação do decaimento sonoro, incluída no escopo do 2º ciclo do PMPAS-BS para atender ao Projeto de Verificação do Decaimento Sonoro *in situ*, corresponde à condicionante específica 2.5 da Licença Prévia (LP) nº 654/2021 (Processo IBAMA 02001.012428/2019-39), que autoriza a Pesquisa Sísmica Marítima 4D Nodes e PRM na Bacia de Santos – Cluster. A Tabela V-1 apresenta informações sobre as sísmicas realizadas em Tupi-Iracema, Itapu, Aram e Iara, apresentadas neste relatório.

Tabela V-1: Informações sobre as sísmicas em Tupi-Iracema, Itapu, Aram e Iara, indicando o tempo do primeiro e último disparos de produção.

Campo	1º disparo	Último disparo	Licença
Tupi-Iracema	19/12/2021	18/04/2023	LPS 152/2021
Itapu	28/10/2022	18/01/2023	LPS 149/2022
Aram	10/03/2023	08/07/2023	LPS 153/2022
Iara	23/05/2023	30/11/2023	LPS 156/2023

Este capítulo analisa os resultados obtidos do processamento das gravações das doze primeiras campanhas de monitoramento realizadas por *gliders* de monitoramento específico, com acompanhamento das sísmicas em Tupi-Iracema, Itapu, Aram e Iara. As campanhas de monitoramento específico apresentadas começaram em 18/06/2022, com a campanha ME_C01 acompanhando a sísmica em Tupi-Iracema e terminaram em 01/08/2023, com a campanha ME_C12, acompanhando a sísmica em Iara. A Tabela V-2 mostra as datas de início e término das campanhas dos *gliders* e indica a sísmica acompanhada.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

8º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2024

Tabela V-2: Informações sobre as campanhas dos gliders de monitoramento específico.

Campanha	Início	Término	Sísmica acompanhada
ME_C01	18/06/2022	21/07/2022	Tupi-Iracema
ME_C02	27/07/2022	04/09/2022	Tupi-Iracema
ME_C03	05/09/2022	08/10/2022	Tupi-Iracema
ME_C04	10/10/2022	09/11/2022	Tupi-Iracema
ME_C05	16/11/2022	10/12/2022	Tupi-Iracema
ME_C06	12/12/2022	11/01/2023	Itapu
ME_C07	18/01/2023	16/02/2023	Itapu
ME_C08	18/02/2023	25/03/2023	Aram
ME_C09	27/03/2023	27/04/2023	Tupi
ME_C10	29/04/2023	21/05/2023	Iara
ME_C11	21/05/2023	20/06/2023	Iara
ME_C12	20/06/2023	01/08/2023	Iara

Os objetivos propostos para o Estudo do Decaimento Sonoro Vertical utilizando dados gravados pelo *glider* são listados a seguir:

- Mapeamento dos níveis de pressão acústica em função da profundidade e em função da distância entre a fonte sonora de sísmica e o receptor;
- Mapeamento dos níveis do ruído ambiente em um plano vertical selecionado (distância x profundidade) para todas as fontes presentes no meio.

A análise apresentada concentrou-se na avaliação dos decaimentos sonoros vertical e horizontal do sinal produzido pela fonte sísmica a partir de dados medidos *in situ*, por *gliders*.

Neste sentido, este estudo buscou responder as seguintes questões:

- Como os níveis sonoros irradiados variam na direção vertical, ou seja, em profundidade?
- Como os níveis sonoros irradiados variam em função da distância da fonte?
- Como os níveis recebidos se comparam na presença e ausência dos disparos da fonte sísmica?



- Como os níveis sonoros estimados durante a atividade se comparam ao ruído ambiente na Bacia de Santos?

Adicionalmente, tem-se a expectativa de que o esforço amostral e as análises ora realizadas sejam capazes de subsidiar uma melhor compreensão do impacto sonoro das aquisições sísmicas e apontar formas de melhor aproveitamento dos dados medidos durante as campanhas de monitoramento acústico com o uso de *gliders*.

V.1 METODOLOGIA UTILIZADA PARA AVALIAÇÃO DO DECAIMENTO

V.1.1 Medição de Dados Acústicos

A Figura V.1.1-1 ilustra os disparos sísmicos realizados na Bacia de Santos e a rota dos *gliders* durante as doze campanhas analisadas entre 18/06/2022 e 01/08/2023. Além das sísmicas em Tupi-Iracema (área em azul escuro), Itapu (amarelo), Aram (verde) e Iara (ciano), realizadas pela PETROBRAS, ocorreram, também, no mesmo período, campanhas sísmicas das empresas CGG do Brasil Participações Ltda (laranja) e PGS - *Petroleum Geo-Services* (roxo).

A Figura V.1.1-2 mostra as linhas do tempo das doze campanhas de gravação acústica dos *gliders* de monitoramento específico e das posições dos disparos sísmicos realizados nas campanhas que tiveram alguma sobreposição com as gravações acústicas.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

8º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2024

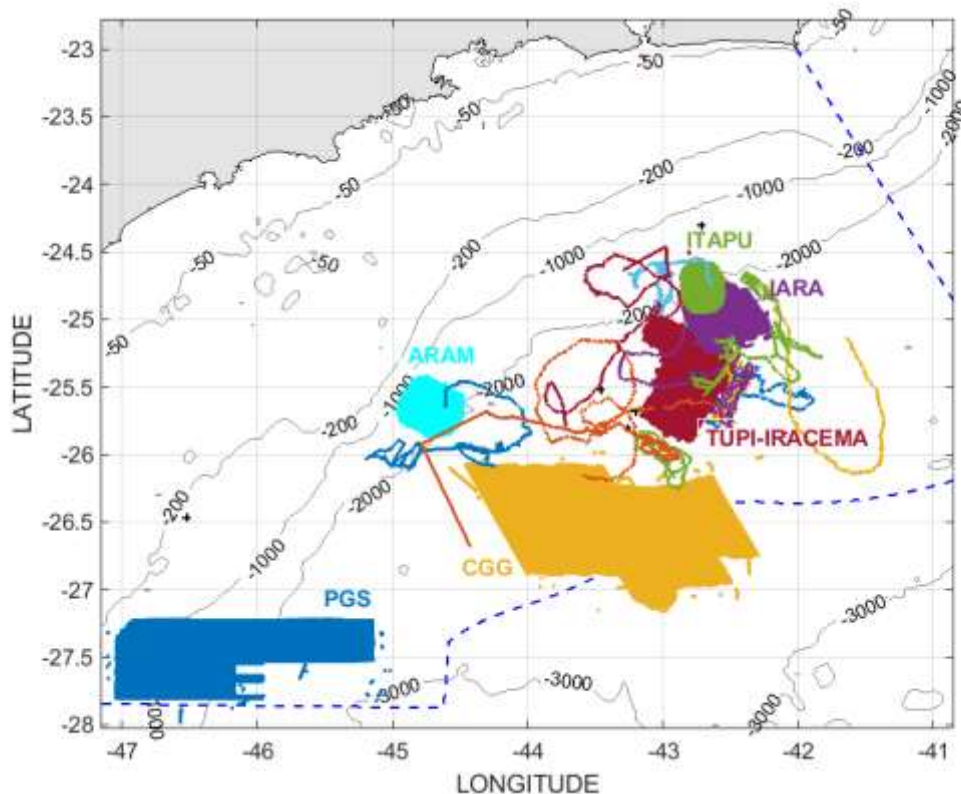


Figura V.1.1-1: Mapa ilustrando as trajetórias do glider de monitoramento específico durante as campanhas C01 a C12 (linhas) e a localização dos disparos de campanhas realizadas pela PETROBRAS (Tupi-Iracema, Itapu, Aram, Iara) e de outras campanhas sísmicas de terceiros (CGG e PGS).

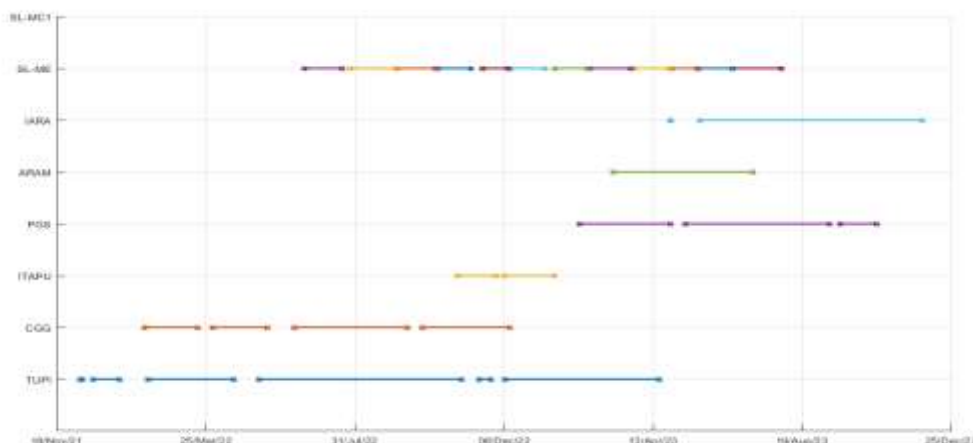


Figura V.1.1-2: Linhas do tempo das doze primeiras campanhas dos gliders de monitoramento específico e das campanhas sísmicas que tiveram algum tempo de execução comum com as campanhas dos gliders.

A Figura V.1.1-3 apresenta a distância dos disparos nas campanhas sísmicas para a posição dos *gliders* durante as gravações acústicas.

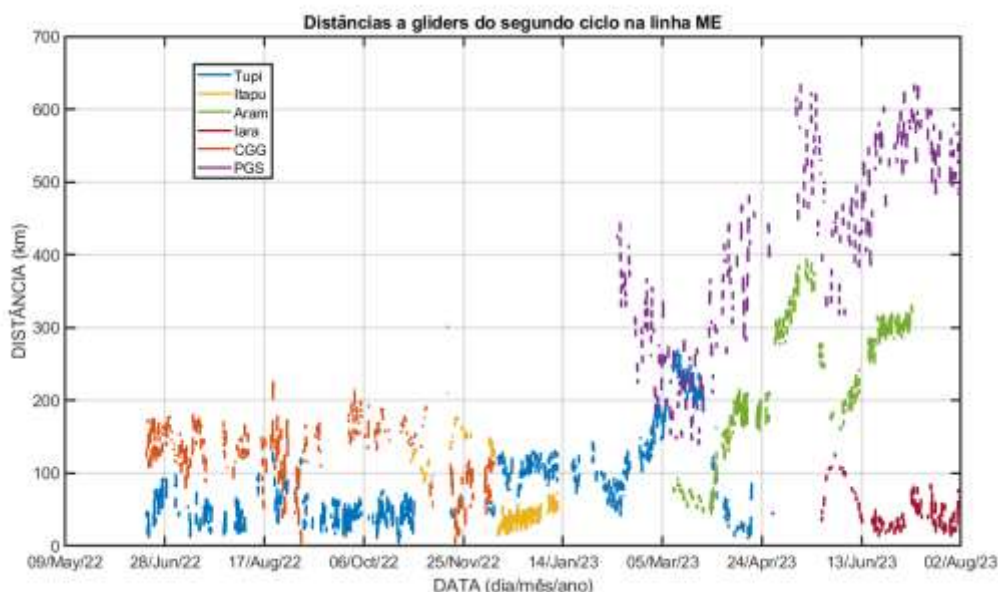


Figura V.1.1-3: Distâncias dos disparos efetuados nas campanhas sísmicas e os *gliders* de monitoramento específico, durante as gravações acústicas.

O *glider* do PMPAS-BS dedicado ao monitoramento da sísmica é equipado com um hidrofone de menor sensibilidade (-180 dB re 1 V/ μ Pa) em relação aos sensores utilizados nos outros dois *gliders* do projeto, evitando a saturação dos sinais quando o sensor está mais próximo da fonte.

Tabela V-3: Informações sobre as fontes sísmicas.

Campanha Sísmica	Número de canhões	Volume Total (pol^3)	Nível da fonte (SL – 3 a 250 Hz) (dB re 1 μ Pa ² .m)	Nível da fonte (SL Zero-a-pico) (dB re 1 μ Pa ² .m)
Tupi-Iracema	26	3.736	235	256
Itapu	24	4.000	235	258
Aram	24	4.000	231	255
Iara	28	3.332	232	256

Os arquivos de áudio recuperados dos *gliders* foram processados para estimativa dos parâmetros acústicos associados aos pulsos da fonte sísmica conforme a metodologia detalhada a seguir.



V.1.2 Processamento de Dados Acústicos

Os sinais acústicos foram processados para a obtenção de parâmetros espectrais para a análise da energia dos canhões de ar. Optou-se por trabalhar com o SPL de 1 minuto, seguindo o mesmo procedimento usado para processar os demais dados obtidos pelo PMPAS-BS, com o cálculo de espectros de 1/3 de oitava médio para cada minuto.

A energia correspondente aos disparos dos arranjos de canhões de ar usados na prospecção sísmica foi calculada integrando-se a energia nas bandas de 1/3 de oitava entre as frequências de 5 a 250 Hz dos espectros.

A Figura V.1.2-1 apresenta um espectro de potência e a energia acumulada em função da frequência de um pulso sísmico de um destes arranjos. A faixa frequência de interesse para os trabalhos geofísicos é até em torno de 100 Hz. A energia acumulada até a frequência de 250 Hz corresponde a 99,86% da energia total do pulso sísmico, restando apenas 0,14% da energia total do pulso sísmico para frequências acima de 250 Hz, mostrando que sua energia se concentra principalmente em baixa frequência.

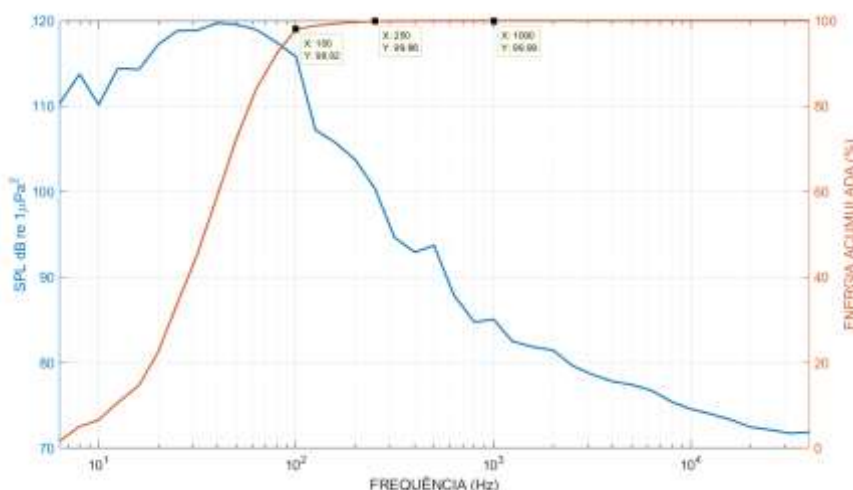


Figura V.1.2-1: Espectro de potência para um disparo de um arranjo de canhões de ar, mostrando a energia acumulada em função da frequência.

Durante uma campanha de prospecção sísmica são registrados os instantes dos disparos que vão ser usados para processamento posterior, chamados “disparos de produção”. Antes destes disparos, ocorrem outros disparos com energia crescente (*soft start* ou *ramp-up* – aumento gradual), que



visam a “alertar” possíveis cetáceos que estejam próximos e permitir que eles se afastem antes dos disparos com maior energia. Foram fornecidas informações a cada dois minutos da posição da fonte sísmica, indicando se a fonte estava disparando ou não. No caso de a fonte estar disparando, é indicado se o disparo é de produção, de aumento gradual ou se corresponde a algum teste sendo efetuado com a fonte. Estas informações foram usadas para indicar o modo de operação e a distância de cada fonte sísmica a cada minuto de gravação.

V.1.3 Estatísticas Gerais

A Tabela V.1.3-1 apresenta estatísticas gerais da profundidade do *glider* e dos parâmetros acústicos obtidos a partir das gravações do *glider* de monitoramento específico do PMPAS-BS dedicado à sísmica durante as doze primeiras campanhas de monitoramento específico (ME_C01 a ME_C12). Estes dados cobrem um período de aproximadamente 14 meses, de 18/06/2022 a 01/08/2023. Em relação aos níveis de ruído medidos, foram analisados 118.825 trechos de um minuto de sinal, nos quais os valores de SPL variaram no intervalo de 89 a 144 dB.

Em relação à profundidade, as gravações acústicas cobrem o intervalo de 10 a 950 m de forma praticamente uniforme, isto é, com um número de registros acústicos igualmente distribuídos em diferentes faixas de profundidade. Tal uniformidade na distribuição de gravações ao longo da profundidade reflete a natureza de aquisição dos dados pelos *gliders*, que realiza gravações contínuas durante a descida, e é benéfica para um diagnóstico estatisticamente consistente do decaimento sonoro vertical. A ausência de dados em profundidades entre 0 e 10 m é devida ao procedimento de qualificação que considerou que próximo à superfície o *glider* sofre a influência das ondas, o que provoca ruídos que não devem ser considerados como ruído ambiente. Esta profundidade limite está sendo mais bem avaliada, sendo a profundidade limite de 10 m um valor conservador para o valor final a ser usado, que poderá ser menor.



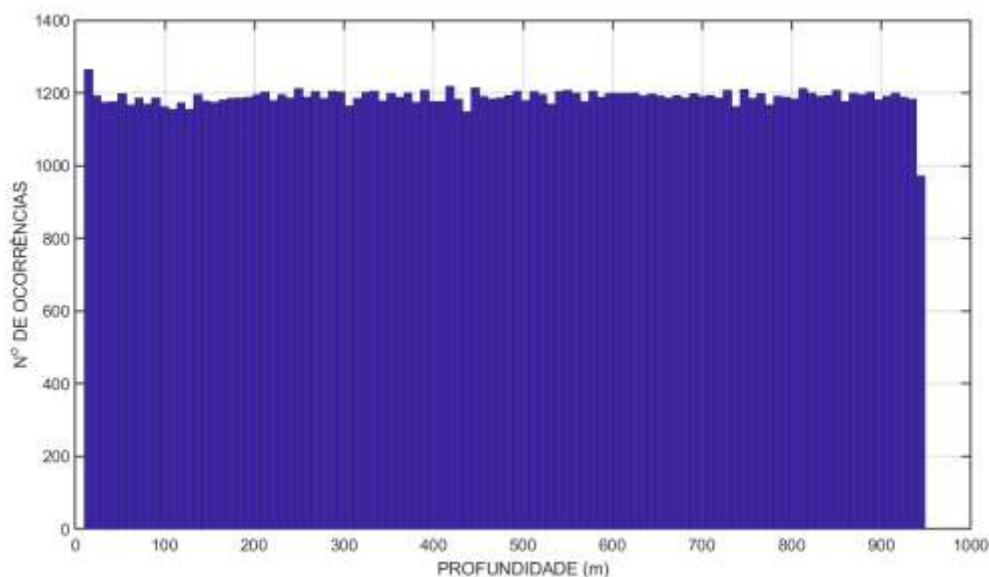


Figura V.1.3-1: Gráfico de barras ilustrando a distribuição do número de registros acústicos em função da profundidade para todas as campanhas.

Tabela V.1.3-1: Estatísticas gerais da profundidade e dos parâmetros acústicos para janelas de 1 minuto de sinal e dados do glider durante o período de 18/06/2022 a 01/08/2023 nas campanhas ME_C01 a ME_C12 de monitoramento específico do PMPAS-BS.

