

**Projeto de Monitoramento da Paisagem
Acústica Submarina da Bacia de Santos
PMPAS-BS**

5º Relatório Técnico - Novembro/2015 a dezembro/2020

Volume Único

**Revisão 00
Agosto / 2021**



E&P

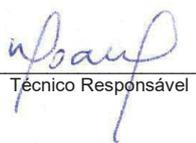
ÍNDICE GERAL

I	Apresentação.....	1
I.1	Apresentação do Projeto	1
I.2	Paisagem Acústica Submarina.....	2
I.3	Revisão Bibliográfica	4
I.3.1	Análise Bibliográfica	4
I.3.1.1	Principais Diretrizes na Área de Monitoramento da PAS.....	4
I.3.1.2	Principais Projetos na Área de Monitoramento da PAS.....	7
I.4	Estrutura do Relatório.....	15
II	Materiais e Métodos	17
II.1	Área de Estudo.....	17
II.1.1	Região Costeira	18
II.1.2	Região Oceânica	22
II.2	Dados Acústicos.....	26
II.2.1	Processamento dos Dados	26
II.2.2	Caracterização dos Dados	27
III	Paisagem Acústica Submarina na Bacia de Santos – Resultados e Discussão	29
III.1	Parte Profunda	29
III.1.1	Monitoramento Móvel – Gliders e Perfiladores	29
III.1.1.1	Comparação da Bacia de Santos com Outras Regiões do Mundo.....	34
III.1.1.2	Comparação entre as Regiões R1, R2, R3 e R4	38
III.1.2	Monitoramento Fixo – Linhas de Fundeio Instrumentadas	56




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

III.1.2.1	Comparação entre as LFIs	56
III.2	Parte Rasa – Monitoramento Fixo – Observatórios Submarinos	70
III.2.1	Níveis de Ruído Medidos nos Observatórios Submarinos	70
III.2.2	Comparação da Baía de Santos com Outras Regiões do Mundo	83
III.2.3	Variabilidade Temporal do Ruído nos Observatórios Submarinos	86
III.2.4	Ruídos Observados nos Observatórios Submarinos	93
III.2.4.1	Elevações de ruído provocado pelo fluxo das correntes de maré	99
III.2.4.2	Elevações de ruído de baixas frequências até frequências altas, provocadas pela passagem de embarcações.....	101
III.2.4.3	Elevações de ruído ocorrendo acima de 2 kHz, com sons de estalos/cliques, com provável associação a invertebrados	102
III.2.4.4	Elevações de ruído em regiões de tempo x frequência, com sons de chiado	103
III.2.4.5	Tom em 100/125 Hz e harmônicos ocorrendo do início da noite de um dia até o final da manhã do dia seguinte.....	107
III.3	Detecção de Embarcações	109
III.3.1	Detecção de Embarcações nos Gliders	109
III.3.2	Detecção de Embarcações nas LFIs	111
III.3.3	Detecção de Embarcações nos OSs	112
III.4	Detecção de Vocalização de Cetáceos	118
III.4.1	Detecção de Vocalizações nos Gliders	118
III.4.2	Detecção de Vocalizações nas LFIs	124
III.4.4	Detecção de Vocalizações nos OSs	133
III.4.4.1	OS1 e OS1A – Baía de Guanabara	133
III.4.4.2	OS2 – Baía de Ilha Grande	136



III.4.4.3	OS2R – Oeste de Ilha Grande	142
III.4.4.4	OS3 – Canal de São Sebastião	146
III.4.4.5	OS3R e OS3R1– Ilhas Cagarras	153
III.4.4.6	Comparação entre OSs	161
IV	Sistema de Modelagem Acústica Submarina - SIMAS	169
IV.1	Comparação entre as Regiões R1, R2, R3 e R4.....	170
IV.2	Apresentação de Resultados Modelados	174
IV.3	Avaliação sobre os Resultados da Modelagem.....	181
V	Considerações Finais	183
V.1	Monitoramento Móvel	183
V.2	Linhas de Fundeio Instrumentadas	184
V.3	Observatórios Submarinos	184
V.4	Deteção de Embarcações.....	186
V.5	Biofonia	187
V.6	Modelagem do Ruído Acústico na Bacia de Santos.....	188
V.7	Paisagem Acústica	189
VI	Referências Bibliográficas	195
VII	Equipe Técnica	203
VII.1	Petrobras	203
VII.2	Instituto de Pesquisas da Marinha (IPqM).....	204
APÊNDICE A	Metodologia de Aquisição e Processamento dos Dados.....	205
A.1	Monitoramento Móvel	205
A.1.1	Aquisição dos Dados Acústicos com Perfiladores	205
A.1.2	Aquisição dos Dados Acústicos com Gliders.....	205



A.2	Monitoramento Fixo	207
A.2.1	Aquisição dos Dados Acústicos com Observatórios Submarinos (OSs).....	207
A.2.2	Aquisição dos Dados Acústicos com Linhas de Fundeio Instrumentadas (LFIs).....	207
A.2.3	Dados Ambientais	208
A.3	Densidade de Embarcações.....	209
A.4	Georeferenciamento dos Dados Acústicos.....	209
A.5	Sincronização Temporal dos Dados Acústicos e dos Parâmetros espectrais	209
A.6	Sistema de Informações	210
A.7	Processamento e Arquivamento dos Dados.....	210
A.7.1	Consistência e Qualificação dos Dados.....	210
A.7.2	CrITÉrios de Detecção de Embarcações.....	211
A.7.3	CrITÉrios de Detecção de Biofonia.....	213
A.7.4	Definição dos Parâmetros Processados	213
A.7.5	Outros Processamentos.....	214
A.7.5.1	Perfiladores Acústicos.....	215
A.7.5.2	Gliders.....	216
A.7.5.3	Observatórios Submarinos.....	217
A.7.5.4	Linhas de Fundeio Instrumentadas.....	218
A.7.5.5	Dados Ambientais	219
A.7.5.6	Densidade de Embarcações	219
A.7.6	Apresentação dos Dados e Resultados	220
A.7.6.1	Resolução Espacial Plana	220
A.7.6.2	Resolução Espacial Vertical.....	220



A.7.6.3	Resolução Espectral.....	221
A.7.6.4	Resolução Temporal.....	221
A.7.6.5	Densidade Amostral Espacial.....	222
A.7.6.6	Nível de Pressão Sonora Espacial	223
A.7.6.7	Nível da Pressão Sonora Temporal.....	223
A.7.6.8	Espectros de 1/3 de Oitava.....	224
A.7.6.9	Espectrogramas.....	224
A.7.6.10	Nível de Exposição Sonora – SEL _{24H}	225
A.7.6.11	Testes Estatísticos.....	229
APÊNDICE B QUALIFICAÇÃO DOS DADOS DAS LFIs		231
B.1	Descrição das LFIs.....	231
B.2	Qualificação dos Dados das LFIs.....	235





Coordenador da Equipe





Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

FIGURAS

Figura I.2-1: O conceito de Paisagem Acústica Submarina (Fonte: Adaptada de Campbell, 2018).....	3
Figura I.3.1.1-1: Rede de estações de monitoramento acústico passivo da NOAA.....	6
Figura I.3.1.1-2: Linha do tempo para o MSFD (2008/56/EC).	7
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.....	17
Figura II.1.1-1: Observatórios Submarinos na Baía da Guanabara (OS1 e OS1A) e nas Ilhas Cagarras (OS3R e OS3R1). A distância entre o OS1 e o OS1A é de 1.365 m e a distância entre o OS3R e o OS3R1 é de 3.110 m. A distância entre o OS1 e o OS3R1 é de 8.878 m.....	20
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 OSs é de 32 km.	20
Figura II.1.1-3: Observatório Submarino no Canal de São Sebastião (OS3).....	21
Figura II.1.2-1: Posição das oito linhas de fundeio instrumentadas usadas na região oceânica da Bacia de Santos.....	23
Figura II.1.2-2: Regiões de Interesse e densidade de navegação referente a embarcações a serviço da PETROBRAS (janela superior) e de terceiros (janela inferior). (Fonte: Petrobras, (2020))	25
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.	29
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 apresentada no mapa da III.1.1-1 (gráfico de cima); e boxplot para as medições feitas em cada posição da linha (gráfico de baixo). A linha tracejada vermelha no gráfico de cima indica a posição do SPL máximo e a linha magenta a posição do SPL mínimo, considerando apenas 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.	31
Figura III.1.1-3: Histograma dos valores de SPL_{63Hz} para as medições realizadas na linha diagonal, numa posição onde aparecem muitos valores extremos ($-25,82^\circ$, $-43,58^\circ$), permitindo ver como esses valores aparecem no histograma (acima de $105 \text{ dB re } 1\mu\text{Pa}^2$).	32
Figura III.1.1-4: 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.	33
Figura III.1.1-5: 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.	34
Figura III.1.1.1-1: Comparação da densidade espectral de potência de 1/3 de oitava medianos obtidos a partir das medições realizadas nas regiões R1, R2, R3 e R4 na Bacia de Santos com medições realizadas por (HAVER et al., 2018) na região do Golfo do México.	35
Figura III.1.1.2-1: 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, $F=31.342,16$, $p=0$).	38



- Figura III.1.1.2-2: Comparação entre as regiões R1, R2, R3 e R4, usando todos os dados qualificados dos gliders e perfiladores nestas regiões, 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..... 39
- Figura III.1.1.2-3: Comparação entre as regiões R1, R2, R3 e R4, em cada ano, de 2016 a 2020, usando todos os dados qualificados dos gliders e perfiladores nestas regiões, para o filtro de 1/3 de oitava centrado em 63 Hz..... 41
- Figura III.1.1.2-4: Comparação entre as regiões R1, R2, R3 e R4, em cada ano, de 2016 a 2020, usando todos os dados qualificados dos gliders e perfiladores nestas regiões, 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. 43
- Figura III.1.1.2-5: 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..... 45
- Figura III.1.1.2-6: 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 de 50 m, 200 m, 500 m e 1.000 m, usando todos os dados qualificados dos gliders e perfiladores nestas regiões, 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..... 47
- Figura III.1.1.2-7: Coeficiente de correlação de Spearman entre os valores de intensidade do vento e o SPL (dB ref 1 μ Pa²) medido em distintas regiões da Bacia de Santos para diferentes frequências do filtro de 1/3 de oitava. As linhas verticais tracejadas indicam as frequências centrais de 63, 125, 500 e 1.000 Hz. A linha preta mais grossa considera os valores das quatro regiões no cálculo da correlação,



enquanto as demais linhas com marcadores – triângulo, círculo, quadrado e triângulo invertido – se referem às regiões R1, R2, R3 e R4, respectivamente. Os trechos e marcadores em preto indicam valores de correlação com significância estatística ao nível de 95%. 49

Figura III.1.1.2-8: Distribuições da intensidade do vento para as regiões R1, R2, R3 e R4 e respectivas média (μ) e desvio padrão (σ). A curva preta em cada histograma indica o ajuste de uma distribuição normal aos dados de cada região e a curva cinza tracejada a respectiva distribuição acumulada estimada a partir dos dados..... 51

Figura III.1.1.2-9: Variação do SPL para as frequências de 63, 125, 500 e 1.000 Hz do espectro de 1/3 de oitava para medições acústicas na Bacia de Santos (R1+R2+R3+R4) em função da velocidade do vento. As cores indicam a intensidade do vento e a linha preta indica uma curva de tendência ajustada aos dados usando uma função do tipo $y = a + bxc$ 52

Figura III.1.1.2-10: Painel superior: (a) mediana dos espectros de 1/3 de oitava do SPL para as medições com e sem a presença de embarcações em um raio de 40 km e vento inferior a 1,5 m/s; (b) diferença em dB entre as duas situações. Painel inferior: (c) espectros de 1/3 de oitava do SPL para as medições sem presença de embarcações em um raio de 40 km com vento acima e abaixo de 1,5 m/s; (d) diferença em dB entre as duas situações. As linhas cheias grossas nos gráficos (a) e (c) indicam a mediana dos espectros e as envoltórias delimitam a região entre os percentis 25 e 75%..... 55

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. 56

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. 57

Figura III.1.2.1-3: Comparação entre as LFIs para os anos de 2017 a 2020 no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz. 58



- Figura III.1.2.1-4: Comparação entre as LFIs para os anos de 2017 a 2020 nos filtros de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz. Cada conjunto de quatro marcas corresponde, da esquerda para a direita, aos anos de 2017, 2018, 2019 e 2020, respectivamente. A linha FA06 não tem dados para o ano de 2020 e as linhas FA03R e FA04R só têm dados em 2020. 59
- Figura III.1.2.1-5: Comparação entre as LFIs do SPL no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz, para as profundidades de 50 m, 200 m e 950 m. 62
- Figura III.1.2.1-6: Comparação entre as LFIs para as profundidades de 50 m, 200 m e 950 m, nos filtros de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz. Cada conjunto de três marcas ligadas por uma linha tracejada corresponde, da esquerda para a direita, às profundidades de 50 m, 200 m e 950 m, respectivamente. Os conjuntos de cada profundidade para cada frequência foram ligados por uma linha tracejada entre as LFIs, para facilitar a visualização. 64
- Figura III.1.2.1-7: Comparação entre o SEL_{24h-LF} para as oito linhas. A linha preta tracejada corresponde ao TTS..... 66
- Figura III.1.2.1-8: Comparação entre o SEL_{24h-MF} para as oito linhas. A linha preta tracejada corresponde ao TTS..... 67
- Figura III.1.2.1-9: Evolução temporal do SEL_{24h-LF} para as oito LFIs, para o período de setembro de 2017 a dezembro de 2020. 68
- Figura III.1.2.1-10: Evolução temporal do SEL_{24h-MF} para as oito LFIs, para o período de setembro de 2017 a dezembro de 2020. 69
- Figura III.2.1-1: Mediana dos espectros de 1/3 de oitava para as diferentes posições de instalação dos OSs. As linhas verticais representam os percentis de 25 % e 75 % para os níveis em cada banda do espectro.. 71
- 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, OS3 e OS3R.



As linhas verticais representam os percentis de 25 % e 75 % para os níveis em cada banda do espectro.....	72
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 e OS3. As linhas verticais representam os percentis de 25 % e 75 % para os níveis em cada banda do espectro.....	73
Figura III.2.1-4: Medianas do SPL _{63Hz} em cada mês desde março de 2017 até maio de 2021, para as sete posições analisadas dos observatórios submarinos.....	75
Figura III.2.1-5: Medianas do SPL _{125Hz} em cada mês desde março de 2017 até maio de 2021, para as sete posições analisadas dos observatórios submarinos.....	75
Figura III.2.1-6: Medianas do SPL _{500Hz} em cada mês desde março de 2017 até maio de 2021, para as sete posições analisadas dos observatórios submarinos.....	76
Figura III.2.1-7: Medianas do SPL _{1000Hz} em cada mês desde março de 2017 até maio de 2021, para as sete posições analisadas dos observatórios submarinos.....	77
Figura III.2.1-8: Boxplots do SPL _{63Hz} , para as sete posições analisadas.....	78
Figura III.2.1-9: Boxplots do SPL _{125Hz} para as sete posições analisadas.....	78
Figura III.2.1-10: Boxplots do SPL _{500Hz} para as sete posições analisadas.....	79
Figura III.2.1-11: Boxplots do SPL _{1000Hz} para as sete posições analisadas.	80
Figura III.2.1-12: SEL _{24h} para os OS1+OS1A, OS2, OS2R, OS3 e OS3R+OS3R1 usando os dados sem ponderação, com ponderação para a faixa LF e com ponderação a faixa MF. A linha tracejada vertical preta indica a separação entre as gravações dos OS1 e OS1A no gráfico de cima de entre os OS3R e OS3R1 no gráfico de baixo. 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.....	81



- Figura III.2.1-13: Boxplots do SEL_{24h}, SEL_{24h-MF} e SEL_{24h-LF}, para as sete 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..... 82
- Figura III.2.2-1: - SPL_{63Hz} (linhas horizontais azuis) e SPL_{125Hz} (linhas horizontais vermelhas) nos observatórios submarinos comparados com o SPL_{63Hz}, SPL_{125Hz} e SPL_{2000Hz} obtidos em 16 locais no mar Báltico. Os números no eixo horizontal correspondem às posições das medições, apresentadas na Tabela III.2.2-1. As linhas tracejadas estendem os níveis de cada OS e frequência para facilitar a comparação entre diferentes OSs e posições. (Fonte: modificado a partir da Fig.7 de Mustonen et al., 2019)..... 84
- Figura III.2.3-1: Evolução temporal dos níveis de SPL_{63Hz}, SPL_{125Hz}, SPL_{500Hz} e SPL_{1000Hz} no interior da Baía de Guanabara a partir dos dados do OS1 e OS1A. Os dados cobrem o período de 14/03/2017 a 05/05/2021..... 87
- Figura III.2.3-2: Evolução temporal dos níveis de SPL_{63Hz}, SPL_{125Hz}, SPL_{500Hz} e SPL_{1000Hz} a leste da Ilha Grande a partir dos dados do OS2. Os dados cobrem o período 21/03/2018 a 07/09/2019, para a frequência de 63 Hz, e de 24/05/2017 a 07/09/2019 para as demais frequências. 88
- Figura III.2.3-3: Evolução temporal dos níveis de SPL_{63Hz}, SPL_{125Hz}, SPL_{500Hz} e SPL_{1000Hz} a oeste da Ilha Grande a partir dos dados do OS2R. Os dados cobrem o período de 19/08/2020 a 07/04/2021..... 88
- Figura III.2.3-4: Evolução temporal dos níveis de SPL_{63Hz}, SPL_{125Hz}, SPL_{500Hz} e SPL_{1000Hz} no Canal de São Sebastião a partir dos dados do OS3. Os dados cobrem o período de 01/03/2018 a 14/03/2020, para a frequência de 63 Hz, e de 16/03/2017 a 14/03/2020 para as demais frequências..... 89
- Figura III.2.3-5: Variabilidade mensal do SPL no OS1 e OS1A e OS3R e OS3R1. A linha indica o valor mediano e a envoltória é delimitada pelos percentis 25% e 75%. 91



Figura III.2.3-6: Variabilidade mensal do SPL no OS2 e OS2R. A linha indica o valor mediano e a envoltória é delimitada pelos percentis 25% e 75%..	91
Figura III.2.3-7: Variabilidade mensal do SPL no OS3. A linha indica o valor mediano e a envoltória é delimitada pelos percentis 25% e 75%.....	92
Figura III.2.4-1: 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 100/125Hz)...	94
Figura III.2.4-2: Espectrograma de 1/3 de oitava para os dados gravados no dia 03 de setembro de 2020 no OS1A, na Baía de Guanabara. As letras correspondem aos tipos de ruído observados (A = Fluxo de maré; B = Embarcações; D = Coros).	95
Figura III.2.4-3: 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).	96
Figura III.2.4-4: Espectrograma de 1/3 de oitava para os dados gravados no dia 26 de setembro de 2020, no OS2R, no lado oeste de Ilha Grande. As letras correspondem aos tipos de ruído observados (B = Embarcações; D = Coros).	97
Figura III.2.4-5: Espectrograma de 1/3 de oitava para os dados gravados no dia 04 de março de 2020, no OS3, no Canal de São Sebastião. As letras correspondem aos tipos de ruído observados (B = Embarcações; D = Coros; E = Tons 100/125 Hz).	97
Figura III.2.4-6: Espectrograma de 1/3 de oitava para os dados gravados no dia 20 de maio de 2020, no OS3R, nas Ilhas Cagarras. As letras correspondem aos tipos de ruído observados (A = Fluxo de maré; B = Embarcações; D = Coros; E = Tons 100/125Hz).....	98
Figura III.2.4-7: Espectrograma de 1/3 de oitava para os dados gravados no dia 08 de fevereiro de 2021, no OS3R1, nas Ilhas Cagarras. As letras	



- correspondem aos tipos de ruído observados (B = Embarcações; D = Coros). 99
- Figura III.2.4.1-1: SPL no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 6 Hz, em função do dia e da hora do dia, para o período de 01 de abril de 2019 a 01 de julho de 2021. As linhas magentas representam os instantes do nascer do sol (linha de baixo), e do pôr do sol (linha de cima). A linha vertical preta tracejada corresponde ao tempo que a posição do OS foi alterada de OS1 (à esquerda da linha) para OS1A (à direita)..... 101
- Figura III.2.4.2-1: SPL no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 2.000 Hz, em função do dia e da hora do dia, no período de 01 de abril a 01 de novembro de 2020. As linhas magentas representam os instantes do nascer do sol (linha de baixo), e do pôr do sol (linha de cima). A linha vertical preta tracejada corresponde ao tempo que a posição do OS foi alterada de OS1 (à esquerda da linha) para OS1A (à direita)... 102
- Figura III.2.4.3-1: SPL no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 10 kHz, em função do dia e da hora do dia. As linhas magentas representam os instantes do nascer do sol (linha de baixo), e do pôr do sol (linha de cima). A linha vertical preta tracejada corresponde ao tempo que a posição do OS foi alterada de OS1 (à esquerda da linha) para OS1A (à direita) 103
- Figura III.2.4.5-1: SPL no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 100 Hz para os OS1 e OS1A, em função do dia e da hora do dia, no período de 01 de janeiro de 2017 a 01 de julho de 2021. As linhas magentas representam os instantes do nascer do sol (linha de baixo), e do pôr do sol (linha de cima). A linha vertical preta tracejada corresponde ao tempo que a posição do OS foi alterada de OS1 (à esquerda da linha) para OS1A (à direita) 107
- Figura III.2.4.5-2: Ampliação da Figura III.2.4.5-1 mostrando o SPL no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 100 Hz para os OS1 e OS1A, em função do dia e da hora do dia, no período de 01 de janeiro a 01 de



agosto de 2020. As linhas magentas representam os instantes do nascer do sol (linha de baixo), e do pôr do sol (linha de cima).....	108
Figura III.3.1-1: Número de detecções de embarcações por dia para os dados gravados pelo glider.	109
Figura III.3.1-2: Distribuições do número de detecções de embarcações por dia para as regiões R1, R2, R3 e R4.....	110
Figura III.3.1-3: Detecções de embarcações apresentadas no mapa da Bacia de Santos, para a posição média do glider no dia da medição. Os retângulos vermelhos mostram a posição das regiões R1, R2, R3 e R4.	110
Figura III.3.2-1: Distribuição do número de detecções de embarcações por dia, para cada uma das linhas de fundeio instrumentadas.	112
Figura III.3.3-1: Número de navios detectados por dia, nos OS1+OS1A, OS2, OS2R, OS3 e OS3R+OS3R1.	114
Figura III.3.3-2: Distribuição anual do número de navios detectados por dia, nos OS1+OS1A, OS2, OS2R, OS3 e OS3R+OS3R1. Cada linha vertical representa os percentis de 25% embaixo, 50% onde sai a linha tracejada conectando os anos e 75% em cima.	114
Figura III.3.3-3: Número de navios detectados por hora, para cada hora do dia e por mês, para cada mês do ano, nos OS1+OS1A, OS2, OS2R, OS3 e OS3R+OS3R1.....	116
Figura III.4.1-1 – Recortes por estação do ano	118
Figura III.4.1-2 - Minutos de assobios por dia de esforço, em cada estação do ano	119
Figura III.4.1-3 - Minutos de gemidos por dia de esforço, em cada estação do ano	120
Figura III.4.1-4 - Minutos de grunhidos por dia de esforço, em cada estação do ano	120



Figura III.4.1-5 – Número de trechos de detecções por hora para cada hora do dia para assobios, gemidos e grunhidos.....	121
Figura III.4.1-6 - Número de trechos de detecções por hora para cada mês do ano para de assobios, gemidos e grunhidos.....	121
Figura III.4.1-7 – Número de trechos de detecções de assobios por hora para uma grade de 1/6 graus.	122
Figura III.4.1-8 – Número de trechos de detecções de gemidos por hora para uma grade de 1/6 graus.	123
Figura III.4.1-9 – Número de trechos de detecções de grunhidos por hora para uma grade de 1/6 graus.	123
Figura III.4.2-1: Mapa de detecções em função da hora do dia, para cada dia de medição, para a classe “Assobios” na banda MF, para a linha FA04, na profundidade de 950m.	125
Figura III.4.2-2: Mapa de detecções em função da hora do dia, para cada dia de medição, para a classe “Grunhidos” na banda MF, para a linha FA05, na profundidade de 950m.....	125
Figura III.4.2-3: Mapa de detecções em função da hora do dia, para cada dia de medição, para a classe “Gemidos” na banda LF, para a linha FA03, na profundidade de 950m.	126
Figura III.4.2-4: Mapa de detecções em função da hora do dia, para cada dia de medição, para a classe “Grunhidos” na banda LF, para a linha FA04, na profundidade de 950m.	126
Figura III.4.2-5: Detecções por hora para cada hora do dia e para cada mês do ano, para as detecções do tipo “Gemidos” na banda LF, para as linhas FA01, FA02, FA03, FA04, FA05 e FA06.....	127
Figura III.4.2-6: Detecções por hora para cada hora do dia e para cada mês do ano, para as detecções do tipo “Grunhidos” na banda LF, para as linhas FA01, FA02, FA03, FA04, FA05 e FA06.....	128



Figura III.4.2-7: Detecções por hora para cada hora do dia e para cada mês do ano, para as detecções do tipo “Assobios” na banda MF, para as linhas FA01, FA02, FA03, FA04, FA05 e FA06.	128
Figura III.4.2-8: Detecções por hora para cada hora do dia e para cada mês do ano, para as detecções do tipo “Grunhidos” na banda MF, para as linhas FA01, FA02, FA03, FA04, FA05 e FA06.	129
Figura III.4.2-9: Espectrograma de um sinal com vocalizações do tipo “Gemidos”, obtido na linha FA04, na profundidade de 950 m.	130
Figura III.4.2-10: Espectrograma de um sinal com vocalizações do tipo “Grunhidos”, obtido na linha FA06, na profundidade de 950 m.	130
Figura III.4.2-11: Espectrograma de um sinal com uma vocalização do tipo “Assobios”, obtido na linha FA04, na profundidade de 950 m.	131
Figura III.4.2-12: Espectrograma de um sinal do próprio sistema, identificado como sendo do tipo “Gemidos”, obtido na linha FA05 na profundidade de 950 m.....	131
Figura III.4.4.1-1: Número de detecções de vocalizações classificadas como “Grunhidos para os OS1 e OS1A, na Baía de Guanabara, na faixa de baixa frequência (LF). A parte de baixo mostra o número de detecções distribuído pelas horas do dia, para cada dia. A parte de cima mostra o total de detecções por dia.....	133
Figura III.4.4.1-2: Espectrograma de banda estreita mostrando 20 segundos de sinal num dos trechos de maior densidade de detecções da Figura III.4.4.1-1-C.....	134
Figura III.4.4.1-3: Número de detecções de vocalizações classificadas como “Grunhidos” para os OS1 e OS1A, na Baía de Guanabara, na faixa de média frequência (MF). A parte de baixo mostra o número de detecções distribuído pelas horas do dia, para cada dia. A parte de cima mostra o total de detecções por dia.	135



Figura III.4.4.1-4: Espectrograma de banda estreita mostrando 20 segundos de sinal num dos trechos de maior densidade de detecções da Figura III.4.4.1-3.	135
Figura III.4.4.2-1: Número de detecções de vocalizações classificadas como “Gemidos” para os OS2, na Baía de Ilha Grande, na faixa de baixa frequência (LF). A parte de baixo mostra o número de detecções distribuído pelas horas do dia, para cada dia. A parte de cima mostra o total de detecções por dia.	136
Figura III.4.4.2-2: Espectrograma de banda estreita mostrando 20 segundos de sinal num dos trechos de maior densidade de detecções da Figura III.4.4.2-1.	137
Figura III.4.4.2-3: Número de detecções de vocalizações classificadas como “Grunhidos” para os OS2, na Baía de Ilha Grande, na faixa de baixa frequência (LF). A parte de baixo mostra o número de detecções distribuído pelas horas do dia, para cada dia. A parte de cima mostra o total de detecções por dia.	138
Figura III.4.4.2-4: Espectrograma de banda estreita mostrando 20 segundos de sinal num dos trechos de maior densidade de detecções da Figura III.4.4.1-3.	138
Figura III.4.4.2-5: Número de detecções de vocalizações classificadas como “Assobios” para os OS2, na Baía de Ilha Grande, na faixa de média frequência (MF). A parte de baixo mostra o número de detecções distribuído pelas horas do dia, para cada dia. A parte de cima mostra o total de detecções por dia.	139
Figura III.4.4.2-6: Espectrograma de banda estreita mostrando 15 segundos de sinal num dos trechos de maior densidade de detecções da Figura III.4.4.2-5.	140
Figura III.4.4.2-7: Número de detecções de vocalizações classificadas como “Grunhidos” para os OS2, na Baía de Ilha Grande, na faixa de média frequência (MF). A parte de baixo mostra o número de detecções	



distribuído pelas horas do dia, para cada dia. A parte de cima mostra o total de detecções por dia.....	141
Figura III.4.4.2-8: Espectrograma de banda estreita mostrando 15 segundos de sinal num dos trechos de maior densidade de detecções da Figura III.4.4.2-7.	141
Figura III.4.4.3-1: Número de detecções de vocalizações classificadas como “Grunhidos” para o OS2R, no lado oeste de Ilha Grande, na faixa de baixa frequência (LF). A parte de baixo mostra o número de detecções distribuído pelas horas do dia, para cada dia. A parte de cima mostra o total de detecções por dia.....	142
Figura III.4.4.3-2: Espectrograma de banda estreita mostrando 20 segundos de sinal num dos trechos de maior densidade de detecções da Figura III.4.4.3-1.	143
Figura III.4.4.3-3: Número de detecções de vocalizações classificadas como “Assobios” para o OS2R, no lado oeste de Ilha Grande, na faixa de média frequência (MF). A parte de baixo mostra o número de detecções distribuído pelas horas do dia, para cada dia. A parte de cima mostra o total de detecções por dia.	144
Figura III.4.4.3-4: Espectrograma de banda estreita mostrando 20 segundos de sinal num dos trechos de maior densidade de detecções da Figura III.4.4.3-3.	144
Figura III.4.4.3-5: Número de detecções de vocalizações classificadas como “Grunhidos” para o OS2R, no lado oeste de Ilha Grande, na faixa de média frequência (MF). A parte de baixo mostra o número de detecções distribuído pelas horas do dia, para cada dia. A parte de cima mostra o total de detecções por dia.	145
Figura III.4.4.3-6: Espectrograma de banda estreita mostrando 20 segundos de sinal num dos trechos de maior densidade de detecções da Figura III.4.4.3-5.	146



Figura III.4.4.4-1: Número de detecções de vocalizações classificadas como “Gemidos” para os OS3, no Canal de São Sebastião, na faixa de baixa frequência (LF). A parte de baixo mostra o número de detecções distribuído pelas horas do dia, para cada dia. A parte de cima mostra o total de detecções por dia.	147
Figura III.4.4.4-2: Espectrograma de banda estreita mostrando 20 segundos de sinal num dos trechos de maior densidade de detecções da Figura III.4.4.4-1.	147
Figura III.4.4.4-3: Espectrograma de banda estreita mostrando 20 segundos de sinal num dos trechos de maior densidade de detecções da Figura III.4.4.4-1.	148
Figura III.4.4.4-4: Número de detecções de vocalizações classificadas como “Grunhidos” para os OS3, no Canal de São Sebastião, na faixa de baixa frequência (LF). A parte de baixo mostra o número de detecções distribuído pelas horas do dia, para cada dia. A parte de cima mostra o total de detecções por dia.	149
Figura III.4.4.4-5: Espectrograma de banda estreita mostrando 20 segundos de sinal num dos trechos de maior densidade de detecções da Figura III.4.4.4-4.	150
Figura III.4.4.4-6: Número de detecções de vocalizações classificadas como “Assobios” (A) e “Grunhidos” (B) para os OS3, no Canal de São Sebastião, na faixa de média frequência (MF). A parte de baixo mostra o número de detecções distribuído pelas horas do dia, para cada dia. A parte de cima mostra o total de detecções por dia.	151
Figura III.4.4.4-7: Espectrograma de banda estreita mostrando 20 segundos de sinal num dos trechos de maior densidade de detecções da Figura III.4.4.4-6.	151
Figura III.4.4.4-8: Número de detecções de vocalizações classificadas como Grunhidos” para os OS3, no Canal de São Sebastião, na faixa de média frequência (MF). A parte de baixo mostra o número de	



detecções distribuído pelas horas do dia, para cada dia. A parte de cima mostra o total de detecções por dia.	152
Figura III.4.4.4-9: Espectrograma de banda estreita mostrando 15 segundos de sinal num dos trechos de maior densidade de detecções da Figura III.4.4.4-8.	153
Figura III.4.4.5-1: Número de detecções de vocalizações classificadas como “Assobios” para os OS3R e OS3R1, nas Ilhas Cagarras, na faixa de baixa frequência (LF). A parte de baixo mostra o número de detecções distribuído pelas horas do dia, para cada dia. A parte de cima mostra o total de detecções por dia.....	154
Figura III.4.4.5-2: Espectrograma de banda estreita mostrando 20 segundos de sinal num dos trechos de maior densidade de detecções da Figura III.4.4.5-1.	154
Figura III.4.4.5-3: Número de detecções de vocalizações classificadas como “Assobios” (A), “Gemidos” (B) e “Grunhidos” (C) para os OS3R e OS3R1, nas Ilhas Cagarras, na faixa de baixa frequência (LF). A parte de baixo mostra o número de detecções distribuído pelas horas do dia, para cada dia. A parte de cima mostra o total de detecções por dia. ...	155
Figura III.4.4.5-4: Espectrograma de banda estreita mostrando 20 segundos de sinal num dos trechos de maior densidade de detecções da Figura III.4.4.5-3.	156
Figura III.4.4.5-5: Número de detecções de vocalizações classificadas como “Grunhidos” para os OS3R e OS3R1, nas Ilhas Cagarras, na faixa de baixa frequência (LF). A parte de baixo mostra o número de detecções distribuído pelas horas do dia, para cada dia. A parte de cima mostra o total de detecções por dia.....	157
Figura III.4.4.5-6: Espectrograma de banda estreita mostrando 20 segundos de sinal num dos trechos de maior densidade de detecções da Figura III.4.4.5-5.	158



- Figura III.4.4.5-7: Número de detecções de vocalizações classificadas como “Assobios” para os OS3R e OS3R1, nas Ilhas Cagarras, na faixa de média frequência (MF). A parte de baixo mostra o número de detecções distribuído pelas horas do dia, para cada dia. A parte de cima mostra o total de detecções por dia..... 159
- Figura III.4.4.5-8: Espectrograma de banda estreita mostrando 20 segundos de sinal num dos trechos de maior densidade de detecções da Figura III.4.4.5-7..... 159
- Figura III.4.4.5-9: Número de detecções de vocalizações classificadas como “Grunhidos” para os OS3R e OS3R1, nas Ilhas Cagarras, na faixa de média frequência (MF). A parte de baixo mostra o número de detecções distribuído pelas horas do dia, para cada dia. A parte de cima mostra o total de detecções por dia..... 160
- Figura III.4.4.5-10: Espectrograma de banda estreita mostrando 10 segundos de sinal num dos trechos de maior densidade de detecções da Figura III.4.4.5-9..... 161
- Figura III.4.4.6-1: Número de detecções na faixa de baixa frequências (LF) obtidas por hora do dia, no gráfico de cima e por mês do ano, no gráfico de baixo, para detecções classificadas como “Assobios”, para as posições OS1-OS1A, OS2, OS3 e OS3-OS3R1..... 162
- Figura III.4.4.6-2: Número de detecções na faixa de baixa frequências (LF) obtidas por hora do dia, no gráfico de cima e por mês do ano, no gráfico de baixo, para detecções classificadas como “Gemidos”, para as posições OS1-OS1A, OS2, OS3 e OS3-OS3R1..... 163
- Figura III.4.4.6-3: Número de detecções na faixa de baixa frequências (LF) obtidas por hora do dia, no gráfico de cima e por mês do ano, no gráfico de baixo, para detecções classificadas como “Grunhidos”, para as posições OS1-OS1A, OS2, OS3 e OS3-OS3R1..... 164
- Figura III.4.4.6-4: Número de detecções na faixa de média frequências (MF) obtidas por hora do dia, no gráfico de cima e por mês do ano, no gráfico



de baixo, para detecções classificadas como “Assobios”, para as posições OS1-OS1A, OS2, OS3 e OS3-OS3R1.	165
Figura III.4.4.6-5: Número de detecções na faixa de média frequências (MF) obtidas por hora do dia, no gráfico de cima e por mês do ano, no gráfico de baixo, para detecções classificadas como “Grunhidos, para as posições OS1-OS1A, OS2, OS3 e OS3-OS3R1.	166
Figura IV.1-1: - Variação anual do número de registros de AIS em janelas de 2 horas, para as regiões R1, R2, R3 e R4 nos anos de 2017 a 2019. (Fonte: PMTE 2016, 2017, 2018, 2019)	171
Figura IV.1-2: SPL _{63Hz} para a profundidade de 50 m, para as regiões R1, R2, R3 e R4 nos anos de 2017 a 2019.	172
Figura IV.1-3: - SPL _{125Hz} na profundidade de 50 m, para as regiões R1, R2, R3 e R4 nos anos de 2017 a 2019.....	173
Figura IV.2-1: Densidade de navegação estimada a partir dos registros de AIS referentes aos anos de 2016 a 2019. Os retângulos correspondem às regiões R1, R2, R3 e R4, usadas para comparações nesta seção. Fonte: PMTE (2016, 2017, 2018, 2019).	175
Figura IV.2-2: Mapas de ruído com o SPL _{63Jz} médio na Bacia de Santos para os anos de 2016 a 2019, para a profundidade de 50 m.	176
Figura IV.2-3: Mapa das diferenças do SPL _{63Hz} (dB) entre os anos de 2019 e 2016 para a profundidade de 50 m.....	177
Figura IV.2-4: Mapas de ruído com o SPL _{125Jz} médio na Bacia de Santos para os anos de 2016 a 2019, para a profundidade de 50 m.	178
Figura IV.2-5: - Mapa das diferenças do SPL _{125Hz} (dB) entre os anos de 2019 e 2016 para a profundidade de 50 m.....	179
Figura IV.2-6: - Mapas de ruído com o SPL _{63Hz} médio na Bacia de Santos para as estações do ano, combinando dados de 2016 a 2019, para a profundidade de 50 m.....	180