	Profundidade (m)	SPL (dB re 1 μ Pa ²)
Contagem	118.825	118.825
Média	479,0	117,1
Desvio Padrão	270,3	7,4
Mínimo	10,0	89,1
Percentil 25%	245,4	111,1
Percentil 50%	479,4	116,1
Percentil 75%	713,0	123,5
Máximo	948,6	143,8

A Tabela V.1.3-2 apresenta a estatística das distâncias das fontes sonoras de cada campanha sísmica aos *gliders*, nos tempos correspondentes a cada medição acústica, sendo obtido um valor médio variando entre 90 e 200 km, dependendo da campanha sísmica considerada. As menores distâncias ficaram um pouco acima de 1 km, em Tupi-Iracema e em Iara e a maior distância foi registrada em Aram, com cerca de 400 km. O maior número de medições foi feito em Tupi-Iracema, com 90.756 minutos de dados e o menor número foi em Itapu, com um pouco mais de 26.000 minutos.



Tabela V.1.3-2: Estatísticas gerais das distâncias das fontes sonoras de cada uma das sísmicas aos gliders para janelas de 1 minuto de sinal durante o período de 18/06/2022 a 01/08/2023 nas campanhas ME_C01 a ME_C12 de monitoramento específico do PMPAS-BS.

	Tupi-Iracema	Itapu	Aram	Iara
Contagem	90.756	26.407	45.660	28.440
Média	92,5	100,3	206,2	93,9
Desvio Padrão	73,3	53,8	100,7	88,7
Mínimo	1,3	11,5	33,2	1,7
Percentil 25%	41,5	50,9	124,8	30,6
Percentil 50%	64,9	100,5	201,3	54,4
Percentil 75%	117,2	140,3	296,9	107,6
Máximo	374,9	304,5	396,7	298,6

A Figura V.1.3-2 apresenta as distribuições das distâncias entre as fontes sísmicas e os *gliders* para as sísmicas em Tupi-Iracema, Itapu, Aram e Iara. As distâncias das medições em Tupi-Iracema se concentraram entre 10 e 120 km; em Itapu entre 20 e 180 km; em Aram entre 40 e 400 km; e em Iara entre 20 e 120 km.

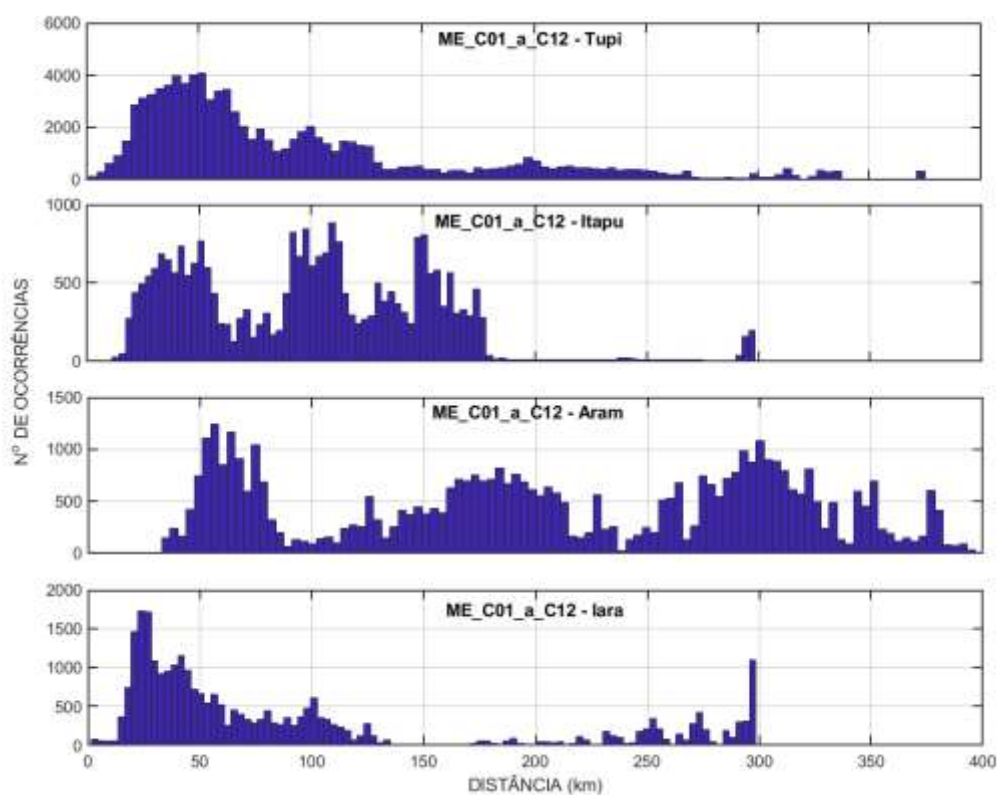


Figura V.1.3-2: Histograma da distribuição de valores de distância entre o glider e a fonte sísmica para o campo de Tupi-Iracema.



V.1.4 Ruído Ambiente

O ruído ambiente na Bacia de Santos foi avaliado usando-se as medições feitas pelos *gliders* para as quais não foram associados qualquer tipo de disparo, mas que ao mesmo tempo tenha sido possível obter uma distância para as fontes sísmicas. No caso de mais de uma campanha sísmica estar ocorrendo ao mesmo tempo, foi considerada a menor distância ao *glider* para a preparação do gráfico. A Figura 17 apresenta as medianas, em função da distância e da profundidade, do ruído ambiente medido pelos *gliders* de monitoramento específico nas campanhas ME_C01 a ME_C12. Estas medianas foram calculadas usando-se todas as medições localizadas em regiões do espaço distância x profundidade com dimensões de 20 m na profundidade e de 5 km na distância.

Os resultados ilustrados na V.1.4-1 denotam pouca variabilidade dos níveis de ruído ambiente em relação à profundidade. Em relação ao afastamento da fonte, observam-se alguns níveis mais altos em diversos pontos que podem estar associados ao ruído irradiado por navios de apoio às atividades de aquisição sísmica e/ou de apoio às demais atividades e instalações de E&P e navegação que ocorrem nas regiões onde o *glider* passou.

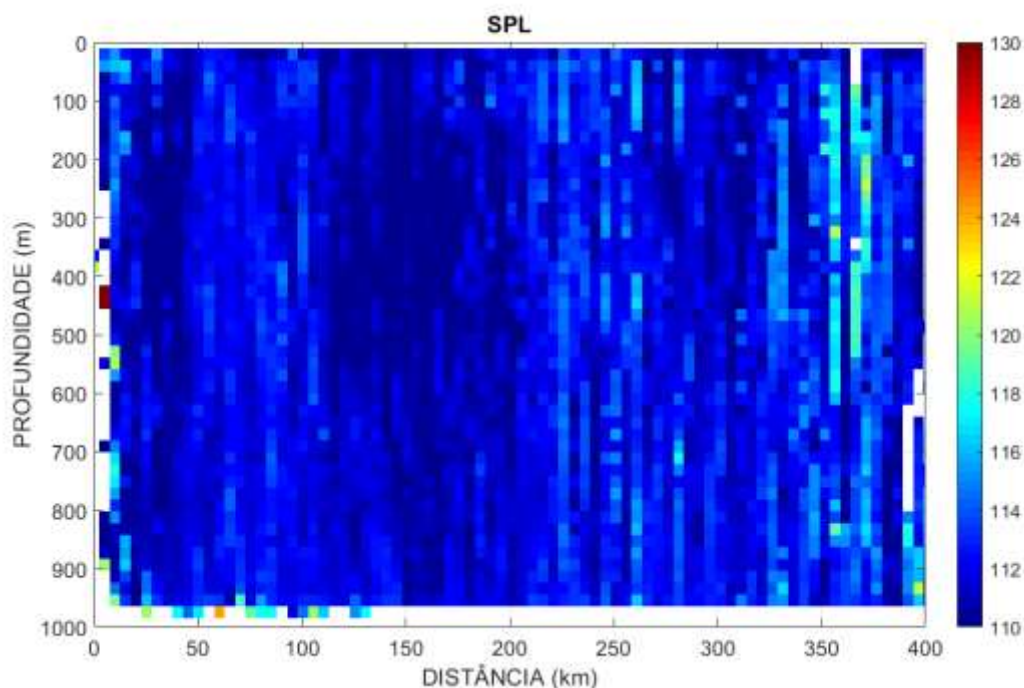


Figura V.1.4-1: Ruído medido na ausência de pulsos sísmicos (Ruído Ambiente).



Na V.1.4-2, as medianas do ruído ambiente são apresentadas, no gráfico de cima, com todas as distâncias agrupadas, em função da profundidade. No gráfico de baixo, é apresentado um *boxplot* representando a estatística destes dados, onde a mediana é de 111,7 dB re 1 μ Pa² e o intervalo entre os 25^o e o 75^o percentis é em torno de 2 dB. As cruces vermelhas mostradas no *boxplot* correspondem a valores extremos devidos, possivelmente, ao ruído de navios passando próximo ao *glider* ou mesmo a pulsos sísmicos de outras sísmicas, para as quais não se tenha informações detalhadas sobre a situação das suas fontes sísmicas. Os níveis de ruído ambiente são bastante próximos àqueles estimados no 7^o Relatório Técnico do PMPAS-BS para a região de Tupi, onde foi obtido SPL de 1 minuto de 100 a 125 dB re 1 μ Pa², com valores medianos entre 111,0 e 112,6 dB re 1 μ Pa², dependendo da faixa de profundidade analisada.

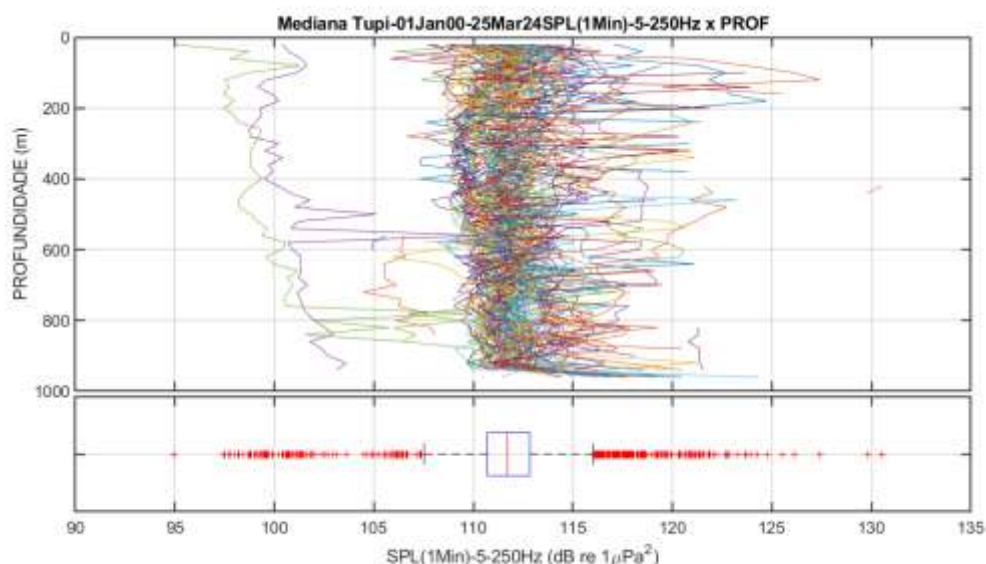


Figura V.1.4-2: Ruído medido na ausência de pulsos sísmicos. No gráfico de cima, são apresentadas as medianas em função da profundidade mostradas na V.1.4-1. No gráfico de baixo, é mostrado o *boxplot* das medianas de cada célula apresentada no gráfico de cima.

V.2 DECAIMENTO SONORO

Esta seção apresenta os resultados do processamento dos dados dos *gliders* de monitoramento da atividade sísmica nos Campos de Tupi-Iracema, Itapu, Aram e Iara, entre 18 de junho de 2022 e 01 de agosto de 2023.



As estatísticas ora apresentadas incluem valores para o parâmetro SPL computados para janelas de 1 minuto de sinal, independentemente da ocorrência ou não de detecções de pulsos de canhões de ar, discriminando-se aquelas em que foi possível validar a detecção de disparos. A métrica baseada na janela de 1 minuto fornece uma visão mais abrangente e padronizada do ruído médio na medida em que não se limita ao período típico do disparo, considerando a contribuição de outras fontes no ruído calculado, e permitem uma comparação direta com valores medidos e apresentados no PMPAS-BS.

V.2.1 **Decaimento Sonoro Horizontal – Tupi-Iracema**

A Figura V.2.1-1 apresenta os valores de SPL de 1 minuto medido pelos *gliders* em função do afastamento horizontal da fonte sísmica no campo de Tupi-Iracema durante as doze campanhas de monitoramento da sísmica analisadas neste relatório. Os pontos apresentados correspondem aos disparos de produção, tendo sido removidos os disparos que tenham ocorrido ao mesmo tempo que os disparos informados em Itapu, Aram e Iara. Uma equação de decaimento (curva verde) do tipo $SPL(r) = SL - N * \log_{10} r$, onde r é o afastamento em metros, foi ajustada ao conjunto de dados. Para um ajuste mais preciso, foram utilizados somente os dados das gravações com detecção obtidos no intervalo de 20 a 150 km de distância e que concentram o maior número das medições. Esta faixa de distância é diferente daquela usada no estudo anterior (20 a 100 km), devido ao fato de mais dados em distâncias maiores estarem disponíveis agora.

Os valores de SPL decaem com a distância à fonte sísmica, refletindo uma natureza logarítmica desta relação. A equação de ajuste obtida é dada por:

$$SPL(r) = 224,7 - 21,4 \log_{10} r$$

onde os coeficientes calculados foram $SL = 224,7$ dB re $1\mu Pa^2.m$ e $N = 21,4$, apontando para um nível sonoro a 1 m de aproximadamente 224,7 dB re $1\mu Pa^2$. Estes valores são superiores aos coeficientes obtidos no estudo anterior de 209 dB re $1\mu Pa^2.m$ para SL e 18 para N . Variações nos valores dos coeficientes do ajuste são esperados com a inclusão de novos dados, uma vez que estes coeficientes dependem da minimização global do erro entre a equação proposta



e a nuvem de pontos. O comportamento geral do decaimento observado, no entanto, permanece o mesmo.

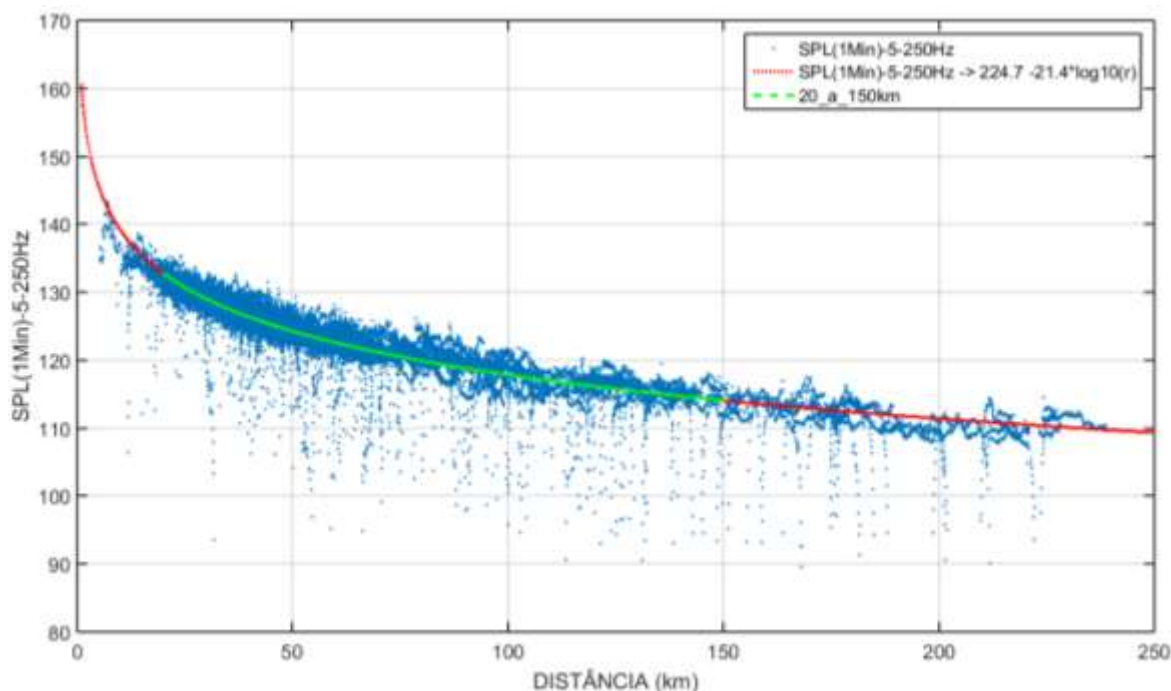


Figura V.2.1-1: Decaimento sonoro do SPL1Min para o campo de Tupi-Iracema, considerando todas as profundidades. A curva azul mostra o ajuste de uma função do tipo $SPL(r) = SL - N \log_{10} r$ para toda a faixa de distâncias e a curva verde mostra o trecho de distância de 20 a 150 km considerado na estimativa dos parâmetros $SL = 224,7$ e $N = 21,4$ da curva de decaimento ($R^2 = 0,62$).

V.2.2 Decaimento Sonoro Vertical – Tupi-Iracema

A Figura V.2.2-1 apresenta a mediana do SPL de 1 minuto para medições agrupadas em quadrículas delimitadas por intervalos de profundidade de 20 m (eixo vertical) e de distância de 2 km (eixo horizontal). Os espaços em branco indicam ausência de medições para o intervalo de distância e profundidade considerados. A variação do ruído em função da distância e da profundidade indica um padrão de espalhamento vertical praticamente uniforme para todo o intervalo de distâncias considerado, com níveis sonoros reduzindo-se com a distância, mas sem variações significativas de ruído com a profundidade.



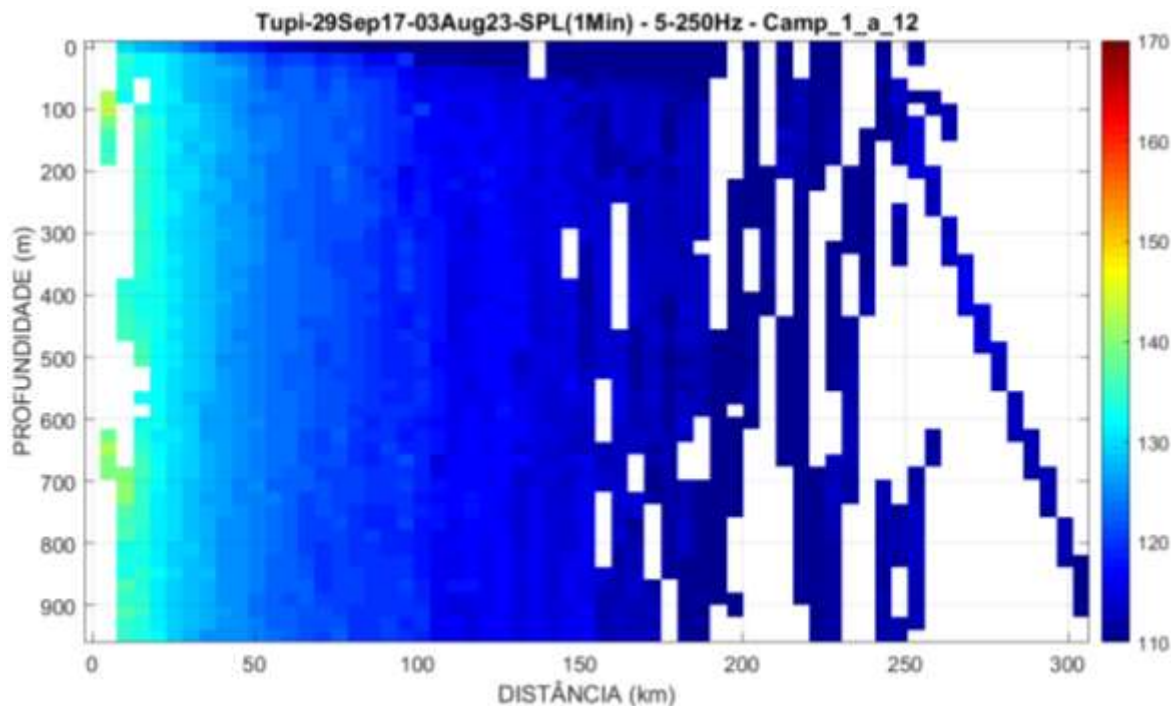


Figura V.2.2-1: Variação do SPL (dB re $1\mu\text{Pa}^2$) de 1 minuto integrado nas frequências de 5 a 250 Hz do filtro de 1/3 de oitava em função da distância à fonte (eixo horizontal) e da profundidade de medição (eixo vertical), para o campo de Tupi-Iracema.

A Figura V.2.2-2 apresenta os valores de SL correspondentes às medianas mostradas na Figura V.2.2-1, usando-se a fórmula $SL(n) = SPL(n) + 21,4 \log_{10}(r)$, onde $SPL(n)$ são os SPL de 1 minuto medidos, sendo considerado o decaimento $N=21,4$ obtido a partir dos dados. A Figura V.2.2-3 apresenta as medianas da Figura V.2.2-2 em função da profundidade para todas as distâncias consideradas. O valor mediano do SL ficou perto de 224 dB re $1\text{uPa}^2 \cdot \text{m}$, e a variação entre o 25º e 75º percentis foi menor que 2 dB, indicando um bom ajuste das curvas.



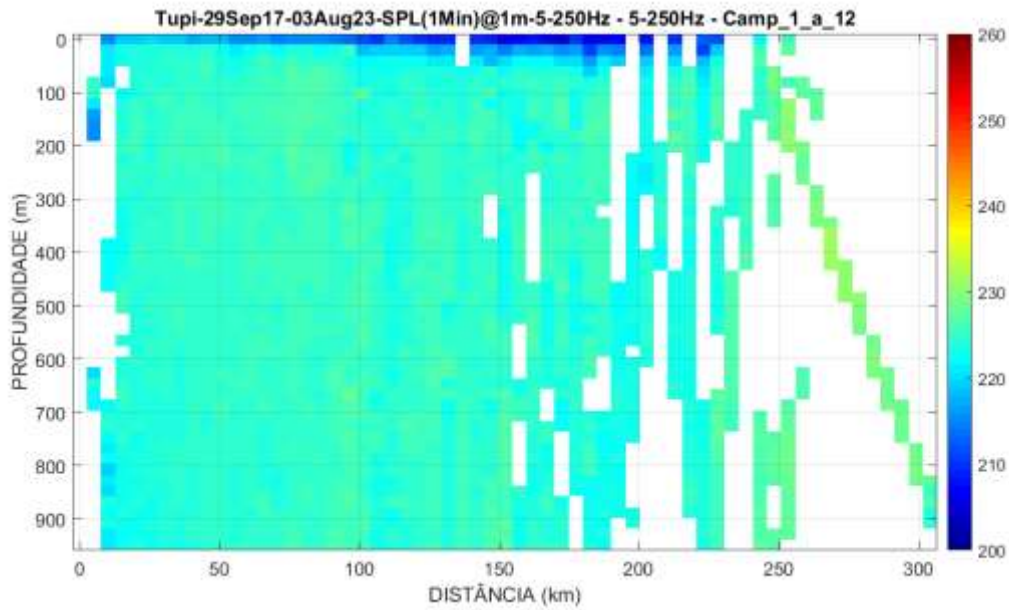


Figura V.2.2-2: SPL1Min @1m (SL), considerando um decaimento de $21,4 \log_{10}(r)$, incluindo todas as profundidades, para o campo de Tupi-Iracema.

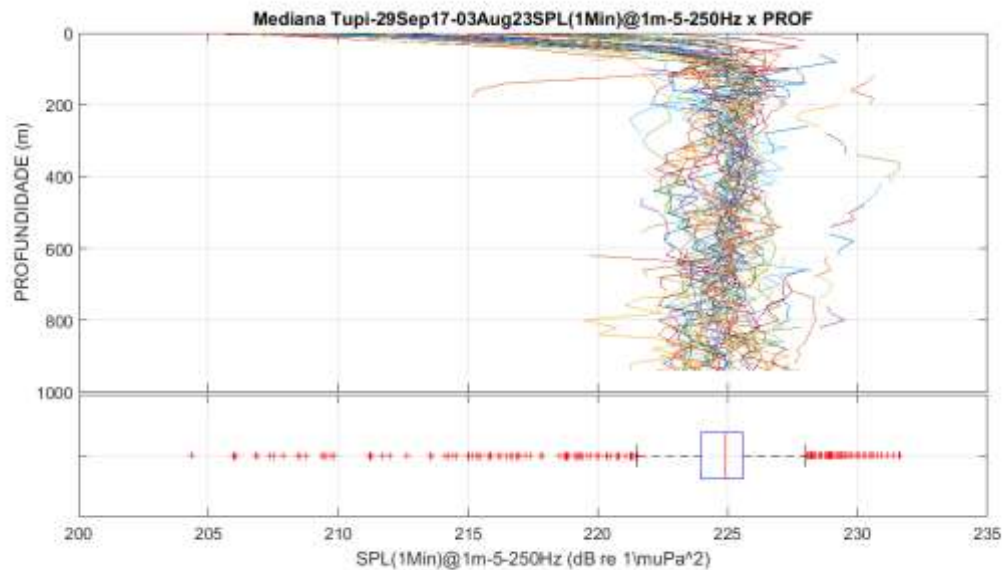


Figura V.2.2-3: SPL1Min @1m (SL), considerando um decaimento de $21,4 \log_{10}(r)$, incluindo todas as profundidades, para o campo de Tupi-Iracema.

Tanto na Figura V.2.2-2, quanto na Figura V.2.2-3, observa-se que próximo à superfície os níveis de ruído ficam abaixo dos valores para profundidades maiores. É interessante notar que as regiões com valores menores ficam mais profundas a maiores distâncias da fonte, levando a se considerar a possibilidade



desta faixa ser consequência de características de propagação do meio. Uma análise do decaimento sonoro utilizando apenas os níveis próximo à superfície, obtidos a menos de 50 m de profundidade e apresentados na Figura V.2.2-4, mostra um decaimento mais acentuado do que ao se considerar todos os dados, da ordem de $30,3 \log_{10}(r)$. Na figura, a curva preta corresponde ao decaimento obtido a partir de todos os dados, mostrando um decaimento menos acentuado.

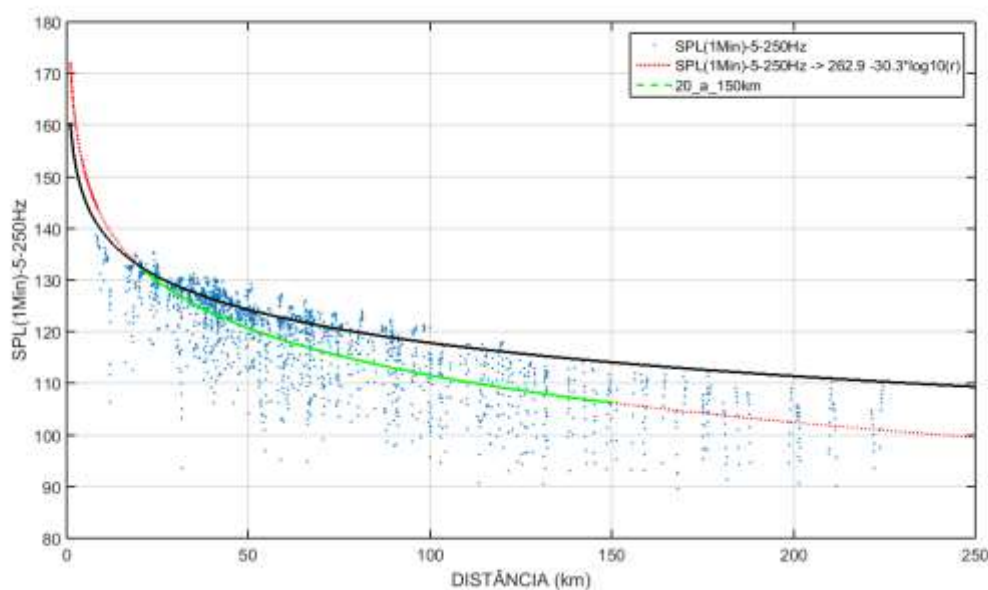


Figura V.2.2-4: Decaimento sonoro do SPL1Min, considerando apenas medições feitas próximo à superfície (<50 m), para o campo de Tupi-Iracema. A curva vermelha mostra o ajuste de uma função do tipo $SPL(r) = SL - N \log_{10} r$ para toda a faixa de distâncias e a curva verde mostra o trecho de distância de 20 a 150 km considerado na estimativa dos parâmetros $SL = 262,9$ e $N = 30,3$ da curva de decaimento ($R^2 = 0,62$). A curva preta mostra o decaimento considerando medições feitas em todas as profundidades.

V.2.3 Decaimento Sonoro Horizontal – Itapu, Aram e Iara

O mesmo procedimento para o estudo do decaimento sonoro horizontal feito para o campo de Tupi-Iracema foi feito, também, para os campos de Itapu, Aram e Iara. No entanto, existem diferenças que fazem com que os resultados sejam menos precisos do que para a sísmica em Tupi-Iracema. As sísmicas em Itapu, Aram e Iara tiveram um menor número de medições do que Tupi-Iracema (Tabela V.1.3-2) e junto a isto está o fato de que menos gravações foram feitas ou



aproveitadas nos trechos mais próximos das fontes sísmicas em Itapu, Aram e Iara.

As Figuras V.2.3-1 a V.2.3-3 mostram as curvas de decaimento para as campanhas em Itapu, Aram e Iara, onde foram obtidos os seguintes resultados:

$$\text{ITAPU: SPL} = 200,8 - 16,4 \log_{10}(r)$$

$$\text{ARAM: SPL} = 211,2 - 18,5 \log_{10}(r)$$

$$\text{IARA: SPL} = 212 - 19,3 \log_{10}(r)$$

As curvas de decaimento nos campos de Itapu e Aram foram feitas usando a mesma faixa de distância de 20 a 150 km usada em Tupi-Iracema, enquanto em Iara a faixa usada foi de 20 a 110 km. Acima de 150 km, os níveis medidos apresentam uma maior variabilidade devido ao fato de estes níveis estarem cada vez mais contaminados pelo ruído ambiente do local da medição, podendo prejudicar na estimativa da curva de decaimento. Para Iara, os dados disponíveis foram medidos até a distância de 110 km.

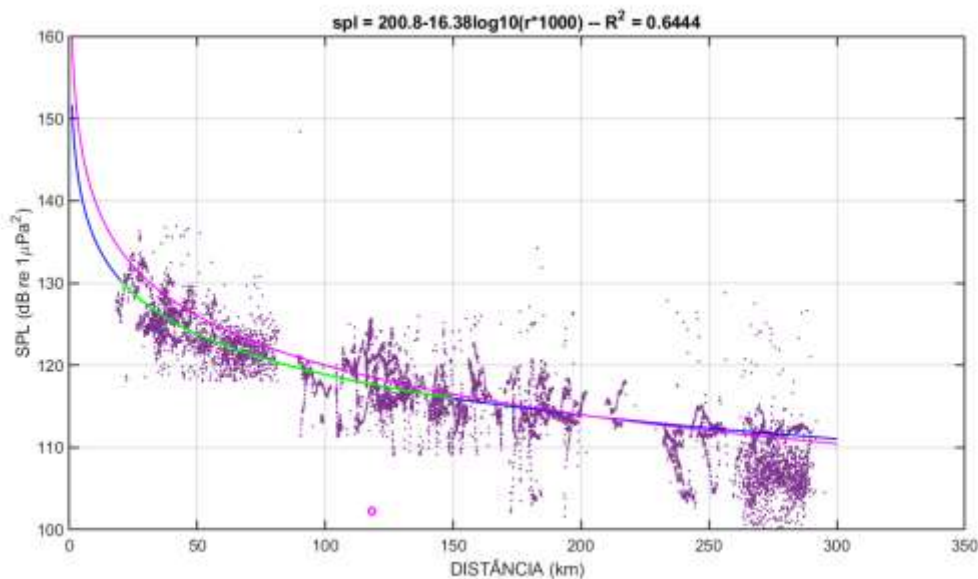


Figura V.2.3-1: Decaimento sonoro do SPL1Min para o campo de Itapu, considerando todas as profundidades. A curva preta mostra o ajuste de uma função do tipo $SPL(r) = SL - N \log_{10} r$ para toda a faixa de distância e a curva verde mostra o trecho de distância de 20 a 150 km considerado na estimativa dos parâmetros $SL = 200,8$ e $N = 16,4$ da curva de decaimento ($R^2 = 0,39$).



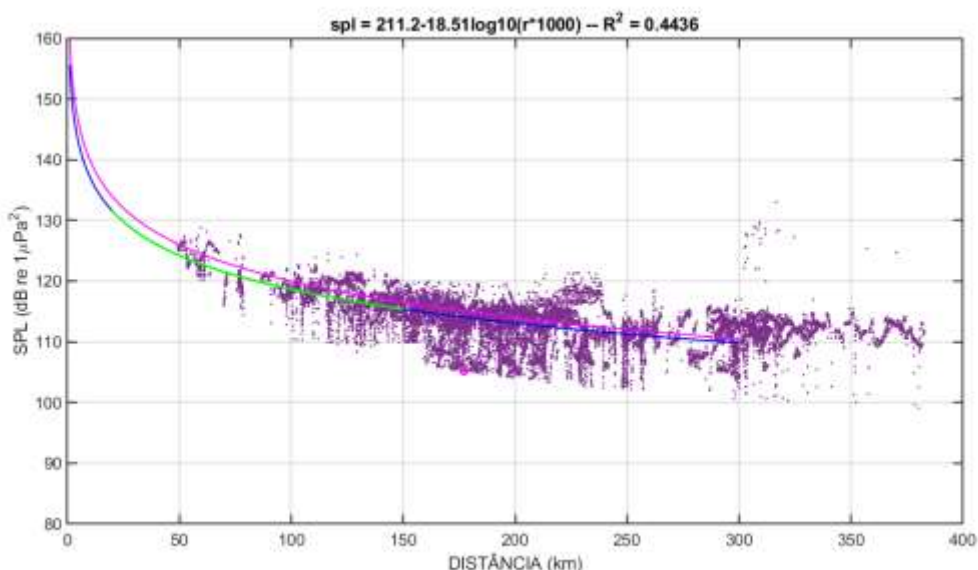


Figura V.2.3-2: Decaimento sonoro do SPL1Min para o campo de Aram, considerando todas as profundidades. A curva preta mostra o ajuste de uma função do tipo $SPL(r) = SL - N \log_{10} r$ para toda a faixa de distância e a curva verde mostra o trecho de distância de 20 a 150 km considerado na estimativa dos parâmetros $SL = 211,2$ e $N = 18,5$ da curva de decaimento ($R^2 = 0,62$).

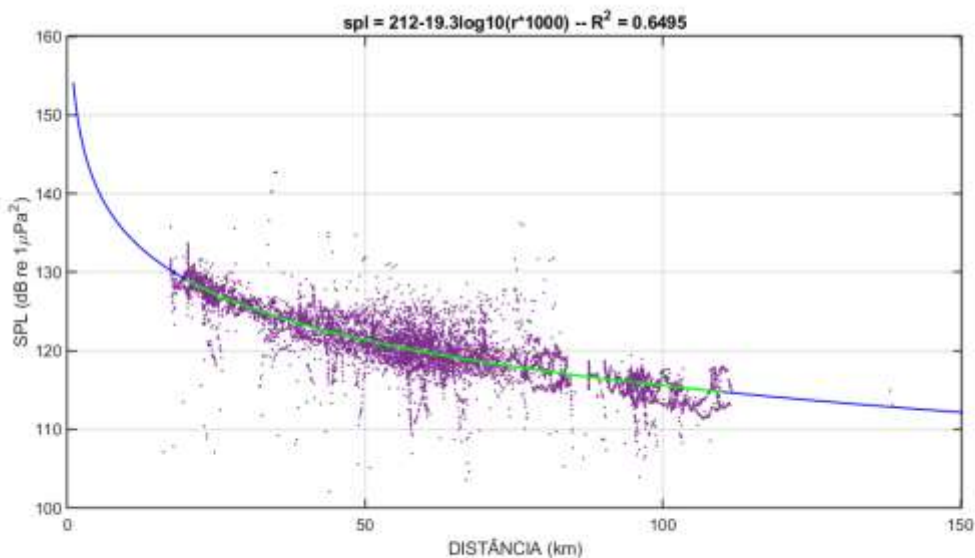


Figura V.2.3-3: Decaimento sonoro do SPL1Min para o campo de Iara, considerando todas as profundidades. A curva preta mostra o ajuste de uma função do tipo $SPL(r) = SL - N \log_{10} r$ para toda a faixa de distância e a curva verde mostra o trecho de distância de 20 a 150 km considerado na estimativa dos parâmetros $SL = 212,2$ e $N = 19,3$ da curva de decaimento ($R^2 = 0,70$).

V.2.4 Discussão sobre o Decaimento Sonoro

Os resultados do decaimento sonoro para uma fonte sísmica operando no campo de Tupi-Iracema mostraram um decaimento horizontal estimado para distâncias entre 20 e 150 km como sendo de $21,4 \cdot \log_{10}(r)$ dB, onde r é a distância para a fonte sísmica. Em relação à variação dos níveis de ruído em função da profundidade, observou-se uma homogeneidade em toda a faixa de profundidade analisada (0 a 1.000 m), para uma mesma distância. Para os Itapu, Aram e Iara, no entanto, os coeficientes indicando o decaimento horizontal foram menores, com valores de 16,4, 18,5 e 19,3, respectivamente. Estes valores menores para o decaimento podem estar associados ao menor número de medições realizadas e sua concentração em distâncias maiores, quando comparado com o campo de Tupi-Iracema.

Em relação ao decaimento vertical, os resultados obtidos no campo de Tupi-Iracema mostram uma variação pequena nos níveis sonoros com a profundidade, pelo menos nas distâncias amostradas pelos *gliders*. Observou-se, no entanto, um decaimento mais acentuado próximo à superfície, podendo estar associado às características de propagação no meio.

Há um conjunto razoavelmente abrangente de estudos na literatura científica acerca do monitoramento do ruído irradiado das atividades de sísmica. Estes trabalhos costumam reunir um esforço amostral orientado à estimativa dos níveis de ruído ambiente e geração de informações úteis à validação de modelos de propagação acústica, para avaliação do alcance do ruído da sísmica. O enfoque usualmente adotado na análise de dados é no comportamento dos níveis sonoros a diferentes distâncias da fonte sonora, isto é, no decaimento horizontal do ruído, não tendo sido identificados estudos que tratem objetivamente do decaimento sonoro vertical. Apesar disso, algumas inferências sobre o decaimento sonoro em profundidade podem ser extraídas de alguns destes trabalhos.

Martin *et al.* (2017) trazem informações sobre variações de níveis de ruído em profundidade a partir de medições acústicas. Nele, foi feito um estudo de caracterização da paisagem acústica e dos pulsos de canhões de ar de uma campanha sísmica na região das Baías de *Baffin* e *Melville*, oeste da Groelândia.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

8º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2024

Para um dos fundeios acústicos em lâmina d'água de cerca de 400 m, os autores avaliaram o decaimento sonoro vertical não sendo identificadas variações significativas do ruído com a profundidade para afastamentos superiores a 3 km da fonte. Os autores concluíram que, para a região estudada, o ruído pode ser tratado como uniformemente distribuído ao longo da profundidade para fins de avaliação de exposição sonora de mamíferos marinhos.