Figura IV.2-7: - Mapas de ruído com o SPL_{125Hz} médio na Bacia de Santos para as estações do ano, combinando dados de 2016 a 2019, para a profundidade de 50 m.	181
Figura A.7.2-1: Exemplo do sinal acústico durante a passagem de uma embarcação por um OS.	212
Figura A.7.2-2: Espectros obtidos antes e durante a passagem da embarcação.	212
Figura A.7.5.1-1: Exemplo de espectro de SPL médio e nos percentis de 5%, 50% e 95%, transmitido por um perfilador, em 26/01/2017, para a profundidade de 183 m.	216
Figura A.7.5.2-1: Exemplo de espectro de SPL médio e nos percentis de 5%, 50% e 95%, calculado a partir de um sinal gravado por um glider em 14/11/2017, para a profundidade de 592 m.	217
Figura A.7.5.3-1: Exemplo de espectro de SPL médio e nos percentis de 5%, 50% e 95%, calculado a partir de um sinal gravado num OS em 17/07/2017, para a profundidade de 24 m.	218
Figura A.7.5.4-1: Exemplo de espectro de SPL médio e nos percentis de 5%, 50% e 95%, calculado a partir de um sinal gravado numa LFI em 26/11/2017, para a profundidade de 200m.	219
Figura A.7.6.5-1: Exemplo da distribuição espacial da Densidade Amostral para as profundidades entre 0 e 100 m.	222
Figura A.7.6.6-1: Exemplo da distribuição espacial de SPL para as profundidades entre 0 e 100 m.	223
Figura A.7.6.7-1: Exemplo de apresentação do SPL em função do tempo, com resolução temporal de um minuto.	224
Figura A.7.6.8-1: Exemplo de espectro de 1/3 de oitava médio e nos percentis de 5%, 50% e 95% do ruído gravado num OS.	224



Figura A.7.6.9-1: Exemplo de um espectrograma correspondente a doze minutos de gravação num trecho em que se pode observar a passagem de duas embarcações.	225
Figura A.7.6.10-1: 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 A.7.6.10-1 (Fonte: Finneran (2016)).....	227
Figura A.7.6.11-1: Exemplo de comparação entre dados utilizando o boxplot. Neste caso, são comparados os níveis sonoros obtidos por gliders e perfiladores nas regiões R1, R2 e R3, no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz.	230
Figura B.1-1 – Esquema da instalação de equipamentos na linha de fundeio (Fonte: OCEANPACT, 2020).....	232
Figura B.1-2 - LFI-FA04 nas campanhas C01, C02, C03, C04 e C05, para a profundidade de 50 m. Em cima, SPL na faixa de frequência de 10 Hz a 10kHz, SEL24h_LF e SEL24h_MF. A linha preta tracejada representa o limiar para o TTS. Embaixo, espectrograma para todos os dados, sendo que a linha preta indica a velocidade da corrente (a escala vertical é definida pelas linhas tracejadas pretas, indicando as velocidades de 20, 40 e 60 cm/s. A linha tracejada em vermelho indica a velocidade de 13 cm/s).....	233
Figura B.1-3 - Boxplots das intensidades de corrente para as profundidades dos equipamentos em cada linha.	234
Figura B.2-1 – Correlação máxima do SPL nas bandas de 63, 125, 500 e 1.000 Hz com a corrente, para cada tipo de qualificação usado, usando todos os dados de cada linha.....	237
Figura B.2-2 - Correlação máxima do SPL nas bandas de 63, 125, 500 e 1.000 Hz com a corrente, para cada tipo de qualificação usado, para cada profundidade, usando dados de todas as linhas.	238



Figura B.2-3 – Percentual de dados aceitos para cada tipo de qualificação, para
cada profundidade, usando dados de todas as linhas. 238





Coordenador da Equipe





Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

TABELAS

Tabela I.3.1.1-1: Principais projetos do Programa de Acústica Submarina da NOAA Fisheries.....	5
Tabela I.3.1.2-1: Definição dos indicadores para composição da Matriz de “Magnitude”	11
Tabela I.3.1.2-2: Matriz de magnitude (Projeto x Indicadores, onde os indicadores foram classificados em baixo (B), médio (M) e alto (A) tendo como referência o Programa de Acústica Submarina da NOAA). 11	
Tabela I.3.1.2-3: Principais projetos na área de monitoramento da PAS, indicando sua magnitude.....	13
Tabela II.1.1-1 - Posição e profundidade local de instalação dos Observatórios Submarinos.	18
Tabela II.1.2-1 - Posição e profundidade local de instalação das linhas de fundeio instrumentadas	23
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.....	28
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.	34
Tabela III.1.1.1-2: Comparação de resultados obtidos nas regiões R1, R2, R3 e R4 na Bacia de Santos com medições realizadas no Reino Unido, descritas em Merchant et al. (2016)	37
Tabela III.1.1.2-1: SPL no 25º, 50º (mediano), 75º e 90º percentis e nível RMS para as medições realizadas nas 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 com frequências centrais em 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz.	40



Tabela III.1.1.2-2: Mediana para as medições realizadas nas 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 com frequências centrais em 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz, para os anos de 2016 a 2020.	44
Tabela III.1.1.2-3: Mediana para as medições realizadas nas 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 com frequências centrais em 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz, para as faixas de profundidade em torno de 50 m, 200 m, 500 m e 950 m.	48
Tabela III.1.2.2-1: Medianas para os dados das LFIs nos filtros de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz.	58
Tabela III.1.2.2-2: Medianas para os dados das LFIs nos filtros de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz, para os anos de 2017, 2018, 2019 e 2020. O teste estatístico ANOVA aplicado por frequência teve os seguintes resultados, todos com $p=0,0000$: 63 Hz – $F=36.673,5$, 125Hz – $F=49.272,1$, 500 Hz – $F=28.151,6$, 1.000 Hz – $F=17.273,7$. A linha FA06 não teve dados coletados no ano de 2017 e as linhas FA03R e FA04R só começaram a coletar dados em 2020.	61
Tabela III.1.2.2-3: Medianas para os dados das LFIs nos filtros de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz, para as profundidades de 50 m, 200 m e 950 m. O teste estatístico ANOVA aplicado por frequência teve os seguintes resultados, todos com $p=0,0000$: 63 Hz – $F=37.347,3$, 125 Hz – $F=51.758,8$, 500 Hz – $F=41.585,7$, 1.000 Hz – $F=29.948,2$. A linha FA04R não teve dados coletados na profundidade de 50 m.	65
Tabela III.2.1-1: Medianas do SPL nas bandas de 1/3 de oitava centradas nas frequências de 63, 125, 500 e 1.000 Hz. Para cada frequência, as diferenças entre as distribuições foram consideradas estatisticamente significativas (ANOVA, $p=0$), com exceção dos OS2 e OS3R1 para a banda de 1.000 Hz.	80



Tabela III.2.2-1: - SPL_{63Hz} e SPL_{125Hz} nos observatórios submarinos e em 16 locais no mar Báltico.	85
Tabela III.2.4-1: Informações sobre os chiados, definindo os tempos de início e fim dentro do dia e a faixa de frequência das áreas definidas.....	106
Tabela III.3.3-1: Número de embarcações detectadas em cada posição.....	113
Tabela A.7.6.3-1: Frequência central das bandas dos filtros de 1/3 de oitava, em Hz, em função do número da banda.	221
Tabela A.7.6.10-1: 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 Equação (A.7.6.10-1). No cálculo do SPL_{pico} não é feita a ponderação (Fonte: Finneran (2016)).....	226
Tabela A.7.6.10-2: Grupos de espécies para as funções de peso baseado no audiograma (Fonte: Finneran (2016)).....	228



Coordenador da Equipe

Técnico Responsável5º Relatório
TécnicoRevisão 00
08/2021

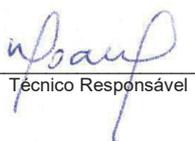
I APRESENTAÇÃO

I.1 APRESENTAÇÃO DO PROJETO

O Projeto de Monitoramento da Paisagem Acústica Submarina na 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 a região. O propósito 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. Como uma de suas possíveis aplicações, estas medições poderão também 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 (36.000 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). Nesse sentido, o escopo de levantamento de dados do PMPAS-BS compreende:

- **Monitoramento Móvel:** realizado através de equipamento de navegação autônoma do tipo *glider* e perfiladores acústicos de livre deriva;


Coordenador da Equipe
Técnico Responsável5º Relatório
TécnicoRevisão 00
08/2021

- **Monitoramento Fixo Costeiro:** realizado através de observatórios submarinos rasos instalados em regiões costeiras da Bacia de Santos;
- **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.

O presente relatório apresenta os dados obtidos pelo projeto no período de novembro de 2015 a dezembro de 2020 para o monitoramento móvel, de março de 2017 a maio de 2021 para o monitoramento fixo costeiro e de setembro de 2017 a dezembro de 2020 para o monitoramento fixo oceânico.

1.2 PAISAGEM ACÚSTICA SUBMARINA

Nas últimas décadas, os estudos na área de Acústica Submarina têm crescido significativamente e se tornado mais difundidos, porém essa área tem sido investigada desde o século XV. Em 1490, o cientista Leonardo Da Vinci, relatou em suas anotações o que seria o primeiro método de escuta submarina passiva (URICK, 1983). Três séculos após Da Vinci, os cientistas Jean-Daniel Colladon e Charles-François Sturm realizaram a primeira tentativa registrada para determinar a velocidade do som na água (COLLADON; STURM, 1827). Como sugerido por Da Vinci, eles utilizaram um tubo para ouvir o som debaixo da água e estimar a velocidade do som de um sino submerso naquele meio (MEDWIN; CLAY, 1998). No entanto, o início mais efetivo de pesquisas nessa área ocorreu no Século XX, período marcado pelo naufrágio do navio Titanic, duas guerras mundiais e a invenção do computador. Assim, devido às necessidades relacionadas à segurança e ao aumento da capacidade de cálculos matemáticos complexos, as pesquisas e desenvolvimento em Acústica Submarina ganharam força e começaram a ser incentivadas. As principais áreas estudadas foram Navegação Sonar e Localização de Fontes, dentre outras.

Estudos sobre paisagem acústica começaram a surgir no final da década de 60 com o trabalho de Southworth (1969), que foi um dos primeiros a utilizar o termo paisagem acústica. O autor abordou a percepção das pessoas em relação




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

aos sons produzidos no ambiente urbano e as atividades que ocorrem dentro das cidades.

Mais tarde, a criação do *World Soundscape Project* (WSP), liderado por Raymond Murray Schafer, da *Simon Fraser University*, no Canadá, surgiu como uma tentativa de chamar a atenção para o aumento da poluição sonora em Vancouver. Como resultado de estudos feitos pelo WSP, Schafer (1977) reconheceu que os sons são propriedades ecológicas da paisagem, afirmando que as características acústicas de uma área podem refletir seus processos naturais.

Dez anos depois, Krause (1987) dirigiu seu olhar para a descrição da complexa combinação dos sons biológicos com os outros sons do ambiente, introduzindo o termo biofonia, para retratar os sons oriundos de organismos e geofonia, para os sons de origem não biológica. Pijanowski *et al.* (2011) introduziram o termo antropofonia, referindo-se aos sons de origem antropogênica. Desta forma, o termo paisagem acústica (Figura I.2-1) tem sido utilizado para descrever a relação entre determinada paisagem e sua composição sonora, incluindo a biofonia, geofonia e antropofonia (PIJANOWSKI *et al.*, 2011).

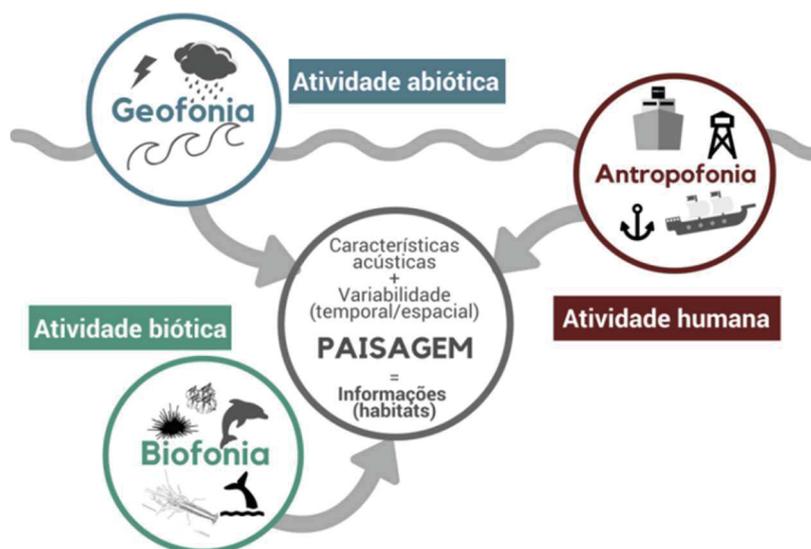


Figura I.2-1: O conceito de Paisagem Acústica Submarina (Fonte: Adaptada de Campbell, 2018).

I.3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O levantamento sobre monitoramento da paisagem acústica submarina (PAS) foi realizado durante o mês de março de 2020 e atualizado em julho de 2021. Foram pesquisados trabalhos que continham métodos e resultados de monitoramento da PAS com objetivo de correlacioná-los aos empregados e obtidos pelo PMPAS-BS. Em relação à bibliografia analisada, foi realizada uma avaliação dos seguintes tópicos: objetivos, métodos (equipamentos utilizados, duração do monitoramento, análises) e principais resultados/conclusões.

I.3.1 Análise Bibliográfica

Nos últimos dez 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 indústria do petróleo), canhões de ar usados para levantamentos sísmicos (indústria do petróleo), sonares ativos (atividades militares e de pesquisas), explosivos submarinos (operações militares, 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 (Hildebrand, 2009; Cockrem, 2014; Harris e Radford, 2014).

I.3.1.1 Principais Diretrizes na Área de Monitoramento da PAS

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 modelagem da PAS e diversidade de mamíferos marinhos, ao monitoramento acústico passivo contínuo e controle do ruído submarino. A Tabela I.3.1.1-1 apresenta os principais projetos




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

do Programa de Acústica Submarina da *NOAA Fisheries*. Por exemplo, a NOAA possui uma rede de estações acústicas de referência que cobre quase toda a costa americana, apresentada na Figura I.3.1.1-1. Além disso, como fruto desses projetos, em agosto de 2016, a NOAA publicou o “*Ocean Noise Strategy Roadmap*”. Esse documento reúne informações significativas sobre os efeitos do ruído antropogênico na vida marinha (GEDAMKE et al., 2016).

Tabela I.3.1.1-1: Principais projetos do Programa de Acústica Submarina da NOAA Fisheries.

Projeto	Descrição
NOAA's Ocean Noise Strategy	Desenvolvimento de estratégias para lidar com os impactos do ruído nos oceanos e orientação de ações científicas e de gerenciamento em direção a essa visão.
The NOAA CetSound Project	Desenvolvimento de duas ferramentas de mapeamento: CetMap e SoundMap, ambas com o objetivo de auxiliar na avaliação dos impactos do ruído produzido pelo homem sobre as espécies de cetáceos.
NOAA's Ocean Noise Reference Stations	Construção de uma rede de estações de referência para monitoramento acústico submarino nas águas dos EUA com objetivo de monitorar mudanças e tendências de longo prazo na paisagem acústica submarina considerando a consistência e a calibração efetiva dos dados acústicos.
Stellwagen Bank National Marine Sanctuary Passive Acoustic Research	Monitoramento de vocalizações de baleias e peixes com objetivo de avaliar o impacto antropogênico nos organismos deste santuário.
NOAA/Navy Soundscape Monitoring in National Marine Sanctuaries	Monitoramento da paisagem acústica submarina com objetivo de avaliar o impacto antropogênico nos organismos em 7 santuários e 1 monumento nacional.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

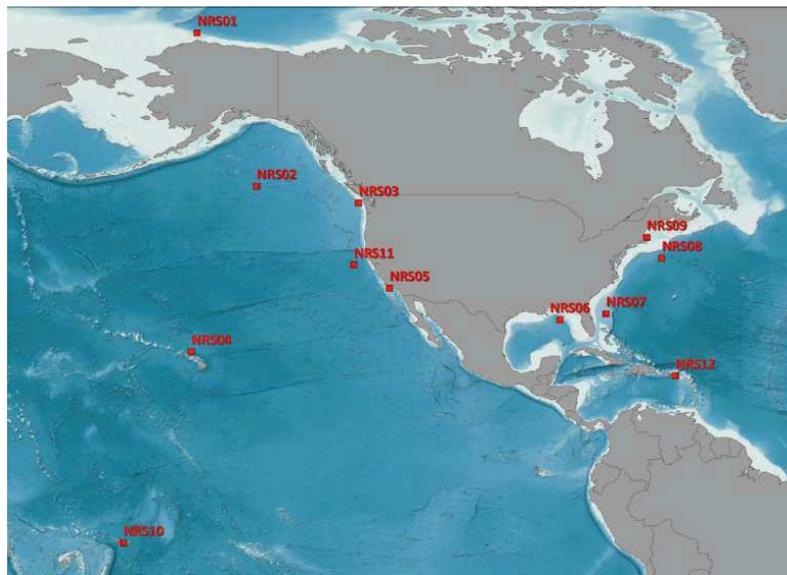


Figura I.3.1.1-1: Rede de estações de monitoramento acústico passivo da NOAA.

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 baixa e média frequência; e sons contínuos em baixas frequências. Em 2012, foi criado um grupo de técnicos para explorar e desenvolver esses dois indicadores.

Em 2014, foi publicado um guia de monitoramento para ruído submarino nos mares europeus (*Monitoring Guidance for Underwater Noise in European Seas*). Tal documento é dividido em três partes: sumário executivo e recomendações; especificações do guia de monitoramento; e anexos/fundamentos teóricos (DEKELING et al., 2013, 2014a, 2014b).

A Figura I.3.1.1-2 apresenta uma linha do tempo descrevendo o planejamento inicial do MSFD, feito em 2008. Apesar de o MSFD estabelecer que o “bom *status* ambiental” (*Good Environmental Status – GES*) deve ser alcançado em 2020, os critérios para o estabelecimento do GES não foram definidos no documento que propôs as diretrizes. Estas diretrizes devem ser revisadas até



2023, tendo sido lançada uma consulta pública para recebimento de sugestões para sua revisão (EUROPEAN COMMISSION, 2020).



Figura I.3.1.1-2: Linha do tempo para o MSFD (2008/56/EC).

I.3.1.2 Principais Projetos na Área de Monitoramento da PAS

Nesta seção, são listados alguns projetos de maior abrangência em termos espaciais e temporais relacionados ao monitoramento da PAS. Para caracterização deles, são descritos seus objetivos, duração, equipamentos de gravação acústica utilizados, área de coleta e magnitude do projeto (classificação relacionada a tamanho da área/estrutura do projeto, duração e diversidade de equipamentos utilizados: baixa, média e alta). A comparação entre projetos nem sempre é possível devido à grande multiplicidade de escopos destes projetos e correspondentes estratégias e esforços empregados para atingir os objetivos desejados. A avaliação das técnicas e soluções utilizadas em outros projetos mundiais de monitoramento acústico submarino, no entanto, permite manter o estado da arte das metodologias, equipamentos e modelagem na proposta do PMPAS-BS. A Tabela I.3.1.2-3 apresenta um resumo destes projetos.

1) PMPAS-BS

Objetivos: Caracterizar a paisagem acústica submarina e monitorar o nível de ruído submarino na região do Polo Pré-Sal na Bacia de Santos (sudeste brasileiro) e nas rotas de navegação preferenciais que servem a região.



Site: <https://www.comunicabaciadesantos.com.br/programa-ambiental/projeto-de-monitoramento-da-paisagem-acustica-submarina-pmpas.html>

2) NOAA's Ocean Acoustics Program

Objetivos: Apoiar e/ou realizar pesquisas que examinam os possíveis impactos do ruído antropogênico em animais marinhos na costa dos EUA.

Site: <https://www.fisheries.noaa.gov/national/population-assessments/acoustics-program-research-projects>

3) Assessment and Monitoring of Ocean Noise in Irish Waters

Objetivos: Monitorar a PAS, catalogar seus sons, descrever distúrbios provocados pelo som em baleias, gerar mapas de ruído, propor diretrizes para monitoramentos em mares irlandeses e divulgar informações adquiridas.

Site: <http://erc.epa.ie/safer/iso19115/display?isoID=3045>

4) SAVE WHALES 2019

Objetivos: Desenvolver, implementar e testar um sistema autônomo de detecção de baleias nas proximidades de rotas marítimas ao largo da costa sudoeste de Creta (Grécia).

Site: <https://www.siplab.fct.ualg.pt/proj/save-whales.shtml>

5) Joint Framework for Ocean Noise in the Atlantic Seas (JONAS)

Objetivos: Abordar os riscos da poluição sonora na biodiversidade, concentrando-se em espécies receptoras sensíveis no Atlântico Norte, simplificando o monitoramento do ruído do oceano e a previsão de riscos.

Site: <https://www.jonasproject.eu/>

6) Interreg Italy-Croatia Soundscape

Objetivos: Implementar uma rede de monitoramento compartilhada para uma avaliação regional e transnacional coordenada do ruído submarino, avaliar o impacto do ruído nos recursos biológicos marinhos, desenvolver e implementar uma ferramenta de gerenciamento.

Site: <https://www.italy-croatia.eu/web/soundscape>




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

7) Mediterranean sound surveillance network - CALME

Objetivos: Monitorar a paisagem sonora submarina ao longo da costa ocidental do Mediterrâneo.

Site: <https://chorusacoustics.com/monitoring>

8) Large-scale underwater acoustic monitoring program across eastern Canadian waters

Objetivos: Monitorar a PAS, catalogar sons da PAS, avaliar o impacto de levantamentos sísmicos.

Site: <https://www.iasco.com/esrf>

9) Long-term soundscape monitoring from Curtin University

Objetivos: Monitorar a PAS na grande barreira de corais, Austrália.

Site: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09524622.2017.1344930>

10) Passive Acoustic Monitoring of Ambient Noise and Marina Mammals – Barossa Field

Objetivos: Caracterizar a paisagem acústica submarina e estabelecer uma linha de base do nível de ruído submarino na região de Barossa na Bacia de Bonaparte (território norte australiano).

Site: <https://www.nopsema.gov.au/offshore-industry/environmental-management/assessment-process/public-comment>

11) Atlantic Deepwater Ecosystem Observatory Network - ADEON

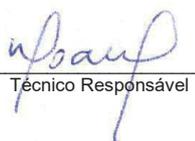
Objetivos: Estabelecer uma rede de observação de ecossistemas que forneça uma linha de base e suporte à modelagem preditiva da paisagem sonora e sua relação com a vida marinha e o meio ambiente das áreas do Atlântico Sul e Médio (EUA)

Site: <https://adeon.unh.edu/>




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

12) Boundary Pass Underwater Listening Station

Objetivos: Caracterizar a paisagem acústica, monitorar cetáceos e caracterizar assinaturas acústicas de navios no Mar de Salish na província canadense de British Columbia.

Site: <https://www.portvancouver.com/environmental-protection-at-the-port-of-vancouver/maintaining-healthy-ecosystems-throughout-our-jurisdiction/echo-program/projects/>

13) Joint Monitoring Programme for Ambient Noise North Sea (JOMOPANS)

Objetivos: Desenvolver uma estrutura para monitoramento conjunto da paisagem acústica do Mar do Norte.

Site: <https://northsearegion.eu/jomopans/>

14) Underwater noise impact reduction of the maritime traffic and real-time adaptation to ecosystems - LIFE-PIAQUO

Objetivos: Monitorar a paisagem acústica, produzir mapas acústicos e contribuir para diminuição da poluição sonora submarina nos mares do sul da Itália e França.

Site: <http://life-piaquo.eu/contexte/>

15) Marine Acoustic Research Station - MARS

Objetivos: Medir a assinatura acústica de navios que transitam no rio canadense St. Lawrence para ajudar a gerenciar o efeito do ruído de navios em mamíferos marinhos.

Site: <https://clearseas.org/en/blog/research-spotlight-sylvain-lafrance/>

Obs: página não oficial.

Para a avaliação de cada um destes projetos e de outros que venham a ser analisados, foram definidos seis indicadores compondo uma matriz para estimar a magnitude dos projetos. A Tabela I.3.1.1-1 apresenta estes indicadores, sendo que para cada um deles os projetos podem receber as notas “A”, para uma classificação alta, “M”, para uma classificação média e “B” para uma classificação




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

baixa. A classificação foi feita tendo como referência o Programa de Acústica Submarina da NOAA.

A Tabela I.3.1.2-2 apresenta as notas para os projetos relacionados. Foram usadas informações presentes nos sites dos projetos e artigos disponíveis, tentando-se usar ao máximo critérios objetivos para a aplicação da nota.

Tabela I.3.1.2-1: Definição dos indicadores para composição da Matriz de “Magnitude”

Indicador	Descrição
IM.1	Área Total Abrangida (quanto maior a área maior será a classificação)
IM.2	Duração do Projeto (quanto mais longo maior será a classificação)
IM.3	Diversidade de Equipamentos (quanto maior o número de estratégias de aquisição dedicadas ou diversidade de equipamento maior a classificação)
IM.4	Abrangência Acústica (maior faixa de frequência, maior a classificação)
IM.5	Número de Equipamento Dedicados (mais equipamentos usados, maior a classificação)
IM.6	Singularidade (maior classificação quanto mais único ou representativo para a região/pais o projeto for)

Tabela I.3.1.2-2: Matriz de magnitude (Projeto x Indicadores, onde os indicadores foram classificados em baixo (B), médio (M) e alto (A) tendo como referência o Programa de Acústica Submarina da NOAA).

Projeto	IM.1	IM.2	IM.3	IM.4	IM.5	IM.6	Magnitude
PMPAS-BS	M	A	A	M	A	A	Alta
NOAA's Ocean Acoustics Program	A	A	A	A	A	A	Alta
Assessment and Monitoring of Ocean Noise in Irish Waters	M	B	B	M	M	A	Média
SAVE WHALES 2019	B	M	B	M	M	M	Média
JONAS	A	M	A	A	A	M	Alta
Interreg Italy-Croatia Soundscape	M	M	M	M	A	M	Média
CALME	M	A	A	A	A	M	Alta
Large-scale underwater acoustic monitoring program across eastern Canadian waters	A	M	A	A	A	A	Alta



Projeto	IM.1	IM.2	IM.3	IM.4	IM.5	IM.6	Magnitude
<i>Long-term soundscape monitoring from Curtin University</i>	M	M	B	M	A	A	Média
<i>Passive Acoustic Monitoring of Ambient Noise and Marina Mammals – Barossa Field</i>	M	B	B	A	M	M	Média
<i>Atlantic Deepwater Ecosystem Observatory Network - ADEON</i>	A	A	M	M	A	A	Alta
<i>Boundary Pass Underwater Listening Station</i>	B	M	B	A	B	M	Média
<i>Joint Monitoring Programme for Ambient Noise North Sea (JOMOPANS)</i>	A	A	M	M	A	A	Alta
<i>Underwater noise impact reduction of the maritime traffic and real-time adaptation to ecosystems - LIFE-PIAQUO</i>	A	M	M	A	M	A	Média
<i>Marine Acoustic Research Station - MARS</i>	M	M	B	M	B	A	Média

A Tabela I.3.1.2-3 apresenta os projetos considerados, indicando os países responsáveis, sua duração e principais equipamentos usados. Levando em conta a magnitude estimada para os projetos, o PMPAS-BS fica atrás apenas do projeto americano NOAA's *Ocean Acoustics Program* e do projeto canadense *Large-scale underwater acoustic monitoring program across eastern Canadian Waters*. Estes projetos têm objetivos bastante semelhantes aos do PMPAS-BS, o que reforça a sua importância para o desenvolvimento de pesquisas nessa “nova” área de estudo. Além disso, tais projetos evidenciam a preocupação mundial em relação ao ruído submarino. Em termos de equipamentos utilizados, os projetos que mais se assemelham ao PMPAS-BS são os projetos da NOAA, o projeto CALME e o projeto JONAS, porém estes dois últimos possuem uma duração inferior ao monitoramento realizado na Bacia de Santos. Neste sentido, a linha do tempo de pesquisa/desenvolvimento tecnológico nessa área, com essa magnitude, mostra que as atividades realizadas pelo PMPAS-BS estão avançadas e alinhadas com o cenário mundial.



Tabela I.3.1.2-3: Principais projetos na área de monitoramento da PAS, indicando sua magnitude.

Projeto	País(es)	Duração	Principais equipamentos	Magnitude
PMPAS-BS	Brasil	2015- atual*	Observatórios submarinos (costeiros), linhas de fundeio, monitoramento móvel (<i>glider</i> e perfilador).	Alta
NOAA's Ocean Acoustics Program	EUA	2011- atual*	Observatórios submarinos (costeiros e oceânicos), linhas de fundeio, observatórios visuais (foto e vídeo).	Alta
Assessment and Monitoring of Ocean Noise in Irish Waters	Irlanda	2012- 2014	Observatórios submarinos (costeiros)	Média
SAVE WHALES 2019	Grécia, Portugal	2019- 2022	Observatórios submarinos (costeiros)	Média
JONAS	Irlanda, Reino Unido, Espanha, França, Portugal	2019- 2022	Observatórios submarinos (costeiros e oceânicos), Monitoramento móvel (<i>waveglider</i>)	Alta
Interreg Italy-Croatia Soundscape	Itália e Croácia	2019- 2021	Observatórios submarinos (costeiros e oceânicos)	Média
CALME	França	2015- 2021	Observatórios submarinos (costeiros), linhas de fundeio, monitoramento móvel (<i>glider</i> e perfilador).	Alta
Large-scale underwater acoustic monitoring program across eastern Canadian waters	Canadá	2015- 2017	Observatórios submarinos (costeiros), linhas de fundeio, monitoramento móvel (<i>glider</i> e perfilador).	Alta
Long-term soundscape monitoring from Curtin University	Austrália	2014- 2018	Observatórios submarinos (costeiros)	Média
Passive Acoustic Monitoring of	Austrália	2014- 2015	Observatórios submarinos (costeiros)	Média



Projeto	País(es)	Duração	Principais equipamentos	Magnitude
Ambient Noise and Marina Mammals – Barossa Field				
Atlantic Deepwater Ecosystem Observatory Network - ADEON	EUA	2017- atual*	Observatórios submarinos (oceânicos)	Alta
Boundary Pass Underwater Listening Station	Canadá	2019- atual*	Observatórios submarinos cabeados (costeiros)	Média
Joint Monitoring Programme for Ambient Noise North Sea (JOMOPANS)	União Europeia	2017- 2027	Observatórios submarinos (costeiros e oceânicos)	Alta
Underwater noise impact reduction of the maritime traffic and real-time adaptation to ecosystems - LIFE- PIAQUO	Itália e França	2019- 2023	Observatórios submarinos (costeiros), monitoramento móvel (glider)	Média
Marine Acoustic Research Station - MARS	Canadá	2020- 2024	Linhas de fundeio	Média

* - Sem data prevista para término




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

I.4 ESTRUTURA DO RELATÓRIO

No Capítulo I (Apresentação), o PMPAS-BS é apresentado de forma sucinta, evidenciando seu contexto, objetivos e principais desafios. Além disso, é apresentado um breve histórico sobre o conceito de Paisagem Acústica Submarina e uma análise bibliográfica mostrando os projetos e pesquisas relacionados ao monitoramento da paisagem acústica em outros países.

No Capítulo II (Materiais e Métodos) são apresentados 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.

O Capítulo IV (Sistema de Modelagem Submarina - SIMAS) relata a situação do Sistema de Modelagem Acústica Submarina e os resultados obtidos até o momento.

O Capítulo V (Considerações Finais) resume as principais informações observadas neste relatório, assim como perspectivas futuras. O Capítulo VI traz as referências bibliográficas.

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

No APÊNDICE A 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; os critérios adotados para a detecção de biofonia e de embarcações; a descrição de algumas das formas de apresentação de resultados, que estão sendo adotadas; e as particularidades de processamento de cada um dos equipamentos.

No APÊNDICE B são mostrados estudos feitos para a qualificação dos dados das linhas de fundeio instrumentadas.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

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).

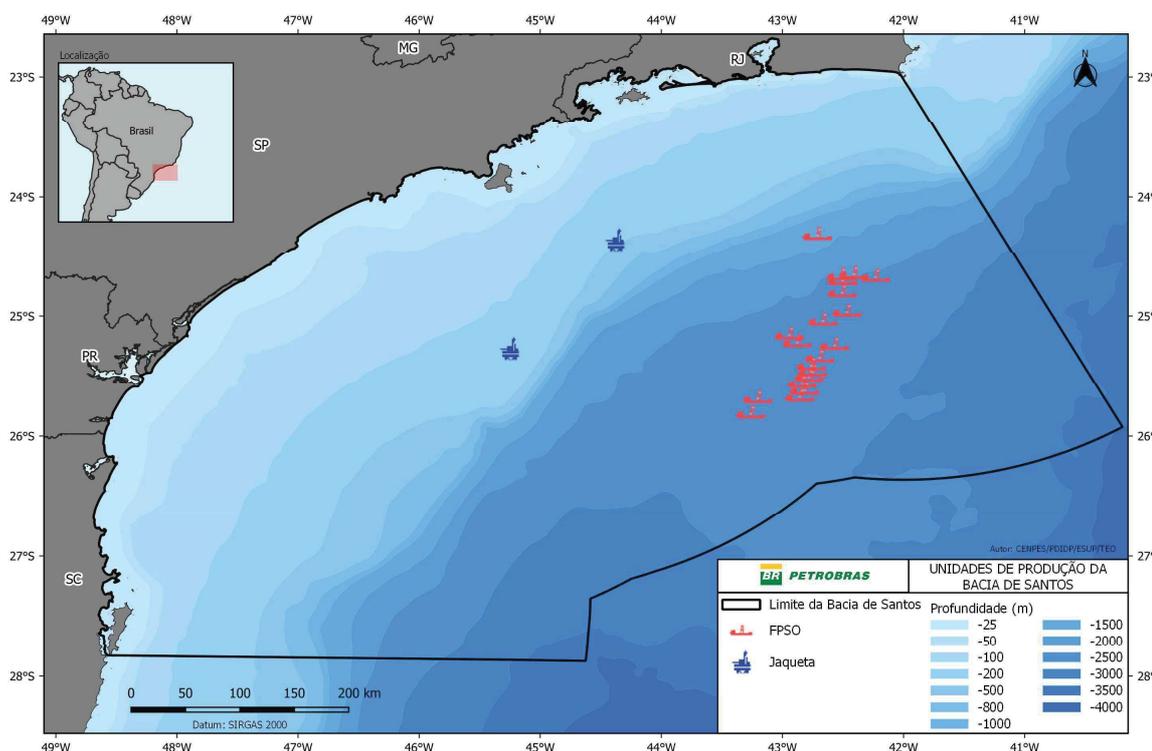


Figura II.1-1: Região da Bacia de Santos, mostrando os limites geográficos da bacia e a localização atual das unidades de produção da PETROBRAS.



Coordenador da Equipe



Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

II.1.1 Região Costeira

O monitoramento fixo da região costeira da Baía de Santos foi feito utilizando-se Observatórios Submarinos (OS) em quatro regiões de baixa profundidade e com alto tráfego de embarcações, tanto da PETROBRAS como de terceiros. 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 e OS3R1), mostrados também na Figura II.1.1-1. A Tabela II.1.1-1 apresenta a posição e profundidade local dos OSs.

Tabela II.1.1-1 - Posição e profundidade local de instalação dos Observatórios Submarinos.

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	Baía de Ilha Grande	23° 03,991' S	44° 05,160' W	23
OS2R	Oeste de Ilha Grande	23° 07,460' S	44° 22,650' W	23
OS3	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

As instalações dos OSs 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 OSs 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. As realocações do OS2 (canal leste da Baía de Ilha Grande) para o ponto OS2 R (canal oeste da Baía de Ilha Grande), e do OS3 (Canal de São Sebastião) para os pontos OS3R e OS3R1 (no entorno do MoNa Cagarras) foram



autorizadas pelo IBAMA por meio do ofício nº 71/2020/COPROD/CGMAC/DILIC, de 10/02/2020.

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 OSs 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 foi feita para avaliar duas 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). A distância entre as duas posições é de cerca de 3.100 m. Seus dados foram analisados de forma conjunta devido à proximidade entre os OSs e pelo fato de se estar usando apenas uma campanha do OS3R1 neste relatório. No entanto, são feitas algumas análises para se verificar se existem diferenças nos níveis gravados nas duas posições.

Os OS1, OS1A, OS3R e OS3R1 estão numa mesma região, a Baía de Guanabara, com os OS1 e OS1A mais para dentro da baía e os OS3R e OS3R1 mais para fora. A distância entre o OS1 e o OS3R1 é de quase 9 km.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

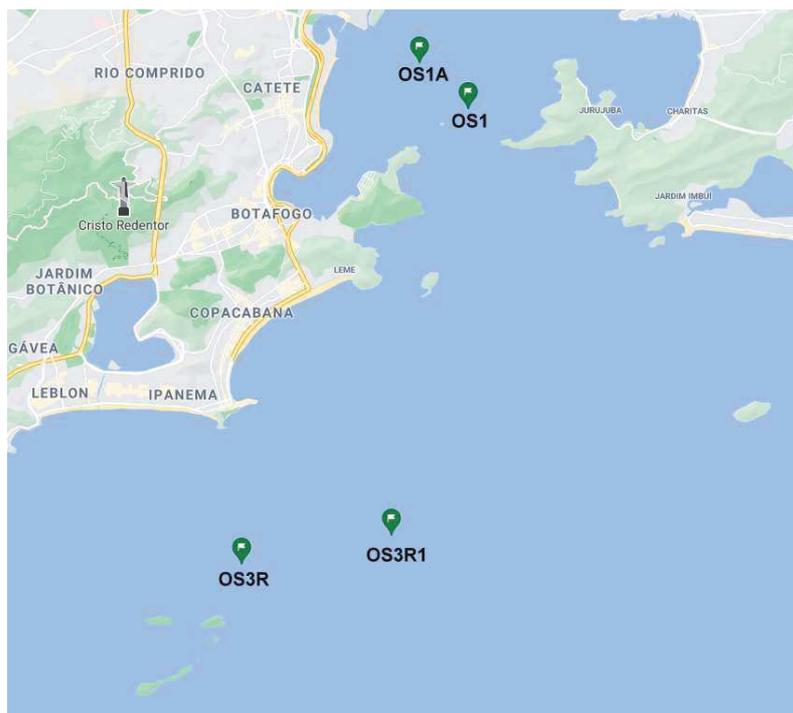


Figura II.1.1-1: Observatórios Submarinos na Baía da Guanabara (OS1 e OS1A) e nas Ilhas Cagarras (OS3R e OS3R1). A distância entre o OS1 e o OS1A é de 1.365 m e a distância entre o OS3R e o OS3R1 é de 3.110 m. A distância entre o OS1 e o OS3R1 é de 8.878 m.

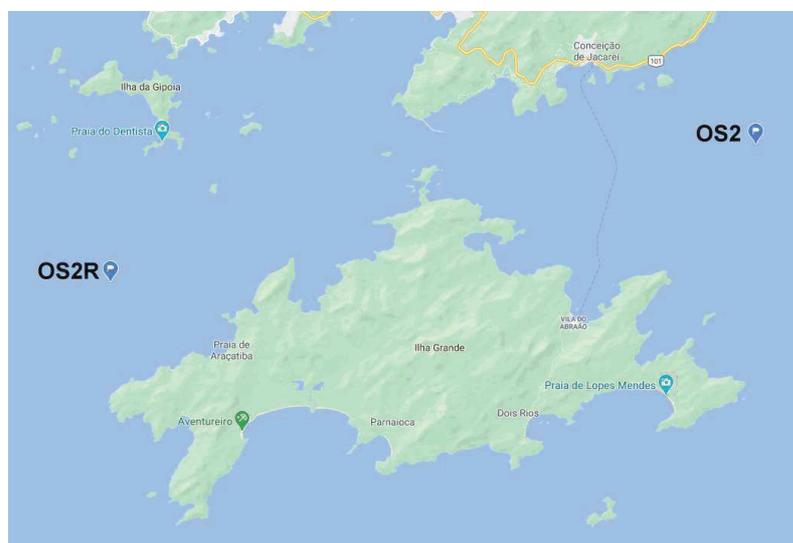


Figura II.1.1-2: Observatórios Submarinos na Baía da Ilha Grande (OS2 no lado leste e OS2R no lado oeste da Ilha Grande). A distância entre os OSs é de 32 km.



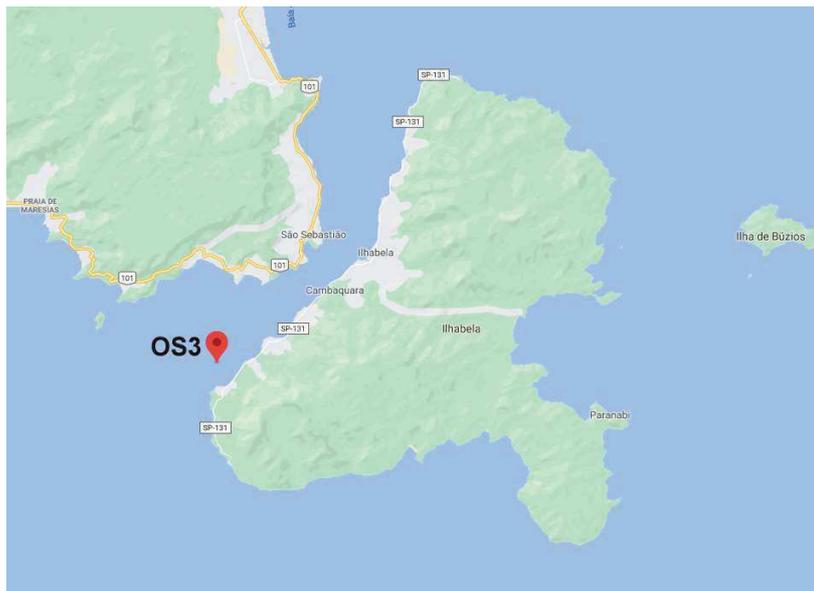


Figura II.1.1-3: Observatório Submarino no Canal de São Sebastião (OS3).




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

II.1.2 Região Oceânica

Na região oceânica, 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. A Figura II.1.2-1 mostra a localização das LFIs dentro da região oceânica da Bacia de Santos. É importante destacar que 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 do PMPAS-BS foi elaborado. Foram coletados dados em seis 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. Na 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. A Tabela II.1.2-1 apresenta as posições e profundidades locais para as LFIs.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

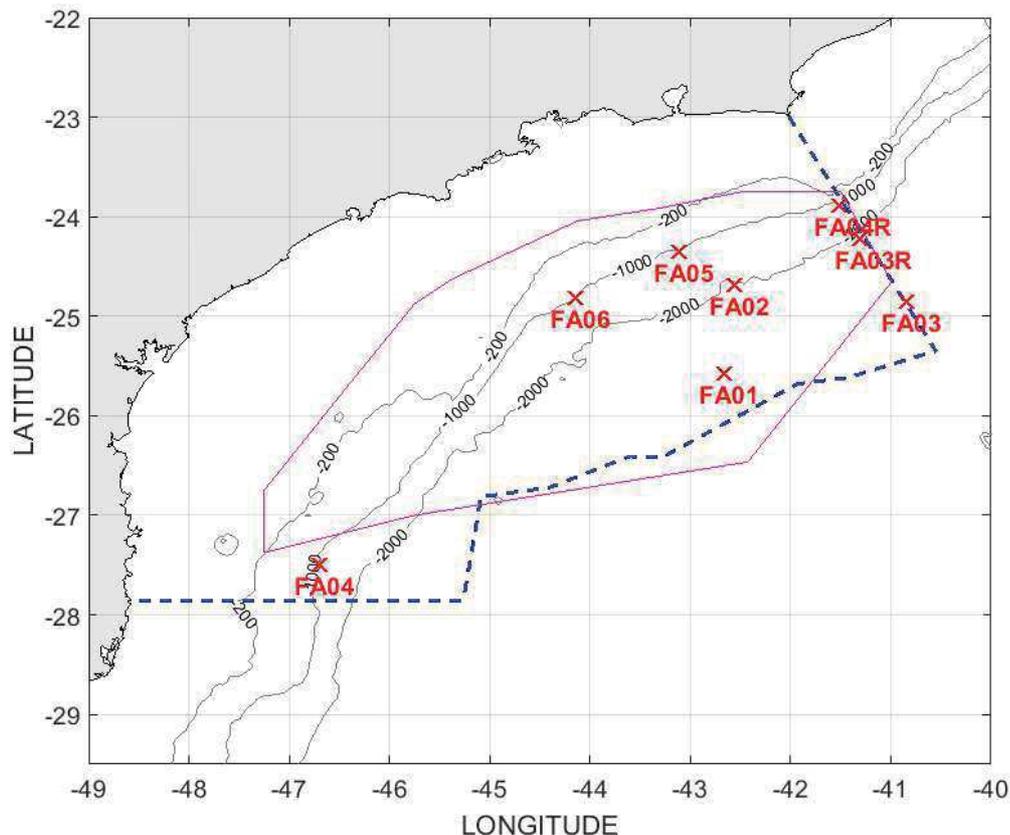


Figura II.1.2-1: Posição das oito linhas de fundeio instrumentadas usadas na região oceânica da Bacia de Santos

Tabela II.1.2-1 - Posição e profundidade local de instalação das linhas de fundeio instrumentadas

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' 4,44" 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



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:

- **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 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 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 2020, 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.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

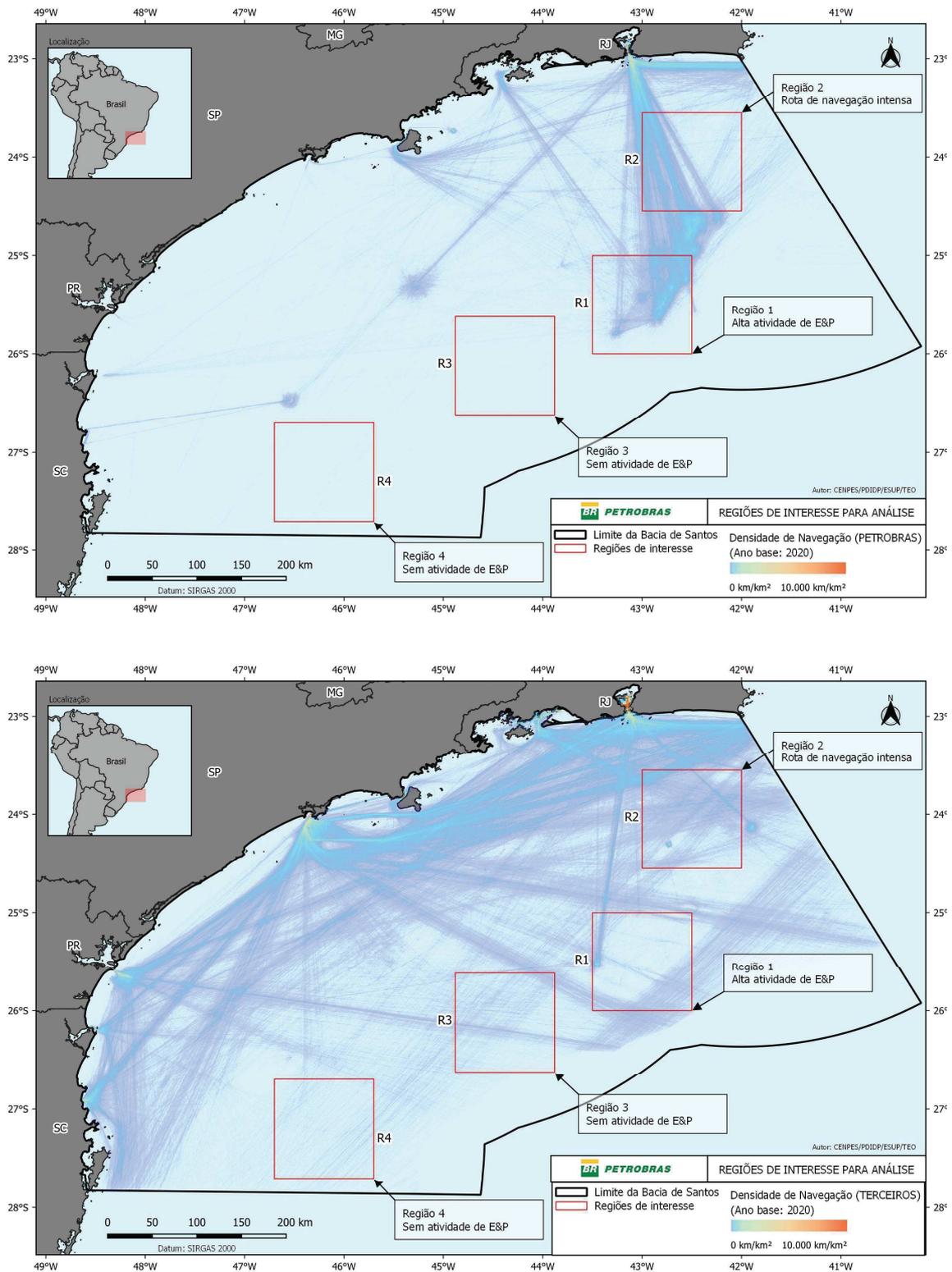


Figura II.1.2-2: Regiões de Interesse e densidade de navegação referente a embarcações a serviço da PETROBRAS (janela superior) e de terceiros (janela inferior). (Fonte: Petrobras, (2020))



[Signature]
Coordenador da Equipe



[Signature]
Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

II.2 DADOS ACÚSTICOS

Os dados acústicos foram obtidos na Bacia de Santos por meio de monitoramento móvel por *gliders* e perfiladores acústicos (em regiões oceânicas); e de monitoramento fixo por linhas de fundeio instrumentadas (instaladas na região oceânica) e por observatórios submarinos (instalados na região costeira). Uma descrição mais detalhada de cada um destes sistemas de aquisição de dados, é feita no APÊNDICE A.

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, 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.

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




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

II.2.2 Caracterização dos Dados

No período de novembro de 2015 a dezembro de 2020 (maio de 2021 para os OSs), foram realizadas 19 campanhas de lançamento de perfiladores, com um total de 195 perfiladores lançados; 46 campanhas de lançamento e recolhimento de *gliders*; seis campanhas de lançamento de LFIs, com seis linhas com gravação acústica; e 86 campanhas de lançamento e recolhimento de OSs. Neste período, foram recebidos e processados os seguintes conjuntos de dados:

- **Perfiladores:** no período entre novembro de 2015 e dezembro de 2020, 183 de 195 perfiladores lançados em 19 ciclos de lançamento, adquiriram um total de 232.646 janelas acústicas de um minuto (3.877,4 horas), das quais 205.802 (3.430,0 horas) foram aceitas no processo de qualificação. Destas janelas acústicas qualificadas, 90.274 foram realizadas dentro da Bacia de Santos e 115.528 fora dela;
- **Gliders:** no período entre novembro de 2015 e dezembro de 2020, foram realizadas 46 campanhas de lançamento e recolhimento de *gliders*, com gravação e processamento de 491.011 janelas acústicas de um minuto (8.183,5 horas), sendo que 233.706 destes minutos (3.895,1 horas) foram aceitos no processo de qualificação. Dos minutos aceitos, 229.239 foram medidos dentro da Bacia de Santos e 4.467 fora dela;
- **Linhas de Fundeio Instrumentadas (LFIs):** no período entre outubro de 2017 e dezembro de 2020, foram realizadas 6 campanhas de lançamento e recolhimento das LFIs, com gravação e processamento em 2.197.165 janelas acústicas de um minuto (36.619,4 horas). Os dados das LFIs foram qualificados usando-se os dados de corrente oceânica junto aos sensores. Foram aceitas no processo de qualificação 640.047 minutos (10.667,5 horas).
- **Observatórios Submarinos (OSs):** no período entre março de 2017 e maio de 2021, foram realizadas 86 campanhas de lançamento e recolhimento dos OSs, com gravação e processamento de 4.042.150 janelas acústicas de um minuto (67.369,2 horas), sendo aceitas no processo de qualificação 3.581.133 janelas (59.685,6 horas).




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

A Tabela III.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.

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.

Gravações	LFIs	Perfiladores	Gliders	OSs
Número de equipamentos na água	18	Variável*	1	3
Tempo de gravação (horas)	36.619,4	3.877,4	8.183,5	67.369,2
Período da coleta (dias)	1.138	1.875	1.876	1.525
Percentual aceito na qualificação	29,1%	88,5%	47,6%	88,6%

* São lançados dez perfiladores a cada três meses e seus dados cessam apenas quando acaba sua bateria, de forma que o número de perfiladores ativos a cada momento é variável.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

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

III.1 PARTE PROFUNDA

III.1.1 Monitoramento Móvel – Gliders e Perfiladores

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.

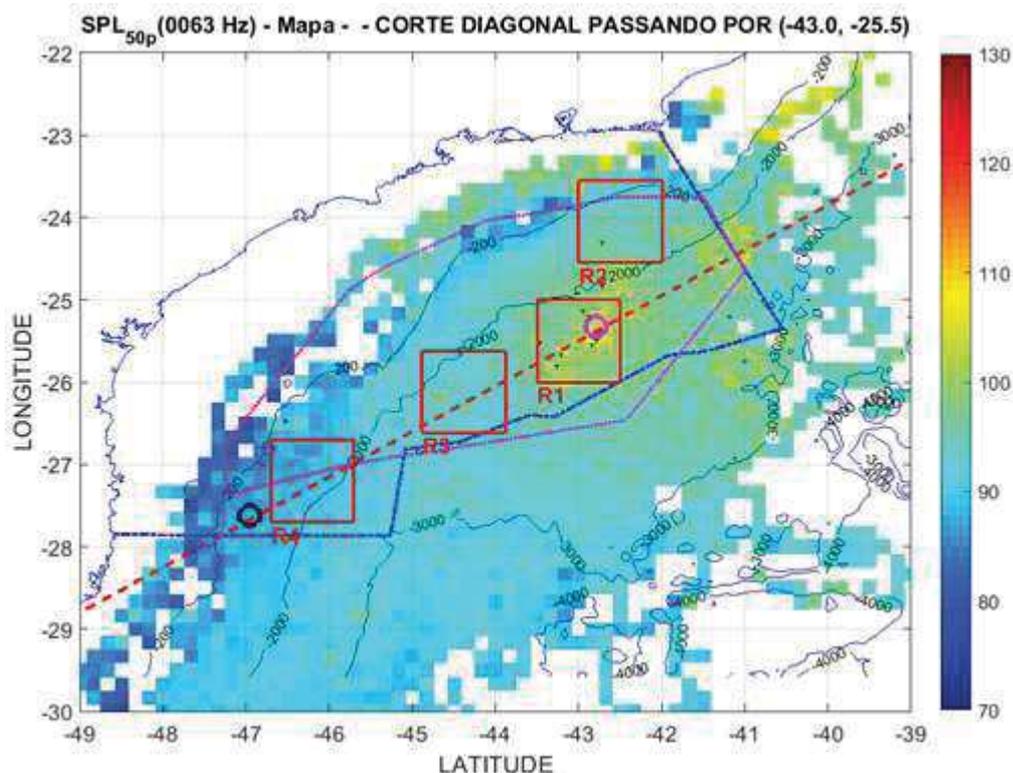


Figura III.1.1-1: Mapa do SPL para o filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz, com os quadrados vermelhos delimitando as regiões R1, R2, R3 e R4 e a linha diagonal tracejada vermelha mostrando os pontos usados para a comparação espacial dos níveis de ruído na Bacia de Santos. Os círculos 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.

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 ($-25,5^\circ$, -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* (veja uma descrição das informações contidas em *boxplots* na Seção A.7.6.11 do APÊNDICE A).

Observa-se uma variação de quase 20 dB na mediana das medições, com um máximo de 105,6 dB re $1\mu\text{Pa}^2$ na posição $(-25,45^\circ, -42,92^\circ)$, correspondendo à extremidade nordeste da região R1 e um mínimo de 87,0 dB re $1\mu\text{Pa}^2$, na posição $(-27,75^\circ, -47,08^\circ)$, 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 na região R1 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.

A Figura III.1.1-3 mostra um histograma do $\text{SPL}_{63\text{Hz}}$ para uma posição na linha diagonal $(-25,82^\circ, -43,58^\circ)$ onde aparecem muitos valores extremos, permitindo que se tenha uma visão mais clara de como estes valores extremos aparecem na distribuição. O número de pontos usados na criação dos *boxplots* variou ao longo da linha, ficando acima de 3.000 medições na região R1, diminuindo até valores em torno de 10 medições, nas extremidades da linha. A maior amostragem nas regiões com maior energia faz parte da estratégia adotada no projeto, visando uma melhor caracterização da região onde se concentram as atividades de E&P da PETROBRAS.


Coordenador da Equipe
Técnico Responsável5º Relatório
TécnicoRevisão 00
08/2021

O maior número de medições realizadas na região R1 pode ser um dos possíveis motivos para o surgimento dos valores extremos, junto ao fato desta ser uma região com uma intensidade maior de tráfego de embarcações, aumentando a chance destas embarcações passarem perto do *glider*, com um consequente aumento temporário dos níveis recebidos.

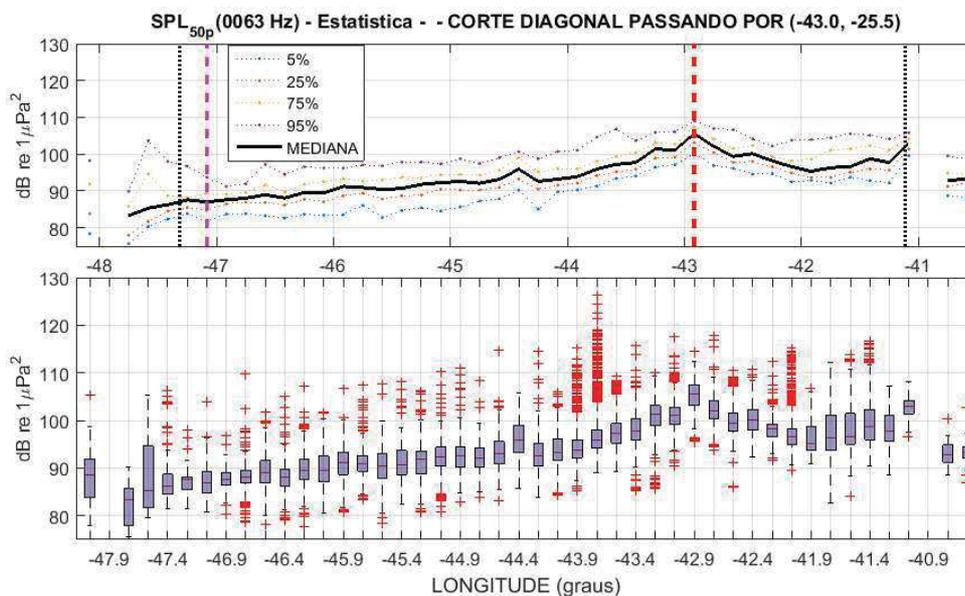


Figura III.1.1-2: SPL para o filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz em função da longitude ao longo da linha diagonal apresentada no mapa da III.1.1-1 (gráfico de cima); e boxplot para as medições feitas em cada posição da linha (gráfico de baixo). A linha tracejada vermelha no gráfico de cima indica a posição do SPL máximo e a linha magenta a posição do SPL mínimo, considerando apenas 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.

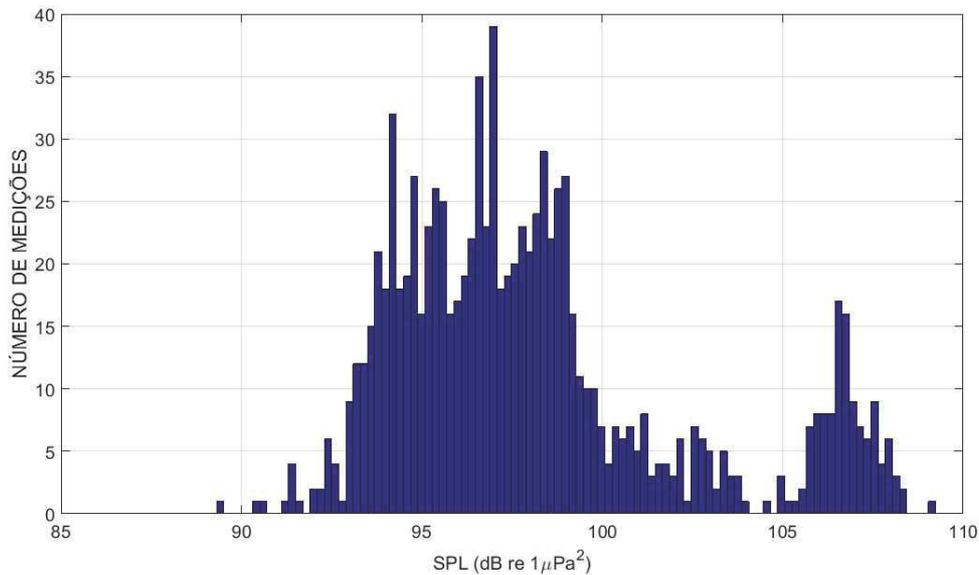


Figura III.1.1-3: Histograma dos valores de SPL_{63Hz} para as medições realizadas na linha diagonal, numa posição onde aparecem muitos valores extremos ($-25,82^\circ$, $-43,58^\circ$), permitindo ver como esses valores aparecem no histograma (acima de $105 \text{ dB re } 1\mu\text{Pa}^2$).

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. 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 20 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 se deve, em parte, ao fato do valor apresentado representar a energia total nas bandas indicadas, e a largura destas bandas serem diferentes umas das outras. Mas, se os níveis espectrais 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.

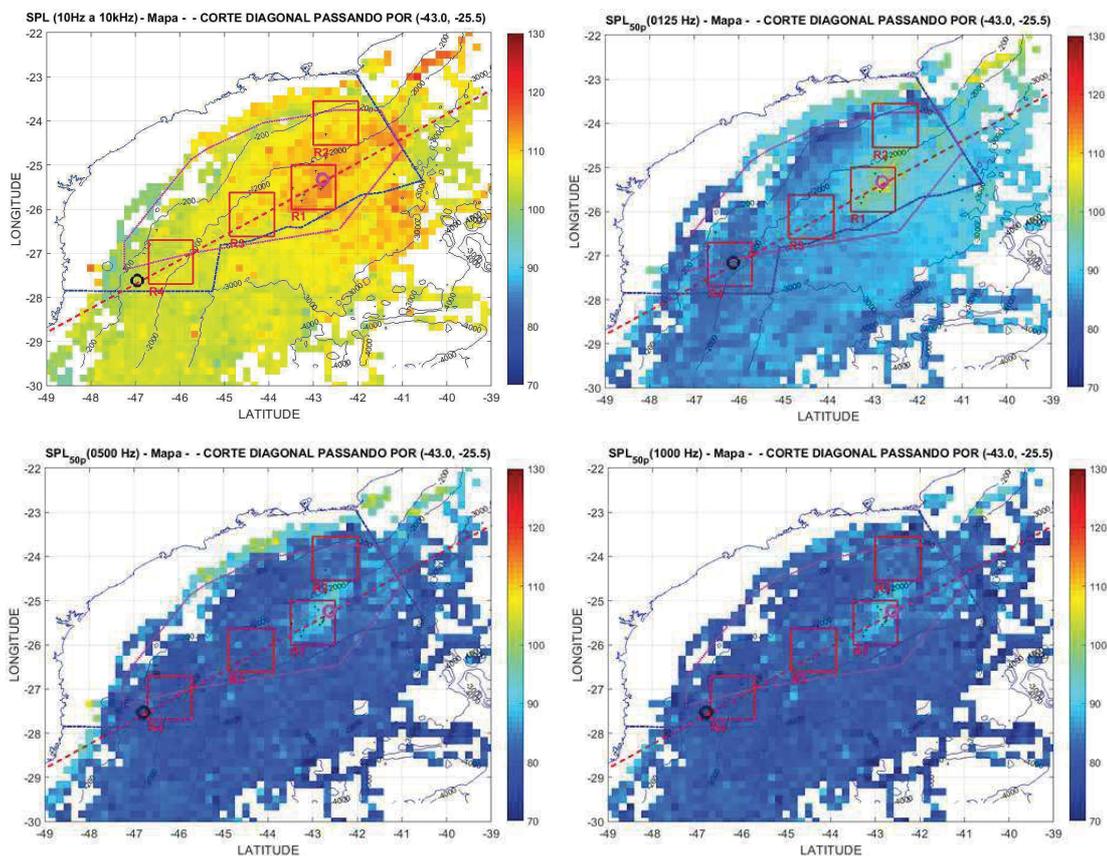


Figura III.1.1-4: Mapas do SPL para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz e para os filtros de 1/3 de oitava de 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz.



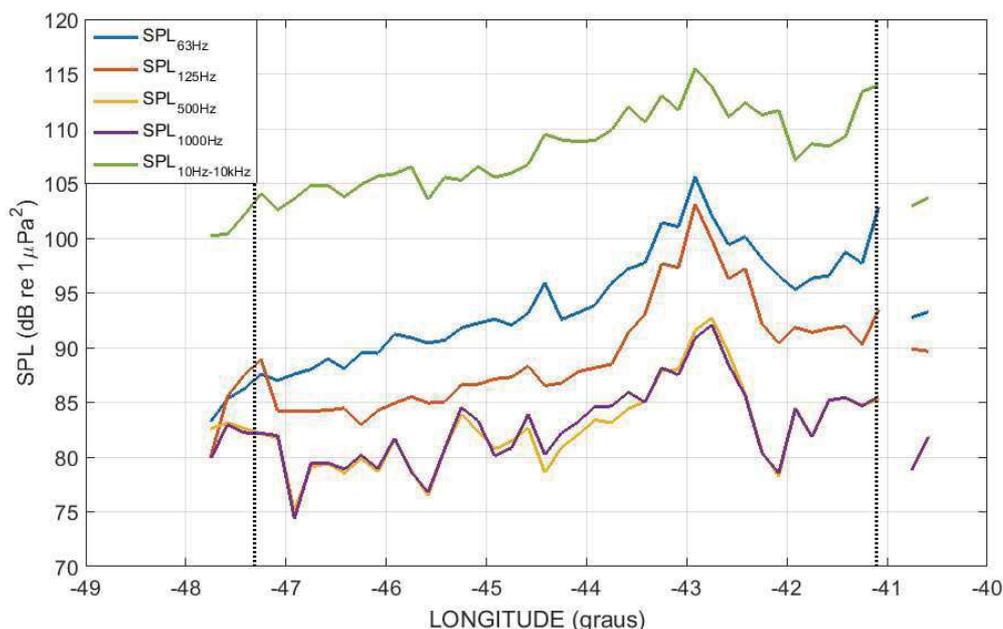


Figura III.1.1-5: SPL ao longo da linha mostrada nos mapas, em função da longitude, para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz e para os filtros de 1/3 de oitava centrados em 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz. As linhas pontilhadas pretas marcam as longitudes da linha diagonal para os limites sul e norte da Bacia de Santos.

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)	Lat/Long (graus)	SPL Máximo (dB re 1 μ Pa ²)	Lat/Long (graus)	Diferença (dB)
63 Hz	87,0	-27,75/-47,08	105,6	-25,45/-42,92	18,6
125 Hz	82,9	-27,29/-46,25	103,1	-25,45/-42,92	20,2
500 Hz	75,1	-27,65/-46,92	92,7	-25,36/-42,75	17,6
1.000 Hz	74,4	-27,65/-46,92	92,1	-25,36/-42,75	17,7
10 Hz a 10 kHz	102,6	-27,75/-47,08	115,5	-25,45/-42,92	12,9

III.1.1.1 Comparação da Bacia de Santos com Outras Regiões do Mundo

É importante comparar os níveis de ruído observados na Bacia de Santos com aqueles encontrados em outras regiões do mundo. Na Figura III.1.1.1-1 é feita uma comparação das densidades espectrais de potência medianas para as

medições realizadas na regiões R1, R2, R3 e R4 na Bacia de Santos com aquelas apresentadas em Haver *et al.* (2018), no Golfo do México. Os dados do Golfo do México correspondem aos espectros de 1/3 de oitava medianos mensais do ruído medido para os meses de novembro de 2014 a junho de 2015.

Pode-se observar duas regiões no domínio da frequência com características distintas. Acima da banda de 300 Hz, os níveis medidos na Bacia de Santos ficam mais elevados do que no Golfo do México para a região R1. As regiões R2, R3 e R4 ficam mais próximas dos níveis no Golfo do México, mas tendem a ficar mais ruidosas quando a frequência aumenta. Abaixo de 300 Hz, a Região R4 é mais silenciosa do que o Golfo do México em praticamente todo o espectro. As regiões R2 e R3 ficam próximas das medições feitas em abril e maio no Golfo do México e abaixo do ruído dos outros meses. A região R1 fica acima dos meses de abril e maio e se aproxima dos níveis dos outros meses.

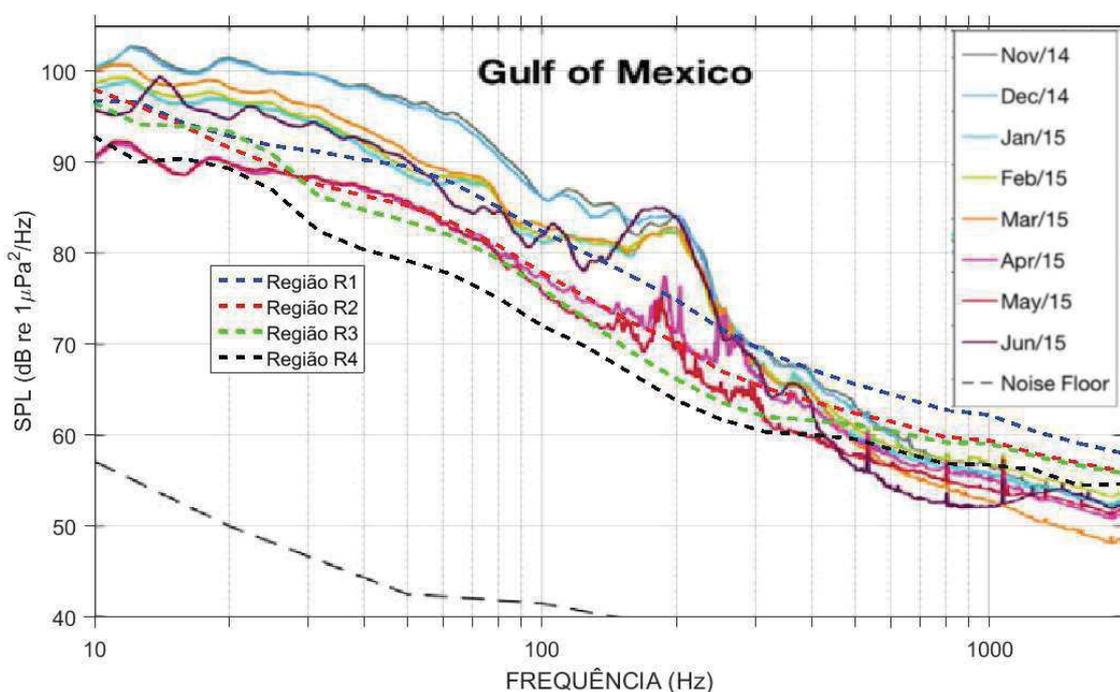


Figura III.1.1.1-1: Comparação da densidade espectral de potência de 1/3 de oitava medianos obtidos a partir das medições realizadas nas regiões R1, R2, R3 e R4 na Bacia de Santos com medições realizadas por (HAVER *et al.*, 2018) na região do Golfo do México.

Outra comparação foi feita com medições realizadas na região do Reino Unido em Merchant *et al.* (2016). Neste trabalho, foram feitas medições em três diferentes regiões, localizadas no Mar Céltico, no Mar do Norte e na porção sul do



Mar do Norte, sendo obtidos o 90º percentil, a mediana e o nível RMS das medições em cada local. É importante informar que nenhuma destas regiões tem uma atividade econômica forte em E&P, como o Golfo do México ou a Bacia de Santos. A Tabela III.1.1.1-1 mostra a mediana, o 90º percentil e o nível RMS (média da energia, do inglês *Root Mean Square*) dos níveis medidos nas bandas de frequência do espectro de 1/3 de oitava centrados em 63 Hz, 125 Hz e 500 Hz, tanto para as medições feitas no Reino Unido, quanto para as medições realizadas nas regiões R1, R2, R3 e R4 da Bacia de Santos.

A banda de frequência de 500 Hz tem uma influência forte do estado do mar, não permitindo uma comparação adequada sem conhecimento mais amplo das condições ambientais durante as medições. Já para as bandas de 63 Hz e 125 Hz, que dependem mais fortemente dos fatores antropogênicos, nota-se que as medianas para a região R1 da Bacia de Santos se mostraram mais elevadas do que as das três regiões do Reino Unido, com os níveis em 125 Hz se aproximando dos níveis medidos no Mar do Norte.

A região R2 da Bacia de Santos também é mais ruidosa do que as três regiões no Reino Unido, exceto para a frequência de 125 Hz em que ela é menos ruidosa do que o Mar do Norte.

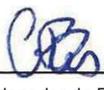
A região R3 da Bacia de Santos é mais ruidosa do que o Mar Céltico nas duas bandas de frequência, e é menos ruidosa do que o Sul do Mar do Norte na frequência de 125 Hz e do que o Mar do Norte na frequência de 63 Hz.

A região R4 da Bacia de Santos é mais ruidosa do que o Mar Céltico e menos ruidosa do que as outras duas regiões no Reino Unido.

Para o 90º percentil, que representa melhor a variabilidade do ruído devido ao tráfego de embarcações, a região R1 é mais ruidosa do que as três regiões do Reino Unido, a região R2 está próxima em ruído do Mar do Norte e da parte sul do Mar do Norte, e as regiões R3 e R4 só são mais ruidosas do que o Mar Céltico.

Quanto ao nível RMS, que dá uma indicação de limites extremos de ruído, as quatro regiões na Bacia de Santos são menos ruidosas do que as três regiões do Reino Unido.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

Tabela III.1.1.1-2: Comparação de resultados obtidos nas regiões R1, R2, R3 e R4 na Bacia de Santos com medições realizadas no Reino Unido, descritas em Merchant et al. (2016)

	Região	63 Hz	125 Hz	500 Hz
Mediana	Mar Céltico	82,0	83,3	89,7
	Mar do Norte	90,5	93,6	94,6
	Sul do Mar do Norte	94,7	86,0	83,5
	PMPAS-BS R1	99,4	94,6	86,3
	PMPAS-BS R2	95,0	89,8	83,0
	PMPAS-BS R3	93,5	87,3	81,8
	PMPAS-BS-R4	89,3	84,3	80,2
90° Percentil	Mar Céltico	93,2	93,3	96,9
	Mar do Norte	100,3	103,5	103,3
	Sul do Mar do Norte	102,0	96,5	93,3
	PMPAS-BS R1	104,1	100,6	92,7
	PMPAS-BS R2	100,7	95,3	88,6
	PMPAS-BS R3	99,4	91,5	87,4
	PMPAS-BS R4	93,9	88,7	85,9
Nível RMS	Mar Céltico	101,6	102,3	99,9
	Mar do Norte	101,8	103,8	104,2
	Sul do Mar do Norte	110,8	113,1	104,9
	PMPAS-BS R1	101,2	97,3	91,1
	PMPAS-BS R2	98,6	93,1	86,9
	PMPAS-BS R3	96,9	89,1	83,8
	PMPAS-BS R4	92,0	86,5	82,4



III.1.1.2 Comparação entre as Regiões R1, R2, R3 e R4

A Figura III.1.1.2-1 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, incluindo medições em todas as profundidades. O teste estatístico realizado mostrou que as regiões são diferentes, com a região R1 sendo a mais ruidosa, seguida pela região R2, depois a região R3, com a região R4 sendo a mais silenciosa (ANOVA, $F=31.342,16$, $p=0$).