Em outro estudo, Sidorovskaia e Li (2022) monitoraram o ruído de uma campanha de aquisição sísmica no Golfo do México durante 14 dias através de três fundeios acústicos instalados em lâmina d'água de 1.500 m, com sensores distribuídos em profundidades distintas. Os níveis estimados através de diferentes métricas mostraram uma dependência com a profundidade para afastamentos de até cerca de 7 km, ponto a partir do qual os valores dos parâmetros em diferentes níveis se sobrepõem, indicando baixa variabilidade do ruído com a profundidade.

Estes resultados corroboram os padrões de decaimento obtidos a partir dos dados de *gliders* do monitoramento no Campo de Tupi-Iracema, na medida em que apontam para variações muito pequenas dos níveis sonoros com a profundidade quando há um afastamento entre a fonte e o receptor dentro dos intervalos de distância praticados pelos *gliders*.



VI CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este relatório apresenta os resultados obtidos pelo projeto PMPAS-BS no período de novembro de 2015 a dezembro de 2023 para *gliders*; de novembro de 2015 a janeiro de 2022 para perfiladores; de setembro de 2017 a dezembro de 2023 para as LFI; e de março de 2017 até dezembro de 2023 para os OS. Estas considerações finais abordam as questões levantadas no início deste relatório, onde foi estabelecido o seu objetivo, além de tecer considerações adicionais baseadas nos resultados obtidos.

No segundo ciclo do PMPAS-BS, um maior foco está sendo dado no aprimoramento do modelo de ruído, visando aumentar sua acurácia. As medições em campo prosseguem, com novas estratégias resultantes de lições aprendidas no primeiro ciclo, visando preencher lacunas temporais e espaciais observadas nos dados do primeiro ciclo, e para auxiliar no desenvolvimento do modelo de ruído.

VI.1 ESFORÇO AMOSTRAL E CONHECIMENTO AUFERIDO PELO PMPAS-BS

A primeira questão aborda o esforço amostral do PMPAS-BS e como este atende ao objetivo proposto de buscar o entendimento e aprofundamento do conhecimento da Paisagem Acústica Submarina da Bacia de Santos.

O primeiro ciclo do PMPAS-BS realizou um esforço pioneiro de medições e avaliação da paisagem acústica submarina na borda oeste do Oceano Atlântico Sul, com foco na região da Bacia de Santos. Nesse período, foram feitas 23 campanhas com 234 perfiladores, 52 campanhas com *gliders*, 10 campanhas com LFI (seis linhas com gravações em três profundidades) e 106 campanhas com OS.

O segundo ciclo do PMPAS-BS apresentou resultados preliminares promissores. Este ciclo continuou a expandir a base de dados acústicos e aprimorou as metodologias de análise. As gravações adicionais dos *gliders* ajudaram a mapear com maior precisão a paisagem acústica submarina e a




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

8º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2024

identificar novas fontes de ruído subaquático, contribuindo para um entendimento mais aprofundado do ambiente acústico da região. Até o momento, foram realizadas 46 campanhas com *gliders*, 2 campanhas com LFI (3 linhas com gravações nas profundidades de 500 m e 950 m) e 10 campanhas com OS.

No total, foram gravadas 189.056,28 horas de dados acústicos para *gliders*, OS e LFI, enquanto os perfiladores analisaram 5.020,3 horas de sinal.

O monitoramento de longo prazo do PMPAS-BS tem permitido a geração de conhecimento sobre paisagem acústica em uma extensa região oceânica (as medições cobriram cerca de 251.000 km² dos 350.000 km² da Bacia de Santos), na qual as poucas medições acústicas oceânicas disponíveis até então, tinham finalidade militar e se concentravam em regiões de interesse da Marinha do Brasil, como Arraial do Cabo - RJ. As componentes de Monitoramento Móvel, Monitoramento Fixo Oceânico e Monitoramento Fixo Costeiro têm proporcionado a coleta de um extenso acervo de dados, um dos maiores do mundo em termos de esforço amostral em uma região oceânica (LIMA *et al.*, 2024). Esse acervo torna possível a elaboração de mapas de ruído acústico em uma região geográfica cobrindo toda Bacia de Santos e a análise de pontos fixos específicos na faixa costeira (principais portos com finalidade de apoio à indústria *offshore* de Óleo e Gás (O&G) na BS e na região oceânica (pontos que cobrem locais com intensa atividade de E&P, desenvolvimento da produção, rotas de navegação e regiões pristinas). A componente de modelagem acústica tem permitido o desenvolvimento de um modelo numérico de propagação acústica em uma grade oceânica pioneira no Oceano Atlântico Sul. Além disso, tais dados têm fomentado o desenvolvimento científico no país por meio de trabalhos acadêmicos, como artigos, dissertações e teses. Os resultados do monitoramento são discutidos nas próximas seções.

VI.2 CONTRIBUIÇÕES DOS MONITORAMENTOS MÓVEL, FIXO OCEÂNICO E FIXO COSTEIRO

A segunda questão aborda quais as contribuições das componentes de Monitoramento Móvel, Monitoramento Fixo Costeiro e Monitoramento Fixo



Coordenador da Equipe



Técnico Responsável

8º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2024

Oceânico para a caracterização da Paisagem Acústica Submarina da Bacia de Santos.

As contribuições dos monitoramentos móvel, fixo oceânico e fixo costeiro atenderam aos seus objetivos propostos no planejamento do primeiro ciclo do PMPAS-BS, e suas respectivas contribuições são detalhadas a seguir.

Monitoramento Móvel (Gliders e Perfiladores)

O monitoramento acústico baseado em plataformas móveis (*gliders* e perfiladores) está detalhado na Seção III.1.1. São apresentadas comparações dos níveis de ruído nas regiões R1, R2, R3 e R4, mostrando a região R1 como a mais ruidosa, seguida pelas regiões R2, depois R3 e, por último, a região R4. São comparados, também, os níveis de ruído numa linha cruzando a Bacia de Santos, passando por trechos com menores níveis de ruído até trechos onde os níveis de ruído são mais altos. Foram encontradas diferenças de até 20 dB entre os trechos mais silenciosos e os mais ruidosos, dependendo da faixa de frequência analisada.

A evolução dos níveis de ruído nos oito anos de medição (2016 a 2023) mostrou variações entre os anos que não indicam uma tendência de aumento do ruído com o tempo, embora tenha sido observado um aumento pontual destes níveis para as frequências de 63 Hz e 125 Hz nas regiões R2 e R3 entre 2022 e 2023. Segundo Merchant *et al.* (2022b), estudos mostram que pode ser necessário o monitoramento a longo prazo, na escala de décadas, para que seja possível identificar tendências estatisticamente significativas na paisagem acústica submarina. A comparação das medições realizadas em diferentes profundidades para as regiões R2, R3 e R4 mostrou que para as frequências de 63 Hz e 125 Hz os níveis dos ruídos medidos a 950 m é maior do que nas outras três profundidades (50 m, 200 m e 500 m) em até 3 dB, talvez devido à propagação de ruídos de baixa frequência pelo canal sonoro profundo (Canal SOFAR). Para a região R1, os níveis nas quatro profundidades foram semelhantes entre si.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

8º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2024

Monitoramento Fixo Oceânico (Linhas de Fundeio Instrumentadas)

As medições do monitoramento acústico baseadas em linhas de fundeio instrumentadas profundas (LFIs) estão detalhadas na Seção III.1.2, com a apresentação dos resultados da evolução temporal dos sinais gravados em dez ciclos de lançamento e recolhimento, para as seis linhas (FA01 a FA06) e mais a nova posição da linha FA03 (FA03R), usada a partir da sexta campanha, e da linha FA04 (FA04R), usada nas sexta e sétima campanhas.

A comparação dos níveis de ruídos entre as linhas mostrou que as linhas FA01 e FA02, instaladas em regiões com maior atividade de E&P, são mais ruidosas do que as outras linhas, sendo a linha FA02 mais ruidosa do que a linha FA01. A linha menos ruidosa foi a linha FA04.

Foram calculados os SEL_{24h_LF} e SEL_{24h_MF} para cada linha. Suas distribuições ficaram abaixo do valor limiar do TTS, definido em Finneran (2016).

Para este relatório não foi possível utilizar os dados obtidos pelas linhas de fundeio FA, FB e FC1, pois ainda não foi possível fazer a sua qualificação.

Monitoramento Fixo Costeiro (Observatórios Submarinos)

As medições do monitoramento acústico baseadas em observatórios submarinos rasos (OS) estão detalhadas na Seção III.2, onde são apresentados os resultados das análises temporais dos sinais para os OS instalados em dez posições em três regiões costeiras na Baía de Guanabara, Baía de Ilha Grande e Canal de São Sebastião.

Os OS instalados no interior e nas imediações da Baía de Guanabara (OS1 e OS1A na Baía de Guanabara e OS3R, OS3R1, OS3R2 e OSP1, nas Ilhas Cagarras) são mais ruidosos na maior parte do espectro, particularmente entre 10 e 300 Hz, devido ao tráfego de embarcações e acima de 2 kHz, associado ao ruído produzido por invertebrados. A posição a oeste da Ilha Grande (OS2R) é a mais silenciosa em praticamente todo o espectro. Na faixa de frequência entre 300 e 1.000 Hz, as posições na Baía de Ilha Grande (OS2) e na Baía de Guanabara (OS1A) são as mais ruidosas devido, provavelmente, ao ruído biológico de peixes e invertebrados.



O Observatório Submarino de Plataforma (OSP) foi instalado na região ao sul das Ilhas Cagarras (OSP1) e na entrada sul do Canal de São Sebastião (OSP2), próximo ao OS3. Os níveis do ruído em baixa frequência no OSP1 ficaram próximos àqueles medidos nos OS3R1 e OS3R2. No OSP2, que está um pouco para fora do canal, os níveis de ruído medidos em baixa frequência ficaram acima dos níveis medidos no OS3, que está mais para dentro do canal, devido, provavelmente, à maior proximidade do OSP2 das rotas de tráfego que passam próximo do canal, mas sem entrar nele.

Os níveis do SEL_{24-MF} foram menores para o OS2 e o OS2R e maiores para o OS1. Os níveis do SEL_{24-LF} foram menores para o OS2R e o OS3 e maiores para o OS1, o OS1A e o OS2. Em todas as posições, o SEL_{24h-MF} ficou abaixo do TTS, mas o SEL_{24h-LF} cruzou aquele limiar para alguns pontos extremos nos OS1A, OS2 e OS3.

Um trabalho feito por Júnior (2023) comparou medições acústicas feitas no OS1, OS2, OS3 e na Ilha de Cabo Frio, em Arraial do Cabo, no ano de 2018, e mostrou resultados que evidenciaram diferenças entre os pontos de amostragem em relação às análises espaço-temporais. Na referida tese é possível notar padrões acústicos provenientes de sons de peixes, invertebrados e antropogênicos, além da relação da paisagem acústica com os fatores ambientais (como temperatura, radiação solar, precipitação, entre outros). O autor observou, por exemplo, a influência da temperatura da água na variação dos sinais biológicos, o que representa um resultado relevante frente ao aumento da média global da temperatura dos oceanos. Por fim, o autor concluiu que as informações geradas pelo PMPAS-BS podem contribuir para estudos e ações relacionadas à manutenção da biodiversidade e dos estoques pesqueiros.

VI.3 RESULTADOS DA ANÁLISE DA PAISAGEM ACÚSTICA

A terceira questão discute, com base na análise da paisagem acústica obtida pelas medições realizadas, quais os padrões espaciais do ruído nas bandas de frequência mais comumente usadas para avaliação de ruído com fontes antropogênicas no oceano (63 e 125 Hz do filtro de 1/3 de oitava). É possível identificar um incremento do nível de ruído acústico nas regiões ativas de E&P




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

8º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2024

com relação às regiões com pouca ou nenhuma atividade exploratória ou de produção?

O conjunto de dados coletados no âmbito do PMPAS-BS no período de 2015 a 2023 nas suas vertentes móvel e fixa traz uma visão abrangente da variabilidade espacial e temporal do ruído hidroacústico na Bacia de Santos. A caracterização de quatro regiões com distintos níveis de atividades de E&P e navegação (R1, R2, R3 e R4), em termos do nível de intensidade sonora (SPL), revela uma estabilidade para as faixas de 63 e 125 Hz, respectivamente, na região R1, onde se concentra a maior parte das atividades da PETROBRAS, e um aumento em 2023 em relação a 2022 nas regiões R2, R3 e R4. Não se observa uma clara tendência nos níveis de ruído ao longo dos anos em nenhuma das regiões.

Em relação à distribuição do ruído na coluna d'água, os resultados mostraram que o ruído nas bandas de 63 e 125 Hz junto ao canal SOFAR é um pouco mais elevado do que aquele próximo à superfície nas regiões R2, R3 e R4 da Bacia de Santos. Tal aspecto denota influência de ruídos de origem remota que possuem longo alcance nas faixas de baixa frequência do espectro. Esta diferença, no entanto, é pequena, variando de menos que 2 dB nas regiões mais ruidosas a no máximo 4 dB nas áreas mais silenciosas, dando indícios de que o monitoramento numa única faixa de profundidade intermediária, em conjunto com a medição por meio do monitoramento móvel e com os resultados de modelagem, seria suficiente para fins de caracterização da paisagem acústica. Na região R1, os níveis nas quatro profundidades analisadas ficaram muito próximos entre si.

Para os ambientes costeiros, os resultados do monitoramento se mostram suficientes para caracterização da paisagem hidroacústica, demonstrando a existência de regiões acústicas de elevada diversidade, com a coexistência de fontes variadas de ruído e de natureza distinta, incluindo principalmente: coros de peixes e invertebrados; cliques e vocalizações de cetáceos; ruído de fluxo induzido pelas correntes sobre o sensor; e ruído de embarcações, motores e bombas. A presença destas fontes se dá em três faixas principais do espectro de frequência: 0 a 200 Hz, 200 Hz a 2 kHz e 2 a 24 kHz. As duas primeiras são influenciadas por



sinais de origem antropogênica, abiótica e biótica, enquanto a última é dominada por fontes bióticas.

A região do interior da Baía de Guanabara e em menor grau a região das Ilhas Cagarras, monitoradas pelos OS1/OS1A e OS3R/OS3R1/OS3R2/OSP1, respectivamente, são as de maior nível de ruído nas bandas de 63 e 125 Hz, considerando o conjunto de localidades monitoradas. Já para as bandas de 500 e 1.000 Hz os níveis medidos nos diferentes OS são semelhantes.

Não obstante a proximidade geográfica entre alguns dos pontos monitorados, em particular os OS1 e OS1A e os OS3R, OS3R1, OS3R2 e OSP1, o comportamento espectral destes observatórios apresenta particularidades, principalmente no que se refere a faixas do espectro ligadas a fontes de ruído bioacústico e ao ruído de embarcações. Tal aspecto sugere a existência de ambientes heterogêneos, em que os níveis de ruído podem variar significativamente em função da maior ou menor proximidade com colônias biológicas e rotas de navegação. Assim, o monitoramento continuado numa posição fixa por períodos de tempo contínuos não deve contribuir significativamente com novas informações em relação aos dados ora coletados, sendo possível espaçar o esforço amostral ao longo do tempo sem prejuízo à avaliação de eventuais tendências de aumento ou diminuição do ruído hidroacústico, os quais podem levar vários anos para que sejam efetivamente detectados (MERCHANT *et al.*, 2022b).

É importante ressaltar que o simples incremento do ruído ambiente em regiões com maior atividade não pode ser tomado como o único impacto à fauna marinha e à vida aquática de um modo geral. Este tipo de avaliação deve considerar não somente o nível de intensidade e de exposição sonora, mas diversas outras variáveis como a sensibilidade de cada espécie às faixas de frequência consideradas, sua ocorrência, distribuição e a sobreposição com as áreas ocupadas e as alterações de seus padrões de comportamento ao longo do tempo. Este tipo de análise mais profunda e complexa, que se traduz em indicadores ambientais mais específicos, não é parte do escopo e dos objetivos do PMPAS-BS, que dizem respeito à caracterização da paisagem acústica. Porém, esforços no sentido de prover informações para este tipo de avaliação no



âmbito do PMC-BS já estão em andamento, tendo sido estabelecido um fluxo de informações de relevância ambiental para monitoramento dos impactos sobre os cetáceos.

Os resultados apresentados neste relatório com dados do PMPAS-BS de novembro de 2015 até dezembro de 2023 (8 anos de dados acústicos medidos) fornecem uma base robusta para a definição dos principais aspectos e tendências da paisagem acústica submarina da Bacia de Santos, oferecendo subsídios para avaliação dos impactos das atividades da PETROBRAS e de outras fontes antropogênicas de ruídos atuantes na região. O padrão de monitoramento acústico passivo adotado dificulta distinguir o percentual de contribuição da PETROBRAS, de outras operadoras de E&P e das diversas fontes que contribuem para esta paisagem (navegação de cabotagem, atividades de pesca etc.). Neste sentido, o modelo regional de ruído acústico SIMAS, que vem evoluindo continuamente, já oferece resultados de qualidade comparáveis às melhores iniciativas internacionais de modelagem de propagação acústica, e poderá ser usado para avaliar, gradualmente, a contribuição dos diversos atores na paisagem acústica da Bacia de Santos.

No segundo ciclo do PMPAS-BS, um maior foco está sendo dado no aprimoramento do modelo de ruído, visando aumentar sua acurácia. As medições em campo prosseguem, com novas estratégias resultantes de lições aprendidas no primeiro ciclo, visando preencher lacunas temporais e espaciais observadas nos dados do primeiro ciclo, e para auxiliar no desenvolvimento do modelo de ruído.

VI.4 AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA DO INCREMENTO OU ESTABILIDADE DE RUÍDO NA BACIA DE SANTOS

A quarta questão está relacionada com a análise do incremento ou estabilidade do ruído em distintas regiões da Bacia de Santos durante o primeiro ciclo do PMPAS-BS. Com esta finalidade, foram usados os dados acústicos obtidos pelos fundeios fixos da componente de monitoramento fixo oceânico. Conforme o planejamento inicial do PMPAS-BS, as posições destas linhas foram



selecionadas para monitorar áreas sujeitas a distintas condições de ruído associadas às atividades de E&P:

- Fundeio FA-01 em região em plena produção desde o início do PMPAS-BS;
- Fundeio FA-02 em região em desenvolvimento da produção no início do PMPAS-BS;
- Fundeio FA-03 planejada para uma possível região pristina em posição ao leste da bacia, mas foi observado durante as medições que a região estava exposta à atividade exploratória de outras operadoras e tráfego marítimo não associada a E&P;
- Fundeio FA-04 em região pristina ao oeste da bacia, sem atividade de E&P. Foi observado durante as medições que esta posição está exposta ao tráfego marítimo não associado a E&P, assim como praticamente toda Bacia de Santos devido aos vários portos da costa sul-sudeste brasileira e trânsito marítimo para o cone sul da América Latina (Uruguai e Argentina);
- Fundeio FA-05 em região com tráfego de embarcações para atividades de E&P no Pré-Sal, atendendo a rota de tráfego marítimo na região mais central da bacia;
- Fundeio FA-06 em região com tráfego de embarcações para atividades de E&P no Pré-Sal), atendendo a rota de tráfego marítimo mais a oeste da bacia.

A quantidade de dados amostrados nas linhas de fundeio instrumentadas no primeiro ciclo do PMPAS-BS disponibilizou um período razoável, de 2017 até 2022, de forma a permitir a aplicação de métodos estatísticos para avaliação de incremento ou estabilidade de ruído nas regiões amostradas.