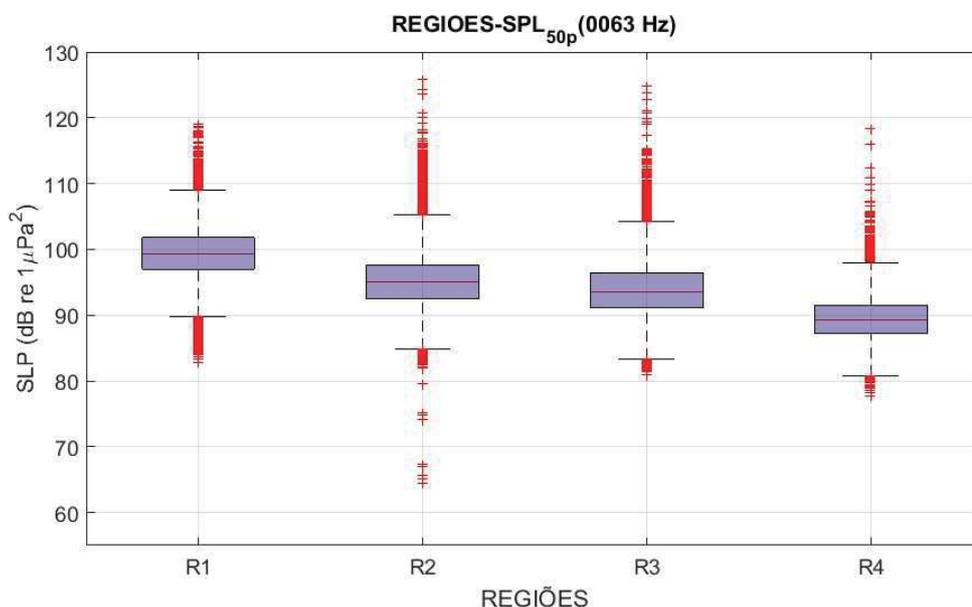


Figura III.1.1.2-1: Comparação entre as regiões R1, R2, R3 e R4, usando todos os dados qualificados dos gliders e perfiladores nestas regiões, para o filtro de 1/3 de oitava centrado em 63 Hz. As quatro regiões são estatisticamente diferentes (ANOVA, $F=31.342,16$, $p=0$).

A Figura III.1.1.2-2 apresenta a comparação entre 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, mostrando o SPL nos percentis de 25%, 50% (mediana) e 75% para cada distribuição. A Tabela III.1.1.2-1 apresenta os SPL nestes percentis e também no percentil de 90% e o nível RMS para as medições de cada região e frequência consideradas, 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 comportamento das distribuições das medições nestas bandas. Na primeira coluna, é apresentado o resultado do teste estatístico.

O teste de Tukey para grupos homogêneos indicou que todas as diferenças entre as regiões podem ser consideradas estatisticamente significativas. 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 regiões R1, R2 e R3 foram mais bem amostradas, com um número de medições de três a seis 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.

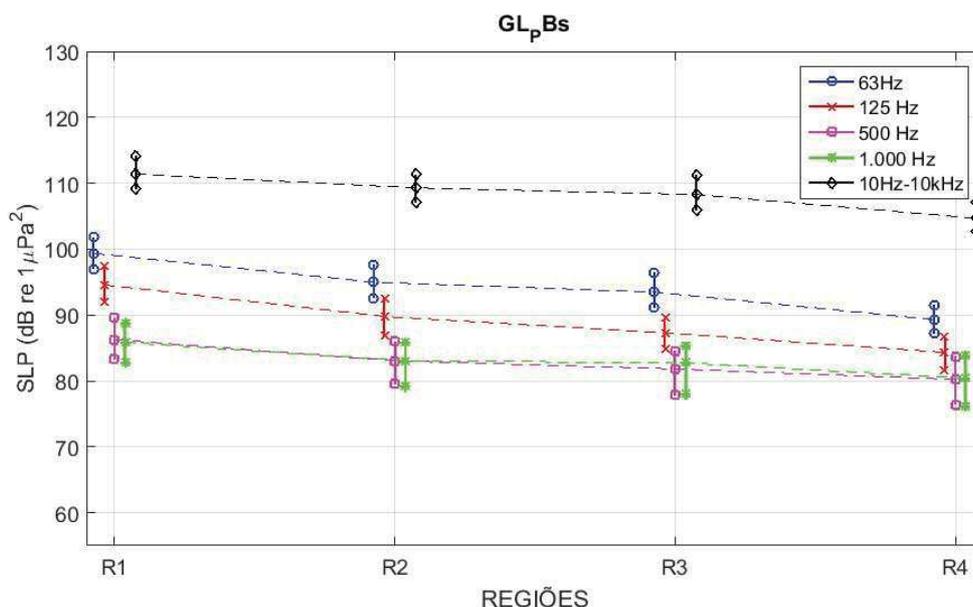


Figura III.1.1.2-2: Comparação entre as regiões R1, R2, R3 e R4, usando todos os dados qualificados dos gliders e perfiladores nestas regiões, para os filtros de 1/3 de oitava centrados em 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz. As linhas verticais ligam os percentis de 25 %, 50% (mediana) e 75 % para cada distribuição.

Tabela III.1.1.2-1: SPL no 25º, 50º (mediano), 75º e 90º percentis e nível RMS para as medições realizadas nas 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 com frequências centrais em 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz.

Frequência (ANOVA)	Região	Nº de Medições	25%	50%	75%	90%	RMS
63 Hz (F=31.342,16, p=0)	R1	50746	97,0	99,4	101,8	104,1	101,2
	R2	29068	92,5	95,0	97,6	100,7	98,6
	R3	30229	91,2	93,5	96,4	99,4	96,9
	R4	8642	87,2	89,3	91,6	93,9	92,0
125 Hz (F=39.759,02, p=0)	R1	50746	92,1	94,6	97,4	100,6	97,3
	R2	29068	86,8	89,8	92,5	95,3	93,1
	R3	30229	84,9	87,3	89,5	91,5	89,1
	R4	8642	81,6	84,3	86,7	88,7	86,5
500Hz F=10.371,31, p=0)	R1	50746	83,3	86,3	89,5	92,7	91,1
	R2	29068	79,6	83,0	86,0	88,6	86,9
	R3	30229	77,8	81,8	84,6	87,4	83,8
	R4	8642	76,4	80,2	83,7	85,9	82,4
1.000Hz (F=6.348,46, p=0)	R1	50746	82,8	85,9	88,8	91,8	89,7
	R2	29068	79,2	83,1	85,9	88,2	85,5
	R3	30229	78,0	82,7	85,4	88,0	84,3
	R4	8642	76,1	80,4	83,9	86,2	82,5
10Hz a 10kHz (F=12.392,67, p=0)	R1	50746	109,1	111,4	114,0	116,5	113,3
	R2	29068	107,1	109,3	111,3	113,3	110,8
	R3	30229	105,9	108,3	111,2	115,2	111,1
	R4	8642	102,6	104,7	107,1	108,7	106,4

A Figura III.1.1.2-3 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 2020. O teste estatístico indicou que não é possível afirmar que há diferenças entre os anos de 2016, 2019 e 2020, nem entre os anos de 2017 e 2018 para a região R1; entre os anos de 2016 e 2018, entre 2017 e 2018 e entre 2018 e 2019, para a região R2; entre os anos de 2017 e 2019, entre 2017 e 2020 e entre 2018 e 2019, para a região R3; e entre os anos de 2016 e 2017, entre 2018 e 2019 e entre 2018 e 2020 para a região R4. Entretanto, as outras diferenças entre as distribuições dentro de cada região são estatisticamente



significativas (ANOVA, $F=5.151,96$, $p=0$). Na região R1, a diferença entre as medianas das distribuições ficou menor que 1 dB, indicando uma estabilidade nos níveis de ruído nesta banda de frequência. Na região R2, a diferença entre as medianas ficou em no máximo 1,7 dB, com o ano de 2020 pelo menos 0,7 dB acima dos anos anteriores. Na região R3, a diferença entre as medianas ficou menor que 1,5 dB, com o ano de 2016 sendo o mais ruidoso e os anos de 2017 e 2019 os mais silenciosos. Na região R4, a diferença entre as medianas ficou abaixo de 1,9 dB, sendo 2018 e 2019 os anos mais ruidosos e 2016 o mais silencioso.

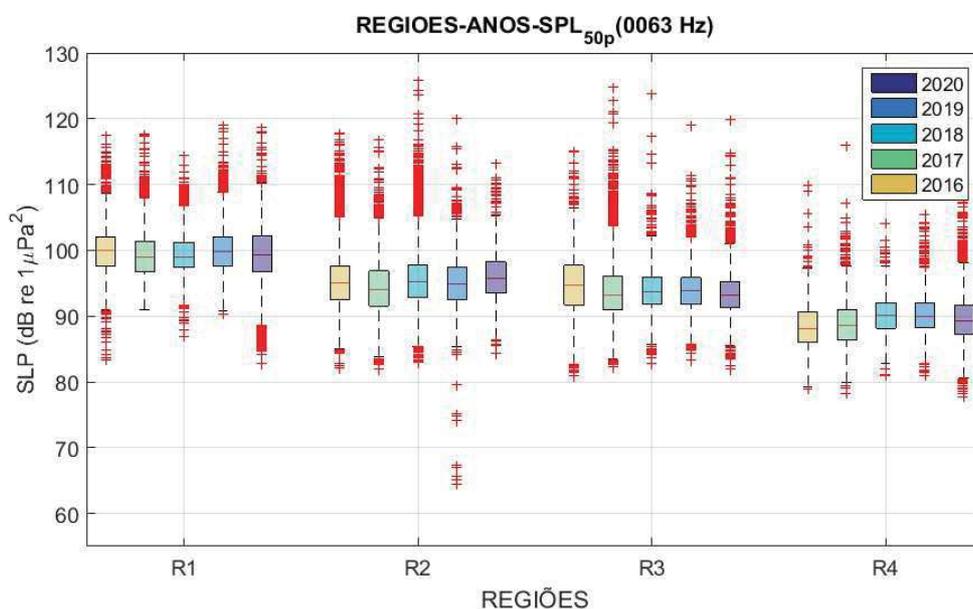


Figura III.1.1.2-3: Comparação entre as regiões R1, R2, R3 e R4, em cada ano, de 2016 a 2020, usando todos os dados qualificados dos gliders e perfiladores nestas regiões, para o filtro de 1/3 de oitava centrado em 63 Hz.

Na Figura III.1.1.2-4 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. A Tabela III.1.1.2-2 apresenta a mediana de cada região, nos anos de 2016 a 2020, para a faixa de frequência de 10Hz a 10kHz e para os filtros de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz.

Para a frequência de 125 Hz, o teste estatístico indicou que não é possível afirmar que há diferenças entre os anos de 2017 e 2020 e entre os 2018 e 2019 para a região R1; entre os anos de 2016 e 2018 e entre 2016 e 2019 para a região

R2; entre os anos de 2016 e 2017 para a região R3; e entre os anos de 2018 e 2019, para a região R4. Entretanto, as outras diferenças entre as distribuições dentro de cada região são estatisticamente significativas (ANOVA, $F=6.475,82$, $p=0$). Na região R1, a diferença entre os anos ficou em no máximo 1,6 dB, com o ano de 2016 mais ruidoso e o ano de 2019 mais silencioso. Na região R2, a diferença máxima ficou em 3,4 dB, com o ano de 2020 mais ruidoso e o ano de 2017 mais silencioso. Na região R3, a diferença máxima ficou em 2,3 dB, sendo o ano de 2018 mais ruidoso e o ano de 2016 mais silencioso. Na região R4, a maior diferença ficou em 5,4 dB entre o ano de 2018, mais ruidoso e o ano de 2016, mais silencioso.

Para a frequência de 500 Hz, o teste estatístico indicou que não é possível afirmar que há diferenças entre os anos de 2016 e 2020 e entre 2017 e 2020 para a região R1; entre os anos de 2016 e 2019, entre 2016 e 2020 e entre 2019 e 2020 para a região R2; entre 2017 e 2019, entre 2017 e 2020 e entre 2019 e 2020 para a região R3; e entre os anos de 2016 e 2018 e entre 2017 e 2019, para a região R4. Entretanto, as diferenças entre as outras distribuições dentro de cada região são estatisticamente significativas (ANOVA, $F=1.960,08$, $p=0$). Na região R1, a diferença máxima entre as medianas ficou em 3,1 dB, entre os anos de 2017, mais ruidoso e 2018, mais silencioso. Na região R2, a diferença máxima entre as medianas ficou em 1,6 dB, entre os anos de 2017, mais ruidoso e 2016, mais silencioso. Na região R3, a diferença máxima ficou em 2,9 dB, com o ano de 2019 mais ruidoso e o ano de 2016 mais silencioso. Na região R4, a diferença máxima ficou em 3,4 dB, com o ano de 2020 mais ruidoso e o ano de 2016 mais silencioso.

Para a frequência de 1.000 Hz, o teste estatístico indicou que não é possível afirmar que existe diferença significativa entre as distribuições para os anos de 2016 e 2017, entre 2017 e 2020 e entre 2018 e 2019 para a região R1; entre os anos de 2016 e 2018 e entre 2019 e 2020, para a região R3; e entre os anos de 2016 e 2018 e entre 2017 e 2019 para a região R4. As diferenças entre as outras distribuições dentro de cada região são estatisticamente diferentes (ANOVA, $F=1.364,05$, $p=0$). O comportamento e os níveis para a frequência de 1.000 Hz foram muito próximos daqueles observados na frequência de 500 Hz, com variações positivas e negativas inferiores a 2 dB (diferença de 0,6 +/- 0,5 dB).


Coordenador da Equipe
Técnico Responsável5º Relatório
TécnicoRevisão 00
08/2021

Para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz, o teste estatístico indicou que não é possível afirmar que há diferenças entre os anos de 2016 e 2018 para a região R1; entre os anos de 2016 e 2017, entre 2017 e 2018, entre 2017 e 2019, entre 2017 e 2020, entre 2018 e 2019, entre 2018 e 2020 e entre 2019 e 2020 para a região R2; entre os anos de 2017 e 2018 para a região R3; e entre os anos de 2018 e 2019, entre 2018 e 2020 e entre 2019 e 2020 para a região R4. Entretanto, as diferenças entre as outras distribuições dentro de cada região são estatisticamente significativas (ANOVA, $F=2.240,81$, $p=0$). Na região R1, a diferença máxima foi de 1,7 dB, com o ano de 2019 mais ruidoso e 2017 mais silencioso. Na região R2, a diferença máxima ficou em 1,5 dB entre os anos de 2016, mais ruidoso e 2019, mais silencioso. Na região R3, a diferença máxima ficou em 3,1 dB, sendo o ano de 2016 mais ruidoso e o ano de 2020 mais silencioso. Na região R4, a diferença máxima ficou em 3,5 dB, sendo o ano de 2018 mais ruidoso e o ano de 2016 mais silencioso.

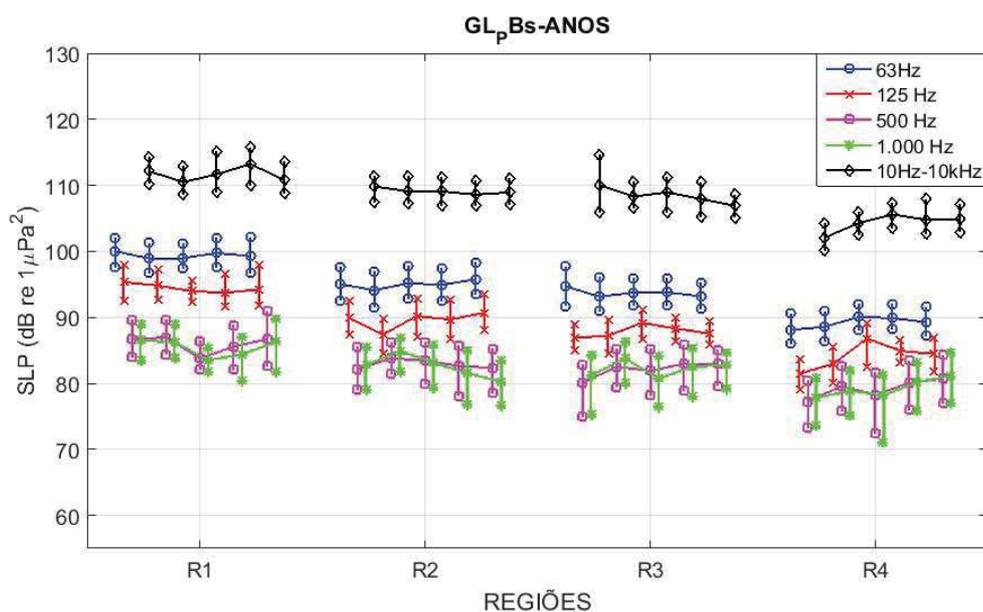


Figura III.1.1.2-4: Comparação entre as regiões R1, R2, R3 e R4, em cada ano, de 2016 a 2020, usando todos os dados qualificados dos gliders e perfiladores nestas regiões, para os filtros de 1/3 de oitava centrados em 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz. As linhas verticais ligam os percentis de 25 %, 50% (mediana) e 75 % para cada distribuição.

Tabela III.1.1.2-2: Mediana para as medições realizadas nas 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 com frequências centrais em 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz, para os anos de 2016 a 2020.

Região	Ano	Nº de Medições	63 Hz	125 Hz	500 Hz	1,000 Hz	10Hz-10kHz
R1	2016	17341	100,0	95,3	86,7	86,5	112,2
	2017	10947	98,9	94,8	86,9	86,2	110,5
	2018	4691	99,0	94,0	83,8	83,5	111,7
	2019	3989	99,8	93,7	85,5	84,4	113,2
	2020	12230	99,3	94,2	86,7	86,3	110,8
R2	2016	9997	95,0	90,0	82,2	82,7	109,8
	2017	3421	94,1	87,3	83,8	84,9	109,1
	2018	13033	95,1	90,2	83,5	83,1	109,1
	2019	1818	94,9	89,7	82,6	81,6	108,6
	2020	799	95,8	90,7	82,3	80,3	108,9
R3	2016	8089	94,7	86,9	80,1	81,2	110,0
	2017	14059	93,1	87,2	82,5	83,8	108,3
	2018	1722	93,7	89,2	81,9	80,8	109,0
	2019	3033	93,8	88,3	83,0	82,5	107,9
	2020	2384	93,2	87,6	82,9	82,8	106,9
R4	2016	414	88,1	81,4	77,3	77,8	102,1
	2017	1047	88,6	83,0	79,6	78,9	104,3
	2018	287	90,0	86,8	78,3	78,2	105,6
	2019	1626	89,9	84,9	80,1	80,2	104,8
	2020	5268	89,3	84,5	80,7	81,2	104,9

Não se observa uma tendência clara nos níveis de ruído ao longo dos anos, com algumas oscilações nas quatro regiões, dependendo da frequência considerada, indicando estabilidade dos níveis de ruído no período considerado (2016-2020). 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.1.1.2-5 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. Não é possível afirmar que há diferenças entre as distribuições para as profundidades de 50 m e 200m, entre 50 m e 200 m, entre 50 m e 500 m e entre 200 m e 500 m para a região R1. Entretanto, as demais diferenças entre as distribuições em cada região são estatisticamente significativas (ANOVA, $F=4.860,73$, $p=0$). Na região R1, a diferença entre as medianas para as faixas de profundidade é de no máximo 0,4 dB, sendo mais silenciosa em 50 m e mais ruidosa em 950 m. Para as outras regiões, este comportamento também é observado, mas a variação entre a profundidade de 950 m (mais ruidosa) e a de 50 m (mais silenciosa) sobe para mais de 1,8 dB, chegando a 3,6 dB na região R4.

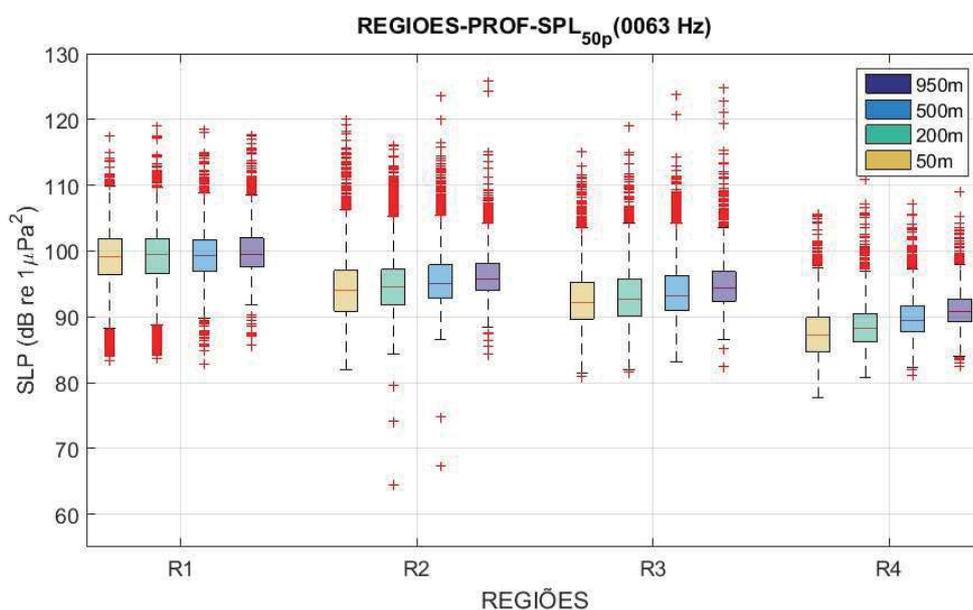


Figura III.1.1.2-5: Comparação entre as regiões R1, R2, R3 e R4, para quatro faixas de profundidade, usando todos os dados qualificados dos gliders e perfiladores nestas regiões, para o filtro de 1/3 de oitava centrado em 63 Hz.

Na Figura III.1.1.2-6 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. A Tabela III.1.1.2-3 apresenta a mediana de cada região, nas faixas de profundidade em torno de 50 m, 200 m, 500 m e 1.000 m, para essas faixas de frequência.



Para a frequência de 125 Hz, o teste estatístico indicou que não é possível afirmar que há diferenças entre as profundidades de 50 m e as demais profundidades, entre 200 m e 950 m e entre 500 m e 950 m para a região R1; entre 50 m e 200 m para a região R2; e entre 50 m e 200 m na região R3. Entretanto, as demais distribuições em cada região são estatisticamente diferentes (ANOVA, $F=5.798,61$, $p=0$). Na região R1, a diferença máxima entre as medianas do ruído para as profundidades foi de 0,4 dB entre 50 m (mais ruidosa) e 500 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 2,2 dB, chegando a 3,2 dB na região R4.

Para a frequência de 500 Hz, não é possível afirmar que há diferenças entre as profundidades de 50 m e 950 m, entre 200 m e 500 m, entre 200 m e 950 m e entre 500 m e 950 m para a região R2; e entre todas as profundidades na região R4. Entretanto, as demais distribuições em cada região são diferentes (ANOVA, $F=1.412,93$, $p=0$). A profundidade de 50 m é a mais ruidosa, seguida da profundidade de 950 m e depois as de 200 m e 500 m, embora a maior diferença entre as medianas dos dados tenha ficado em torno de 1,4 dB.

Para a frequência de 1.000 Hz, o teste estatístico indicou que não é possível afirmar que há diferenças entre as profundidades de 500 m e 950 m na região R1; entre 50 m e 500 m, entre 50 m e 950 m, entre 200 m e 500 m, entre 200 m e 950 m e entre 500 m e 950 m para a região R2; entre 50 m e 500 m e entre 200 m e 950 m para a região R3; e entre todas as profundidades na região R4. Entretanto, todas as outras distribuições em cada região são diferentes (ANOVA, $F=880,61$, $p=0$). A mediana dos dados para profundidade de 50 m é a mais alta das quatro profundidades. A mediana para a profundidade de 950 m é mais alta do que para a profundidade de 200 m e 500 m nas regiões R1 e R2 e mais baixa nas regiões R3 e R4. A diferença entre as profundidades de 200 m e 500 m ficou em no máximo 0,2 dB.

Para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz, o teste estatístico indicou que não é possível afirmar que há diferenças entre as profundidades de 50 m e 200 m, entre 50 m e 500 m e entre 200 m e 500 m para a região R1; e entre as 500 m e 950 m para a região R2. Todas as outras distribuições em cada região são diferentes (ANOVA, $F=2.118,09$, $p=0$). Em todas as regiões o ruído aumenta




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

com o aumento da profundidade, com a diferença entre as profundidades de 50 m e 950 m indo de 1,4 dB na região R2 a 3,1 dB na região R4.

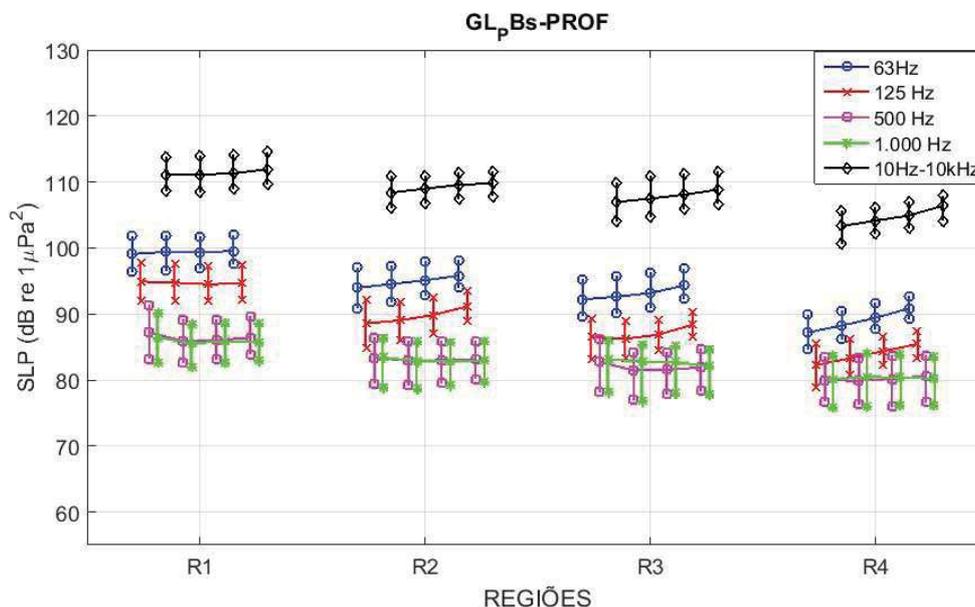


Figura III.1.1.2-6: Comparação entre as regiões R1, R2, R3 e R4 e em cada região, da esquerda para a direita para as faixas de profundidades em torno de de 50 m, 200 m, 500 m e 1.000 m, usando todos os dados qualificados dos gliders e perfiladores nestas regiões, para os filtros de 1/3 de oitava centrados 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.

Na comparação entre as profundidades, verificou-se que nas frequências de 63 Hz e 125 Hz, 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 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 e as medianas para as profundidades de 200 m e 500 m são mais baixas, embora a diferença máxima encontrada tenha sido em torno de 1,4 dB. 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.

Tabela III.1.1.2-3: Mediana para as medições realizadas nas 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 com frequências centrais em 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz, para as faixas de profundidade em torno de 50 m, 200 m, 500 m e 950 m.

Região	Prof.	Nº de Medições	63 Hz	125 Hz	500 Hz	1.000 Hz	10Hz- 10kHz
R1	50m	5729	99,1	94,9	87,2	86,4	111,1
	200m	9966	99,4	94,8	85,9	85,6	111,1
	500m	10970	99,3	94,5	86,0	85,8	111,3
	950m	7210	99,5	94,6	86,4	85,8	111,9
R2	50m	5440	94,0	88,6	83,4	83,4	108,4
	200m	7079	94,5	89,0	82,9	82,9	109,0
	500m	6442	95,1	89,8	83,0	82,8	109,6
	950m	2955	95,8	91,1	83,2	83,0	109,8
R3	50m	3809	92,2	86,5	82,8	83,1	107,0
	200m	5940	92,6	86,2	81,4	82,8	107,5
	500m	6524	93,2	86,9	81,5	82,7	108,1
	950m	4513	94,3	88,4	81,9	82,1	108,8
R4	50m	1658	87,2	82,3	80,0	80,1	103,3
	200m	2159	88,2	83,3	79,9	80,4	104,1
	500m	1711	89,4	84,4	80,2	80,4	104,9
	950m	1254	90,8	85,5	80,6	80,2	106,4

Em geral, os níveis de intensidade sonora próximo à superfície costumam ser melhor correlacionados com o vento do que com a onda (DAHL et al., 2007), o que de fato pôde ser verificado neste conjunto de dados, de forma que apenas a primeira avaliação é abordada. Adicionalmente, a contribuição ao ruído pela onda se dá pelo efeito de bolhas e mistura causadas pela arrebentação das cristas na superfície (*white capping*) (ERBE et al., 2015a), o que ocorre, em sua maior parte, associado às componentes de onda geradas pelo vento local (*sea* ou *vagas*), estando esta contribuição, portanto, diretamente relacionadas ao próprio vento.



A Figura III.1.1.2-7 apresenta valores de correlação de *Spearman* entre o SPL medido por *gliders* e perfiladores e a intensidade do vento próximo ao ponto e ao instante de medição. Os valores de velocidade do vento foram extraídos da reanálise global CFSv2 (*Climate Forecast System version 2*) (SAHA et al., 2014) disponibilizado publicamente pela NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*).

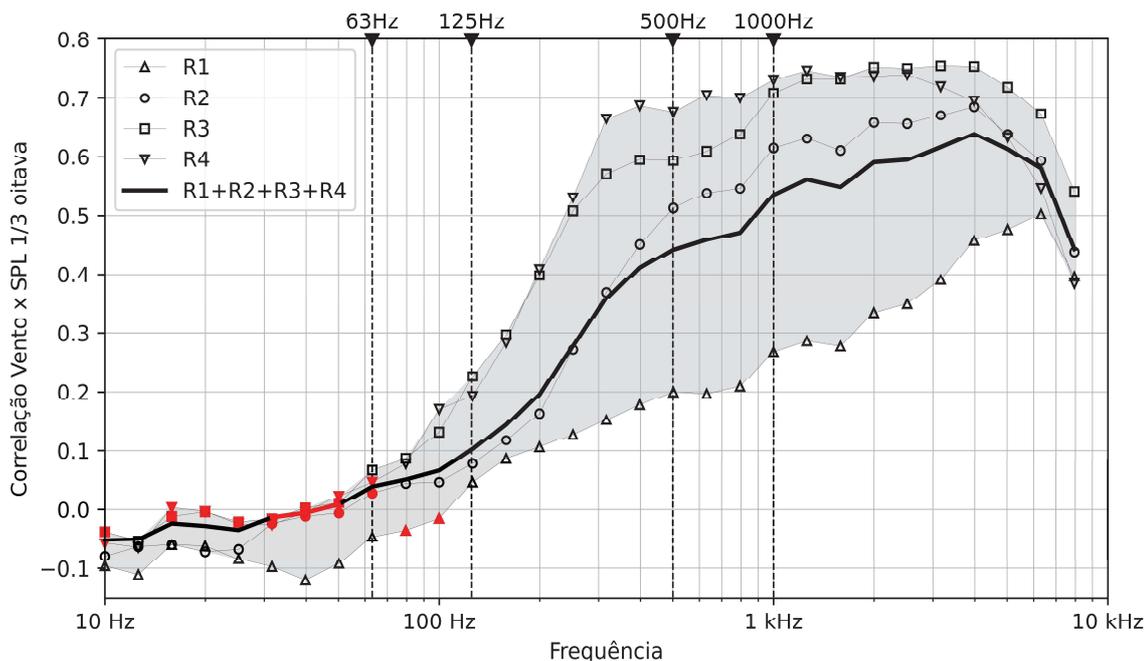


Figura III.1.1.2-7: Coeficiente de correlação de *Spearman* entre os valores de intensidade do vento e o SPL (dB ref $1\mu\text{Pa}^2$) medido em distintas regiões da Bacia de Santos para diferentes frequências do filtro de 1/3 de oitava. As linhas verticais tracejadas indicam as frequências centrais de 63, 125, 500 e 1.000 Hz. A linha preta mais grossa considera os valores das quatro regiões no cálculo da correlação, enquanto as demais linhas com marcadores – triângulo, círculo, quadrado e triângulo invertido – se referem às regiões R1, R2, R3 e R4, respectivamente. Os trechos e marcadores em preto indicam valores de correlação com significância estatística ao nível de 95%.

Os resultados mostram que há uma correlação estatisticamente significativa do vento com os níveis de intensidade sonora nas diferentes regiões da Bacia de Santos, para frequências superiores a aproximadamente 125 Hz. A faixa do espectro de maior correlação se dá entre as frequências de 500 Hz e aproximadamente 9 kHz, sobretudo entre as frequências de 1 e 4 kHz. Para

frequências superiores a 4 kHz, a correlação aparenta uma tendência de queda, mas não é possível confirmar se isto se mantém em função da resolução espectral dos perfiladores utilizada nesta análise. Contudo, este seria o comportamento mais provável, tendo em vista que a correlação do vento com o ruído hidroacústico nas demais frequências está de acordo com o descrito na literatura para a contribuição do ruído de natureza geofônica nas diferentes faixas do espectro (WENZ, 1962).

Um aspecto importante é que a magnitude da correlação varia amplamente conforme a região da Bacia de Santos, sendo que os maiores valores ocorrem nas regiões R3 e R4, com correlações de até 0,75. Para a região R2, os valores máximos de correlação são da ordem de 0,69, e para a região R1, de até 0,5. Entretanto, não existem variações substanciais no comportamento do vento entre as diferentes regiões que possam justificar estas diferenças, o que é evidenciado na Figura III.1.1.2-8, que mostra as distribuições dos valores de intensidade do vento em cada região. É possível verificar que as distribuições da intensidade do vento em cada região e os valores de média e desvio padrão são muito parecidos.

Deste modo, a contribuição antropogênica de energia nas médias frequências existente em R1 e R2 atua como “ruído estatístico” e concorre para reduzir a correlação do SPL com o vento, ainda que esta forçante atmosférica esteja presente e atue de modo quase homogêneo por toda a extensão da área profunda da Bacia de Santos.

O grau de correlação do vento com o ruído ambiente também depende da sua intensidade e duração, o que se manifesta diretamente sobre o estado de mar. Ventos mais intensos tendem a elevar o estado de mar e, conseqüentemente, o nível ambiente da pressão sonora.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

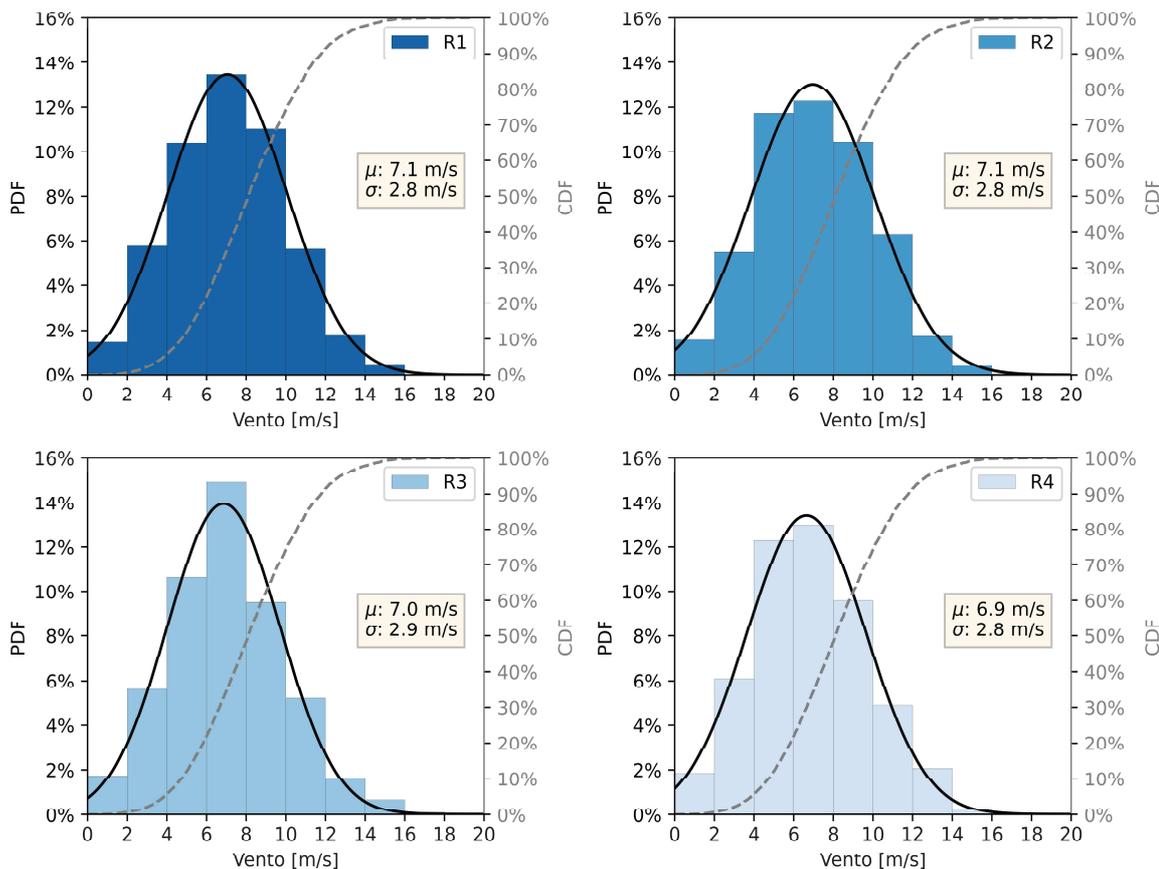


Figura III.1.1.2-8: Distribuições da intensidade do vento para as regiões R1, R2, R3 e R4 e respectivas média (μ) e desvio padrão (σ). A curva preta em cada histograma indica o ajuste de uma distribuição normal aos dados de cada região e a curva cinza tracejada a respectiva distribuição acumulada estimada a partir dos dados.

Este aspecto também é observado nos valores de SPL medidos na Bacia de Santos. A Figura III.1.1.2-9 mostra como o ruído hidroacústico da Bacia de Santos se relaciona com a variação da intensidade do vento que atua próximo à superfície do oceano. O eixo vertical mostra os valores de SPL (dB re $1\mu\text{Pa}^2$) e o eixo horizontal a velocidade do vento em escala logarítmica. A linha preta representa uma curva de tendência não linear ajustada aos dados.