As tendências estimadas pelo método de Sen's *Slope* para o período foram de 0,193 dB/ano para o fundeio FA-01; 1,372 dB/ano para o fundeio FA-02; -0,019 dB/ano para os fundeios FA-03 e FA-03R; 0,178 dB/ano para o fundeio FA-04; 0,212 dB/ano para o fundeio FA-05; e 0,532 dB/ano para o fundeio FA-06. O método dos Mínimos Quadrados da rotina "trend" do *Climate Data Toolbox* do Matlab® identificou valores equivalentes: 0,128 dB/ano para o fundeio FA-01; 1,397 dB/ano para o fundeio FA-02; 0,068 dB/ano para os fundeios FA-03 e FA-03R; -0,069 dB/ano para o fundeio FA-04; 0,216 dB/ano para o fundeio FA-05; e



0,522 dB/ano para o fundeio FA-06. Apenas o Fundeio FA-02 teve um *p-value* inferior a 0,05, indicando pela rotina “trend” que apenas a tendência de incremento neste fundeio pode ser considerada estatisticamente significativa.

Os resultados dos testes de Mann-Kendall para tendências nos valores medianos do SPL na frequência de 63 Hz estão apresentados na Tabela III.1.2.2-8. Os únicos fundeios com indicação de incremento de ruído no nível de significância 5% foram os fundeios FA-02 e FA-06. Todos os outros fundeios tiveram indicação de não existir tendência significativa. Observou-se que o *p-value* no fundeio FA-06 é apenas ligeiramente abaixo de 0,05, indicando apenas leve tendência de incremento do ruído nesta posição, contrastando com o *p-value* bem inferior do fundeio FA-02 que apresenta uma tendência de incremento bem consolidada.

A discussão e justificativa para estes resultados foi feita na seção III.1.2.2 deste relatório. A linha FA-01 foi lançada em uma região no Pré-Sal da Bacia de Santos em estágio avançado de produção, na qual não houve significativo incremento de atividades desde 2017, justificando o fato de não haver indicação de tendência significativa de incremento de ruído nos testes realizados para esta linha. As medições da FA-02 também iniciaram em 2017 e não existia nenhum sistema definitivo de produção instalado em suas proximidades (Búzios, Itapu, Berbigão etc.). Todos os sistemas tiveram suas instalações iniciadas e partiram para produção a partir de 2018, com entrada gradual de alguns sistemas por ano. Esta é a principal justificativa pela qual a linha de Fundeio FA-02 indicou uma tendência significativa de incremento do ruído na banda de frequência 63 Hz impactada pelos ruídos de baixa frequência de origem antropogênica. Não houve indicação de incremento de ruído para os fundeios FA-03 e FA-03R, mas seus níveis de ruído foram afetados por campanhas sísmicas realizadas em blocos operados por outras empresas, assim como navegação mercante intensa. O Fundeio FA-04 apresentou os menores níveis de ruído entre as seis linhas instrumentadas oceânicas, e não foi identificada tendência significativa de incremento. Para os fundeios em regiões de trânsito de embarcações de E&P, os testes para o FA-05 indicaram não haver tendência de incremento de ruído, mas no teste Mann-Kendall para o FA-06 foi identificado um ligeiro incremento



tendendo à estabilidade, apesar do ajuste linear pela rotina “trend” do *Climate Data Toolbox* não haver indicado tendência. A justificativa é que mesmo com o incremento do número de plataformas em operações na Bacia de Santos, os navios de serviço e *supply-boats* tendem a levar insumos para diversas unidades simultaneamente, ou seja, o aumento de embarcações atendendo ao Pré-Sal com insumos não cresce na mesma proporção do início de produção de novas unidades. O maior impacto ocorre durante a fase de instalação, pois nesta fase são utilizados navios de instalação dos sistemas de ancoragem (estacas torpedo, linhas etc.), navios de instalação dos sistemas submarinos de produção (*risers*, *manifolds* etc.), e sondas para completação dos poços. Terminada a fase de instalação, a tendência é ocorrer uma redução ou estabilidade do ruído, pois a quantidade de navios nos serviços de instalação é interrompida.

Desta forma, considerou-se que a análise de tendências de ruído na Bacia de Santos foi bem representada pelos seis fundeios da primeira fase do PMPAS-BS, indicando incremento significativo de ruído apenas na região norte do Pré-Sal (campos de Búzios, Itapu, Atapu, Berbigão etc.), nas proximidades do FA-02, onde ainda existe atividade de instalação de novos sistemas. As demais regiões indicaram estabilidade do ruído medido, com ligeira exceção para rotas de navegação onde foi identificado um ligeiro incremento na posição FA-06.

VI.5 CONTRIBUIÇÃO DA MODELAGEM DO RUÍDO ACÚSTICO NA BACIA DE SANTOS

A quinta questão aborda quais resultados ressaltam a contribuição da modelagem de propagação acústica para a caracterização da Paisagem Acústica Submarina da Bacia de Santos.

Os resultados obtidos com o desenvolvimento das ferramentas computacionais para modelagem do ruído acústico na região da Bacia de Santos e adjacências, apresentados no Capítulo IV, permitem a avaliação espacial e temporal do ruído ocasionado por diversas fontes antrópicas (navios a serviço de atividades de E&P, navios mercantes, plataformas etc.) com uma extensa cobertura regional. Modelos de ruído têm sido utilizados em diversos outros




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

8º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2024

programas internacionais de monitoramento da paisagem acústica, conforme Dekeling *et al.* (2014b).

A validação dos resultados da modelagem acústica utilizando os dados acústicos medidos, particularmente da componente móvel (perfiladores e *gliders*), mostrou os níveis do ruído modelado em média 4,4 dB abaixo do ruído medido na frequência de 63 Hz e 0,2 dB, também abaixo do ruído medido, na frequência de 125 Hz. Estas diferenças são usadas para melhorar a estimativa dos dados de entrada, como os valores do ruído ambiente na ausência de embarcações e os níveis irradiados pelas embarcações presentes no AIS. Mesmo com estas diferenças, os padrões de variabilidade espacial do ruído medido em diferentes radiais e domínios da Bacia de Santos são reproduzidos de forma consistente pelo modelo, indicando um importante avanço no grau de maturidade desta ferramenta.

Avaliando a média e o desvio padrão dos mapas gerados pelo modelo, observa-se que as maiores variações dos níveis ocorrem na plataforma continental, próximo à região costeira, com apenas algumas pequenas regiões com maiores variações na região oceânica, próximo às regiões com maiores atividades de E&P.

Examinando-se a evolução temporal dos níveis de ruído nas regiões R1, R2, R3 e R4 usando os dados modelados, é possível ver uma redução nos níveis do ruído irradiado nas frequências de 63 Hz e 125 Hz entre os anos de 2016 e 2019, seguido de uma estabilização para os anos de 2020 a 2023 para todas as regiões. A redução é coerente com a redução no volume de tráfego observado a partir dos registros AIS.

A diferença entre os níveis de ruído na Bacia de Santos entre os anos de 2023 e 2022 é mostrada com os dados modelados usando um mapa de diferenças entre estes dois anos. O mapa de diferença entre os anos de 2023 e 2022 mostrou que houve pouco incremento de ruído na frequência de 63 Hz entre esses anos, sendo esse incremento um pouco maior para a frequência de 125 Hz, em alguns pontos da Bacia de Santos.

A apresentação dos níveis de ruído em faixas ou categorias também ajuda a entender a distribuição dos níveis de ruído na Bacia de Santos. Se forem consideradas as frequências de 63 Hz e 125 Hz, mais de 80 % da área modelada



tem níveis na primeira faixa de ruído, entre 85 e 92 dB, associada, normalmente, ao ruído ambiente produzido por um tráfego leve a moderado de embarcações distantes.

As comparações realizadas entre os dados modelados e medidos evidenciaram a evolução do modelo SIMAS para simulação de cenários reais de paisagem acústica submarina. Atualmente, a versão do modelo permite que sua saída seja utilizada para inúmeras tarefas, tais como: mapeamento espacial e temporal; avaliação de tendências e mudanças; auxílio na mitigação de impactos; suporte à pesquisa científica; e monitoramento contínuo. Todas essas tarefas tornam o modelo uma ferramenta promissora para entender e gerenciar a paisagem acústica submarina, contribuindo para a preservação e conservação do ambiente marinho e a mitigação dos impactos da atividade humana nos oceanos.

VI.6 DECAIMENTO SONORO DE FONTES SÍSMICAS

A sexta questão aborda os resultados das medições feitas com *gliders* nas proximidades de levantamentos sísmicos realizados na Bacia de Santos. É questionado como os níveis sonoros irradiados variam em função da distância da fonte sísmica (decaimento horizontal e vertical) e como os níveis recebidos se comparam na presença e ausência dos disparos da fonte.

Os dados obtidos pelos *gliders* de monitoramento específico, dedicados ao acompanhamento de atividades de exploração sísmica, foram processados para a obtenção dos níveis do ruído da fonte sísmica em função da distância e da profundidade do *glider* a essa fonte. Foram usados dados acústicos obtidos em doze campanhas de gravação com *glider*, no período de junho de 2022 a agosto de 2023. Foram feitas gravações com a distância do *glider* variando de menos de 10 km até quase 400 km da fonte. Por questão de segurança o *glider* é programado para evitar aproximação de menos de 5 km do polígono de aquisição da sísmica, embora tenham ocorrido algumas situações em que o *glider* se aproximou mais do que isto de uma fonte sísmica.

O parâmetro analisado foi o SPL na banda de frequência de 5 a 250Hz obtido em janelas de 1 minuto do sinal. Um estudo do ruído ambiente, sem disparo




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

8º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2024

das fontes, medido a diferentes distâncias destas fontes, mostrou níveis medianos de 111,7 dB re 1uPa².

Quando se considerou o decaimento sonoro com a distância para a fonte, verificou-se que no campo de Tupi-Iracema os dados seguem a curva de decaimento logaritmo $SPL(r) = 222,7 - 21,4 \log_{10}(r)$, onde r é a distância em metros entre o *glider* e a fonte sísmica. Nos campos de Itapu, Aram e Iara, os decaimentos obtidos foram de $200,8 - 16,4 \log_{10}(r)$, $211,2 - 18,5 \log_{10}(r)$ e $212 - 19,3 \log_{10}(r)$, respectivamente. A diferença destes decaimentos para aquele obtido em Tupi-Iracema pode ser devida ao menor número de disparos medidos ou aproveitados para estas campanhas, comparado com Tupi-Iracema.

Na análise da variação do ruído com a profundidade, feita com os dados obtidos no campo de Tupi-Iracema, verificou-se que na faixa de distância dos dados, esta variação é pequena, corroborando com informações obtidas na literatura que mostram que variações maiores com a profundidade só ocorrem em distâncias menores entre a fonte e o receptor (MARTIN *et al.*, 2017; SIDOROVSKAIA e LI, 2022). Foi observado, no entanto, que o decaimento nas camadas mais próximas da superfície parece ser maior do que para regiões mais profundas, o que deve ser melhor investigado.

VI.7 CONTRIBUIÇÃO DO PMPAS-BS COM O PMC-BS

A sétima questão aborda a contribuição de dados coletados pelo PMPAS-BS para outros projetos condicionantes de licença ambiental da Bacia de Santos. Devido ao monitoramento do ruído acústico ter uma interface com o monitoramento de cetáceos na Bacia de Santos, pois estes mamíferos se comunicam por sinais acústicos e são sensíveis ao ruído no ambiente marinho, foi natural que as equipes de técnicos especializados do Projeto de Monitoramento de Cetáceos da Bacia de Santos (PMC-BS) tivessem a oportunidade de interagir em diversas ocasiões para definirem como o PMPAS-BS poderia contribuir fornecendo registros acústicos para identificação de vocalizações de cetáceos pela equipe do PMC-BS.

Apesar do conhecimento de vocalizações de cetáceos ser de domínio e especialidade de técnicos do PMC-BS, ficou evidente que a grande quantidade de



registros acústicos medidos pelo PMPAS-BS e sua extensão temporal criariam dificuldades para uma análise pormenorizada pela equipe do PMC-BS. Desta forma, técnicos do PMPAS-BS tomaram a iniciativa de utilizar rotinas do programa especializado PAMGuard para detecção da vocalização de cetáceos e incluí-las em suas rotinas automáticas de processamento dos registros acústicos medidos pelos equipamentos do projeto. Todas as vezes que possíveis vocalizações são identificadas, os trechos temporais correspondentes são recortados e enviados à equipe especializada do PMC-BS.

Foram enviados ao PMC-BS cerca de 1.520 trechos de áudio com detecção de vocalizações, totalizando 700 horas de gravações feitas no primeiro ciclo do PMPAS-BS. Em relação ao segundo ciclo do projeto, foram enviadas as tabelas de detecção de vocalização de 24 campanhas de monitoramento contínuo e 12 de monitoramento específico. Os trechos de áudio correspondentes a estas detecções foram separados e encontram-se à disposição do PMC-BS. Foi enviada, também, uma tabela com os níveis de ruído medidos pelos *gliders* nas frequências de 63 Hz e 125 Hz, juntamente com informações das sísmicas ativas a cada momento, incluindo a distância dos *gliders* aos canhões de ar e uma indicação de quando os canhões estavam disparando. Estes dados são importantes para complementar as gravações rotineiras feitas pelo PMC-BS, principalmente, para o estudo de misticetos, uma vez que a gravação feita naquele projeto tem a faixa de baixa frequência contaminada pelo ruído do navio que reboca o arranjo de hidrofones.

Uma segunda contribuição do PMPAS-BS com as atividades do PMC-BS está relacionada ao fornecimento de mapas modelados do ruído na Bacia de Santos para a modelagem do *habitat* de cetáceos, considerando interferências antrópicas (PETROBRAS/SOCIOAMBIENTAL, 2023). Neste estudo, os níveis de ruído acústico nas frequências de 63 Hz e 125 Hz são analisados junto a outros fatores, como batimetria, temperatura, correntes, clorofila, salinidade, tráfego de embarcações e atividade de pesca, para entender os fatores que governam a distribuição dos cetáceos na Bacia de Santos.

Os resultados das análises realizadas pela equipe do PMC-BS são apresentados no âmbito daquele projeto.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

8º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2024

VII REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, D. C. DE. **Estudo da paisagem acústica submarina na região do Arraial do Cabo, Rio de Janeiro, Brasil**. Arraial do Cabo-RJ: Universidade Federal Fluminense, 2018.

ANSI. **ANSI S1.11-2004 - Specification for octave-band and fractional-octave-band analog and digital filters**. Melville, NY: Acoustical Society of America, 2004.

BASSETT, C.; THOMSON, J.; DAHL, P. H. e POLAGYE, B. Flow-noise and turbulence in two tidal channels. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 135, n. 4, p. 1764–1774, 2014.

BOHNENSTIEHL, D. R.; LILLIS, A. e EGGLESTON, D. B. The curious acoustic behavior of estuarine snapping shrimp: Temporal patterns of snapping shrimp sound in sub-tidal oyster reef habitat. **PLoS ONE**, v. 11, n. 1, p. 1–21, 2016.

BUSCAINO, G.; CERAULO, M.; PIERETTI, N.; CORRIAS, V.; FARINA, A.; FILICIOTTO, F.; MACCARRONE, V.; GRAMMAUTA, R.; CARUSO, F.; GIUSEPPE, A. e MAZZOLA, S. Temporal patterns in the soundscape of the shallow waters of a Mediterranean marine protected area. **Scientific Reports**, v. 6, n. May, p. 1–13, 2016.

BUTLER, J.; BUTLER, M. J. e GAFF, H. Snap, crackle, and pop: Acoustic-based model estimation of snapping shrimp populations in healthy and degraded hard-bottom habitats. **Ecological Indicators**, v. 77, p. 377–385, 2017.

COCKREM, J. **Review of Stress and the Measurement of Stress in Marine Mammals**. Final 2014 Report from ONR Marine Mammal Physiological Stress Response. **Anais...**2014.

COQUEREAU, L.; GRALL, J.; CHAUVAUD, L.; GERVAISE, C.; CLAVIER, J.; JOLIVET, A. e DI IORIO, L. Sound production and associated behaviours of benthic invertebrates from a coastal habitat in the north-east Atlantic. **Marine Biology**, v. 163, n. 5, 2016.



DEKELING, R. P. A.; TASKER, M. L.; VAN DER GRAAF, A. J.; AINSLIE, M. A.; ANDERSSON, M. H.; ANDRE, M.; BORSANI, J. F.; BRENSING, K.; CASTELLOTE, M.; CRONIN, D.; DALEN, J.; FOLEGOT, T.; LEAPER, R.; PAJALA, J.; REDMAN, P.; ROBINSON, S. P.; SIGRAY, P.; SUTTON, G.; THOMSEN, F.; WERNER, S.; WITTEKUND, D. e YOUNG, J. V. **Monitoring guidance for underwater noise in European seas - Part I - Executive Summary, JRC Scientific and Policy Report EUR 26557 EN.** Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2014a.

DEKELING, R. P. A.; TASKER, M. L.; VAN DER GRAAF, A. J.; AINSLIE, M. A.; ANDERSSON, M. H.; ANDRE, M.; BORSANI, J. F.; BRENSING, K.; CASTELLOTE, M.; CRONIN, D.; DALEN, J.; FOLEGOT, T.; LEAPER, R.; PAJALA, J.; REDMAN, P.; ROBINSON, S. P.; SIGRAY, P.; SUTTON, G.; THOMSEN, F.; WERNER, S.; WITTEKUND, D. e YOUNG, J. V. **Monitoring guidance for underwater noise in European seas - Part III - Background information and annexes, JRC Scientific and Policy Report EUR 26556 EN.** Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2014b.

DEKELING, R. P. A.; TASKER, M. L.; VAN DER GRAAF, A. J.; AINSLIE, M. A.; ANDERSSON, M. H.; ANDRE, M.; BORSANI, J. F.; BRENSING, K.; CASTELLOTE, M.; CRONIN, D.; DALEN, J.; FOLEGOT, T.; LEAPER, R.; PAJALA, J.; REDMAN, P.; ROBINSON, S. P.; SIGRAY, P.; SUTTON, G.; THOMSEN, F.; WERNER, S.; WITTEKUND, D. e YOUNG, J. V. **Monitoring guidance for underwater noise in European seas - Part II - Monitoring guidance specifications. JRC Scientific and Policy Report EUR 26555 EN.** Luxembourg: Publications Office of the European Union, 11 ago. 2014c.

ERBE, C.; VERMA, A.; MCCAULEY, R.; GAVRILOV, A. e PARNUM, I. The marine soundscape of the Perth Canyon. **Progress in Oceanography**, v. 137, p. 38–51, set. 2015.

EUROPEAN COMMISSION. **Report on the implementation of the Marine Strategy Framework Directive COM(2020) 259 final.** Brussels: European Commission, 2020.



FARCAS, A.; POWELL, C. F.; BROOKES, K. L. e MERCHANT, N. D. Validated shipping noise maps of the Northeast Atlantic. **Science of the Total Environment**, v. 735, n. May, p. 139509, 2020.

FINNERAN, J. J. **Auditory weighting functions and TTS/PTS exposure functions for cetaceans and marine carnivores. Technical Report 3026.** [s.l: s.n.].

GEDAMKE, J. et al. **Ocean Noise Strategy RoadmapNOAA.** [s.l: s.n.].

GILBERT, R. O. **Statistical methods for environmental pollution monitoring.** New York, NY: Van Nostrand Reinhold Company Inc., 1987.

GREENE, C. A.; THIRUMALAI, K.; KEARNEY, K. A.; DELGADO, J. M.; SCHWANGHART, W.; WOLFENBARGER, N. S.; THYNG, K. M.; GWYTHYR, D. E.; GARDNER, A. S. e BLANKENSHIP, D. D. The Climate Data Toolbox for MATLAB. **Geochemistry, Geophysics, Geosystems**, v. 20, n. 7, p. 3774–3781, 2019.

HARRIS, S. A. e RADFORD, C. A. Marine Soundscape Ecology. p. 1–9, 2014.