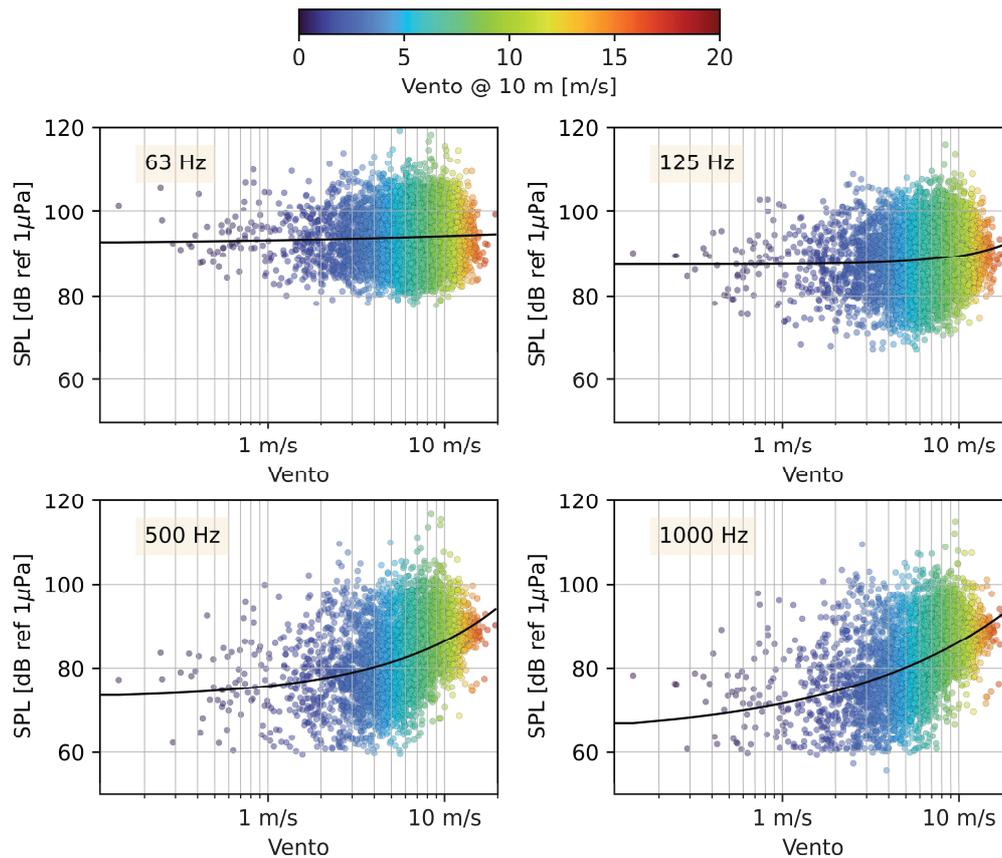


Figura III.1.1.2-9: Variação do SPL para as frequências de 63, 125, 500 e 1.000 Hz do espectro de 1/3 de oitava para medições acústicas na Bacia de Santos (R1+R2+R3+R4) em função da velocidade do vento. As cores indicam a intensidade do vento e a linha preta indica uma curva de tendência ajustada aos dados usando uma função do tipo $y = a + bx^c$.

Constata-se que a variação do ruído em baixa frequência é pouco afetada pelo vento, mesmo para valores elevados de magnitude, como evidenciam os gráficos de SPL referente às frequências de 63 e 125 Hz. Neles, é possível verificar que o valor médio do ruído para diferentes intensidades é basicamente o mesmo, com uma ligeira tendência de aumento do SPL na frequência de 125 Hz, para ventos superiores a aproximadamente 8 m/s.

Para as frequências de 500 e 1.000 Hz, como esperado, os níveis de ruído respondem ao aumento da intensidade do vento, porém, para magnitudes acima da faixa de 1,5 a 2 m/s. Estes valores são comumente ultrapassados nas regiões estudadas da Bacia de Santos, o que é evidenciado pela pequena frequência de ocorrência de valores inferiores a 2 m/s observada na Figura III.1.1.2-8. Abaixo

deste limiar, o ruído gerado pelo vento aparentemente não impacta nos valores de SPL nestas bandas particulares do espectro.

Uma estimativa mais precisa da contribuição das diversas fontes de ruído para a paisagem acústica submarina pode ser obtida comparando-se conjuntos de espectros de SPL medidos em situações em que apenas um dos tipos de fonte, geofônica ou antropogênica, é dominante, considerando apenas espectros obtidos na “ausência” da outra fonte.

Um critério possível para a presença do ruído antropogênico seria a existência de embarcações a uma distância máxima da posição e do instante da medição acústica. A não ocorrência de embarcações nesta condição indicaria uma contribuição reduzida de fontes antropogênicas em comparação com outras fontes de ruído. Já um critério para a presença ou ausência de contribuições relevantes do ruído geofônico pode ser estipulado a partir do limiar de velocidade do vento a partir do qual há maior correlação com o ruído observado.

Nesta análise, foi considerado um raio de 40 km e uma janela temporal de 30 minutos, centrada no instante do registro acústico, como critério de avaliação da presença ou ausência de uma ou mais embarcações e, portanto, do ruído antropogênico. Critério semelhante a esse foi adotado, por exemplo, na síntese da paisagem acústica da região de *Perth Canyon*, na Austrália, realizada por Erbe *et al.* (2015a). As medições acústicas realizadas com intensidade do vento abaixo do limiar de 1,5 m/s foram consideradas como ausentes de fontes geofônicas e o oposto acima deste valor.

Os painéis (a) e (c) da Figura III.1.1.2-10 apresentam comparações entre a mediana dos espectros de 1/3 de oitava obtidos na ausência de fontes predominantes (curva preta) e na presença predominante de fontes antropogênicas (curva vermelha) e fontes geofônicas (curva azul). As envoltórias no entorno destas curvas delimitam os percentis 25 e 75% dos valores de SPL. Os espectros da Figura III.1.1.2-10(a) consideram apenas medições com vento inferior a 1,5 m/s e os espectros da Figura III.1.1.2-10(c) consideram somente medições sem presença de embarcações, conforme os critérios de ausência detalhados acima. As áreas em amarelo nos gráficos inferiores (painéis (b) e (d)) indicam a diferença, em dB, entre as situações com presença e ausência de cada uma das respectivas fontes.



Verifica-se que a presença de embarcações contribui, em termos do percentil 50%, para um aporte de ruído de até 8 dB, para frequências abaixo de 2 kHz (Figura III.1.1.2-10 (b)), com maiores aportes próximo às bandas de 63 e 125 Hz.

Contudo, como o número de embarcações e a distância da fonte afetam a magnitude e o grau de atenuação do ruído, a região coberta pelas envoltórias dos espectros na Figura III.1.1.2-10 (a) é grande, refletindo alta variabilidade da energia recebida pelo sensor, especialmente em médias frequências. Assim, o aporte estimado para o ruído antropogênico possui um elevado grau de incerteza associado. Acima de 2 kHz, não se observam contribuições relevantes do ruído antropogênico.

Já a contribuição do ruído geofônico varia consideravelmente em função da frequência. Abaixo de 200 Hz, os incrementos de SPL não ultrapassam 2 dB, ao passo que entre as bandas de 400 Hz e 3 kHz, estes valores variam entre 8 e 16 dB, com os maiores aportes se dando entre 1 e 2 kHz.

Desta forma, verifica-se que o ruído antropogênico, parametrizado pela presença de embarcações, contribui de modo aproximadamente uniforme nos níveis observados de SPL, com um aporte de até 8 dB entre as frequências de 10 Hz e 2 kHz, embora as contribuições nas frequências mais altas deste intervalo sejam fortemente afetadas pela distância às fontes. Já o ruído de natureza geofônica, onde ventos acima de 1,5 m/s são o principal componente, contribuem mais com o ruído entre as bandas de 500 Hz e 10 kHz com aportes entre 8 e 16 dB.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

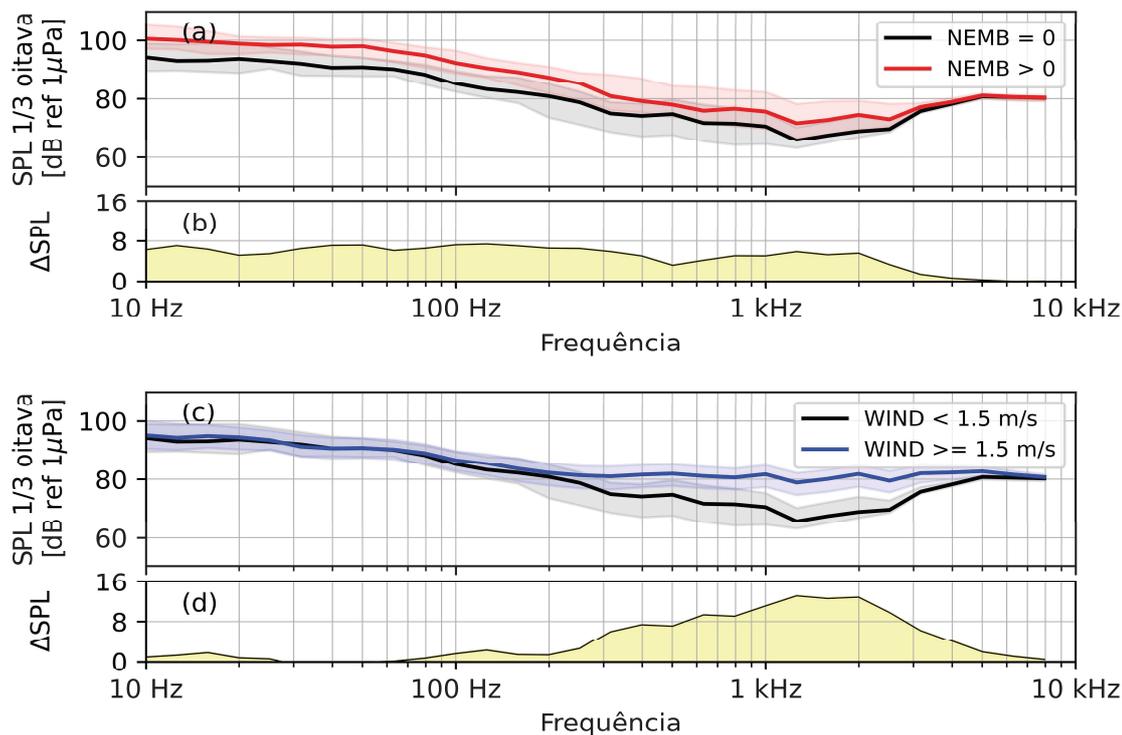


Figura III.1.1.2-10: Painel superior: (a) mediana dos espectros de 1/3 de oitava do SPL para as medições com e sem a presença de embarcações em um raio de 40 km e vento inferior a 1,5 m/s; (b) diferença em dB entre as duas situações. Painel inferior: (c) espectros de 1/3 de oitava do SPL para as medições sem presença de embarcações em um raio de 40 km com vento acima e abaixo de 1,5 m/s; (d) diferença em dB entre as duas situações. As linhas cheias grossas nos gráficos (a) e (c) indicam a mediana dos espectros e as envoltórias delimitam a região entre os percentis 25 e 75%.

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%. O APÊNDICE B descreve melhor como a qualificação foi feita e mostra os testes realizados usando diferentes parâmetros para a qualificação dos dados das LFIs e os resultados preliminares obtidos, comparando diferentes critérios.

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 selecionados pelo processo de qualificação.

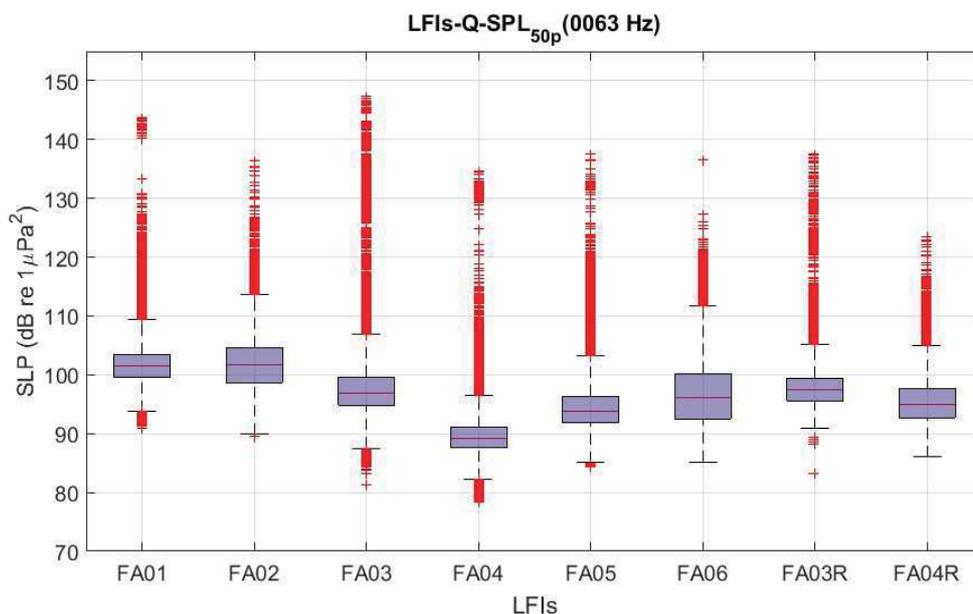


Figura III.1.2.1-1: Comparação entre as LFIs para todos os dados no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz.

Na Figura III.1.2.1-2 e na Tabela III.1.2.2-1 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. Na tabela são apresentados, também, os resultados do teste estatístico (ANOVA) comparando as distribuições das linhas para cada frequência. As diferenças entre as distribuições das linhas são estatisticamente significativas para cada faixa de frequência. Em todas as frequências a linha FA02 é a mais ruidosa, seguida pela FA01. A linha mais silenciosa é a FA04.

O fato das linhas FA01 e FA02 serem as mais ruidosas em todas as faixas de frequência se deve, provavelmente, ao fato delas estarem localizadas nas regiões com maior atividade de E&P e com alto tráfego de navegação.

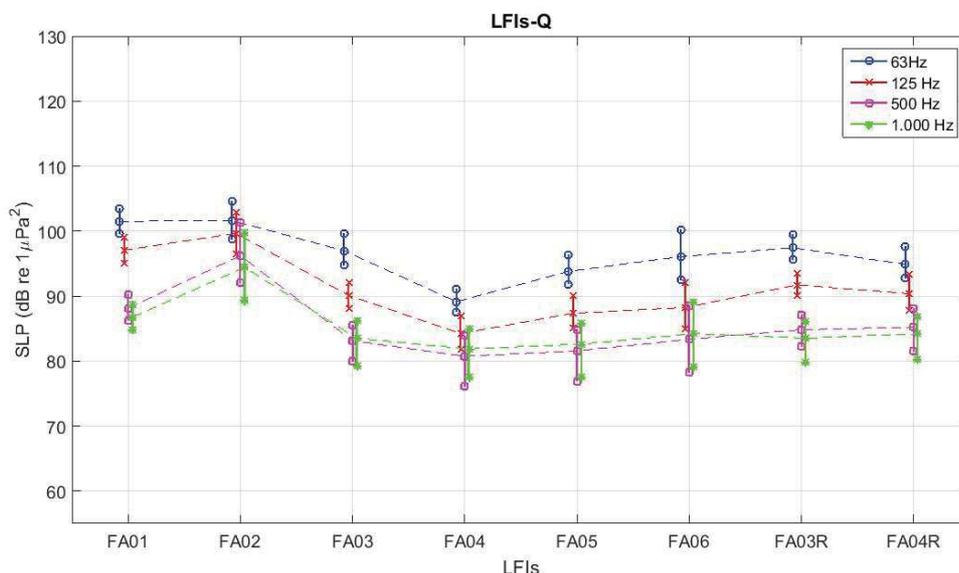


Figura III.1.2.1-2: Comparação entre as LFIs para todos os dados nos filtros de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz.



Tabela III.1.2.2-1: Medianas para os dados das LFI's nos filtros de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz.

LFI	Frequências / (teste ANOVA)			
	63 Hz (F=106.206,4, p=0)	125 Hz (F=155.100,9, p=0)	500 Hz (F=87.066,5, p=0)	1.000 Hz (F=50.748,8, p=0)
FA01	101,5	97,1	88,1	86,7
FA02	101,6	99,7	96,2	94,4
FA03	97,0	90,1	83,1	83,5
FA04	89,1	84,2	80,7	81,9
FA05	93,8	87,3	81,6	82,6
FA06	96,1	88,2	83,4	84,2
FA03R	97,4	91,7	84,8	83,5
FA04R	94,9	90,4	85,2	84,2

A Figura III.1.2.1-3 apresenta *boxplots* para os dados das LFI's nos anos de 2017 a 2020, no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz. A Figura III.1.2.1-4 e a Tabela III.1.2.2-2 apresentam as medianas de cada linha para as frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz, para os anos de 2017 a 2020. Na tabela, são apresentados, também, os resultados do teste ANOVA realizado para cada frequência. A linha FA06 não coletou dados no ano de 2017 e as linhas FA03R e FA04R não coletaram dados antes de 2020, por isso, não aparecem nestes anos nos gráficos e na tabela.

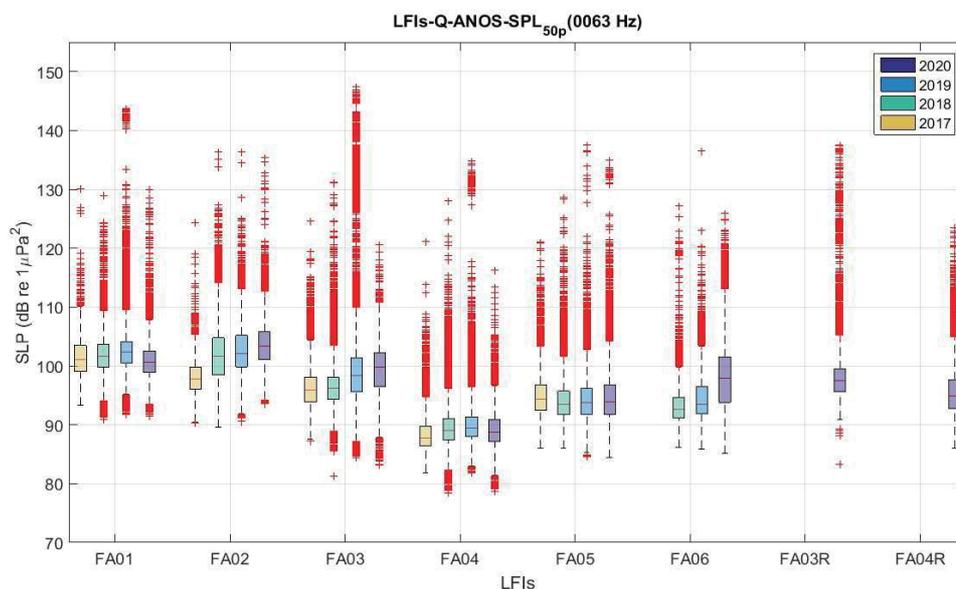


Figura III.1.2.1-3: Comparação entre as LFI's para os anos de 2017 a 2020 no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz.



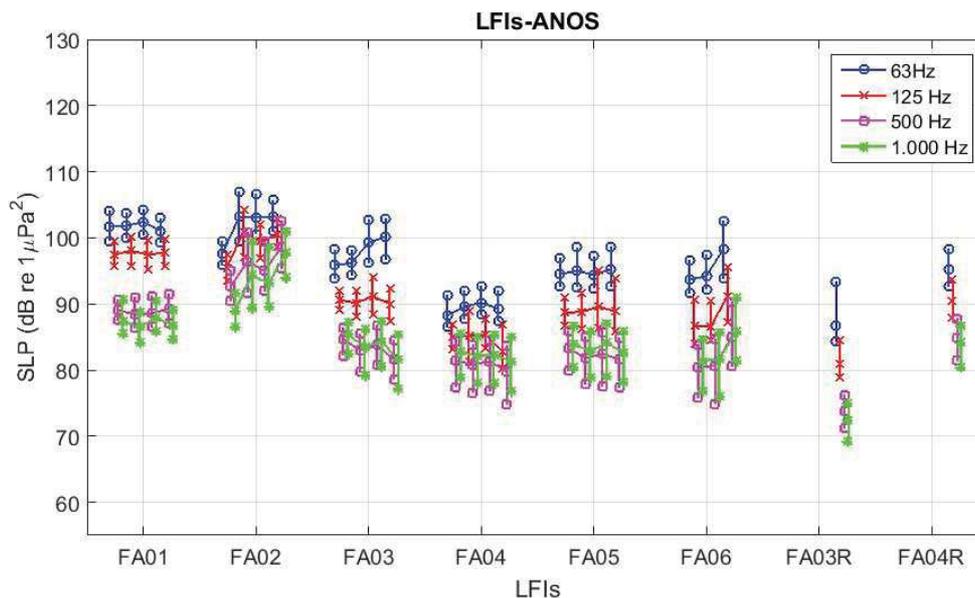


Figura III.1.2.1-4: Comparação entre as LFIs para os anos de 2017 a 2020 nos filtros de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz. Cada conjunto de quatro marcas corresponde, da esquerda para a direita, aos anos de 2017, 2018, 2019 e 2020, respectivamente. A linha FA06 não tem dados para o ano de 2020 e as linhas FA03R e FA04R só têm dados em 2020.

Na frequência de 63 Hz, o teste estatístico indicou que todas as diferenças entre os anos para cada LFI são estatisticamente significativas. As maiores diferenças encontradas foram entre os anos de 2017 e 2020 para a linha FA02, com um aumento do ruído de 5,6 dB; entre os anos de 2018 e 2020 para a linha FA03, com aumento em torno de 4 dB; e entre os anos de 2018 para 2020 para a linha FA06, com um aumento de 5,4 dB.

Na frequência de 125 Hz, o teste indicou que não é possível dizer que há diferenças entre os anos de 2017 e 2019 para a linha FA01; entre os anos de 2018, 2019 e 2020 para a linha FA03; entre os anos de 2017 e 2018 para a linha FA04; e entre os anos de 2018, 2019 e 2020 para a linha FA05. As maiores diferenças encontradas foram de cerca de 5 dB para a linha FA02, entre os anos de 2017 e 2020 e entre os anos de 2018 e 2020 para a linha FA06.

Na frequência de 500 Hz, o teste indicou que não é possível afirmar que há diferenças entre os anos de 2017 e 2020 e entre 2018 e 2019 para a linha FA01; entre os anos de 2018 e 2019 para a linha FA02; entre os anos de 2018 e 2019 para a linha FA03; entre os anos de 2017, 2018 e 2019 para a linha FA04; entre

os anos de 2018 e 2020 para a linha FA05; e entre 2018 e 2019 para a linha FA06. As maiores diferenças encontradas foram entre os anos de 2017 e 2020 para a linha FA02, com um aumento de 6,7 dB; e entre os anos de 2018 e 2020 para a linha FA06, com um aumento de 5,4 dB.

Na frequência de 1.000 Hz, não é possível afirmar que houve diferenças entre os anos de 2017, 2018 e 2020 para a linha FA01; entre os anos de 2018 e 2019 na linha FA02; e entre os anos de 2018 e 2020 para a linha FA05. As maiores diferenças encontradas foram entre os anos de 2017 e 2020 para a linha FA02, com um aumento de 9,6 dB; entre 2017 e 2020 para a linha FA03, com uma redução de 3,3 dB; e entre 2018 e 2020 para a linha FA06, com um aumento de 5 dB.

Os maiores aumentos dos níveis de ruído ao longo dos anos de 2017 a 2020 ocorreram na linha FA02, com aumentos de perto de 6 dB nas frequências mais baixas e de até 9 dB nas frequências maiores e na linha FA06, com aumentos de até 6 dB em todas as frequências. Nas demais linhas e frequências as variações de níveis de ruído entre os anos foi pequena ou não existiu. Se considerarmos apenas a variação entre 2019 e 2020, os maiores aumentos ocorreram na linha FA06, com mais de 4 dB em todas as frequências e na linha FA02, com aumentos acima de 4 dB nas frequências mais altas. Em todas as outras linhas e para as frequências mais baixas na linha FA02 o aumento foi de no máximo 2 dB, tendo havido, inclusive, redução de até 3 dB.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

Tabela III.1.2.2-2: Medianas para os dados das LFI's nos filtros de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz, para os anos de 2017, 2018, 2019 e 2020. O teste estatístico ANOVA aplicado por frequência teve os seguintes resultados, todos com $p=0,0000$: 63 Hz – $F=36.673,5$, 125Hz – $F=49.272,1$, 500 Hz – $F=28.151,6$, 1.000 Hz – $F=17.273,7$. A linha FA06 não teve dados coletados no ano de 2017 e as linhas FA03R e FA04R só começaram a coletar dados em 2020.

	63Hz				125Hz			
	2017	2018	2019	2020	2017	2018	2019	2020
FA01	101,1	101,6	102,3	100,6	96,5	97,5	96,9	97,1
FA02	97,7	101,6	102,1	103,4	95,6	100,4	99,7	100,7
FA03	95,9	96,2	98,4	99,7	90,5	90,1	90,0	89,9
FA04	87,8	89,0	89,5	88,7	84,4	84,0	84,7	81,5
FA05	94,3	93,5	93,7	94,0	88,4	87,4	87,4	87,0
FA06	----	92,6	93,5	98,0	----	84,6	85,4	90,0
FA03R	----	----	----	97,4	----	----	----	91,7
FA04R	----	----	----	94,9	----	----	----	90,4
	500Hz				1000Hz			
	2017	2018	2019	2020	2017	2018	2019	2020
FA01	88,7	87,8	88,0	88,4	86,1	86,4	87,5	86,3
FA02	92,8	96,2	95,6	99,6	88,8	93,9	94,3	98,5
FA03	84,7	83,1	83,0	81,5	85,3	83,4	83,4	81,7
FA04	80,7	80,7	81,0	79,5	82,0	81,9	81,9	81,1
FA05	83,5	80,9	82,4	81,1	84,1	82,0	83,6	82,2
FA06	----	79,9	80,0	85,3	----	81,0	81,2	86,0
FA03R	----	----	----	84,8	----	----	----	83,5
FA04R	----	----	----	85,2	----	----	----	84,2

No planejamento do lançamento das linhas, as linhas FA01 e FA02 foram posicionadas em regiões impactadas pelas atividades de exploração de óleo e gás; as linhas FA03 e FA04 estavam longe destas atividades e das rotas de tráfego intenso, sendo chamadas, na época, de áreas pristinas; e as linhas FA05 e FA06 foram posicionadas em regiões com tráfego intenso de embarcações, mas sem uma atividade de exploração de óleo e gás intenso. As linhas FA03R e FA04R foram instaladas em regiões sem atividades, ainda, de E&P. Isto justifica o fato das linhas FA01 e FA02 serem as mais ruidosas, seguida pela linha FA06. A elevação de níveis nas frequências mais altas, sem uma contrapartida semelhante



em frequências mais baixas, como no caso da linha FA02, pode ter sido causada pela presença mais próxima de embarcações envolvidas em atividades de perfuração ou produção de óleo e gás (AUSTIN, 2014; ERBE et al., 2013). Em todos os *boxplots*, observou-se muitos valores extremos que podem ser devidos a ruídos do próprio sistema provocados pela corrente oceânica, mesmo após a qualificação. Outro fator que pode ter contribuído para o aparecimento dos valores extremos é a passagem de embarcações próximo à posição das LFIs, o que aumenta momentaneamente os níveis de ruído recebido, assim como já havia sido pontuado para os resultados do monitoramento móvel.

A Figura III.1.2.1-5 apresenta *boxplots* para os dados das LFIs nas profundidades de 50 m, 200 m e 950 m, no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz. A Figura III.1.2.1-6 e a Tabela III.1.2.2-3 apresentam as medianas para os dados das LFIs nas faixas de frequência de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz, para as profundidades de 50 m, 200 m e 950 m. Na tabela são apresentados, também, os resultados do teste ANOVA realizado para cada frequência.

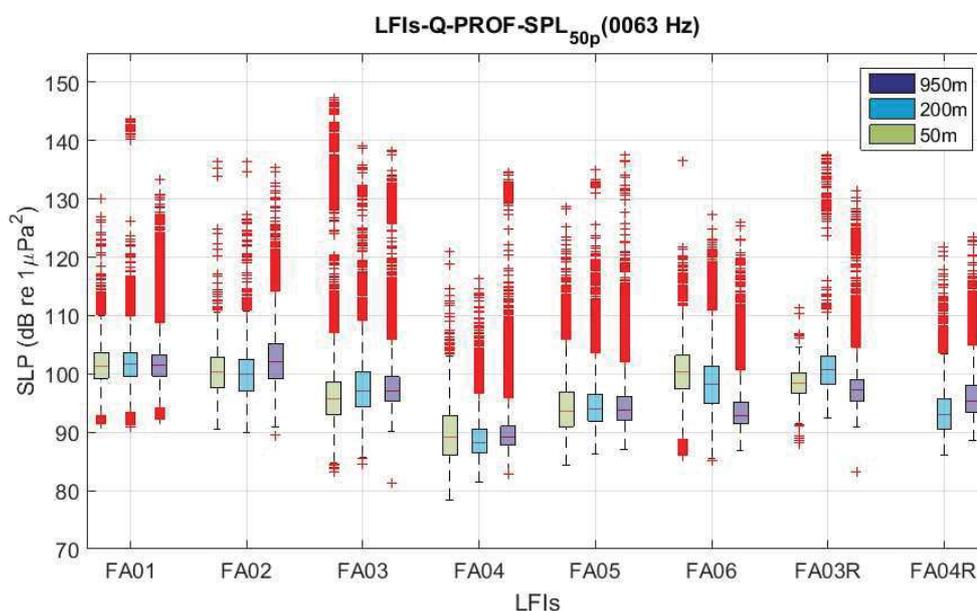


Figura III.1.2.1-5: Comparação entre as LFIs do SPL no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz, para as profundidades de 50 m, 200 m e 950 m.

Na frequência de 63 Hz, o teste estatístico indicou que não é possível afirmar que há diferenças entre as profundidades de 50 m e 950 m para a linha FA01; entre 200 m e 950 m para a linha FA03; entre 50 m e 950 m para a linha

FA04; e entre 50 m e 950 m para a linha FA05. As maiores diferenças foram encontradas entre as profundidades de 50 m e 950 m na linha FA06, com uma redução de 7 dB; entre as profundidades de 200 m e 950 m na linha FA03R, com uma redução de 3,5 dB.

Na frequência de 125 Hz, o teste estatístico mostrou que não é possível afirmar que existe diferença entre as profundidades de 50 m e 200 m para a linha FA01. As maiores diferenças encontradas foram entre as profundidades de 50 m e 200 m na linha FA04, com uma redução de 4,3 dB; entre 50m e 950 m na linha FA06, com uma redução de 5,7 dB e entre 200 m e 950 m na linha FA04R, com um aumento de 3 dB.

Na frequência de 500 Hz, o teste estatístico indicou que não é possível afirmar que há diferenças entre as profundidades de 200 m e 950 m para a linha FA04. As maiores diferenças encontradas foram entre as profundidades de 200 m e 950 m da linha FA02, com um aumento de 5,2 dB; e entre 50 m e 950 m na linha FA06, com uma redução de 7 dB.

Na frequência de 1.000 Hz, o teste estatístico apontou que não se pode dizer que há diferenças entre as profundidades de 200 m e 950 m na linha FA01; entre 50 m e 950 m para a linha FA03; e entre 50 m e 200 m para a linha FA04. As maiores diferenças encontradas foram entre as profundidades de 200 m e 950 m na linha FA02, com um aumento de 6,7 dB; e entre as profundidades de 50 m e 200 m na linha FA01, com uma redução de 3,5 dB; e entre as profundidades de 50 m e 950 m na linha FA06, com uma redução de 7 dB.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

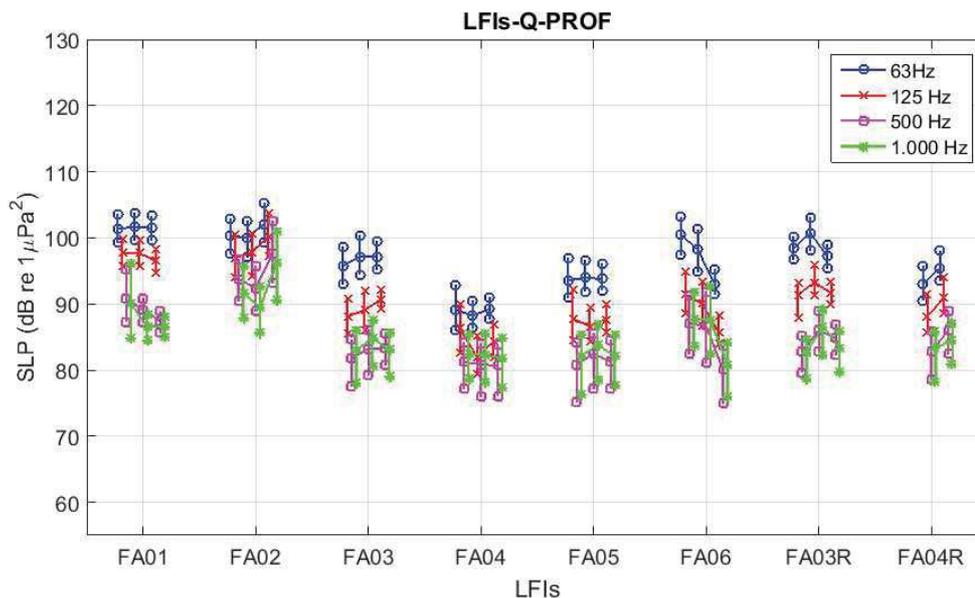


Figura III.1.2.1-6: Comparação entre as LFIs para as profundidades de 50 m, 200 m e 950 m, nos filtros de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz. Cada conjunto de três marcas ligadas por uma linha tracejada corresponde, da esquerda para a direita, às profundidades de 50 m, 200 m e 950 m, respectivamente. Os conjuntos de cada profundidade para cada frequência foram ligados por uma linha tracejada entre as LFIs, para facilitar a visualização.

Não existem diferenças claras que sejam comuns a todas as linhas. De uma maneira geral, as diferenças entre as profundidades numa mesma linha não são muito grandes, com algumas exceções, como mostrado na Tabela III.1.2.2-3. Assim como nos *boxplots* comparando os anos, apresentado na Figura III.1.2.1-1, aparecem muitos valores extremos em diversos *boxplots*, podendo ter sido causados pelos mesmos fatores apresentados na comparação entre os anos, nesta mesma seção. O agrupamento dos dados das diferentes profundidades pode ser aconselhável para se obter informações médias sobre o ruído acústico no meio, se a utilização desta informação não for para uma faixa de profundidade predeterminada.



Tabela III.1.2.2-3: Medianas para os dados das LFI's nos filtros de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz, para as profundidades de 50 m, 200 m e 950 m. O teste estatístico ANOVA aplicado por frequência teve os seguintes resultados, todos com $p=0,0000$: 63 Hz – $F=37.347,3$, 125 Hz – $F=51.758,8$, 500 Hz – $F=41.585,7$, 1.000 Hz – $F=29.948,2$. A linha FA04R não teve dados coletados na profundidade de 50 m.

	63Hz			125Hz		
	50m	200m	950m	50m	200m	950m
FA01	101,4	101,6	101,5	97,8	97,7	96,5
FA02	100,3	100,0	102,1	96,9	97,8	100,2
FA03	95,8	97,1	97,2	88,1	89,1	90,7
FA04	89,1	88,2	89,2	86,3	82,0	84,3
FA05	93,6	94,0	93,8	87,8	86,6	87,6
FA06	100,4	98,3	92,9	91,4	90,1	85,7
FA03R	98,4	100,7	97,2	91,4	93,3	91,6
FA04R	----	93,0	95,4	----	88,1	91,0
	500Hz			1000Hz		
	50m	200m	950m	50m	200m	950m
FA01	90,8	89,1	87,4	90,1	86,5	86,6
FA02	93,7	92,4	97,6	91,7	89,5	96,2
FA03	81,8	83,2	83,4	82,9	84,8	83,1
FA04	81,2	80,8	80,7	82,5	82,4	81,7
FA05	80,8	82,4	81,3	82,1	83,8	82,1
FA06	87,1	86,6	80,0	87,7	87,6	80,8
FA03R	82,7	86,0	84,8	82,7	86,6	83,4
FA04R	----	82,8	86,0	----	83,3	84,5

A Figura III.1.2.1-7 mostra os *boxplots* para o SEL_{24h_LF} (SEL, do inglês *Sound Exposure Level*) e a Figura III.1.2.1-8 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 $1\mu Pa^2.s$). Para o grupo MF, o TTS é de 178 dB re $1\mu Pa^2.s$, 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 $1\mu\text{Pa}^2\cdot\text{s}$ para o grupo LF e de 198 dB re $1\mu\text{Pa}^2\cdot\text{s}$ para o grupo MF.

Todos os dados do $\text{SEL}_{24\text{h}}$, tanto para o grupo LF, quanto para o grupo MF, ficaram abaixo do valor de limiar para o TTS.

No $\text{SEL}_{24\text{h_LF}}$ não é possível afirmar que existe diferença significativa para as distribuições entre as linhas FA03, FA06 e FA03R ($F=1.266,8$, $p=0$). Os maiores níveis foram obtidos para a linha FA02 e os menores para a linha FA04.

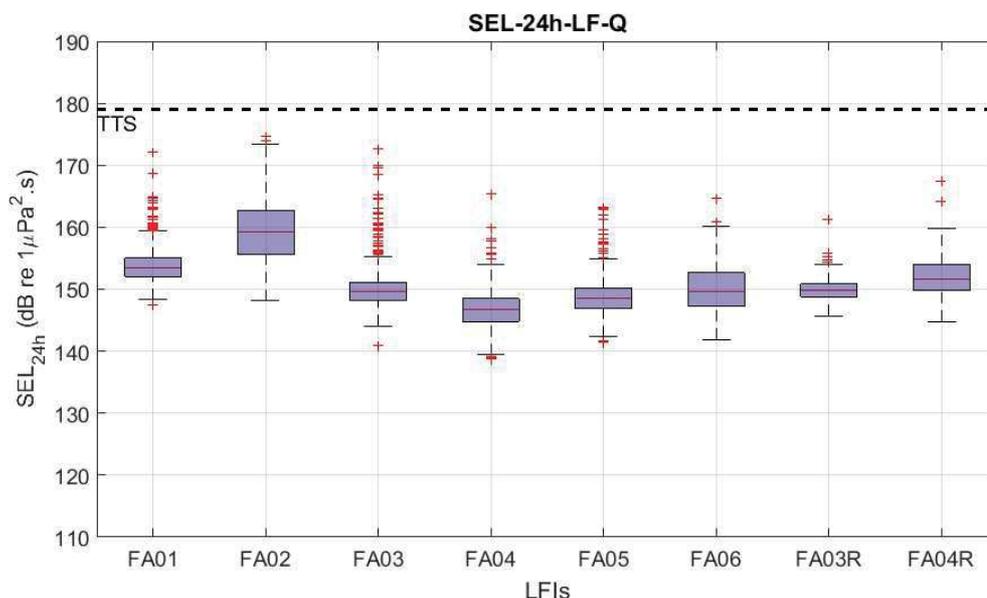


Figura III.1.2.1-7: Comparação entre o $\text{SEL}_{24\text{h_LF}}$ para as oito linhas. A linha preta tracejada corresponde ao TTS.

No $\text{SEL}_{24\text{h_MF}}$ não é possível afirmar que existe diferença significativa para as distribuições entre as linhas FA01, FA03, FA04, FA05, FA06, FA03R e FA04R. Os maiores níveis foram obtidos na linha FA02.

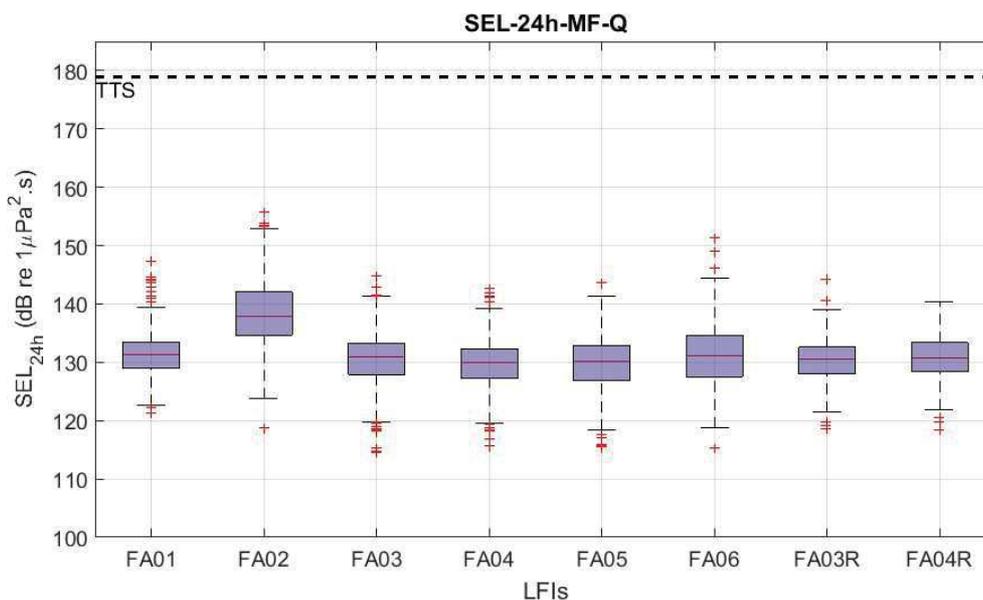


Figura III.1.2.1-8: Comparação entre o SEL_{24h-MF} para as oito linhas. A linha preta tracejada corresponde ao TTS.

A evolução temporal do SEL_{24h} para as oito LFIs é mostrada na Figura III.1.2.1-9 para o grupo LF e na Figura III.1.2.1-10 para o grupo MF. As escalas horizontais e verticais são iguais para todos os gráficos, para facilitar a comparação dos tempos de aquisição para as linhas. Os dados cobrem todo o período das seis primeiras campanhas das LFIs, indo de setembro de 2017 a dezembro de 2020. A linha preta tracejada nos gráficos corresponde ao limiar para o *Temporary Threshold Shift* (TTS) apresentado em Finneran (2016), sendo 179 dB re $1\mu Pa^2.s$ para o grupo LF e 178 dB re $1\mu Pa^2.s$ para o grupo MF.

No SEL_{24h_LF} , a maior parte da energia usada no seu cálculo corresponde à faixa de baixa frequência do espectro, enquanto o SEL_{24h_MF} usa mais a energia dos sinais de frequência mais alta. Como a energia da parte de baixa frequência do ruído ambiente é normalmente maior do que a energia da parte de mais alta frequência (URICK, 1983), o SEL_{24h_LF} é mais alto do que o SEL_{24h_MF} . Em todos os gráficos, o SEL_{24h} tanto para o grupo MF quanto para o grupo LF de cetáceos não ultrapassa a linha indicando o limiar do TTS, mesmo quando ocorrem pontos com níveis mais altos, destacados dos outros pontos, correspondendo, provavelmente, a valores extremos representados nas Figuras III.1.2.1-7 e III.1.2.1-8

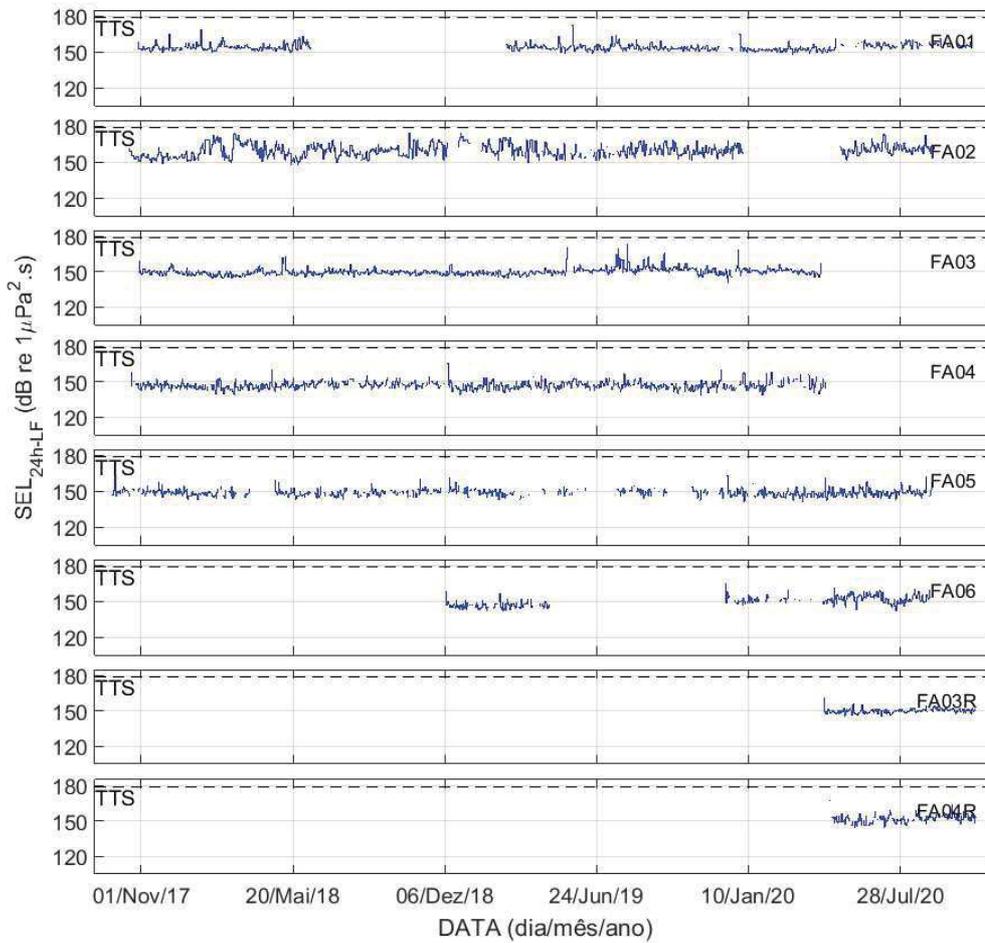


Figura III.1.2.1-9: Evolução temporal do SEL_{24h-LF} para as oito LFIs, para o período de setembro de 2017 a dezembro de 2020.

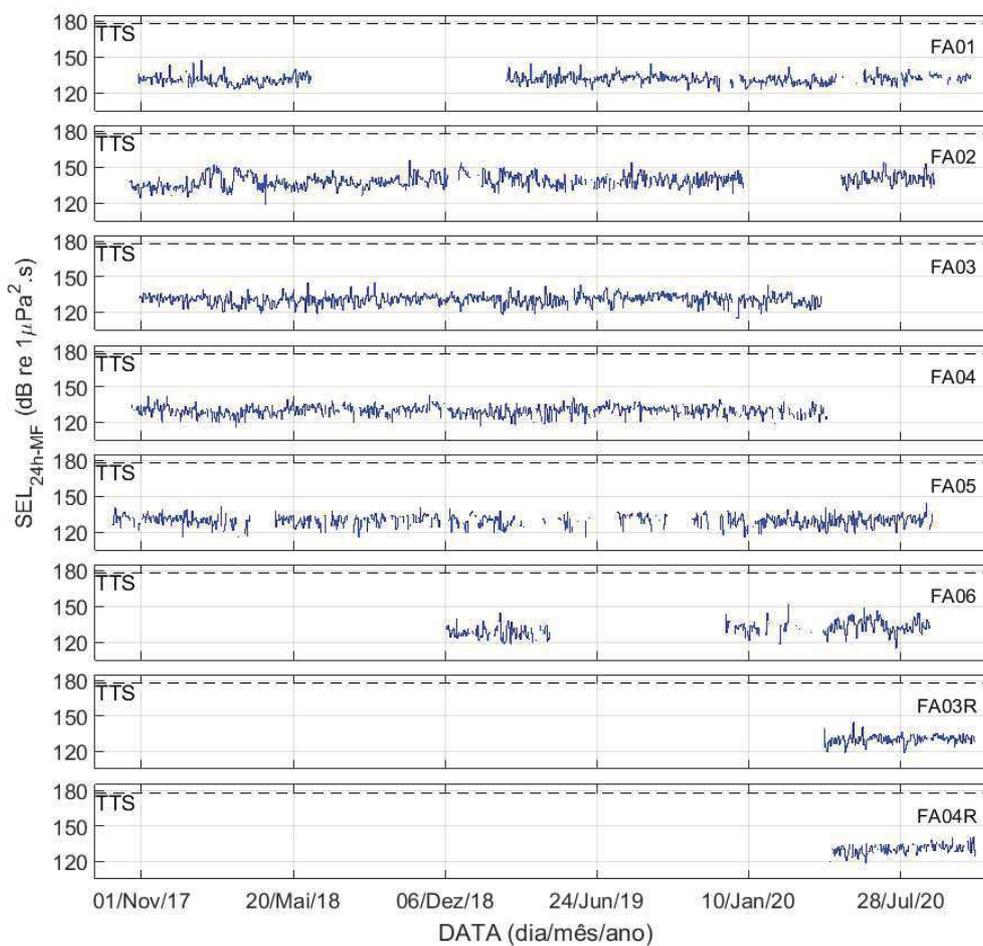


Figura III.1.2.1-10: Evolução temporal do SEL_{24h-MF} para as oito LFI's, para o período de setembro de 2017 a dezembro de 2020.



III.2 PARTE RASA – 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. A linha cheia corresponde à mediana dos espectros para cada frequência do filtro de 1/3 de oitava, enquanto as linhas verticais indicam os percentis 25% e 75%. 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 durante a primeira campanha de monitoramento, o que é detalhado adiante.

É possível constatar que, de uma maneira geral, os OSs instalados no interior e nas imediações da Baía de Guanabara (OS1, OS1A, OS3R e OS3R1) 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 leste 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.

As diferenças entre os níveis dos OSs em cada frequência foram consideradas significativas, com exceção da comparação entre OS2 e OS3R nas bandas centradas em 320 Hz e 1.000 Hz, entre o OS1A e o OS3R1, na banda de 400 Hz e entre o OS3R e OS3R1, na banda de 1.250 Hz ($F= 112,97$, $p=0$).



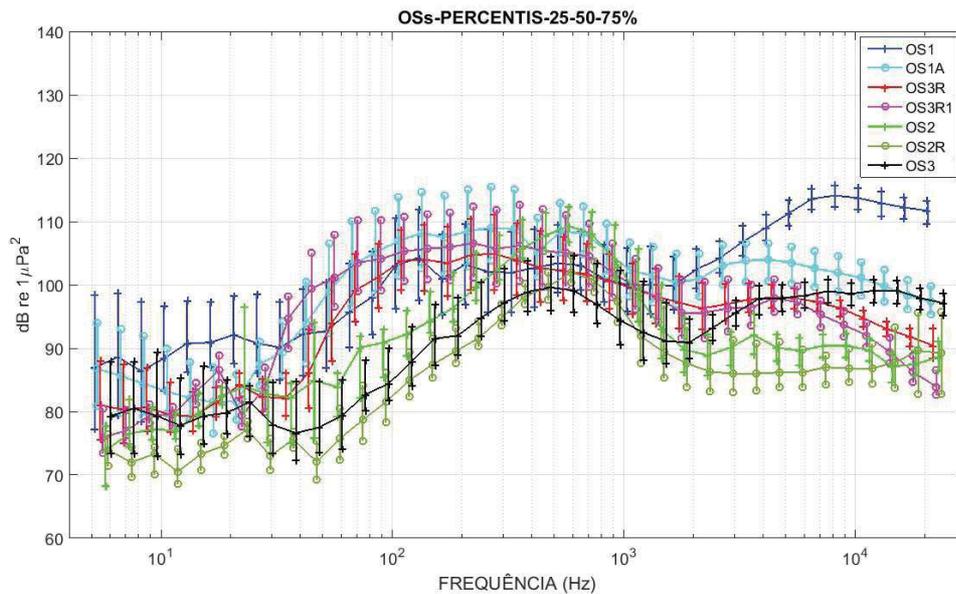


Figura III.2.1-1: Mediana dos espectros de 1/3 de oitava para as diferentes posições de instalação dos OSs. As linhas verticais representam os percentis de 25 % e 75 % para os níveis em cada banda do espectro.

A Figura III.2.1-2 mostra os espectros medianos para os dados obtidos nos OSs na região da Baía de Guanabara (OS1, OS1A, OS3R e OS3R1). 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.

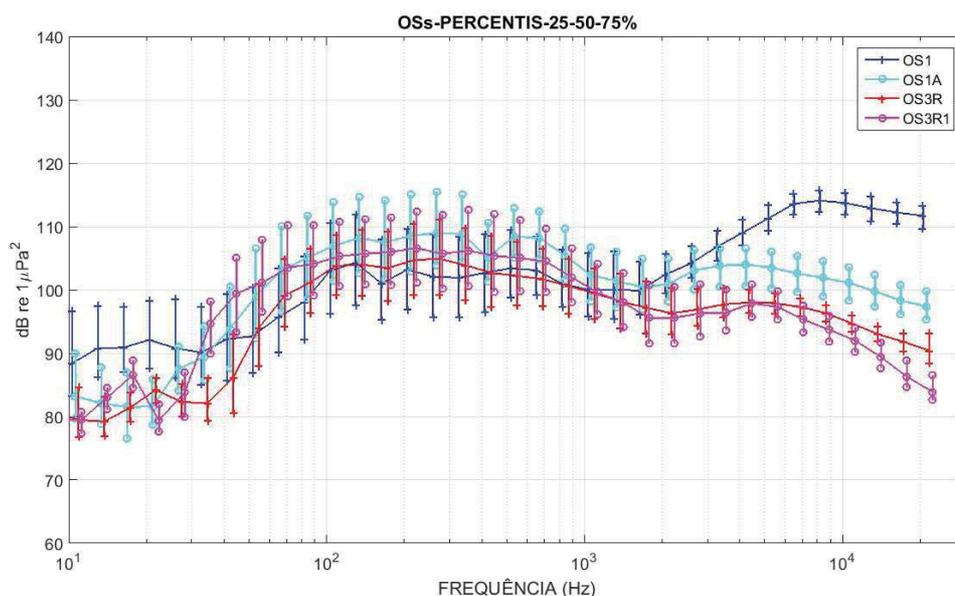


Figura III.2.1-2: Mediana dos espectros de 1/3 de oitava para as posições de instalação próximo à Baía de Guanabara: OS1, OS1A, OS3 e OS3R. As linhas verticais representam os percentis de 25 % e 75 % para os níveis em cada banda do espectro.

A Figura III.2.1-3 mostra os espectros medianos dos dados obtidos nos OSs 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). 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 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.

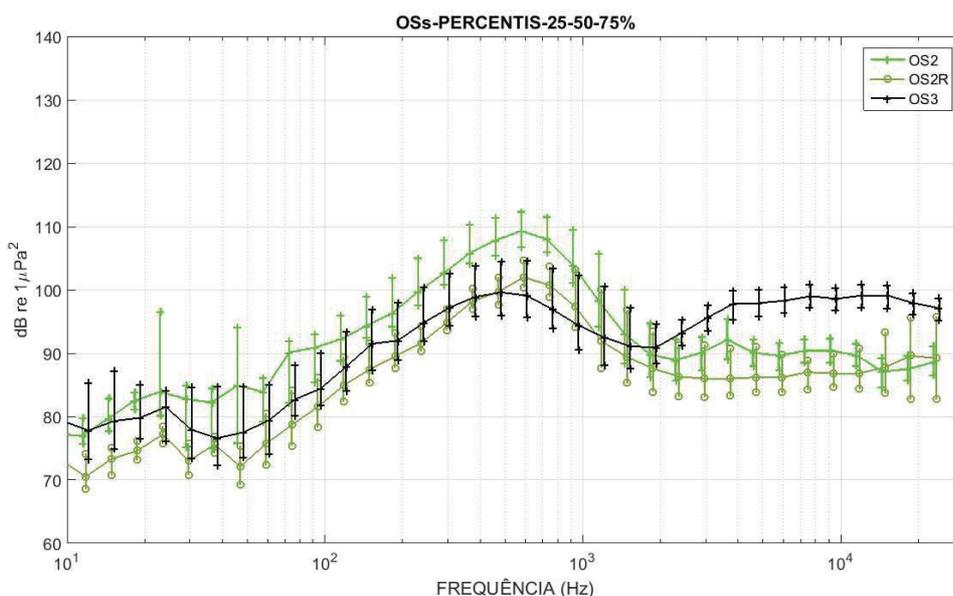


Figura III.2.1-3: Mediana dos espectros de 1/3 de oitava para as posições de instalação na Baía de Ilha Grande e no Canal de São Sebastião: OS2, OS2R e OS3. As linhas verticais representam os percentis de 25 % e 75 % para os níveis em cada banda do espectro.

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, e invertebrados bentônicos e alguns cetáceos) (CAMPBELL, 2018).

Assim, cada região, ou seja, cada habitat possui sua assinatura acústica (RADFORD; STANLEY; 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 (CAMPBELL, 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 and 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.

Nas Figuras III.2.1-4 a III.2.1-7 são mostradas séries mensais das medianas e dos percentis de 25% e 75% para as bandas centradas nas frequências de 63, 125, 500 e 1.000 Hz, para o período de março de 2017 até maio de 2021, permitindo avaliar o comportamento dos níveis de ruído ao longo tempo.

Na banda de 63 Hz observam-se períodos no início da série temporal para as posições OS2 e OS3 em que a dispersão dos valores (variância) é muito pequena, o que dura até aproximadamente fevereiro de 2018 (Figura III.2.1-4). Os dados brutos neste período foram então avaliados e verificou-se que estas gravações haviam sido comprometidas pelo ruído do próprio sistema de gravação. Esta situação deve ser estudada e confirmada em breve, no decorrer do projeto, mas para não comprometer os resultados apresentados neste relatório, os dados foram restringidos, em alguns casos, ao intervalo de tempo iniciando em março de 2018. O problema observado na frequência de 63 Hz, no entanto, não é evidenciado nas demais frequências analisadas, indicando a possibilidade de haver comprometimento apenas numa banda restrita do espectro.

A predominância de maiores valores de SPL_{63Hz} nos OSs localizados no interior e próximo à Baía de Guanabara (OS1, OS1A, OS3R e OS3R1) se repete e é observada também na evolução temporal deste parâmetro acústico. Apesar da variabilidade das séries, os resultados não evidenciam tendências ou ciclos sazonais muito claros nos níveis medianos de ruído em nenhum dos pontos monitorados.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

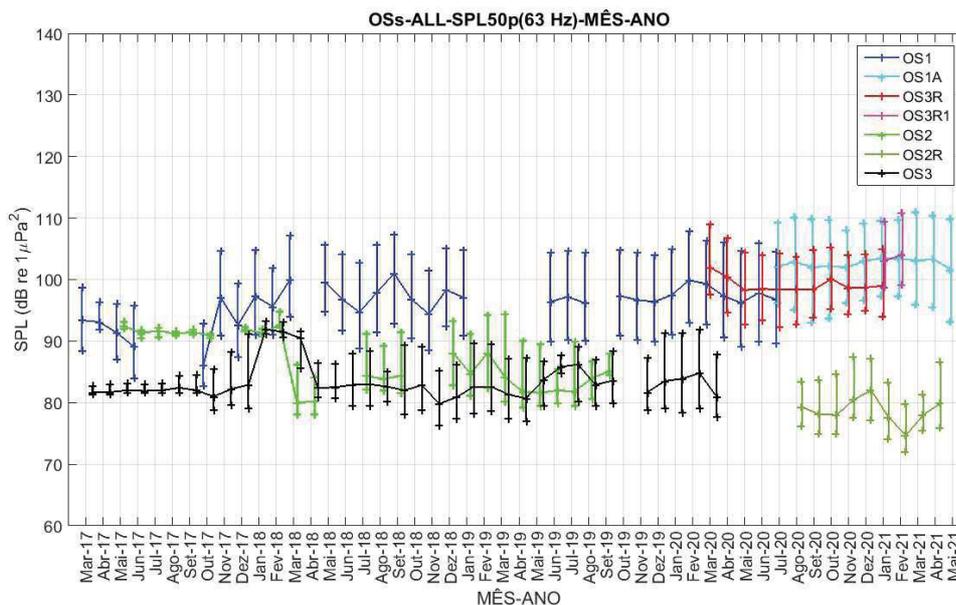


Figura III.2.1-4: Medianas do SPL_{63Hz} em cada mês desde março de 2017 até maio de 2021, para as sete posições analisadas dos observatórios submarinos.

Na banda de 125 Hz (Figura III.2.1-5), observa-se a maior variabilidade dos níveis ao longo dos anos, em particular as elevações no OS1 para os meses de fevereiro e março de 2018 e abril e maio de 2020, o que pode ser um indicativo de modulação sazonal do ruído nesta faixa particular do espectro.

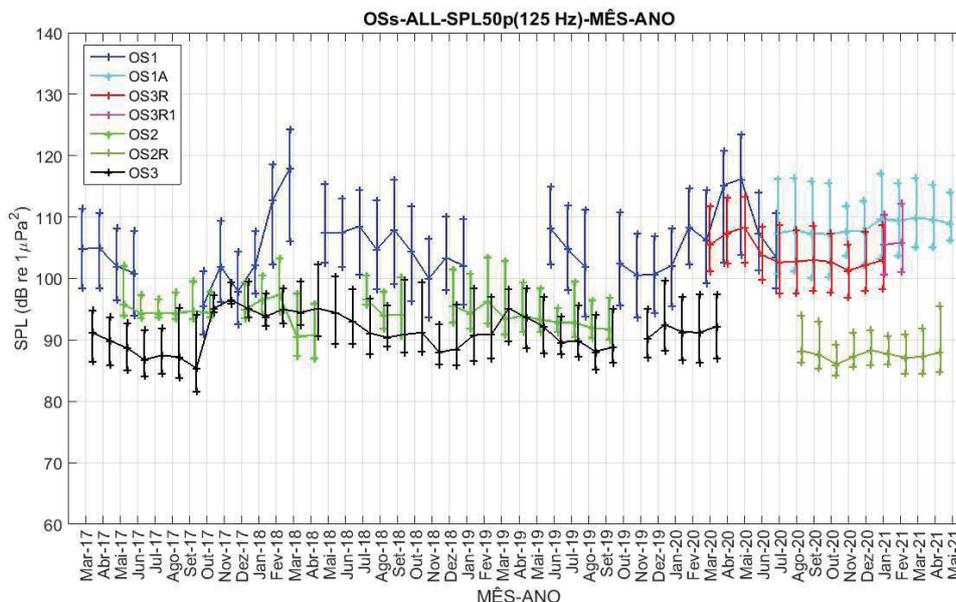


Figura III.2.1-5: Medianas do SPL_{125Hz} em cada mês desde março de 2017 até maio de 2021, para as sete posições analisadas dos observatórios submarinos.



A evolução temporal do SPL na banda de 500 Hz (Figura III.2.1-6) indica que os níveis de ruído nos diferentes OSs encontram-se mais próximos e as séries temporais com maiores valores de SPL alternam-se ao longo do tempo, exceto pelo OS2 que apresenta valores medianos ligeiramente superior que os demais OSs na maior parte do tempo.

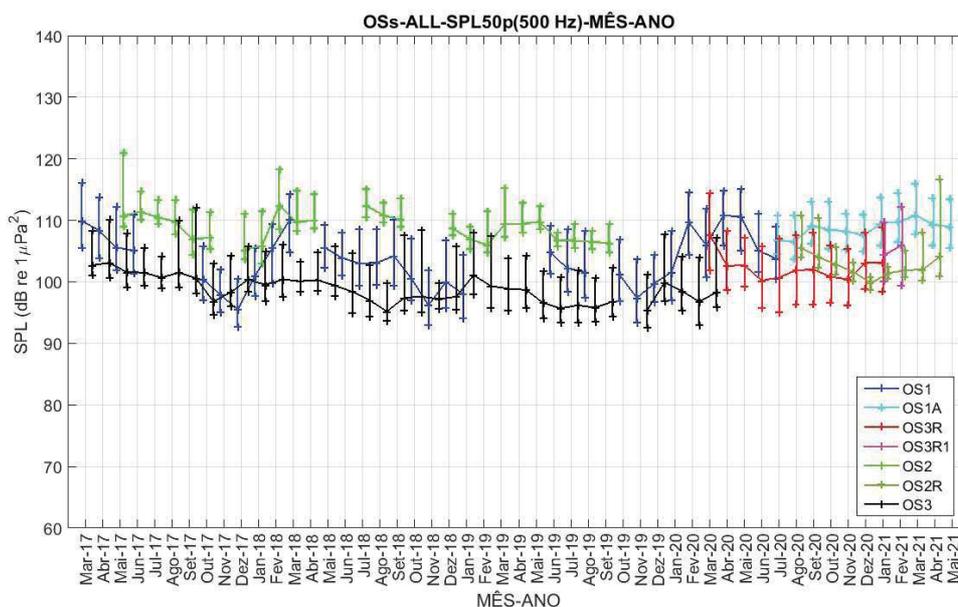


Figura III.2.1-6: Medianas do SPL_{500Hz} em cada mês desde março de 2017 até maio de 2021, para as sete posições analisadas dos observatórios submarinos.

O comportamento do ruído centrado na banda de 1.000 Hz (Figura III.2.1-7) é muito semelhante nas diferentes regiões monitoradas, com os níveis aumentando e diminuindo de forma aproximadamente simultânea. Observa-se, porém, que o OS3, junto ao Canal de São Sebastião, apresenta valores medianos ligeiramente inferiores aos demais e que o OS2, a leste da Ilha Grande, apresenta uma variabilidade ligeiramente maior. Nenhum ciclo ou tendência clara é identificada nas séries temporais apresentadas.

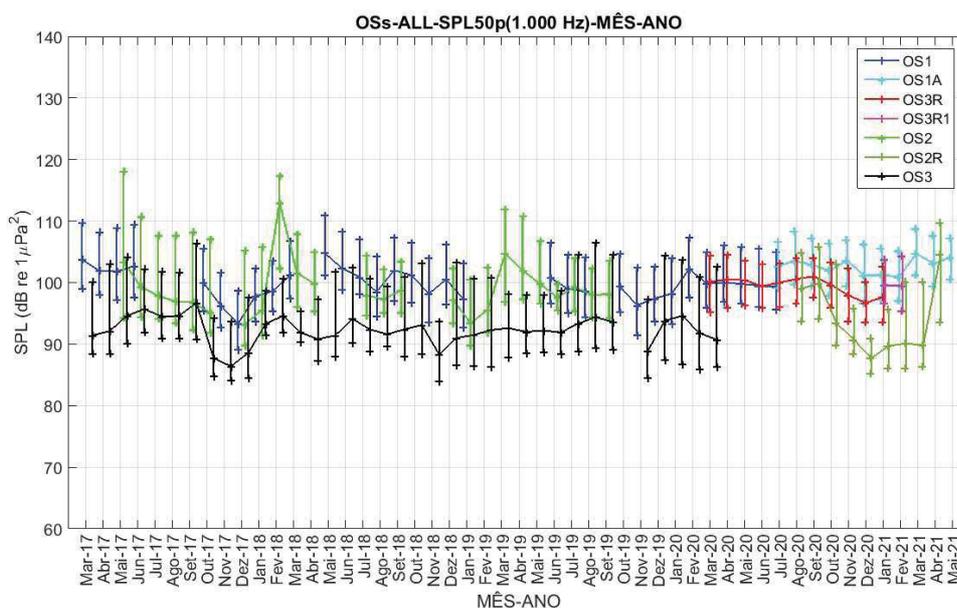


Figura III.2.1-7: Medianas do SPL_{1000Hz} em cada mês desde março de 2017 até maio de 2021, para as sete posições analisadas dos observatórios submarinos.

As Figuras III.2.1-8 a III.2.1-11 apresentam *boxplots* para as bandas de frequência centradas em 63, 125, 500 e 1.000 Hz. Na Tabela III.2.1-1 são apresentadas as medianas das distribuições para cada OS e em cada banda.

Na banda de 63 Hz (Figura III.2.1-8), os OS1, OS1A, OS3R e OS3R1 são mais ruidosos, com o OS1A e OS3R1 sendo os de maior nível medido. Nesta faixa de frequência, o OS2R é o mais silencioso, seguido pelo OS3 e depois o OS2. O teste estatístico indicou que as distribuições apresentam diferenças significativas ($F=544,9$, $p=0$). 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.



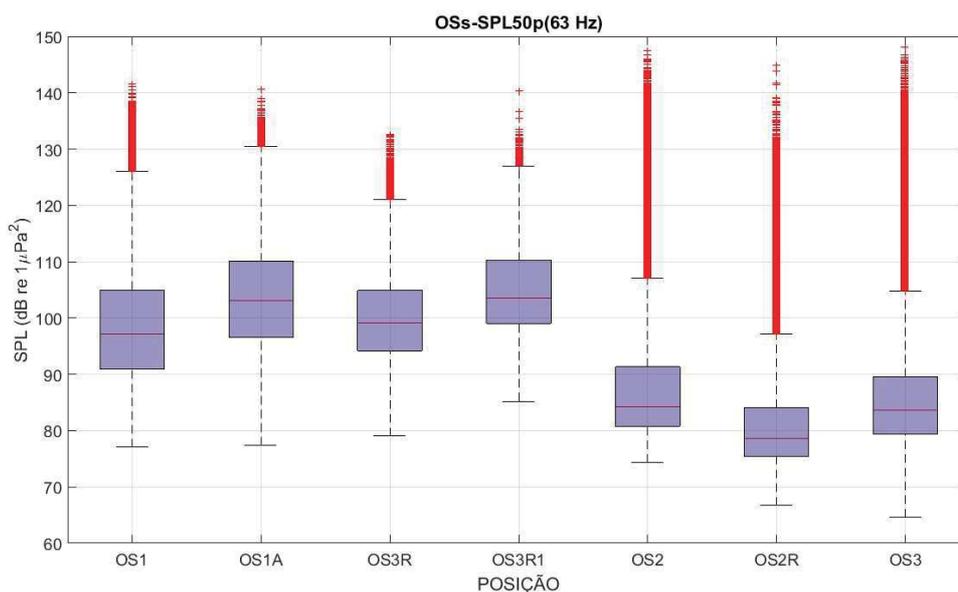


Figura III.2.1-8: Boxplots do SPL_{63Hz} , para as sete posições analisadas.

Para a banda centrada em 125 Hz (Figura III.2.1-9), os resultados são semelhantes aos obtidos para a banda de 63 Hz, com os maiores níveis sendo atingidos pelo OS1A, OS1, OS3R e OS3R1. Os menores níveis ocorreram no OS2R, seguidos pelo OS3 e depois o OS2. Todas as diferenças foram consideradas estatisticamente significativas ($F=413,6$, $p=0$).

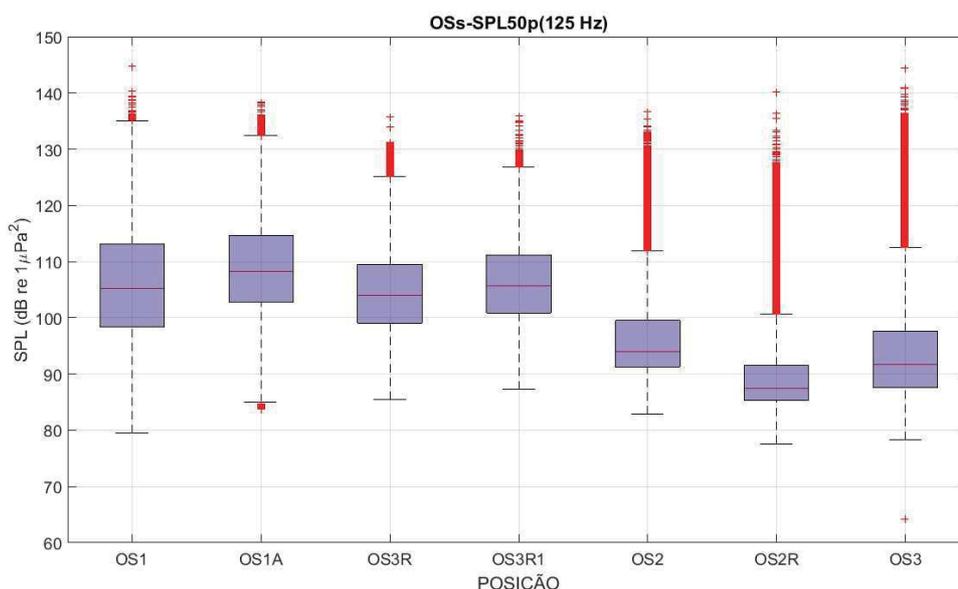


Figura III.2.1-9: Boxplots do SPL_{125Hz} para as sete posições analisadas.

Para a banda de frequência de 500 Hz (Figura III.2.1-10), 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 OS3. Todas as diferenças foram consideradas estatisticamente significativas ($F=159,1$, $p=0$).

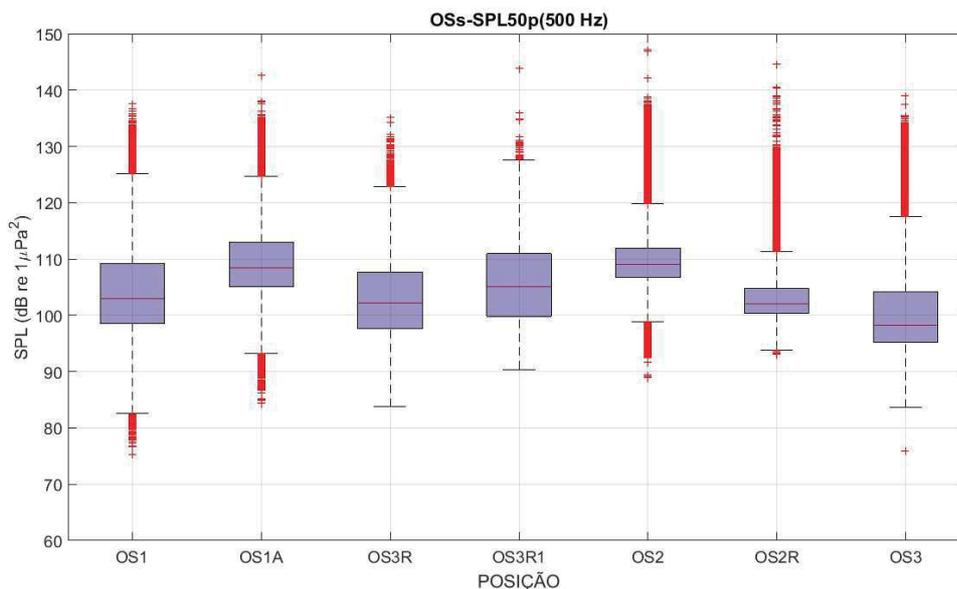


Figura III.2.1-10: Boxplots do SPL_{500Hz} para as sete posições analisadas.

Na banda de frequência de 1.000 Hz (Figura III.2.1-11), os níveis são ainda mais próximos. Os maiores valores ocorrem no OS1A, seguido do OS1 e dos OS3R e OS3R1. Os menores níveis ocorrem nos OS2R e OS3. Não é possível dizer que existe diferença significativa entre o OS2 e o OS3R1. As demais posições apresentam diferenças significativas ($F=86,4$, $p=0$).

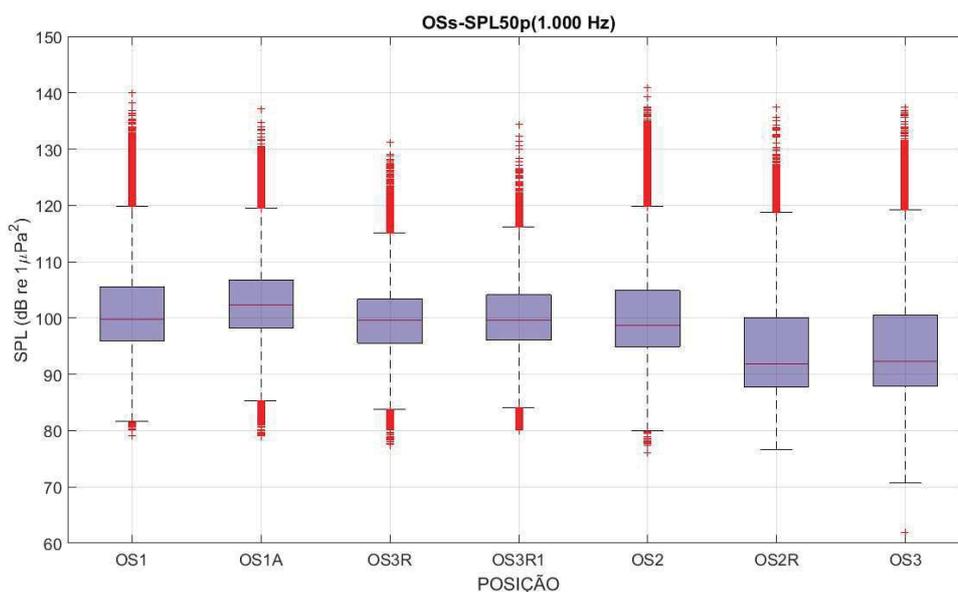


Figura III.2.1-11: Boxplots do SPL_{1000Hz} para as sete posições analisadas.

Tabela III.2.1-1: Medianas do SPL nas bandas de 1/3 de oitava centradas nas frequências de 63, 125, 500 e 1.000 Hz. Para cada frequência, as diferenças entre as distribuições foram consideradas estatisticamente significativas (ANOVA, $p=0$), com exceção dos OS2 e OS3R1 para a banda de 1.000 Hz.