HAWKINS, A. D. e POPPER, A. N. A sound approach to assessing the impact of underwater noise on marine fishes and invertebrates. **ICES Journal of Marine Science**, v. 74, n. 3, p. 635–651, 1 mar. 2017.

HILDEBRAND, J. Anthropogenic and natural sources of ambient noise in the ocean. **Marine Ecology Progress Series**, v. 395, p. 5–20, 3 dez. 2009.

IMO MEPC.1/CIRC.833. IMO Guidelines for the reduction of underwater noise. **International Maritime Organization**, v. 44, n. April, 2014.

IMO MEPC.1/CIRC.906. Revised Guidelines for the reduction of underwater radiated noise from shipping to address adverse impacts on marine life. **International Maritime Organization**, v. MEPC.1/Cir, n. October, p. 1–19, 2023.

IPQM. **Influência da corrente oceânica no ruído próprio das linhas de fundeio instrumentadas.** Rio de Janeiro-RJ: IPqM, 2021.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

8º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2024

- JENSEN, F. B.; KUPERMAN, W. A.; PORTER, M. B. e SCHMIDT, H. **Computational Ocean Acoustics**. New York, NY: Springer New York, 2011. v. 42
- KENDALL, M. G. **Rank Correlation Methods**. 4th Editio ed. London: Charles Griffin, 1975.
- LILLIS, A. e MOONEY, T. A. Snapping shrimp sound production patterns on Caribbean coral reefs: relationships with celestial cycles and environmental variables. **Coral Reefs**, v. 37, n. 2, p. 597–607, 2018.
- LIMA, F. M. DE; CORREA, C.; SOARES-FILHO, W.; GALOTTA, C.; LIMA, A. J. M. e PAULA, T. P. DE. **An Underwater Acoustic Modelling Framework for Santos Basin , Brazil**. International Conference on Underwater Acoustics. **Anais...2020**.
- LIMA, J. A. M.; PAULA, T. P. DE; SOARES-FILHO, W.; SPENGLER, A.; ALMEIDA, F. G. DE; PEREIRA, D. P. C.; GALOTTA, C.; JUNIOR, C. C.; BODART, C. P. e STEIN, M. Monitoramento da Paisagem Acústica Submarina da Bacia de Santos (PMPAS-BS): uma iniciativa brasileira em monitoramento acústico oceânico. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 10, n. 2, p. 95–119, 2022.
- LIMA, J. A. M.; SOARES FILHO, W.; XAVIER, F. C.; PAULA, T. P. DE; SPENGLER, A.; ALMEIDA, F. G. DE; PEREIRA, D. P. C.; REGO, V. S.; GALOTTA, C.; CORRÊA JUNIOR, C. e BAZYL, A. The Brazilian Santos basin underwater soundscape monitoring project (PMPAS-BS). **Frontiers in Marine Science**, v. 11, n. June, p. 1–16, 2024.
- MANN, H. B. Non-Parametric Test Against Trend. **Econometrica**, v. 13, n. 3, p. 245–259, 1945.
- MARTIN, S. B.; MATTHEWS, M.-N. R.; MACDONNELL, J. T. e BRÖKER, K. Characteristics of seismic survey pulses and the ambient soundscape in Baffin Bay and Melville Bay, West Greenland. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 142, n. 6, p. 3331–3346, 2017.



- MELO JÚNIOR, U. G. **Monitoramento da paisagem acústica como serviço aplicado à biotecnologia ambiental marinha**. Arraial do Cabo-RJ: Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira/Universidade Federal Fluminense, 2023.
- MERCHANT, N. D.; BROOKES, K. L.; FAULKNER, R. C.; BICKNELL, A. W. J.; GODLEY, B. J. e WITT, M. J. Underwater noise levels in UK waters. **Scientific Reports**, v. 6, n. 1, p. 10, 10 dez. 2016.
- MERCHANT, N. D.; PUTLAND, R. L.; ANDRÉ, M.; BAUDIN, E.; FELLI, M.; SLABBEKOORN, H. e DEKELING, R. A decade of underwater noise research in support of the European Marine Strategy Framework Directive. **Ocean and Coastal Management**, v. 228, n. July, 2022a.
- MERCHANT, N. D.; PUTLAND, R. L.; ANDRÉ, M.; BAUDIN, E.; FELLI, M.; SLABBEKOORN, H. e DEKELING, R. A decade of underwater noise research in support of the European Marine Strategy Framework Directive. **Ocean and Coastal Management**, v. 228, n. August, 2022b.
- MOREIRA, J. L. P.; VALDETARO, C.; GIL, J. A. e MACHADO, M. A. P. Bacia de Santos. **Boletim de Geociências da Petrobras**, p. 531–549, 2007.
- NOAA. **NOAA Technical Guidance for Assessing the Effects of Anthropogenic Sound on Marine Mammal Hearing - Underwater Acoustic Threshold Levels for Onset of Permanent and Temporary Threshold Shifts**. [s.l: s.n.].
- PETROBRAS/IPQM. **6º Relatório Técnico - PMPAS-BS - Nov/2015 a Dez/2021**. Rio de Janeiro-RJ: IPqM, 2022.
- PETROBRAS/SOCIOAMBIENTAL. **PMC-BS - RA07 - Projeto de Monitoramento de Cetáceos na Bacia de Santos**. Florianópolis-SC: SocioAmbiental, 2023.
- PETROBRAS. **Relatório Técnico do Projeto de Monitoramento do Tráfego de Embarcações da Bacia de Santos - PMTE-BS - Em elaboração**. Rio de Janeiro-RJ: PETROBRAS, 2023.



Coordenador da Equipe
Técnico Responsável8º Relatório
TécnicoRevisão 00
08/2024

- PIJANOWSKI, B. C.; VILLANUEVA-RIVERA, L. J.; DUMYAHN, S. L.; FARINA, A.; KRAUSE, B. L.; NAPOLETANO, B. M.; GAGE, S. H. e PIERETTI, N. Soundscape ecology: The science of sound in the landscape. **BioScience**, v. 61, n. 3, p. 203–216, 2011.
- RADFORD, C. A.; STANLEY, J. A. e JEFFS, A. G. Adjacent coral reef habitats produce different underwater sound signatures. **Marine Ecology Progress Series**, v. 505, p. 19–28, 2014.
- ROSS, D. **Mechanics of underwater noise**. Elmsford, NY: Pergamon Press, 1976.
- SEN, P. K. Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau. **Journal of the American Statistical Association**, v. 63, n. 324, p. 1379–1389, 1968.
- SIDOROVSKAIA, N. e LI, K. Marine compressed air source array primary acoustic field characterization from at-sea measurements. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 151, n. 6, p. 3957–3978, 2022.
- VAN GEEL, N. C. F.; MERCHANT, N. D.; CULLOCH, R. M.; EDWARDS, E. W. J.; DAVIES, I. M.; O'HARA MURRAY, R. B. e BROOKES, K. L. Exclusion of tidal influence on ambient sound measurements. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 148, n. 2, p. 701–712, ago. 2020.
- WENZ, G. M. Acoustic Ambient Noise in the Ocean: Spectra and Sources. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 34, n. 12, p. 1936–1956, 1962.
- WILLIAMS, R.; WRIGHT, A. J.; ASHE, E.; BLIGHT, L. K.; BRUINTJES, R.; CANESSA, R.; CLARK, C. W.; CULLIS-SUZUKI, S.; DAKIN, D. T.; ERBE, C.; HAMMOND, P. S.; MERCHANT, N. D.; O'HARA, P. D.; PURSER, J.; RADFORD, A. N.; SIMPSON, S. D.; THOMAS, L. e WALE, M. A. Impacts of anthropogenic noise on marine life: Publication patterns, new discoveries, and future directions in research and management. **Ocean and Coastal Management**, v. 115, p. 17–24, 2015.




XAVIER, F. C. **Assinatura bioacústica de costões rochosos: Caracterização, modelagem e aplicações biotecnológicas.** Arraial do Cabo-RJ: Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira & Universidade Federal Fluminense, 2021.





Coordenador da Equipe






Técnico Responsável

8º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2024

VIII EQUIPE TÉCNICA

VIII.1 PETROBRAS

Profissional	Thiago Pires de Paula
Unidade de Negócios	CENPES/PDDP/TEO
Registro no Conselho de Classe	CREA/RJ 200920704-1
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	6964874
Responsável pela(s) Seção(ões)	Todas
Assinatura	




Coordenador da Equipe






Técnico Responsável

8º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2024

VIII.2 INSTITUTO DE PESQUISAS DA MARINHA (IPQM)

Profissional	Alexandre Bazyl Zacarias de França
Unidade de Negócios	IPqM
Registro no Conselho de Classe	
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	8018168
Responsável pela(s) Seção(ões)	Todas
Assinatura	
Profissional	William Soares Filho
Unidade de Negócios	IPqM
Registro no Conselho de Classe	CREA-RJ – 50.138-D
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	355491
Responsável pela(s) Seção(ões)	Todas
Assinatura	



APÊNDICE A *Produção Científica*

A Tabela A-1 apresenta uma lista das publicações científicas feitas usando dados e informações do PMPAS-BS. Foram listados 40 trabalhos, sendo 4 artigos publicados em jornais ou revistas, 33 artigos apresentados em simpósios e congressos, uma tese de doutorado defendida e duas teses de doutorado em desenvolvimento.

Tabela A-1: Produção científica usando dados e informações do PMPAS-BS.

TÍTULO	AUTORES	LOCAL
<i>Investigating flow noise on underwater gliders acoustic data</i>	Santos, F., Oliveira, A., Barmak, R., São Thiago, P. Lima, J.A, Paula, T.P., Almeida, F.G.	5th joint Meeting of Acoustical Society of America and Acoustical Society of Japan, 2016. Havaí, Estados Unidos
Análise do ruído interno e hidrodinâmico (<i>flow-noise</i>) nos registros acústicos coletados por <i>gliders</i> submarinos	Santos, F., Oliveira, A., Barmak, R., São Thiago, P., Lapagesse, R., Kluver, R., Lima, J.A., Paula, T. P., Almeida, F. G.	XII Encontro de Tecnologia em Acústica Submarina (XII ETAS), Anais do XII ETAS, Rio de Janeiro, UFRJ, 2016
<i>Development and characterization of an autonomous underwater acoustic recording system.</i>	Alexandre Alves, Rodrigo Barros, Cassiano Villares, Rodrigo Ribeiro, Eduardo Bernsmuller, Orlando Afonso, Fernando L. de Magalhães, Leonardo Barreira	Oceans Conference & Exposition 2018, Oceans' 2018 Proceedings, Charleston, 2018.
Análise Experimental da Influência Acústica do Vaso do Sistema Autônomo de Aquisição de Sinais Submarinos (SAASS) sobre a Resposta do Hidrofone de Monitoramento.	Orlando J. R. Afonso, Fernando L. de Magalhães	XIII Encontro de Tecnologia em Acústica Submarina (XIII ETAS), Anais do XIII ETAS, Rio de Janeiro, UFRJ, 2018
Sistema Autônomo de Aquisição de Sinais Submarino- SAASS.	Alexandre Alves, Rodrigo Barros, Cassiano Villares, Rodrigo das Dores, Eduardo Bernsmuller, Orlando Afonso, Fernando L. de Magalhães, Leonardo Barreira	XIII Encontro de Tecnologia em Acústica Submarina (XIII ETAS), Anais do XIII ETAS, Rio de Janeiro, UFRJ, 2018.
Estudo dos Parâmetros de Sinterização de Cerâmicas Piezoelétricas Hemisféricas a Base de PZT I Empregadas em Transdutores Hidroacústicos.	Maria Aparecida P. Santos, Ananda M. V. O. Ávila, Felipe B.S. Mendes, Fernando L. de Magalhães, Mateus Mota Morais, Carlos Alberto Fortulan	XIII Encontro de Tecnologia em Acústica Submarina (XIII ETAS), Anais do XIII ETAS, Rio de Janeiro, UFRJ, 2018.
Fabricação de Cerâmicas Piezoelétricas Semiesféricas por Prensagem Isostática e Usinagem a Verde, para Aplicação em Hidrofones.	Mateus Mota Morais, Ananda M. V. O. Ávila, Maria Aparecida P. Santos, Fernando L. de Magalhães, Felipe B.S. Mendes, Carlos Alberto Fortulan	XIII Encontro de Tecnologia em Acústica Submarina (XIII ETAS), Anais do XIII ETAS, Rio de Janeiro, UFRJ, 2018.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

8º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2024

TÍTULO	AUTORES	LOCAL
Elastômeros para Encapsulamento de Transdutores Hidroacústicos.	Maurício Ferrapontoff Lemos, Priscila Richa Ribeiro Ferreira, Rodrigo Honorato Cunha, Roberto da Costa Lima, Fernando L. de Magalhães, Orlando Afonso, Henrique Corrêa Cury de Aguiar	XIII Encontro de Tecnologia em Acústica Submarina (XIII ETAS), Anais do XIII ETAS, Rio de Janeiro, UFRJ, 2018.
<i>Evaluation of data measured by acoustic profilers on the Southeast Brazilian continental slope.</i>	Soares-Filho, W., Barreira, L. M., Lima, J. A. M., Paula, T. P., Almeida, F. G.	Rio Acoustics, 2017, Rio de Janeiro, RJ.
Classificador especialista de embarcações: Um estudo comparativo de técnicas.	João Vicente G. Rocha, Rodrigo Emanuel de B. A. Barros, Alexandre Soares Alves, Natanael Moura Junior, João B. O. Souza Filho.	XIII Encontro de Tecnologia em Acústica Submarina (XIII ETAS), Anais do XIII ETAS, Rio de Janeiro, UFRJ, 2018.
Detecção de embarcações nos sinais de áudio obtidos no âmbito do projeto PMPAS-BS.	Santos, L. O., Soares-Filho, W.	XIII Encontro de Tecnologia em Acústica Submarina (XIII ETAS), 2018, Rio de Janeiro, RJ
Detecção de vocalizações de mamíferos marinhos no âmbito do PMPAS-BS.	Rafael, S., Soares-Filho, W.	XIII Encontro de Tecnologia em Acústica Submarina (XIII ETAS), 2018, Rio de Janeiro, RJ
Caracterização da corrente costeira no canal de São Sebastião.	Espirito Santo, S. R. G. S., Soares-Filho, W.	XIII Encontro de Tecnologia em Acústica Submarina (XIII ETAS), 2018, Rio de Janeiro, RJ
Resultados experimentais da influência acústica do vaso do sistema autônomo de aquisição de sinais submarinos (SAASS) sobre a resposta do hidrofone de monitoramento	Orlando Jesus Ribeiro Afonso, Fernando Luiz de Magalhães	XIII Encontro de Tecnologia em Acústica Submarina (XIII ETAS), 2018, Rio de Janeiro, RJ
Estudo da propagação acústica submarina na região do talude continental utilizando o modelo de modos normais KRAKEN	Carlos Correa Junior, Fabiano Marcos, Boris Flegr, Sidney Espirito Santo	XIII Encontro de Tecnologia em Acústica Submarina (XIII ETAS), 2018, Rio de Janeiro, RJ
Identificação e priorização das causas de perdas de dados acústicos submarinos	Gabriel Martins Soares	XIII Encontro de Tecnologia em Acústica Submarina (XIII ETAS), 2018, Rio de Janeiro, RJ
Avaliação Termodinâmica de Elastômeros Poliuretanos	Lemos, M. F., Cunha, R. H., Santos, J. F., Lima, R. C.	15o Congresso Brasileiro de Polímeros. 27 a 31 de outubro de 2019. Bento Gonçalves, RS.



TÍTULO	AUTORES	LOCAL
Avaliação de Poliuretanos para Encapsulamento de Transdutores Hidroacústicos	Lima, R. C, Lemos, M. F., Cunha, R. H.	15o Congresso Brasileiro de Polímeros. 27 a 31 de outubro de 2019. Bento Gonçalves, RS.
Estudo de Caso de Detecção de Odontocetos na Bacia de Santos – Brasil	Espirito Santo, S. R. G. S., De Lima, F. M., Soares-Filho, W., Galotta, C., Correa-Junior, C.	XVIII Congresso Latino-Americano de Ciencias del Mar. 4 a 8 de novembro de 2019. Mar del Plata, Argentina.
<i>An Underwater Acoustic Modelling Framework for Santos Basin, Brazil</i>	De Lima, F. M. Correa-Junior, C. C., Soares-Filho, W., Silva, C. G. M., Lima, J. A. M., De Paula, T. P.	International Conference on Underwater Acoustics. 9 de setembro de 2020. Southampton, Reino Unido.
<i>Developing an Autonomous Underwater Acoustic Recorder in Brazil</i>	Buchman, R. M.; Bernsmüller, E.	Revista Sea Technology. Edição de OUT2020.
Priorização de Sistemas de Monitoramento Acústico Submarino Utilizando o Método AHP	Stein, M., Soares, G. M., Soares-Filho, W., Silva, C. G. M.	XL Encontro Nacional de Engenharia de Produção. 20 a 23 de outubro de 2020. Foz do Iguaçu, PR.
<i>An Underwater Acoustic Modelling Framework for Santos Basin, Brazil</i>	De Lima, F. M. Correa-Junior, C. C., Soares-Filho, W., Silva, C. G. M., Lima, J. A. M., De Paula, T. P.	Revista online Proceedings of Meetings on Acoustics (POMA) da Acoustical Society of America (ASA). 1º de fevereiro de 2021.
Gerenciamento de risco de baleias na Bacia de Santos através de um método acústico passivo	Espirito Santo, S., Soares-Filho, W., Galotta, C., Calado, L., Xavier, F.C.	II Simpósio de Biotecnologia Marinha, 2ª edição, 14-15 de dezembro de 2021.
Estudo de caso de detecção de baleias na Bacia Santos durante a primavera	Espirito Santo, S. R. G. S., Soares-Filho, W., Galotta, C., Calado, L., Xavier, F.C.	XIV Encontro Nacional de Gerenciamento Costeiro. 4 de novembro a 14 de dezembro de 2021. Formato virtual
Ocorrência de baleias na Bacia de Santos e sua relação com a temperatura da superfície do mar	Espirito Santo, S. R. G. S., Xavier, F.C, Soares-Filho, W., Galotta, C., De Lima, F. M., Calado, L.	XII Congresso Iberoamericano de Acústica. 28 a 31 AGO2022. Florianópolis, SC.
A utilização de um sistema de modelagem acústica submarina na Bacia de Santos	De Lima, F. M., Correa-Junior, C. C., Galotta, C., Paula, T. P., Mansur, W. J., Vera-Tudela, C. A. R., Soares-Filho, W., Espirito Santo, S. R. G. S.	XII Congresso Iberoamericano de Acústica. 28 a 31 AGO2022. Florianópolis, SC.
Ocorrência de baleia jubarte nas ilhas Cagarras através de método acústico	Espirito Santo, S. R. G. S., Soares-Filho, W., Galotta, C., De Lima, F. M., Wedekin, L.L., Paro, A.	XIII Congresso Sociedade Latino-Americana de Especialistas em Mamíferos Aquáticos. 10 a 15 SET2022. Mata de São João, BA.