OS	N. Med.	63 Hz	125 Hz	500 Hz	1,000 Hz
		(F=544,9)	(F=413,6)	(F=159,1)	(F=86,4)
OS1	636.337	97,2	105,2	103,0	99,8
OS1A	422.688	103,1	108,2	108,4	102,3
OS3R	355.118	99,1	104,0	102,2	99,5
OS3R1	36.771	103,5	105,7	105,0	99,6
OS2	406.473	84,2	94,0	109,0	98,6
OS2R	288.466	78,7	87,4	102,0	91,9
OS3	707.107	83,7	91,7	98,2	92,2

Na Figura III.2.1-12 são apresentados os SEL_{24h} para as posições OS1+OS1A, OS2, OS2R, OS3 e OS3R+OS3R1 para os dados sem ponderação e com ponderação para as respostas auditivas de cetáceos de baixa frequência (LF) e de média frequência (MF). As linhas pretas verticais tracejadas separam, no gráfico de cima, os dados do OS1 daqueles do OS1A e no último gráfico, os dados do OS3R daqueles do OS3R1. A linha tracejada horizontal marca o TTS para o grupo LF de cetáceos, no valor de 179 dB re $1\mu Pa^2.s$ (FINNERAN, 2016).



Coordenador da Equipe



Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

O valor para o grupo MF é de 178 dB re $1\mu\text{Pa}^2\cdot\text{s}$, apenas 1 dB abaixo. O $\text{SEL}_{24\text{h-LF}}$ é próximo do $\text{SEL}_{24\text{h}}$ calculado sem usar a ponderação, enquanto o $\text{SEL}_{24\text{h-MF}}$ é mais baixo. Isto pode ser explicado pelo fato de haver uma maior concentração de energia em frequências mais baixas, e que se encaixam melhor na região com maiores pesos na resposta auditiva dos cetáceos de baixa frequência.

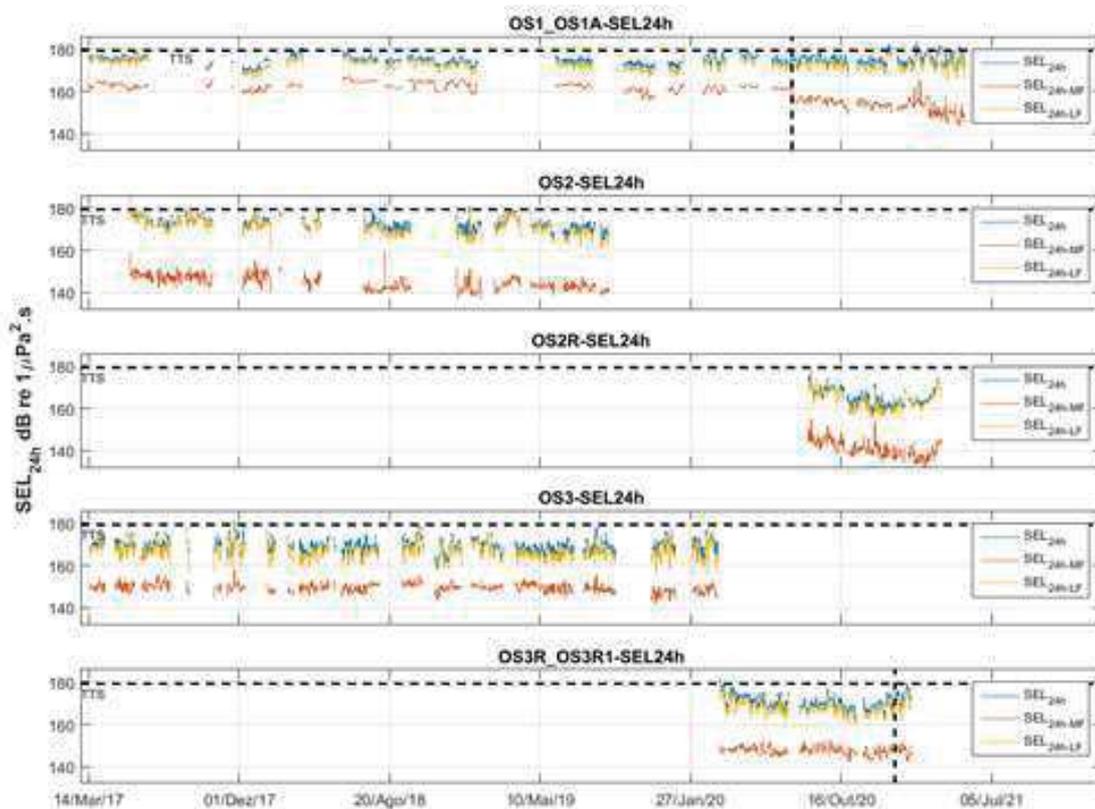


Figura III.2.1-12: $\text{SEL}_{24\text{h}}$ para os OS1+OS1A, OS2, OS2R, OS3 e OS3R+OS3R1 usando os dados sem ponderação, com ponderação para a faixa LF e com ponderação a faixa MF. A linha tracejada vertical preta indica a separação entre as gravações dos OS1 e OS1A no gráfico de cima de entre os OS3R e OS3R1 no gráfico de baixo. A linha tracejada horizontal preta indica o limiar de TTS para o $\text{SEL}_{24\text{h}}$ para o grupo de cetáceos LF. Para o grupo MF, o limiar é 1 dB abaixo.

Na Figura III.2.1-13 são mostrados *boxplots* do $\text{SEL}_{24\text{h}}$ calculado para as sete posições analisadas, sem usar pesos na frequência ($\text{SEL}_{24\text{h}}$) e usando pesos para considerar a resposta auditiva de cetáceos de média frequência ($\text{SEL}_{24\text{h-MF}}$) e cetáceos de baixa frequência ($\text{SEL}_{24\text{h-LF}}$). A linha preta tracejada horizontal marca o valor do TTS para o grupo LF.

Quando se usou toda a faixa de frequência, a maior mediana foi obtida para o OS1 e a menor para o OS2R, mas não é possível dizer que houve diferença

significativa entre o OS1, o OS1A e o OS3R1, nem entre os OS3R, o OS3R1 e os OS2 ($F=5,1$, $p=0$).

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. Não é possível dizer que houve diferenças significativas entre o OS3R e o OS3R1 e entre o OS3R1 e o OS3 ($F=5,1$, $p=0$).

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 OS2R. Não é possível dizer que haja diferenças significativas entre o OS1 e o OS1A e entre o OS3R1 e o OS2. Nas demais comparações as diferenças entre as distribuições são significativas ($F=5,1$, $p=0$).

Nas três situações, os menores SEL_{24h} foram obtidos no OS2R. Já os maiores níveis ficaram com o OS1A para o SEL_{24h} sem ponderação e SEL_{24h-LF} e com o OS1, para o SEL_{24h-MF} .

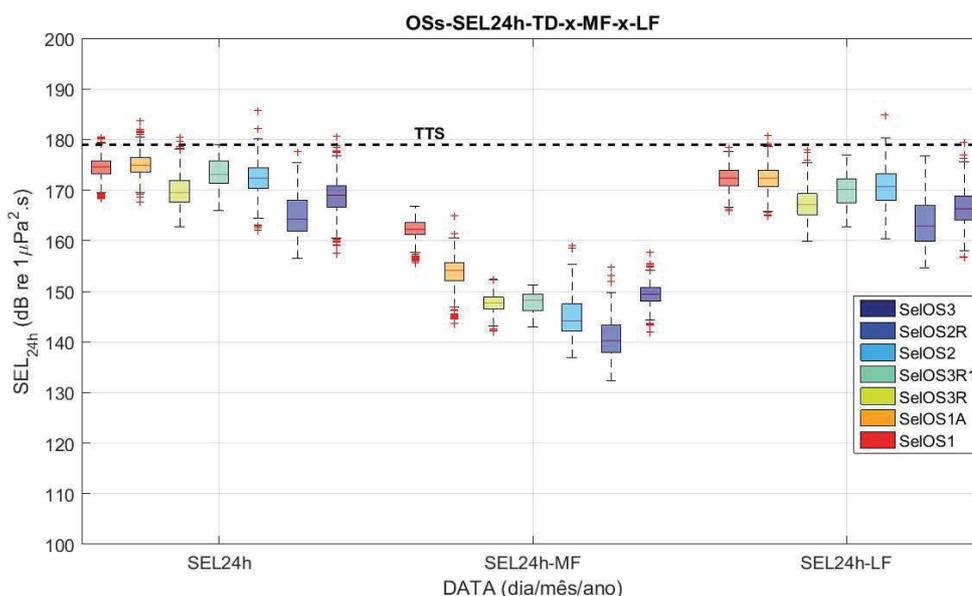


Figura III.2.1-13: Boxplots do SEL_{24h} , SEL_{24h-MF} e SEL_{24h-LF} , para as sete posições analisadas. A linha tracejada horizontal preta indica o limiar de TTS para o SEL_{24h} para o grupo de cetáceos LF. Para o grupo MF, o limiar é 1 dB abaixo.

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, OS2 e OS3, 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 também ultrapassou o 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.2.2 Comparação da Bacia de Santos com Outras Regiões do Mundo

O Mar Báltico consiste em uma série de sub-bacias, cada uma com suas próprias características de troca de água. O Mar Báltico banha diversos países do continente europeu, tais como: Suécia, Estônia, Polônia, Alemanha, Dinamarca, entre outros. A HELCOM (Comissão de Proteção do Meio Marinho do Báltico) é uma organização intergovernamental que rege a Convenção sobre a Proteção do Meio Marinho da Área do Mar Báltico, e tem coordenado programas de monitoramento em várias áreas de estudo, incluindo aqueles relativos à poluição sonora submarina (HELCOM, 2018).

Como resultado deste monitoramento, Mustonen et al. (2019) mostram em seu trabalho os níveis nas bandas de 63 Hz, 125 Hz e 2.000 Hz medidos em 16 posições no Mar Báltico, em cinco países diferentes. A Figura III.2.2-1 mostra os níveis de ruído medidos nos OSs nas bandas de 1/3 de oitava centrado nas frequências de 63 Hz e 125 Hz e os níveis nestas bandas medidos no Mar Báltico. Na figura, são mostrados, também, os níveis medidos na banda centrada em 2.000 Hz no Mar Báltico, mas os níveis nesta banda não foram usados na comparação com os OSs. Os números no eixo horizontal correspondem às posições das medições, apresentadas na Tabela III.2.2-1. Na tabela, são listados os níveis de ruído nas bandas de 63 Hz e 125 Hz para os OSs e para as posições no Mar Báltico e a profundidade local em cada posição. São apresentadas, também, algumas características de cada região, indicando a ocorrência de cetáceos e o tráfego de embarcações.

Os maiores níveis de ruído, para as posições apresentadas no Mar Báltico, ocorreram próximo aos estreitos dinamarqueses, nas posições 31 e 36. Estes locais têm o mais alto tráfego de embarcações entre as posições apresentadas. Os menores níveis ocorreram na posição 26, que é uma região abrigada, na




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

Polônia; na posição 35, em um estreito sinuoso dinamarquês; na posição 8, na Suécia (MUSTONEN et al., 2019); e nas posições 20 e 21, que estão em regiões protegidas do vento sudoeste, ficando com os níveis de ruídos menores do que em locais mais abertos, mas sendo mais ruidosos do que áreas mais protegidas.

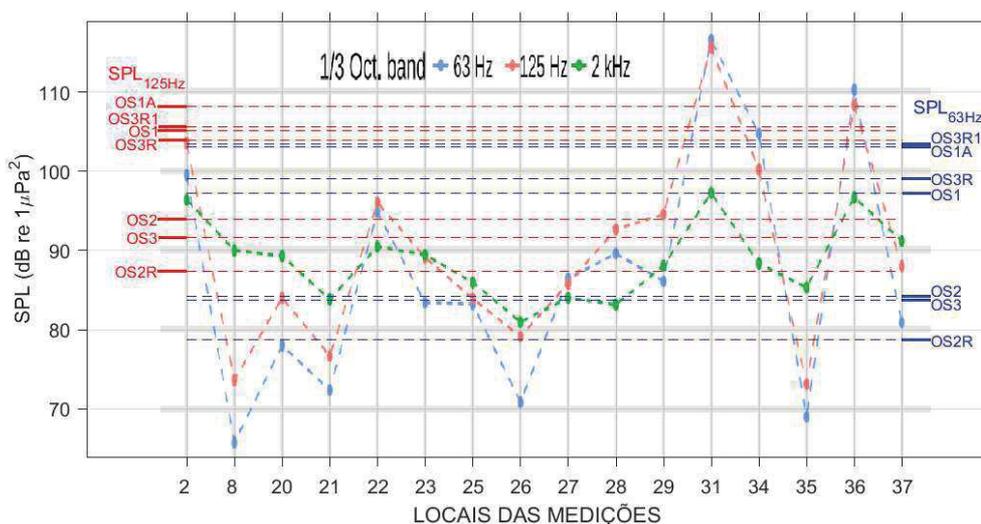


Figura III.2.2-1: - SPL_{63Hz} (linhas horizontais azuis) e SPL_{125Hz} (linhas horizontais vermelhas) nos observatórios submarinos comparados com o SPL_{63Hz} , SPL_{125Hz} e SPL_{2000Hz} obtidos em 16 locais no mar Báltico. Os números no eixo horizontal correspondem às posições das medições, apresentadas na Tabela III.2.2-1. As linhas tracejadas estendem os níveis de cada OS e frequência para facilitar a comparação entre diferentes OSs e posições. (Fonte: modificado a partir da Fig.7 de Mustonen et al., 2019)

Tanto na frequência de 63 Hz quanto na de 125 Hz, os OSs na região da Baía de Guanabara e Ilhas Cagarras foram menos ruidosos do que as posições 31, 34 e 36; ficaram próximos da posição 2; e foram mais ruidosos que as demais posições. Os OSs na região da Baía de Ilha Grande e no Canal de São Sebastião foram menos ruidosos que as posições 2, 22, 31, 34, e 36; ficaram próximos das posições 23, 25, 27, 28, 29 e 37; e foram mais ruidosos que as posições 6, 21, 26 e 35.

Tabela III.2.2-1: - SPL_{63Hz} e SPL_{125Hz} nos observatórios submarinos e em 16 locais no mar Báltico.

Local		Prof.	SPL_{63Hz}	SPL_{125Hz}
OS1		27	97,2	105,2
OS1A		19	103,1	108,2
OS3R		24	99,1	104,0
OS3R1		28	103,5	105,7
OS2		23	84,2	94,0
OS2R		23	78,7	87,4
OS3		24	83,7	91,7
2- Trelleborg Suécia	Área de proteção ambiental com ocorrência de golfinhos e tráfego de embarcações.	23	100	103
8- Sea of Aland Suécia	Área com ocorrência de golfinhos/focas e tráfego de embarcações.	45	68,5	77
20- Tallinn Estônia	Área com ocorrência de focas e tráfego de embarcações.	75	82	83
21 – Paldiski Estônia	Área com ocorrência de focas e tráfego de embarcações.	89	77	78
22 – Hiiumaa Estônia	Tráfego de embarcações.	70	95	98
23 – Saaremaa Estônia	Tráfego de embarcações.	88	83	88
25 – Golfo de Gdansk Polônia	Área de agregação/desova de peixes (<i>cod fish</i>) e tráfego de embarcações.	80	83,2	83
26 – Baía de Puck Polônia	Área de proteção ambiental com ocorrência de golfinhos e tráfego de embarcações.	30	72	80
27 – Leba & Rowy Polônia	Área com ocorrência de golfinhos e tráfego de embarcações.	18	88	83
28 – Darlowo-Ustka Polônia	Área de proteção ambiental com ocorrência de golfinhos e tráfego de embarcações.	41	90	92
29 – Swinoujscie Polônia	Área de proteção ambiental com ocorrência de golfinhos e tráfego de embarcações.	12	88	97
31 – Fehmarn Belt Alemanha	Área de proteção ambiental com ocorrência de golfinhos, área de agregação/desova de peixes (<i>cod fish</i>) e tráfego de embarcações.	27	117	118
34 – Arksona Basin – Alemanha	Área de proteção ambiental com ocorrência de golfinhos, área de agregação/desova de peixes (<i>cod fish</i>) e tráfego de embarcações.	44	103	100
35 – Little Belt Dinamarca	Área de proteção ambiental com ocorrência de golfinhos, área de agregação/desova de peixes (<i>cod fish</i>) e tráfego de embarcações.	30	72	72
36 – Great Belt Dinamarca	Área de proteção ambiental com ocorrência de golfinhos e tráfego de embarcações.	27	110	108
37 – Ronne Banke Dinamarca	Área de proteção ambiental com ocorrência de golfinhos, área de agregação/desova de peixes (<i>cod fish</i>) e tráfego de embarcações.	20	81	89




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

III.2.3 Variabilidade Temporal do Ruído nos Observatórios Submarinos

Nesta seção, buscou-se identificar, para cada região monitorada e para cada banda do espectro de 1/3 de oitava, a existência ou não de variabilidade interanual e sazonal nos níveis de ruído observados.

Em função da proximidade geográfica, os dados no OS1/OS1A e OS3R/OS3R1 foram considerados em conjunto para avaliação das tendências temporais do ruído no interior da Baía de Guanabara e na região das Ilhas Cagarras, respectivamente. Apesar da existência de algumas diferenças relevantes nas características espectrais dos níveis de ruído entre locais próximos, as variações temporais e as tendências de longo prazo devem ser semelhantes, uma vez que estão mais correlacionadas com fenômenos de escala espacial mais abrangente como, por exemplo, variações do fluxo das correntes e mudanças na intensidade do tráfego de embarcações. Adicionalmente, o agrupamento dos dados contribui para aumentar o universo amostral e a confiabilidade das estatísticas calculadas. A abrangência temporal dos resultados varia de acordo com a disponibilidade de dados existente em cada localidade e são informadas nas legendas de cada figura.

Os *boxplots* com a distribuição anual dos níveis de SPL medidos no interior da Baía de Guanabara (OS1 e OS1A) e apresentados na Figura III.2.3-1 mostram uma discreta tendência de aumento do ruído no período 2019-2021. Tal aspecto é observado nas três primeiras faixas de frequência analisadas, mas é mais evidente nas frequências de 63 e 125 Hz. Este resultado pode ser um reflexo do aumento do tráfego de embarcações, em particular de navios de terceiros que são predominantes na região, conforme indicado anteriormente com a evolução do quantitativo de registros de AIS (Figura II.1.1-1).

Na região do arquipélago das Ilhas Cagarras (OS3R e OS3R1), os dados cobrem um período curto, de aproximadamente 1 ano, e os dados de cada posição foram adquiridos em anos diferentes, com o OS3R tendo dados coletados em 2020 e o OS3R1 em 2021. Desta forma, não é possível avaliar a variabilidade interanual nestas posições.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

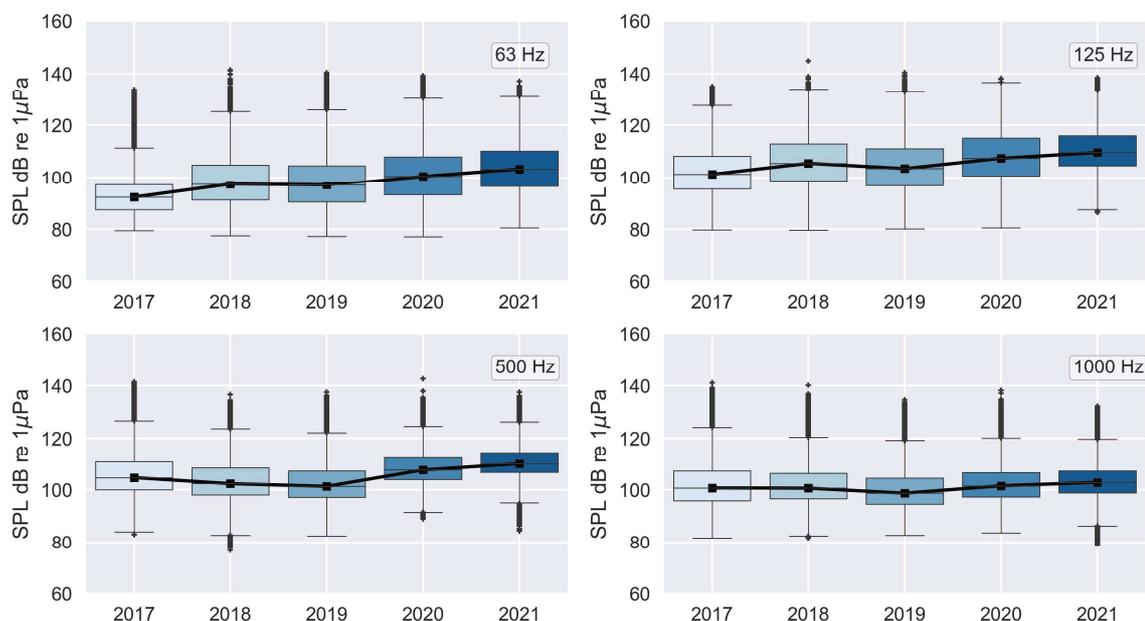


Figura III.2.3-1: Evolução temporal dos níveis de $SPL_{63\text{Hz}}$, $SPL_{125\text{Hz}}$, $SPL_{500\text{Hz}}$ e $SPL_{1000\text{Hz}}$ no interior da Baía de Guanabara a partir dos dados do OS1 e OS1A. Os dados cobrem o período de 14/03/2017 a 05/05/2021.

Os níveis de SPL no entorno da Ilha Grande, tanto para o OS2 a leste (Figura III.2.3-2) quanto para o OS2R a oeste (Figura III.2.3-3), apresentam um caráter geral de estabilidade nos períodos 2017-2019 e 2020-2021, respectivamente. A tendência do ruído no período 2017-2018 no OS2 para a frequência de 63 Hz não pôde ser avaliada em função da exclusão dos dados até março de 2018, onde foram identificados problemas na aquisição.

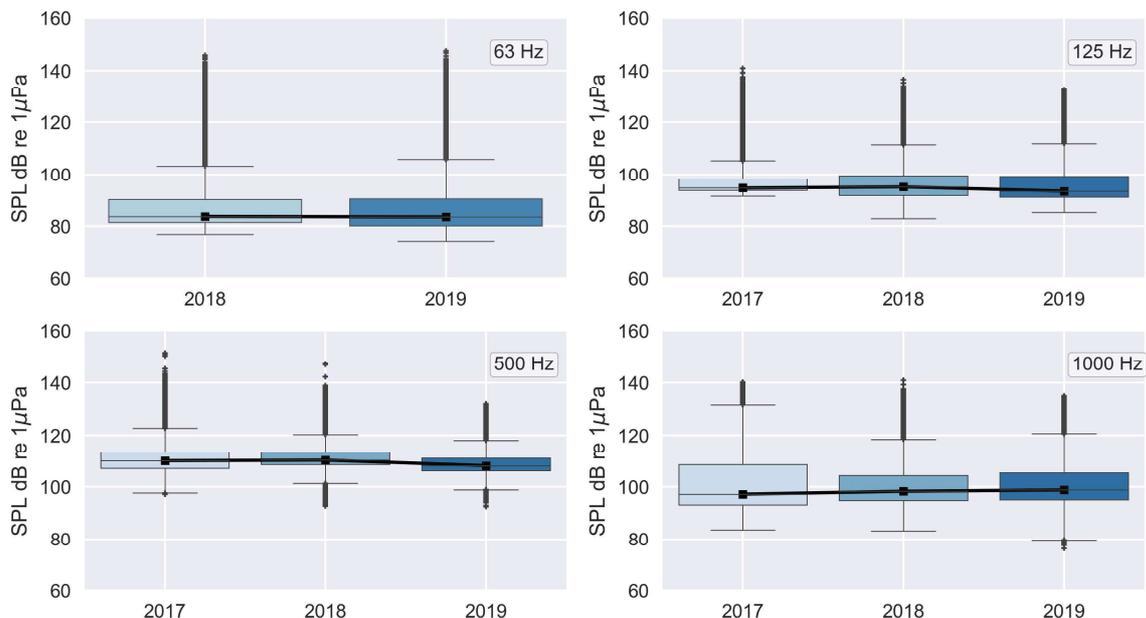


Figura III.2.3-2: Evolução temporal dos níveis de SPL_{63Hz} , SPL_{125Hz} , SPL_{500Hz} e SPL_{1000Hz} a leste da Ilha Grande a partir dos dados do OS2. Os dados cobrem o período 21/03/2018 a 07/09/2019, para a frequência de 63 Hz, e de 24/05/2017 a 07/09/2019 para as demais frequências.

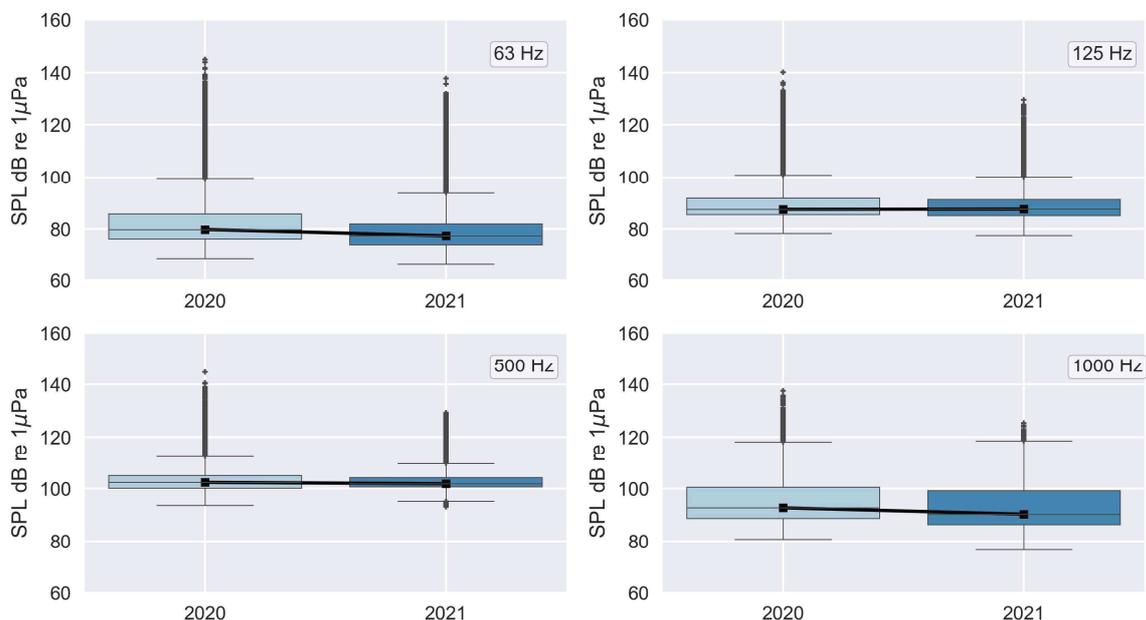


Figura III.2.3-3: Evolução temporal dos níveis de SPL_{63Hz} , SPL_{125Hz} , SPL_{500Hz} e SPL_{1000Hz} a oeste da Ilha Grande a partir dos dados do OS2R. Os dados cobrem o período de 19/08/2020 a 07/04/2021.

De forma análoga, a variabilidade interanual dos níveis de SPL observado no Canal de São Sebastião (OS3) (Figura III.2.3-4), também apresenta

estabilidade ao longo do período 2018-2020, para a banda de 63 Hz, e 2017-2020 para as demais faixas centrais do filtro de 1/3 de oitava.

É interessante notar que, para região do Canal de São Sebastião e da Ilha Grande, o valor da mediana do SPL nas bandas de 500 e 1.000 Hz é superior ao das bandas de 63 e 125 Hz, estes últimos tipicamente associados ao ruído de embarcações e ao ruído de fluxo das correntes de maré. Já para a região da Baía de Guanabara e das Ilhas Cagarras, ocorre o inverso, com maiores níveis de ruído nas frequências de 63 e 125 Hz.

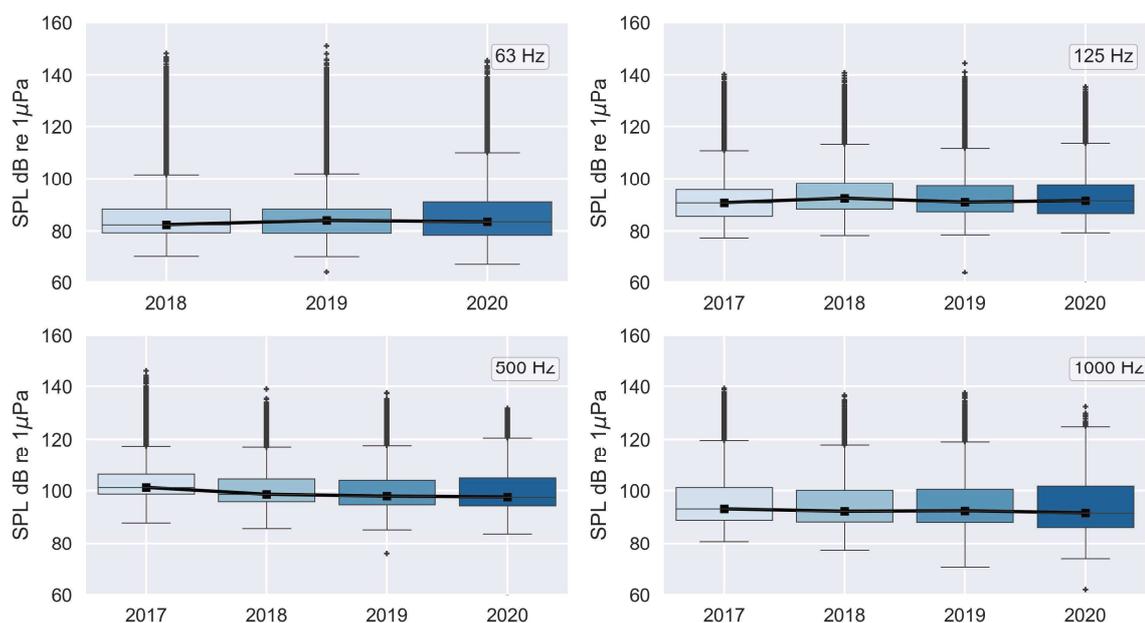


Figura III.2.3-4: Evolução temporal dos níveis de SPL_{63Hz} , SPL_{125Hz} , SPL_{500Hz} e SPL_{1000Hz} no Canal de São Sebastião a partir dos dados do OS3. Os dados cobrem o período de 01/03/2018 a 14/03/2020, para a frequência de 63 Hz, e de 16/03/2017 a 14/03/2020 para as demais frequências.

As Figuras III.2.3-5 a III.2.3-7 ilustram a variabilidade sazonal do SPL nos diferentes pontos de medição, para cada uma das quatro frequências centrais do filtro de 1/3 de oitava em análise. As linhas cheias indicam os valores da mediana e as envoltórias delimitam os valores que caem dentro dos percentis 25 e 75% do SPL computados para cada mês do ano ao longo de todo o período de medição disponível, à exceção dos dados do OS2 e OS3 na banda de 63 Hz, onde foram considerados somente os valores medidos de março de 2018 em diante. Em função do período amostral disponível, os resultados para o OS2R não contemplam dados nos meses de maio, junho e julho. Os valores apresentados

no gráfico foram obtidos através de uma interpolação linear entre os meses de abril e agosto para evitar um *espaço vazio* no gráfico, porém, isso ainda não permite avaliar com segurança o comportamento sazonal nesta localização.

A variação que melhor remete a um comportamento cíclico ocorre para a frequência de 63 Hz no conjunto de dados do OS1 e OS1A, onde o valor da mediana do SPL é máximo nos meses de fevereiro e setembro e mínimo durante o mês de maio. Um comportamento semelhante é observado no OS2, com picos no valor do SPL em fevereiro e dezembro. A diferença absoluta entre os meses de maior e menor SPL são inferiores a 10 dB, o que é próximo à própria faixa de variabilidade dos valores de SPL, representada pelas envoltórias nas figuras.

Desta forma, nenhuma das localidades apresenta um ciclo sazonal muito evidente nas faixas de frequência analisadas, sendo a variabilidade entre os meses do ano bastante discreta. A inexistência de padrões de variação sazonal mais claros pode ser fruto de dois fatores: o primeiro é a pequena amostragem mensal em função da menor extensão temporal das medições em algumas localidades; o segundo pode estar relacionado à menor influência de forçantes ambientais no ruído medido, os quais, tipicamente, apresentam variações sazonais, como o vento local e a altura de onda.





Coordenador da Equipe





Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

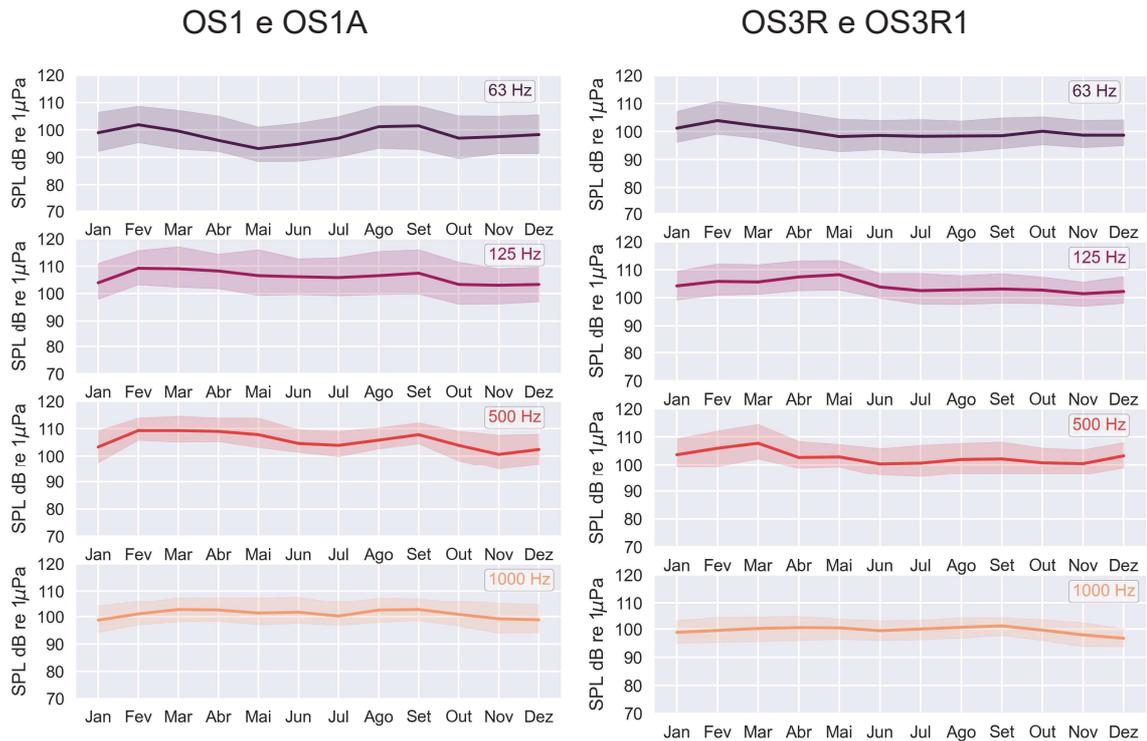


Figura III.2.3-5: Variabilidade mensal do SPL no OS1 e OS1A e OS3R e OS3R1. A linha indica o valor mediano e a envoltória é delimitada pelos percentis 25% e 75%.

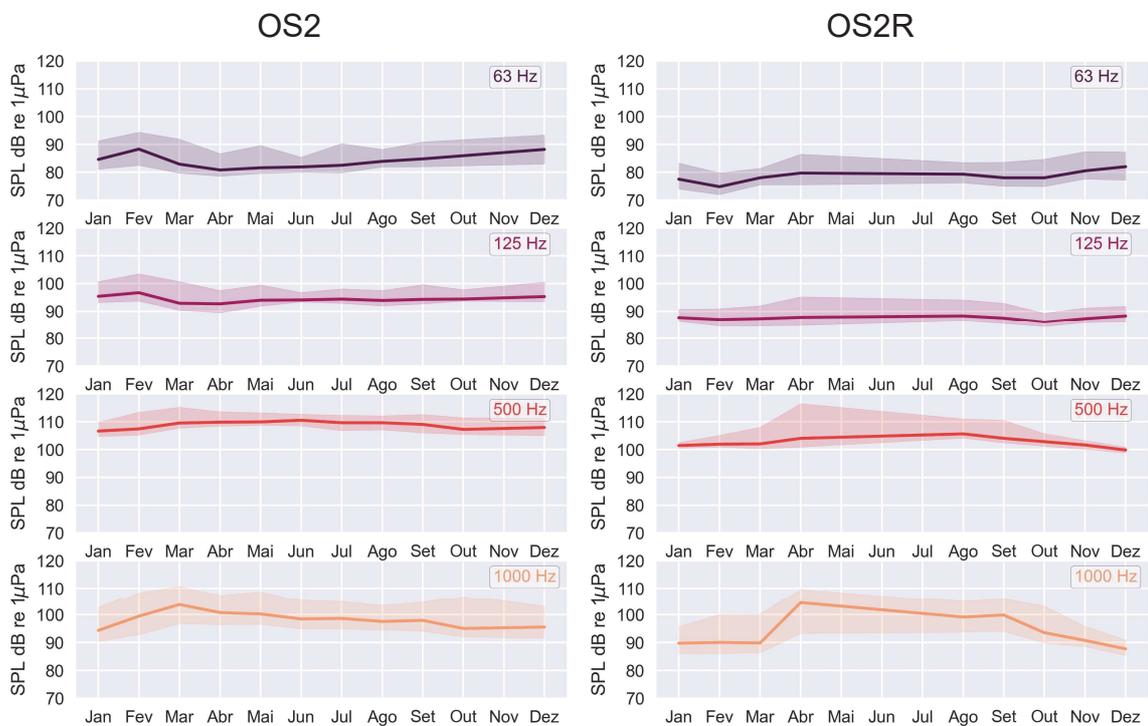


Figura III.2.3-6: Variabilidade mensal do SPL no OS2 e OS2R. A linha indica o valor mediano e a envoltória é delimitada pelos percentis 25% e 75%.