TÍTULO	AUTORES	LOCAL
<i>Recent records of blue whales (Balaenoptera musculus) in south and southeastern oceanic waters of Brazil, SW Atlantic</i>	Wedekin, L. L., Cremer, M. J., Daura-Jorge, F. G., Baracho-Neto, C. G., Kleivane, L., Soares-Filho, W., Espirito Santo, S.R.G.S., Filun, D., Rossi-Santos, M.R., Paro, A., Bezamat, C., Hille, D. A., Dalla-Rosa, L., Simões-Lopes, P. C., Bonatto, S. L., Cypriano-Sousa, A. L.	XIII Congresso Sociedade Latino-Americana de Especialistas em Mamíferos Aquáticos. 10 a 15SET2022. Mata de São João, BA.
<i>Using an autonomous vehicle (seaglider) reveals the seasonality of cetaceans in the Santos Basin, Brazil</i>	Filún, D., Schall, E., Paitach, R., Soares-Filho, W., Espirito Santo, S. R. G. S., Paro, A. D., Rossi-Santos, M., Wedekin, L. L.	XIII Congresso Sociedade Latino-Americana de Especialistas em Mamíferos Aquáticos. 10 a 15SET2022. Mata de São João, BA.
<i>Influence of Polarization Times and Temperature on the Piezoelectric Properties of Complex Geometry PZT Ceramics.</i>	Foluke Salgado de Assis, Roberto da Costa Lima, Jairo Moura de Melo, Rubens Lincoln Santana Blazutti Marçal, Bruna Karina da Silva Oliveira, Fernando Luiz de Magalhães, Priscila Simões Teixeira Amaral	XXI B-MRS Meeting da Sociedade Brasileira de Pesquisa em Materiais
Monitoramento da Paisagem Acústica da Bacia de Santos (PMPAS-BS): uma iniciativa brasileira em monitoramento acústico oceânico	José Antônio Moreira Lima, Thiago Pires de Paula, William Soares Filho, Ângela Spengler, Fernando Gonçalves de Almeida, Diogo Peregrino Correa Pereira, Cátia Galotta, Carlos Corrêa Junior, Cristiani Perrini Bodart, Marcela Stein	Revista Brasileira de Meio Ambiente, v.10, n.2, 095-119 (2022)
<i>“Playing the beat”: Occurrence of Bio-duck calls in Santos Basin (Brazil) reveals a complex acoustic behaviour for the Antarctic minke whale (Balaenoptera bonaerensis)</i>	Marcos R. Rossi-Santos, Diego Filun, William Soares-Filho, Alexandre D. Paro, Leonardo L. Wedekin	PLoS ONE 17(9), 1-13, 2022
Os Desafios das 115 Manutenções dos Observatórios Submarinos do Projeto de Monitoramento da Paisagem Acústica Submarina da Bacia de Santos	Rafael Mazza Buchmann, Eduardo Bernsmüller, Alexandre Soares Alves, Renato Maia Moreira, Cassiano Osório de Araujo Villares, Rodrigo Emanuel de B. Andrade Barros	XIV ETAS – Encontro de Tecnologia em Acústica Submarina – 10 a 11 de novembro de 2022.
Ocorrência de baleias na Bacia de Santos entre 2015 e 2021 – através de um método acústico passivo	Sidney Espirito Santo, William Soares Filho, Catia Galotta, Fabiano Marcos de Lima, Carlos Córrea Junior	XIV ETAS – Encontro de Tecnologia em Acústica Submarina – 10 a 11 de novembro de 2022.



TÍTULO	AUTORES	LOCAL
Monitoramento da paisagem acústica como serviço aplicado à biotecnologia ambiental marinha	Ubirajara Gonçalves de Melo Júnior	Tese de doutorado defendida em 26 de outubro de 2023, no Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia Marinha do Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira / Universidade Federal Fluminense, em Arraial do Cabo.
<i>An initiative for whale detection in the Santos Basin, Brazil, through passive acoustic methods</i>	Sidney Espirito Santo; Fábio Xavier; William Soares-Filho; Alexandre Bazyl; Fabiano Lima e Leandro Calado	Detection, Classification, Localisation and Density Estimation (DCLDE) Workshop, Rotterdam, 3-7 June 2024.
<i>The Brazilian Santos basin underwater soundscape monitoring project (PMPAS-BS)</i>	Jose Antonio Moreira Lima, William Soares Filho, Fabio C. Xavier, Thiago Pires de Paula, Angela Spengler, Fernando Goncalves de Almeida, Diogo Peregrino Correa Pereira, Valeria Souza Rego, Catia Galotta, Carlos Correa Junior and Alexandre Bazyl	Frontiers in Marine Science, doi: 10.3389/fmars.2024.1416590.
Gerenciamento de risco de baleias na Bacia de Santos através de um método acústico	Sidney Rafael Gomes da Silva do Espirito Santo	Tese de doutorado em desenvolvimento no Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira – IEAPM
Síntese de sinais acústicos com machine learning.	Fábio Oliveira Baptista da Silva	Tese de doutorado em desenvolvimento no Programa de Engenharia Elétrica da COPPE/UFRJ



APÊNDICE B Metodologia de Aquisição e Processamento dos Dados

B.1 Monitoramento Móvel

B.1.1 Aquisição dos Dados Acústicos com Perfiladores

O equipamento utilizado foi o **PABLO** (do inglês, *Profiling Acoustic Buoyant Lagrangian Observing system*), fabricado pela MetOcean Telematics, que é um derivador lagrangiano oceânico descartável concebido para adquirir dados acústicos em perfis de até 1.000 m de profundidade, através de controle de sua flutuabilidade e derivando com as correntes. Sua operação consiste em ciclos de descida, deriva submersa na profundidade de estacionamento, subida realizando janelas acústicas programadas e transmissão de dados via satélite de comunicação Iridium, a cada emergência.

Para cada janela acústica realizada nas profundidades programadas, o sistema de aquisição presente no perfilador obtém um minuto de gravação. O próprio equipamento processa as séries temporais das janelas acústicas e gera os parâmetros acústicos e espectros que são enviados por satélite a cada emergência. Os dados recebidos de cada perfilador são analisados para se obter informações da operação do equipamento, incluindo seu tempo de vida e tempos entre janelas acústicas medidas. Os parâmetros acústicos passam por um processo de qualificação e os dados qualificados são disponibilizados num sistema de informação, disponível para consulta.

B.1.2 Aquisição dos Dados Acústicos com Gliders

Os *gliders* são veículos submersíveis autônomos – **VSA (AUV – Autonomous Underwater Vehicles)**, controlados remotamente por satélite, sendo capazes de mergulhar a profundidades de até 1.000 metros e de seguir rotas programadas pelo usuário. São utilizados os modelos *Seaglider*, fabricado pela empresa Kongsberg e *Slocum*, fabricado pela Teledyne, que permitem a coleta contínua de dados oceanográficos de temperatura, condutividade e profundidade,




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

8º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2024

usando um sensor de CTD (do inglês, **Conductivity, Temperature, Depth**), e sua transmissão ocorre quando o *glider* retorna à superfície. Os *gliders* também podem conduzir equipamento para monitoramento acústico passivo (**PAM**, do inglês **Passive Acoustic Monitoring**), que é programado para adquirir os dados acústicos recebidos por hidrofone e sistema de aquisição, operando de forma contínua. O PAM permanece ligado durante todo o período de descida e encerra sua gravação ao fim da descida (o PAM permanece desligado durante a subida do equipamento). Ao atingir a superfície, o *glider* transmite via satélite as informações de navegação do mergulho e os dados do CTD.

Ao final da missão, com duração associada à capacidade das baterias e memória, uma embarcação vai ao encontro do *glider* em seu ponto de emersão e realiza a sua recuperação. Os arquivos de áudio são armazenados internamente e só são disponíveis com a recuperação do *glider*.

Nos *gliders*, é realizada a gravação quase contínua de sinais acústicos. Os sinais gravados são processados pelo Instituto de Pesquisas da Marinha (IPqM) para a obtenção de parâmetros acústicos a cada minuto de sinal. Para cada um destes minutos, os parâmetros acústicos passam por um processo de qualificação, antes de serem inseridos no sistema de informações. Na primeira etapa de qualificação, são identificados e separados os trechos contaminados pelo ruído do próprio veículo, quando da atuação de bombas e motores internos, atuação esta que é registrada pelo próprio equipamento ou detectada por um aplicativo do fabricante do equipamento. Ainda nesta etapa, são separados, também, os trechos onde o ruído de fluxo devido ao movimento do *glider* possa ter afetado o sinal gravado.

O processamento dos sinais acústicos dos *gliders* é feito seguindo procedimentos semelhantes aos realizados pelos perfiladores em seu processamento interno dos sinais acústicos coletados.



B.2 Monitoramento Fixo

B.2.1 Aquisição dos Dados Acústicos com Observatórios Submarinos (OS)

Os Observatórios Submarinos (OS) são sistemas de gravação de sinais acústicos instalados junto ao fundo em regiões costeiras na Bacia de Santos. O objetivo dos OS é, principalmente, a obtenção do ruído de embarcações, para uso no Sistema de Modelagem Acústica desenvolvido para o PMPAS-BS.

Nos OS são instalados gravadores autônomos programados para gravar o sinal acústico no meio de forma contínua. Estes gravadores são equipados com hidrofones, pré-amplificadores e processadores que recebem e armazenam o ruído acústico produzido pelo meio e por outras fontes de ruído presentes, como embarcações e animais marinhos.

Os equipamentos são programados para gravação contínua ou pulsada dos sinais acústicos. A sua recuperação ou troca é realizada em intervalos da ordem de 45 a 60 dias.

O processamento dos sinais acústicos gravados nos OS é realizado para a obtenção de parâmetros acústicos, que são usados para a descrição do ruído ambiente e das emissões acústicas de embarcações nas regiões onde os OS estão instalados. No processamento dos sinais, são obtidos parâmetros acústicos para cada minuto de gravação. Nos trechos onde seja detectada a passagem de uma embarcação, são obtidos os níveis devido a ela e é feita uma correlação do tempo da detecção com informações do sistema AIS, numa tentativa de identificar a embarcação.

B.2.2 Aquisição dos Dados Acústicos com Linhas de Fundeio Instrumentadas (LFIs)

As Linhas de Fundeio Instrumentadas (LFIs) consistem numa linha, presa por um liberador acústico a uma poita e terminando numa boia submersa de flutuação, a cerca de 50 m de profundidade, sendo instaladas em regiões com



atividades de produção, em desenvolvimento da produção, sem atividades de E&P e com tráfego marítimo para E&P.

Na linha, estão instalados equipamentos de monitoração acústica capazes de realizar gravações no modo pulsado, sendo programados para a gravação em torno de um minuto de sinal a cada 10 ou 15 minutos. O período pretendido de recuperação das linhas é da ordem de seis meses.

Ao término do período de aquisição, uma embarcação próxima emite um sinal acústico de liberação e o liberador acústico solta a linha da poita. Sua extremidade superior emerge, permitindo a sua recuperação para troca de equipamentos, de baterias e recuperação dos dados.

Os parâmetros espectrais obtidos para os dados acústicos gravados nas LFI são usados para descrever a paisagem acústica na posição onde elas estão instaladas, permitindo acompanhar a evolução do ruído ambiente em diferentes condições de atividade antrópica.

Para garantir a qualidade dos dados obtidos, é necessário que se possa identificar e separar os dados que possam estar contaminados por fontes de ruído isoladas e identificáveis, como o ruído próprio destas linhas, causado, por exemplo, pela vibração induzida por correntes oceânicas. Esta identificação é feita, para cada trecho de sinal gravado, verificando se existe correlação entre o ruído medido e a velocidade da corrente oceânica. Caso esta condição ocorra, os parâmetros acústicos daquele trecho não são inseridos no sistema de informação.

B.2.3 Dados Ambientais

Com intuito de verificar possíveis correlações entre os dados coletados pelos sensores acústicos e parâmetros abióticos, podem ser utilizados parâmetros ambientais, como o vento e a altura significativa de onda. Os dados horários de vento e onda, com resolução de aproximadamente 27 km, são extraídos do produto ERA5 da ECMWF (*The European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*). Tais parâmetros são filtrados espacialmente, de acordo com as regiões de interesse, e temporalmente em relação aos períodos de medição dos dados acústicos.



B.3 Densidade de Embarcações

As posições das embarcações nas regiões de interesse são obtidas a partir de dados do Sistema de Identificação Automática (**Automatic Identification System – AIS**) fornecidos pela PETROBRAS. Além das posições, esses dados fornecem o tipo, o rumo, a velocidade e nome de cada embarcação listada no sistema.

B.4 Georreferenciamento dos Dados Acústicos

As posições das medições acústicas estão referenciadas em coordenadas geográficas, em *Datum* WGS-84. No caso dos perfiladores, a posição fornecida é determinada pelo seu receptor GPS, no ponto de emersão. No caso dos *gliders* a posição é interpolada a partir dos pontos de início e final do mergulho, obtidos pelo seu GPS, utilizando-se, como referência, os tempos das medições obtidas pelo seu CTD. No caso das Linhas de Fundeio e dos Observatórios Submarinos, a posição adotada é a posição de lançamento de sua poita, na superfície, sendo que pode ocorrer deriva por efeito da correnteza até sua chegada ao piso marinho. Além disto, para as LFI's deve ser observado que a linha se move por efeito das correntes, podendo sua extremidade superior derivar por centenas de metros em relação à poita.

B.5 Sincronização Temporal dos Dados Acústicos e dos Parâmetros espectrais

As medições acústicas são marcadas pela data/hora de sua aquisição, sincronizadas pelos seus equipamentos na superfície antes do lançamento. A hora adotada é a hora UTC. Os parâmetros acústicos são obtidos por trechos de um minuto, a partir da hora inicial da gravação de um arquivo de dados, não correspondendo, obrigatoriamente, a um minuto cheio.


B.6 Sistema de Informações

Um grande volume de dados (sinais sonoros, dados ambientais, dados de instrumentação oceanográfica, entre outros) é coletado no âmbito do PMPAS-BS,




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

8º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2024

sendo processado, armazenado e disponibilizado numa plataforma *web* com o apoio de um sistema de informação. Esses dados processados servem de insumo para análises com relação às variações espaço-temporais para verificar padrões na paisagem acústica, levando em consideração variações circadianas, sazonais, interanuais e alterações relacionadas às atividades de exploração e produção de petróleo na Bacia de Santos.

Para atender aos dados acústicos e complementares coletados pelo projeto PMPAS-BS foi desenvolvido o **Sistema de Modelagem e Medições Acústicas Oceânicas – SIMMAO**, que é um sistema de informações composto por um conjunto de ferramentas e um banco de dados para armazenamento, em ambiente confiável e seguro, dos dados medidos pelas linhas de fundeio instrumentadas (LFIs), observatórios submarinos (OS), *gliders* e perfiladores acústicos, dados complementares (posições e ambientais), metadados associados, resultados gerados pelo processamento e análise destes dados, além dos parâmetros estatísticos calculados sobre conjuntos de medições.

O banco de dados armazena também os resultados e mapas produzidos pelo sistema de modelagem de ruído ambiental, descrito na Seção IV.

As ferramentas desenvolvidas para o **SIMMAO** facilitam o recebimento, a verificação de consistência e a armazenagem dos dados brutos; o recebimento e a armazenagem dos metadados associados; o processamento dos dados; a armazenagem e a disponibilização dos dados processados para a comunidade científica por meio de página *web* com acesso controlado na internet.

B.7 Processamento e Arquivamento dos Dados

B.7.1 Consistência e Qualificação dos Dados

Os sinais acústicos são avaliados quanto a sua consistência, verificando-se a integridade dos arquivos recebidos e se os sinais gravados não contêm distorções como trechos com saturação ou com níveis muito baixos de sinal. Os sinais que apresentam problemas de consistência são removidos das fases seguintes de processamento.



O processamento tem o propósito de obter parâmetros acústicos a cada minuto de sinal. Estes parâmetros devem passar por um processo de qualificação para poderem ser inseridos no sistema de informações. Para todos os sistemas, a fase final de qualificação consiste em se detectar a presença de dados espúrios, baseado na definição de limiares de detecção nas distribuições estatísticas dos parâmetros.

Para os perfiladores, como a obtenção dos parâmetros acústicos é feita pelo próprio equipamento, nenhuma outra avaliação é feita antes da detecção dos dados espúrios.

Para os outros sistemas (*gliders*, OS e LFIs), os trechos de sinal são avaliados quanto à presença de ruído próprio e de ruído de fluxo. Caso estes ruídos estejam presentes, o trecho não será inserido no sistema de informações. Os trechos restantes passam, então, pelo processo de detecção de dados espúrios, após o qual, os dados qualificados são inseridos no sistema de informações.

B.7.2 Definição dos Parâmetros Processados

As diretrizes da Comunidade Europeia sobre poluição acústica dos mares recomendam a monitoração do valor médio quadrático (RMS, do inglês *Root Mean Square*) do SPL em bandas de 1/3 de oitava. As quatro bandas de frequência (63, 125, 500 e 1.000 Hz) foram escolhidas atendendo às recomendações dos *guidelines* internacionais para monitoramento da paisagem acústica submarina (DEKELING *et al.*, 2014c; JENSEN *et al.*, 2011). A seleção das bandas de 63 e 125 Hz foi feita considerando que é nessas bandas onde ocorre a assinatura típica do ruído de embarcações (DEKELING *et al.*, 2014b, 2014c). As bandas de 500 e 1.000 Hz foram selecionadas por serem impactadas por fontes de ruídos ambientais (JENSEN *et al.*, 2011; ROSS, 1976). Os parâmetros de SPL considerados para cada uma destas bandas de frequência são os valores espectrais no percentil de 50% das bandas de 1/3 de oitava correspondentes (SPL_{63Hz}, SPL_{125Hz}, SPL_{500Hz} e SPL_{1000Hz}).



Foi adotado o critério de processar as janelas das séries temporais registradas pelos *gliders*, LFI e OS e para cada janela acústica, da ordem de um minuto, calcular os parâmetros:

- Espectro de 1/3 de oitava do Nível de Pressão Sonora (SPL) RMS médio entre 10 Hz e 10 kHz;
- Espectro de 1/3 de oitava do Nível de Pressão Sonora (SPL) RMS percentil de 5% entre 10 Hz e 10 kHz;
- Espectro de 1/3 de oitava do Nível de Pressão Sonora (SPL) RMS percentil de 50% entre 10 Hz e 10 kHz;
- Espectro de 1/3 de oitava do Nível de Pressão Sonora (SPL) RMS percentil de 95% entre 10 Hz e 10 kHz;
- SPL_{RMS} Médio;
- SPL_{MAX};
- SPL_{pico-a-pico};
- SPL_{pico};
- SPL_{63Hz};
- SPL_{125Hz};
- SPL_{500Hz};
- SPL_{1000Hz}.

Os valores de SPL_{63Hz}, SPL_{125Hz}, SPL_{500Hz} e SPL_{1000Hz} são recuperados dos espectros estimados no percentil de 50%.

B.7.3 Apresentação dos Dados e Resultados

As próximas seções mostram, de maneira genérica, como os dados e resultados são apresentados.

B.7.3.1 Resolução Espacial Plana

Para o caso do monitoramento móvel (*gliders* e perfiladores), foi adotada a apresentação de densidade amostral e de SPL, em dB re 1 μ Pa², com uma resolução espacial de 1/6 de grau (quadrados com cerca de 18,5 km de lado – 10 mn). A resolução de 1/6 de grau vem sendo adotada como referência para



representação e análise espacial de resultados gerados pelos projetos ambientais desenvolvidos pela PETROBRAS na Bacia de Santos, para os quais se busca uma uniformidade na forma de sua apresentação.

B.7.3.2 Resolução Espacial Vertical

As medições foram classificadas em três faixas de profundidades: de 0 a 100 m, 150 a 300 m e 850 a 1.100 m, sendo estas as faixas que incluem as profundidades das medições das Linhas de Fundeio Instrumentadas, que estão a 50 m, 200 m e 950 m.

B.7.3.3 Resolução Espectral

A resolução espectral adotada é a de 1/3 de oitava. As bandas de 1/3 de oitava e suas frequências centrais consideradas são apresentadas na Tabela B.7.3.3-1. A largura das bandas de um filtro de 1/3 de oitava é proporcional à sua frequência central, podendo ser obtida multiplicando-se esta frequência por 0,2308 (ANSI, 2004).

Tabela B.7.3.3-1: Frequência central das bandas dos filtros de 1/3 de oitava, em Hz, em função do número da banda.

#Banda	Freq. Central	#Banda	Freq. Central	#Banda	Freq. Central	#Banda	Freq. Central
1	6,3	11	63,1	21	631	31	6.310
2	7,9	12	79,4	22	794	32	7.943
3	10	13	100,0	23	1.000	33	10.000
4	12,6	14	125,9	24	1.259	34	12.589
5	15,8	15	158,5	25	1.585	35	15.849
6	19,9	16	199,5	26	1.995	36	19.953
7	25,1	17	251,2	27	2.512	37	25.119
8	31,6	18	316,2	28	3.162	38	31.698
9	39,8	19	398,1	29	3.981	39	39.906
10	50,1	20	501,2	30	5.012	40	50.238

B.7.3.4 Resolução Temporal

A resolução temporal depende do equipamento empregado. Para os perfiladores, é realizado um ou dois ciclos de medição por dia, com a aquisição de cinco janelas acústicas de um minuto de sinal, em profundidades diferentes durante a fase de subida.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

8º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2024

Para os *gliders*, são feitas gravações na parte da descida de alguns mergulhos realizados ao longo do dia. Isto corresponde a trechos de até três horas de gravação contínua, repetida de duas a três vezes por dia.

Para os OS, são feitas gravações contínuas durante todo o período em que o equipamento está instalado, sendo que cada ciclo de gravação dura entre 45 e 60 dias. Em algumas poucas situações em que foi necessário aumentar a autonomia dos equipamentos, a gravação foi feita de forma pulsada, com gravação de 30 minutos e um tempo de espera, sem gravação, de 90 minutos.

Para as LFIs, são feitas gravações pulsadas, com a aquisição de 85 segundos de sinal a cada 10 minutos. As LFIs permanecem no mar por um período planejado de 6 meses.

Para todos os sistemas de aquisição, os parâmetros acústicos são calculados para trechos de um minuto de sinal, considerando-se a hora do início das gravações como tempo de referência. Para as LFIs, são usados 60 dos 85 segundos disponíveis por gravação para a obtenção dos parâmetros acústicos.

B.7.3.5 Densidade Amostral Espacial

Esta apresentação consiste em mostrar o número de medições válidas, num mapa tridimensional cobrindo a região sudeste do Brasil, entre as latitudes 30° S e 22° S e longitudes 49° W e 39° W, com a resolução de quadrados de 1/6 de grau. A Figura B.7.3.5-1 mostra um exemplo desta apresentação. A escala de cores corresponde ao número de medições válidas realizadas em cada quadrado, para as classes de profundidade de 0 a 100 m, 150 a 300 m e 900 a 1.100 m, a partir de perfiladores ou *gliders*. São representadas: a linha da costa do Brasil (linha em azul); as isóbatas de 200 e 2.000 metros (linhas em vermelho); um polígono definindo a área geográfica da Bacia de Santos (linha em magenta); e a posição de algumas plataformas (cruzes em preto)).



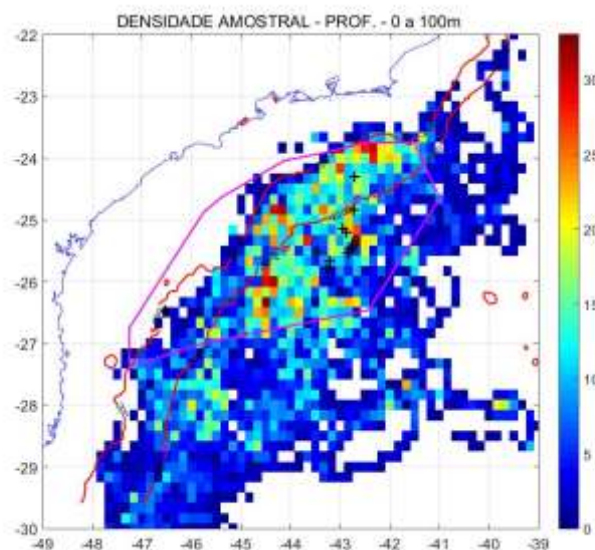


Figura B.7.3.5-1: Exemplo da distribuição espacial da Densidade Amostral para as profundidades entre 0 e 100 m.

B.7.3.6 Nível de Pressão Sonora Espacial

Esta apresentação consiste em mostrar um mapa tridimensional com a resolução de quadrados de 1/6 de grau, para as classes de profundidade, dos valores de SPL RMS, de pico e para os filtros de 1/3 de oitava com frequências centrais de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz, a partir de dados de perfiladores ou *gliders*. A Figura B.7.3.6-1 mostra um exemplo desta apresentação.



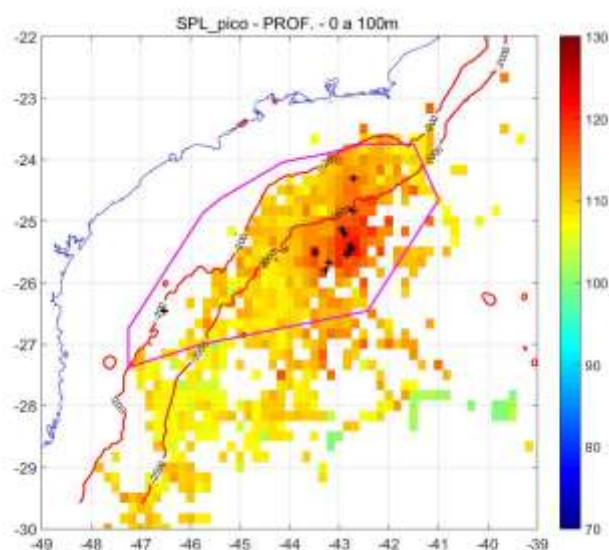


Figura B.7.3.6-1: Exemplo da distribuição espacial de SPL para as profundidades entre 0 e 100 m.

B.7.3.7 Nível da Pressão Sonora Temporal

Esta apresentação consiste na apresentação dos valores de SPL RMS médio ou de pico de janelas na resolução temporal de um minuto, no mesmo local, e para cada profundidade, ao longo do tempo. A Figura B.7.3.7-1 mostra um exemplo desta apresentação.

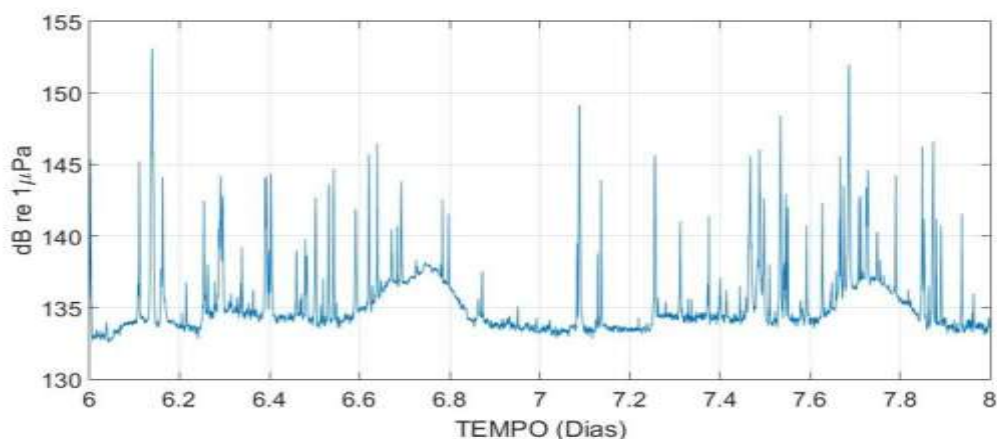


Figura B.7.3.7-1: Exemplo de apresentação do SPL em função do tempo, com resolução temporal de um minuto.



B.7.3.8 Espectros de 1/3 de Oitava

Esta apresentação consiste dos espectros de 1/3 de oitava do SPL RMS entre 10 Hz e 10 kHz, médio, e de percentis de 5%, 50% e 95% de uma janela de medição. A Figura B.7.3.8-1 mostra um exemplo de espectro de 1/3 de oitava de um sinal gravado num OS.

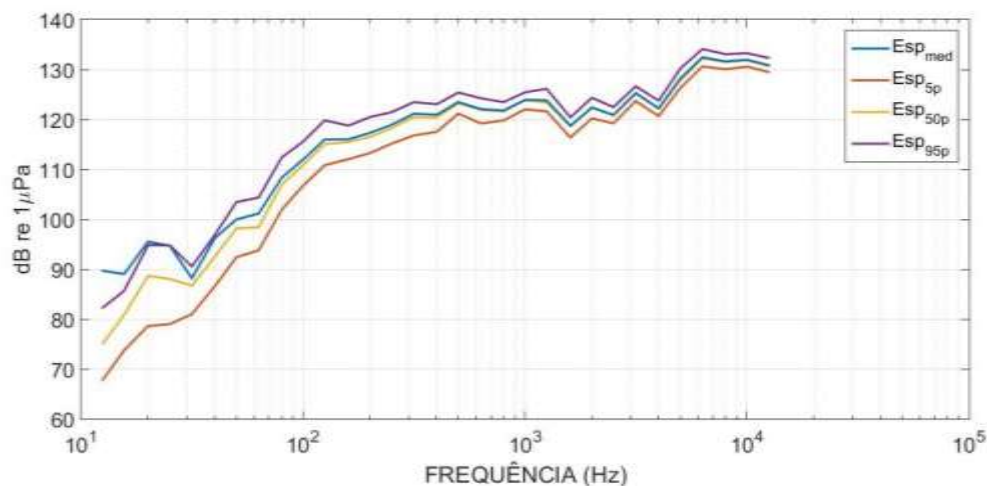


Figura B.7.3.8-1: Exemplo de espectro de 1/3 de oitava médio e nos percentis de 5%, 50% e 95% do ruído gravado num OS.

B.7.3.9 Espectrogramas

Esta apresentação consiste num mapa tridimensional mostrando a energia nas bandas dos espectros de 1/3 de oitava de um sinal e sua evolução ao longo do tempo, permitindo ver seu comportamento dinâmico. A Figura B.7.3.9-1 mostra um exemplo de um espectrograma onde se vê a passagem de duas embarcações. O eixo vertical representa a frequência, crescendo para cima, e o eixo horizontal representa o tempo. A intensidade dos sinais é dada por uma escala de cores, onde o mais claro representa maior energia.



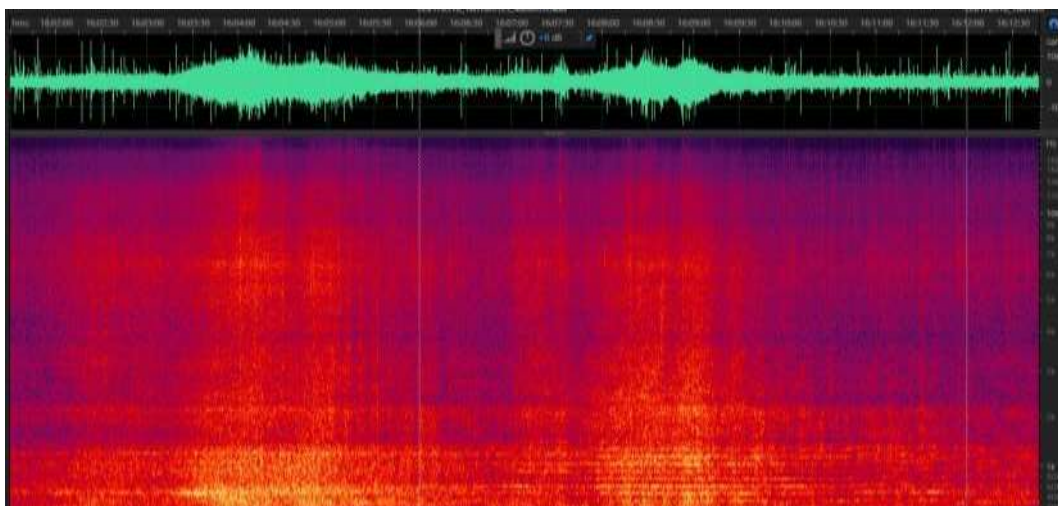


Figura B.7.3.9-1: Exemplo de um espectrograma correspondente a doze minutos de gravação num trecho em que se pode observar a passagem de duas embarcações.

B.7.3.10 Nível de Exposição Sonora – SEL_{24H}

Os parâmetros espectrais calculados a partir dos sinais acústicos gravados no projeto PMPAS-BS foram usados para calcular a energia acumulada num intervalo de 24 horas, chamado de nível de exposição sonora, SEL_{24H} (do inglês, *Sound Exposure Level*). O SEL_{24H} é usado por diversos autores para avaliar o impacto em animais marinhos das fontes sonoras presentes num meio (NOAA, 2016). No presente relatório, os dados obtidos são calculados utilizando a banda de frequência de 10 Hz a 10 kHz.

O SEL_{24h} foi calculado, também, filtrando o espectro de potência original usando pesos correspondentes aos audiogramas para grupos de baixa e média frequências entre os cetáceos (LF e MF, respectivamente), usando a fórmula em Finneran (2016):

$$W(f) = C + 10 \log_{10} \left\{ \frac{(f/f_1)^{2a}}{\left[1 + (f/f_1)^2\right]^a \left[1 + (f/f_2)^2\right]^b} \right\} \quad (\text{B.7.3.10-1})$$

onde $W(f)$ é a amplitude da função de ponderação na frequência f , em kHz, C é o ganho da função, f_1 e f_2 são as frequências de corte inferior e superior, respectivamente e a e b são expoentes não dimensionais para baixa e alta



frequências, respectivamente. As funções usadas para calcular SEL_{24h_LF} e SEL_{24h_MF} usaram os valores de C, f1, f2, a e b apresentados nas duas primeiras linhas da Tabela B.7.3.10-1. Nesta tabela são apresentados, também, os limiares para o TTS e o PTS para os diversos grupos de mamíferos marinhos.

Tabela B.7.3.10-1: Sumário dos parâmetros da função de pesos e limiares de TTS e PTS. Os limiares do SEL estão em dB re $1\mu Pa^2.s$ e para SPL_{pico} em dB re $1\mu Pa^2$. A indicação (pond.) significa que para o cálculo do SEL o espectro deve ser ponderado pelos pesos obtidos com a (B.7.3.10-1). No cálculo do SPL_{pico} não é feita a ponderação (Fonte: Finneran (2016)).

Grupo	Parâmetros da Equação (A.7.6.10-1)					Não impulsivo		Impulsivo			
	a	b	f1 (kHz)	f2 (kHz)	C (dB)	Limiar	Limiar	Limiar	Limiar		
						TTS	PTS	TTS	PTS		
						SEL (pond.)	SEL (pond.)	SEL (pond.)	SPL_{pico} (não pond.)	SEL (pond.)	SPL_{pico} (não pond.)
LF	1	2	0,20	19	0,13	179	199	168	213	183	219
MF	1,6	2	8,8	110	1,20	178	198	170	224	185	230
HF	1,8	2	12	140	1,36	153	173	140	196	155	202
SI	1,8	2	4,3	25	2,62	186	206	175	220	190	226
OW	2	2	0,94	25	0,64	199	219	188	226	203	232
PW	1	2	1,9	30	0,75	181	201	170	212	185	218

A Figura B.7.3.10-1 mostra os pesos para os diversos grupos de espécies de mamíferos marinhos calculados com a fórmula e tabela acima. Neste trabalho, foram usados apenas as curvas referentes aos grupos LF e MF.

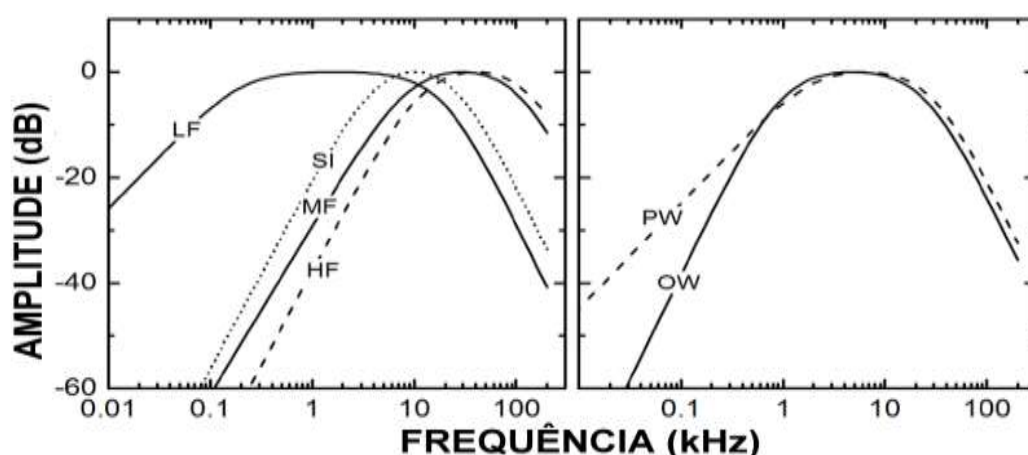


Figura B.7.3.10-1: Função de pesos para os grupos de espécies de mamíferos marinhos expostos ao ruído acústico submarino. Os parâmetros necessários para gerar as funções são fornecidos na Tabela B.7.3.10-1 (Fonte: Finneran (2016)).

A Tabela B.7.3.10-2 apresenta, para cada curva de pesos, os membros dos grupos de espécies de mamíferos marinhos correspondentes.

Tabela B.7.3.10-2: Grupos de espécies para as funções de peso baseado no audiograma (Fonte: Finneran (2016)).

Code	Name	Members
LF	Low-frequency cetaceans	Family Balaenidae (right and bowhead whales) Family Balaenopteridae (rorquals) Family Eschrichtiidae (gray whale) Family Neobalaenidae (pygmy right whale)
MF	Mid-frequency cetaceans	Family Ziphiidae (beaked whales) Family Physeteridae (Sperm whale) Family Monodontidae (Irrawaddy dolphin, beluga, narwhal) Subfamily Delphininae (white-beaked/white-sided/Risso's/bottlenose/spotted/spinner/striped/common dolphins) Subfamily Orcininae (melon-headed whales, false/pygmy killer whale, killer whale, pilot whales) Subfamily Stenoninae (rough-toothed/humpback dolphins) Genus <i>Lissodelphis</i> (right whale dolphins) <i>Lagenorhynchus albirostris</i> (white-beaked dolphin) <i>Lagenorhynchus acutus</i> (Atlantic white-sided dolphin) <i>Lagenorhynchus obliquidens</i> (Pacific white-sided dolphin) <i>Lagenorhynchus obscurus</i> (dusky dolphin)
HF	High-frequency cetaceans	Family Phocoenidae (porpoises) Family Platanistidae (Indus/Ganges river dolphins) Family Iniidae (Amazon river dolphins) Family Pontoporiidae (Baiji/ La Plata river dolphins) Family Kogiidae (Pygmy/dwarf sperm whales) Genus <i>Cephalorhynchus</i> (Commersen's, Chilean, Heaviside's, Hector's dolphins) <i>Lagenorhynchus australis</i> (Peale's or black-chinned dolphin) <i>Lagenorhynchus cruciger</i> (hourglass dolphin)
SI	Sirenians	Family Trichechidae (manatees) Family Dugongidae (dugongs)
OW	Otariids and other non-phocid marine carnivores (water)	Family Otariidae (eared seals and sea lions) Family Odobenidae (walrus) <i>Enhydra lutris</i> (sea otter) <i>Ursus maritimus</i> (polar bear)
PW	Phocids (water)	Family Phocidae (true seals)

A avaliação sobre os possíveis impactos causados por estes ruídos nos animais presentes no meio, bem como a comparação com os valores obtidos com dados da literatura, é escopo do Projeto de Monitoramento de Cetáceos na Bacia de Santos (PMC), sendo que os dados acústicos são disponibilizados pelo PMPAS-BS para o PMC-BS.