OS3

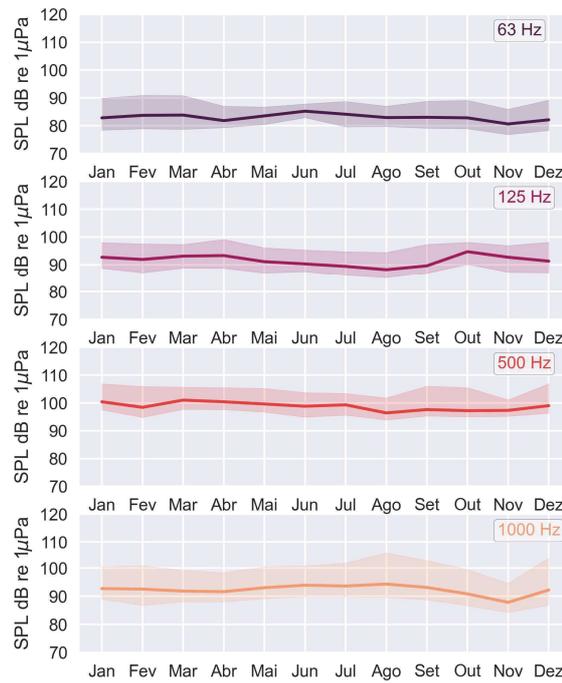


Figura III.2.3-7: Variabilidade mensal do SPL no OS3. A linha indica o valor mediano e a envoltória é delimitada pelos percentis 25% e 75%.



Coordenador da Equipe



Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

III.2.4 Ruídos Observados nos Observatórios Submarinos

Numa busca por padrões que indicassem a presença de prováveis fontes de ruído que contribuíssem para a paisagem acústica, deu-se ênfase nas fontes de ruído que tivessem algum tipo de repetibilidade no tempo e na frequência, além daquelas que tivessem níveis mais elevados, mas também com ocorrência por longos períodos. As fontes encontradas formam padrões com as seguintes características e possíveis origens:

- 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; GAFF, 2017; COQUEREAU et al., 2016; LILLIS; 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., 2015b; HAWKINS; POPPER, 2017);
- e) Tom em 100/125 Hz e harmônicos ocorrendo em período definido do dia, com provável origem antropogênica.

Para os OSs instalados na Baía de Guanabara, a Figura III.2.4-1 mostra um espectrograma cobrindo o período de 24 horas no dia 06 de março de 2018, na posição do OS1 e a Figura III.2.4-2 apresenta um espectrograma de 24 horas para o dia 03 de setembro na posição OS1A.

No OS1 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).



No OS1A, estão destacados os ruídos de fluxo das marés (A), ruídos de embarcações (B) e ruídos de coros (D1 e D2). Embora não sejam mostrados na figura, os ruídos do tipo C e E ocorrem no OS1A, embora com níveis menos intensos do que no OS1.

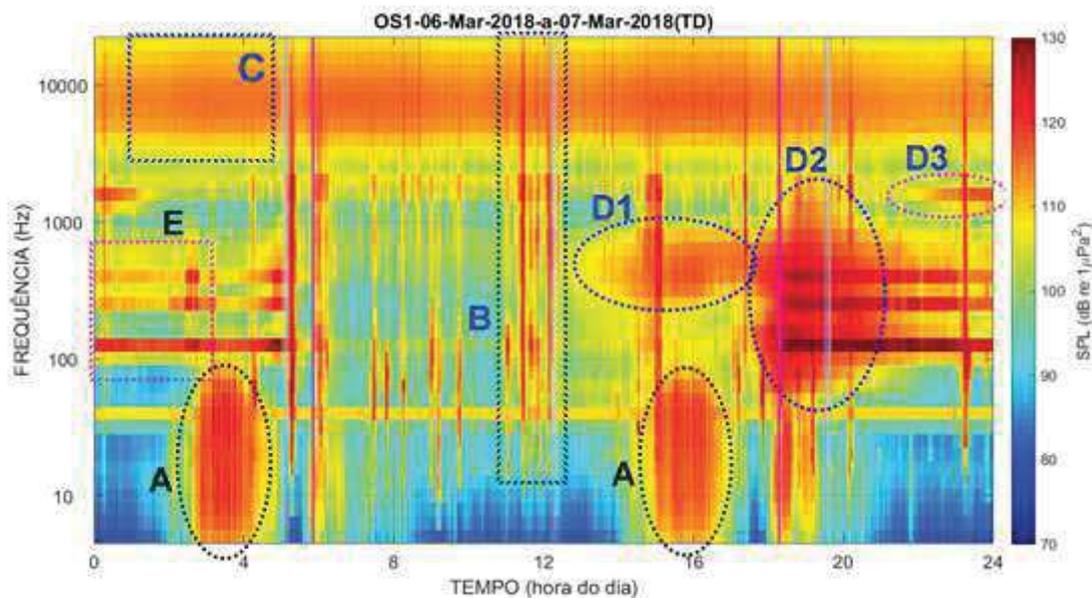


Figura III.2.4-1: Espectrograma de 1/3 de oitava para os dados gravados no dia 06 de março de 2018, no OS1, na Baía de Guanabara. As letras correspondem aos tipos de ruído observados (A = Fluxo de maré; B = Embarcações; C = Estalos/cliques; D = Coros; E = Tons 100/125Hz).

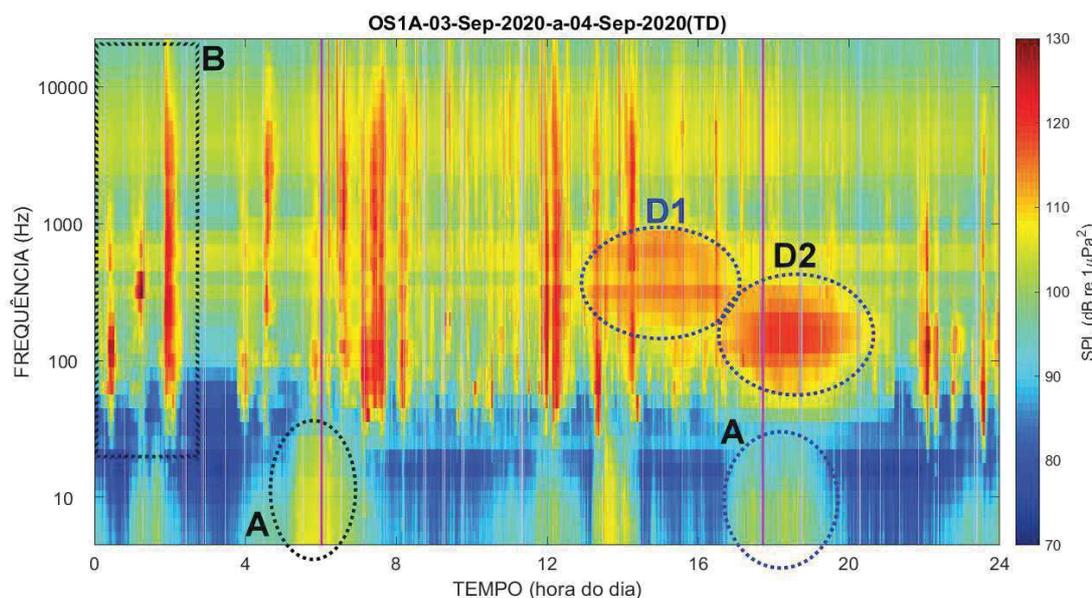


Figura III.2.4-2: Espectrograma de 1/3 de oitava para os dados gravados no dia 03 de setembro de 2020 no OS1A, na Baía de Guanabara. As letras correspondem aos tipos de ruído observados (A = Fluxo de maré; B = Embarcações; D = Coros).

Para o OS2, instalado na Baía de Ilha Grande, a Figura III.2.4-3 mostra um espectrograma cobrindo o período de 24 horas no dia 04 de julho de 2018. 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).




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

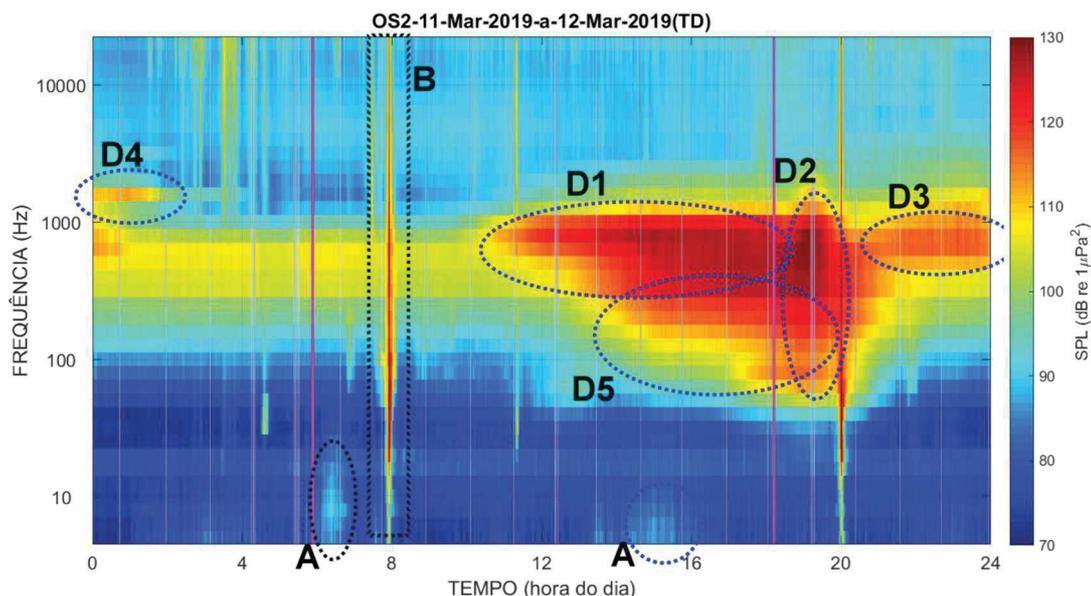


Figura III.2.4-3: Espectrograma de 1/3 de oitava para os dados gravados no dia 11 de março de 2019, no OS2, na Baía de Ilha Grande. As letras correspondem aos tipos de ruído observados (A = Fluxo de maré; B = Embarcações; D = Coros).

Para o OS2R, instalado no lado oeste da Ilha Grande, a Figura III.2.4-4 mostra um espectrograma cobrindo o período de 24 horas no dia 19 de agosto de 2020. Estão destacados os ruídos de embarcações (B) e de coros (D1, D2, D3 e D4). Não foram observados ruídos de maré (A), de estalos/cliques (C) nem de tons de 100/125 Hz (E).

Para o OS3, instalado no Canal de São Sebastião, a Figura III.2.4-5 mostra um espectrograma cobrindo o período de 24 horas no dia 04 de março de 2020. Estão destacados os ruídos de embarcações (B), de coros (D1, D2) e os tons de 100/125 Hz (E). Não foram observados os ruídos de maré (A) nem os ruídos de estalos/cliques (C).

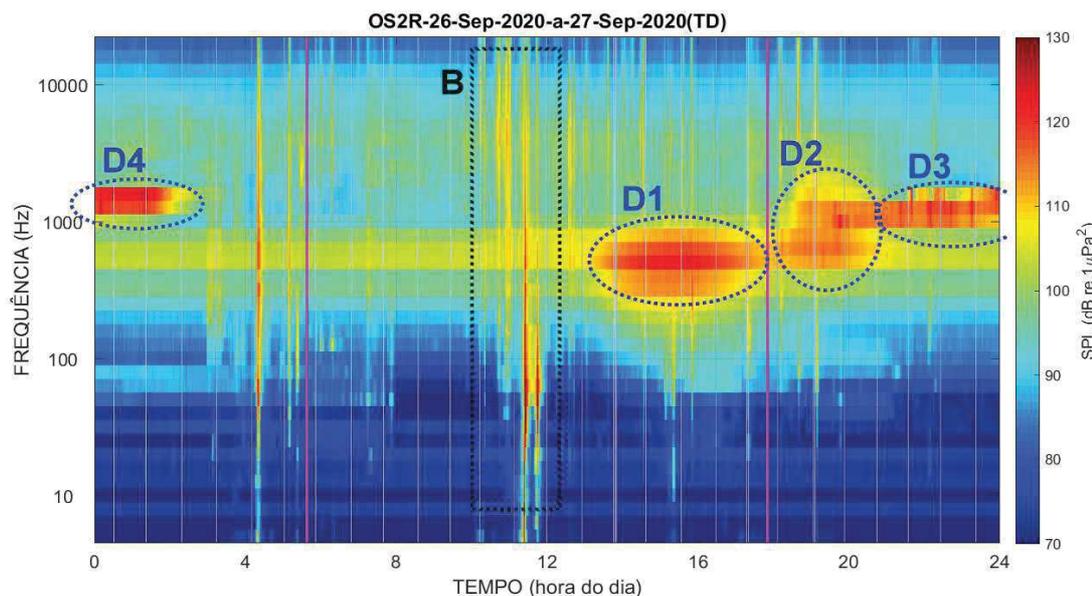


Figura III.2.4-4: Espectrograma de 1/3 de oitava para os dados gravados no dia 26 de setembro de 2020, no OS2R, no lado oeste de Ilha Grande. As letras correspondem aos tipos de ruído observados (B = Embarcações; D = Coros).

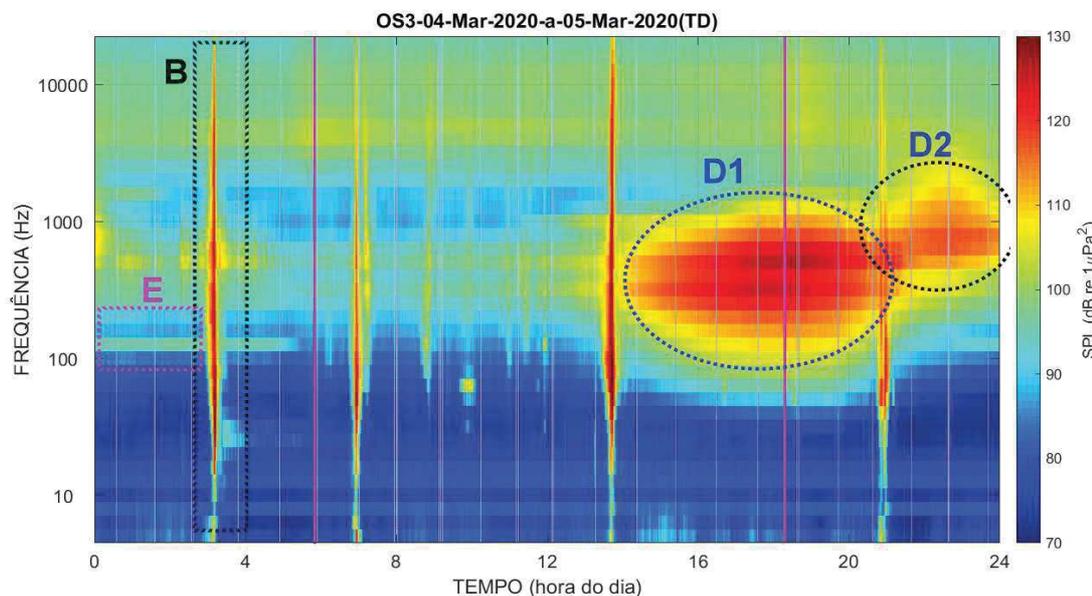


Figura III.2.4-5: Espectrograma de 1/3 de oitava para os dados gravados no dia 04 de março de 2020, no OS3, no Canal de São Sebastião. As letras correspondem aos tipos de ruído observados (B = Embarcações; D = Coros; E = Tons 100/125 Hz).

Para o OS3R, instalado nas Ilhas Cagarras, a Figura III.2.4-6 mostra um espectrograma cobrindo o período de 24 horas no dia 20 de maio de 2020. Estão




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

destacados os ruídos de maré (A), de embarcações (B), de coros (D1, D2, D3 e D4) e os tons de 100/125 Hz (E). Não foram observados os ruídos de estalos/cliques (C).

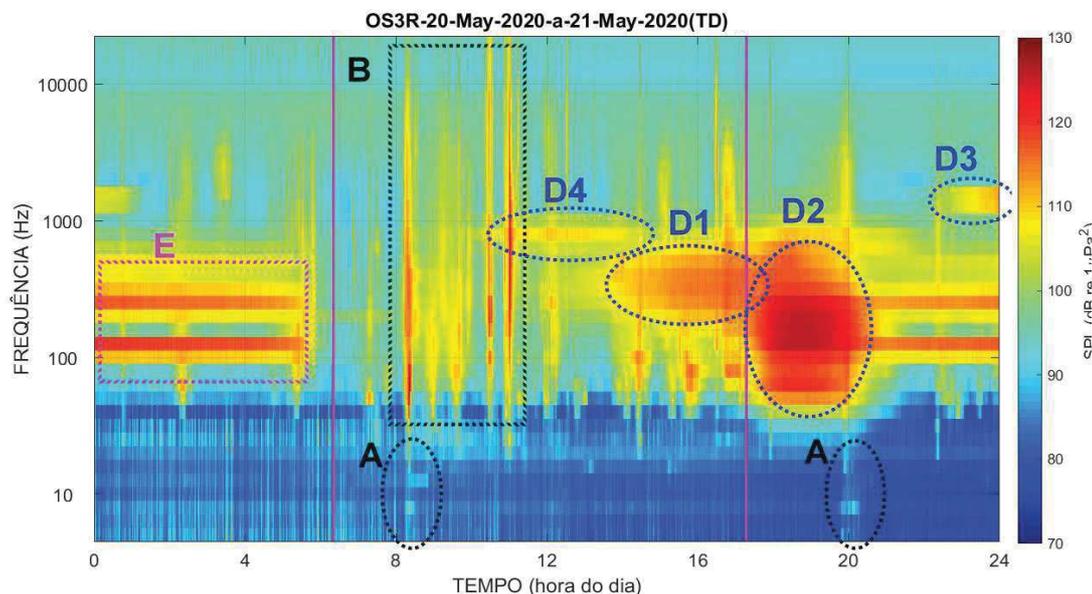


Figura III.2.4-6: Espectrograma de 1/3 de oitava para os dados gravados no dia 20 de maio de 2020, no OS3R, nas Ilhas Cagarras. As letras correspondem aos tipos de ruído observados (A = Fluxo de maré; B = Embarcações; D = Coros; E = Tons 100/125Hz).

Para o OS3R1, instalado nas Ilhas Cagarras, a Figura III.2.4-7 mostra um espectrograma cobrindo o período de 24 horas no dia 08 de fevereiro de 2021. Estão destacados os ruídos de embarcações (B) e de coros (D1, D2 e D3). Não foram observados os ruídos de fluxo de maré (A), de estalos/cliques (C), nem de motores e bombas (E).

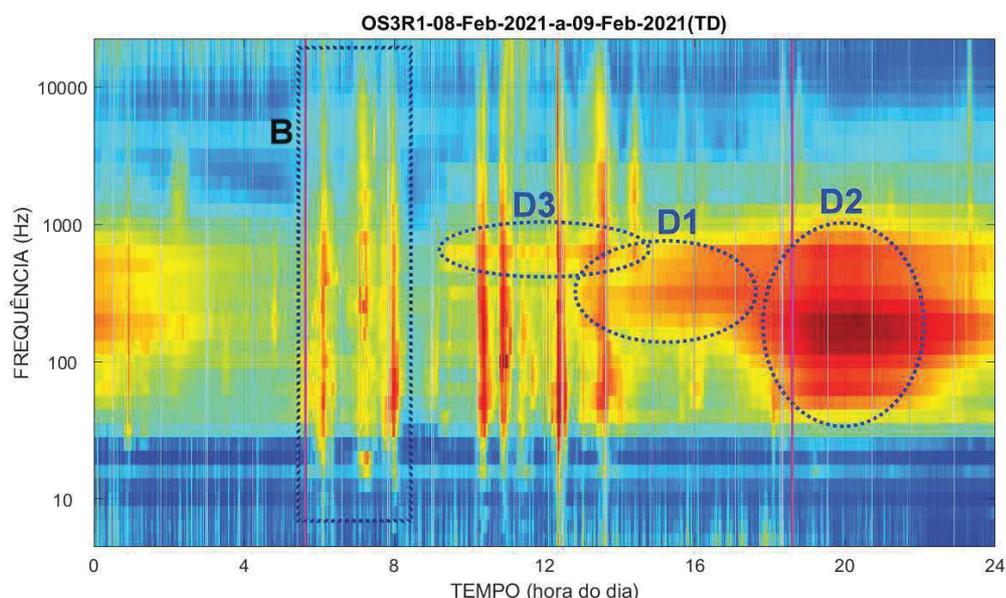


Figura III.2.4-7: Espectrograma de 1/3 de oitava para os dados gravados no dia 08 de fevereiro de 2021, no OS3R1, nas Ilhas Cagarras. As letras correspondem aos tipos de ruído observados (B = Embarcações; D = Coros).

III.2.4.1 Elevações de ruído provocado pelo fluxo das correntes de maré

As elipses rotuladas com a letra A mostram trechos com uma elevação de ruído que é provocada pela passagem da corrente de maré pelo sistema de gravação. Estes ruídos não são considerados como sendo parte do ruído ambiente, sendo chamados de “pseudo-noise” (STRASBERG; TAYLOR, 1979). Eles são causados pelo fluxo da água na interface com o sensor que é sensível a flutuações de pressão provocada pela turbulência. Estas flutuações de pressão se dissipam rapidamente, sendo sentidas somente nas imediações da superfície exposta ao fluxo. Por este motivo não é considerada parte do ruído ambiente no local. Sua contribuição costuma ficar confinada na faixa de baixa frequência do espectro, a menos que o fluxo provoque o movimento de partes do sistema de medição e estas partes, por sua vez, provoquem ruídos devido a raspagens, batidas ou mesmo vibração de hastes e cordas (CATO, 2008). O ruído de fluxo pode perdurar por horas e pode atingir frequências até próximo de 100 Hz, nas situações mais críticas.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

Este ruído aparece forte no OS1 e um pouco mais fraco no OS1A. Nos OS2, OS3R e OS3R1 ele aparece bem fraco e praticamente não é observado nos OS2R e OS3. Nos OS1 e OS1A, o ruído aparece duas vezes ao dia entre as alturas mínima e máximas da maré, quando a corrente é mais forte. Seus valores mais altos ocorrem nos períodos da maré de sizígia (VAN GEEL et al., 2020), quando a diferença entre a preamar e a baixa-mar é maior.

Em relação ao impacto da maré sobre os níveis espectrais, a Figura III.2.4.1-1 mostra o mapa dia-hora para o SPL na banda centrada na frequência de 6 Hz, permitindo ver os aumentos de energia que se deslocam a cada dia para uma hora mais à frente. A linha vertical preta tracejada corresponde ao tempo que a posição do OS foi alterada de OS1 (à esquerda da linha) para OS1A (à direita). O ruído de fluxo provocado pelas correntes de maré é mais intenso no OS1 do que no OS1A, devido ao fato do OS1 estar mais próximo da entrada da Baía de Guanabara numa posição mais estreita do que aquela ocupada pelo OS1A, de forma que as correntes são mais intensas no OS1, seguindo o princípio da continuidade dos fluidos, que diz que para um fluxo constante, a redução da área por onde ele passa provoca um aumento de sua velocidade (LANDAU; LIFSHITZ, 1987).




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

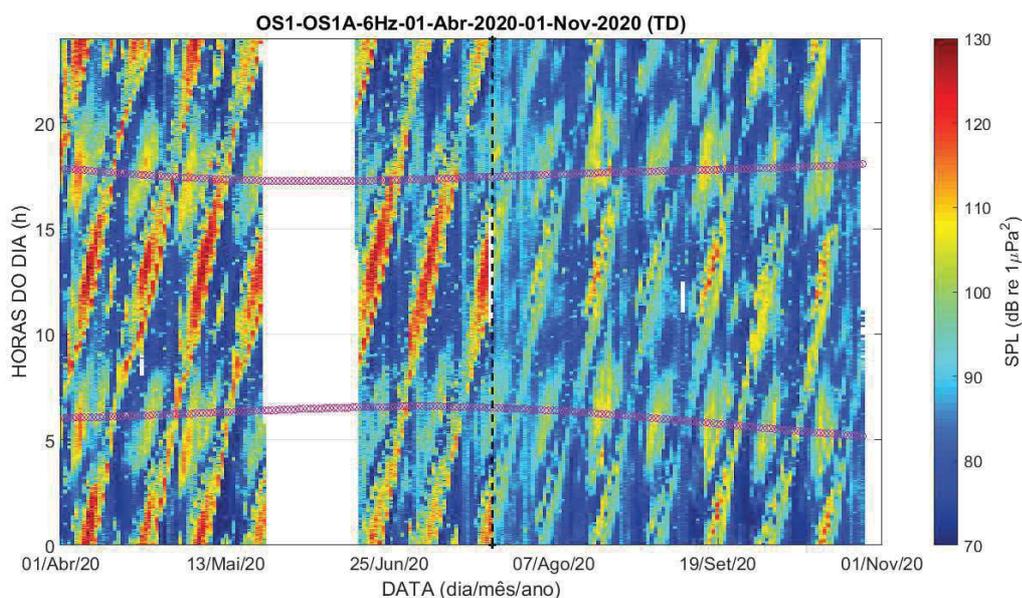


Figura III.2.4.1-1: SPL no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 6 Hz, em função do dia e da hora do dia, para o período de 01 de abril de 2020 a 01 de novembro de 2021. As linhas magentas representam os instantes do nascer do sol (linha de baixo), e do pôr do sol (linha de cima). A linha vertical preta tracejada corresponde ao tempo que a posição do OS foi alterada de OS1 (à esquerda da linha) para OS1A (à direita)

III.2.4.2 Elevações de ruído de baixas frequências até frequências altas, provocadas pela passagem de embarcações

O ruído provocado por máquinas e hélices de embarcações que passam próximo aos OSs provocam elevações de energia que ocupam o espectro de frequência desde algumas dezenas de Hertz até acima de 10 kHz, dependendo principalmente do porte do navio e da sua velocidade ao cruzar o ponto de maior aproximação ao hidrofone. Este ruído apareceu em todos os OSs, embora com maior frequência nos OS1 e OS1A (veja mais na Seção III.3). A Figura III.2.4.2-1 mostra um mapa dia-hora para a banda centrada na frequência de 2.000 Hz, mostrando as passagens de embarcações ao longo dos dias. Estas passagens aparecem como pontos com maior energia no mapa. A frequência de 2.000 Hz foi escolhida para minimizar o aparecimento da energia de outras fontes de ruído.

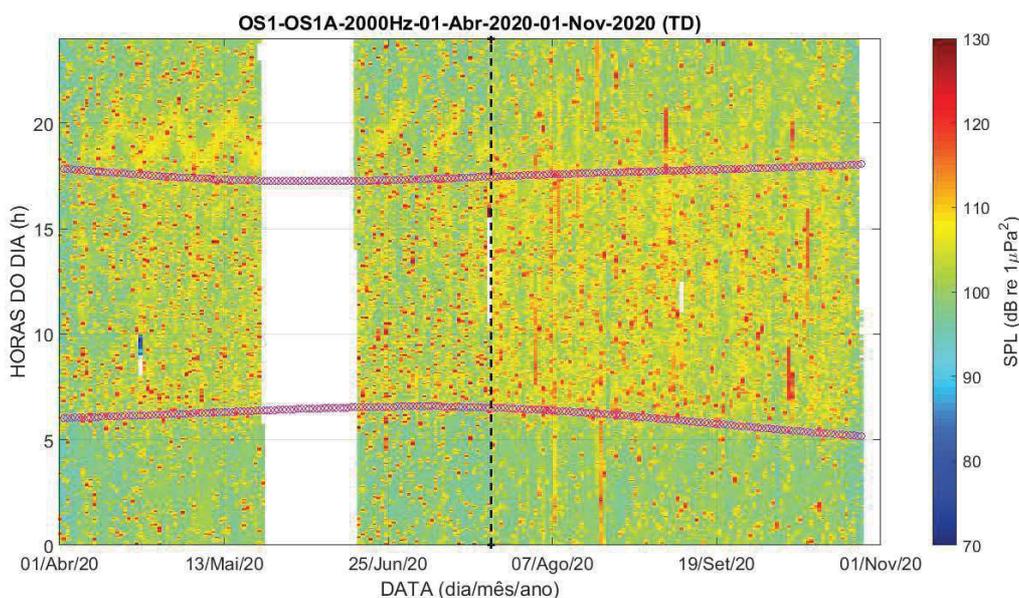


Figura III.2.4.2-1: SPL no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 2.000 Hz, em função do dia e da hora do dia, no período de 01 de abril a 01 de novembro de 2020. As linhas magentas representam os instantes do nascer do sol (linha de baixo), e do pôr do sol (linha de cima). A linha vertical preta tracejada corresponde ao tempo que a posição do OS foi alterada de OS1 (à esquerda da linha) para OS1A (à direita)

III.2.4.3 Elevações de ruído ocorrendo acima de 2 kHz, com sons de estalos/cliques, com provável associação a invertebrados

Esses ruídos ocupam a faixa de frequência acima de 2 kHz, até o limite dos espectros, em 20 kHz. Ele ocorre de forma ininterrupta no OS1, em todos os dias e todas as horas do dia, embora tenha alguns períodos de menor intensidade. A Figura III.2.4.3-1 mostra a energia da banda centrada na frequência de 10 kHz para o período de 01 de abril de 2019 a 01 de julho de 2021, mostrando dados tanto do OS1, até a linha vertical preta tracejada, quanto para o OS1A, depois desta linha. Observa-se que os níveis de ruído para esta banda no OS1A são bem menos intensos do que no OS1. Este ruído costuma ser associado ao estalo e cliques provocados por atrito de partes duras de invertebrados com rochas, como ocorre com ouriços ou cracas ou mesmo com partes do próprio corpo, como o estalo da pinça de camarões. O fato de o OS1A ter menos ruído pode indicar a presença de uma colônia de invertebrados mais próxima do OS1, com seu ruído sendo recebido com maior intensidade ali.

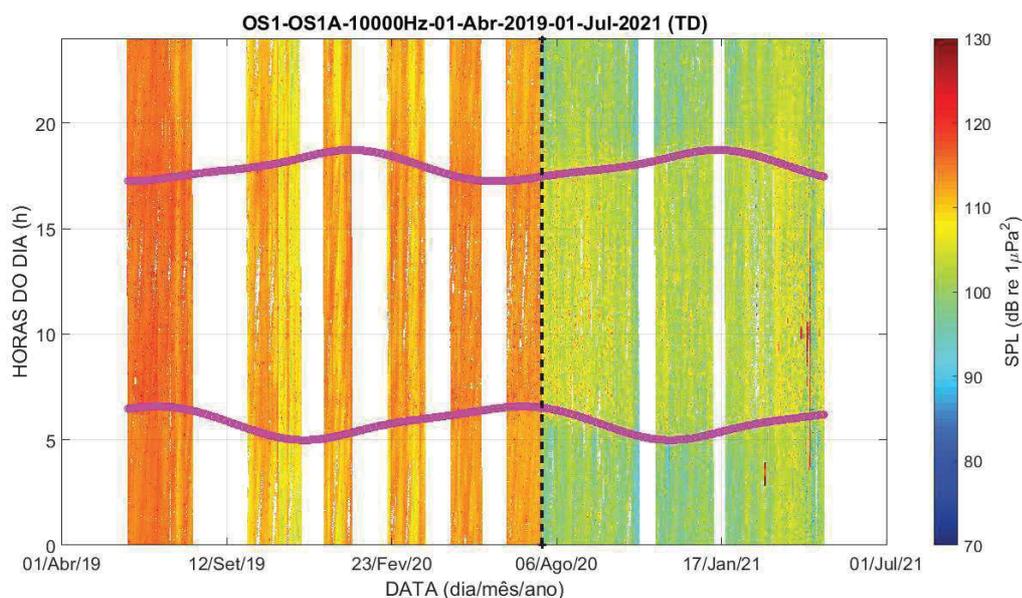


Figura III.2.4.3-1: SPL no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 10 kHz, em função do dia e da hora do dia. As linhas magentas representam os instantes do nascer do sol (linha de baixo), e do pôr do sol (linha de cima). A linha vertical preta tracejada corresponde ao tempo que a posição do OS foi alterada de OS1 (à esquerda da linha) para OS1A (à direita)

III.2.4.4 Elevações de ruído em regiões de tempo x frequência, com sons de chiado

Em áreas costeiras, diversos organismos marinhos produzem som seguindo um padrão diário e em coro. Este coro é chamado de coro bioacústico e os organismos mais bem estudados, e conhecidos por sua grande representatividade no coro bioacústico, são os peixes (MCWILLIAM et al., 2017), camarões pistola (AU; BANKS, 1998; LILLIS; MOONEY, 2018; XAVIER, 2021) e os ouriços do mar (RADFORD et al., 2010, 2008). É comum que a intensidade do som em águas costeiras aumente de 2 a 3 ordens de grandeza logo após o pôr do sol e antes do nascer do sol, conhecidos como coro bioacústico do anoitecer e do amanhecer (*evening and dawn choruses*). A variação temporal, muitas vezes pode ser identificada, e estar relacionada à hora do dia, fase lunar e estação do ano (RADFORD et al., 2008). Diversos autores relatam padrões temporais no som de origem biológica, relacionados ao período do dia, à fase da lua e às estações do ano, como é relatado por Xavier, (2021). Além disso, o coro bioacústico tem



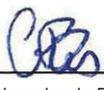
sido relatado por diversos autores como um importante mecanismo de orientação para larvas de organismos recifais, como peixes e crustáceos, na localização do ambiente adequado em que devem se estabelecer (MELO JUNIOR et al., 2020; MOONEY et al., 2020).

Ao analisar os espectrogramas de um dia para as gravações nos OSs, aparecem elevações de energia que ficam concentradas numa região limitada no espaço tempo-frequência e que se repetem dia a dia com pequenas alterações. Seu áudio não apresenta características específicas, soando como um chiado produzido, provavelmente, por um conjunto grande de fontes sonoras de baixa intensidade, característicos de coros de peixes ou de invertebrados. Muitas vezes sua presença é identificada apenas em espectrogramas com grande duração, como aqueles de 24 horas apresentados no começo desta seção. Os espectrogramas com menos duração não são adequados para sua visualização. A Tabela III.2.4-1 apresenta os limites em tempo e em frequência para estas áreas. Embora as áreas em cada OS tenham sido marcadas com rótulos iguais, isto não significa que eles correspondam a ruídos provocados pela mesma fonte.

No OS1, as áreas marcadas como D1 na Figura III.2.4-1 ocupam a faixa de frequência de 160 a 1.000 Hz, iniciando no início da tarde e prosseguindo até depois do pôr do sol. O ruído que aparece nesta banda no OS1A (Figura III.2.4-2) parece ter o mesmo comportamento daquele observado no OS1, permitindo inferir que a fonte de ruído seja a mesma. As áreas marcadas como D2 ocupam a faixa de frequência entre 50 e 400 Hz, ocorrendo de próximo do pôr do sol até em torno das 21 horas. O ruído é mais intenso no OS1A do que no OS1, mas é possível perceber que os ruídos seguem o mesmo comportamento, o que permite inferir que as áreas D2 marcadas nas figuras correspondem à mesma fonte de origem do ruído. As regiões marcadas como D3 para o OS1 ocorre em torno da frequência de 1.250 Hz, iniciando depois do pôr do sol e prosseguindo até em torno das 22 horas. Este ruído é mais fraco do que os observados nas regiões marcadas como D1 e D2 e aparece, também, no OS1A com menor intensidade e de forma não contínua, justificando sua ausência na Figura III.2.4-2.

No OS2, a área marcada como D1 na Figura III.2.4-3 ocupa a faixa de frequência de 500 a 2.000 Hz, iniciando no final da manhã e prosseguindo até depois do pôr do sol. A área marcada como D2 na Figura III.2.4-3 ocupa a faixa




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

de frequência de 50 a 2.000 Hz, iniciando depois do pôr do sol e prosseguindo até próximo das 20 horas. Já a área D3 ocupa a faixa de frequência de 500 a 1.500 Hz, iniciando depois do pôr do sol e terminando em torno de meia-noite. A área marcada como D4 ocupa a banda de frequência centrada em 1.600 Hz, ocorrendo entre 0 e 5 horas. A área marcada como D5 ocupa a banda de frequência entre 50 e 800 Hz, iniciando em torno das 15 horas e indo até em torno de 21 horas, sendo mais intenso logo após o pôr do sol.

No OS2R, a área marcada como D1 na Figura III.2.4-4 ocupa a faixa de frequência de 200 a 1.000 Hz, iniciando no início da tarde e prosseguindo até o pôr do sol. A área marcada como D2 ocupa a faixa de frequência de 200 a 2.000 Hz, iniciando depois do pôr do sol e prosseguindo até em torno de 21 horas. A área marcada como D3 ocupa a faixa de frequência em torno de 1.000 Hz, iniciando depois do pôr do sol e prosseguindo até depois das 23 horas. A área marcada como D4 ocupa a faixa de frequência em torno de 1.600 Hz, iniciando no final da noite e prosseguindo até em torno das 2 horas.

No OS3, a área marcada como D1 na Figura III.2.4-5 ocupa a faixa de frequência de 100 Hz até 1.250 Hz, iniciando no meio da tarde e prosseguindo até em torno de 21 horas. A área marcada como D2 ocupa a faixa de frequência de 300 Hz até 2.000 Hz, ocorrendo entre as 21 e as 24 horas.

Nos OS3R, a área marcada como D1 na Figura III.2.4-6 ocupa a faixa de frequência de 200 Hz até 1.000 Hz, iniciando no início da tarde e prosseguindo até em torno do pôr do sol. A área marcada como D2 ocupa a faixa de frequência de 50 Hz até 1.000 Hz, iniciando no pôr do sol e prosseguindo até perto de 21 horas. A área marcada como D3 ocupa a faixa de frequência em torno de 1.250 Hz, ocorrendo no final da noite. A área marcada como D4 ocupa a faixa de frequência em torno de 800 Hz, ocorrendo do final da manhã até o meio da tarde.

Nos OS3R1, a área marcada como D1 na Figura III.2.4-7 ocupa a faixa de frequência de 200 Hz até 1.000 Hz, iniciando no início da tarde e prosseguindo até em torno do pôr do sol. A área marcada como D2 ocupa a faixa de frequência de 50 Hz até 1.000 Hz, iniciando no pôr do sol e prosseguindo até perto de 21 horas. A área marcada como D3 ocupa a faixa de frequência em torno de 800 Hz, ocorrendo do final da manhã até o meio da tarde.



Tabela III.2.4-1: Informações sobre os chiados, definindo os tempos de início e fim dentro do dia e a faixa de frequência das áreas definidas.

Local	Tipos	Freq. Início	Freq. Fim	Hora Início	Hora Fim
OS1	D1	160	1.000	3	6
	D2	50	400	5	21
	D3	1.250	1.250	6	22
OS1	D1	160	1.000	3	6
	D2	50	400	5	21
OS2	D1	500	2.000	11	18
	D2	50	2.000	18	20
	D3	500	1.500	18	24
	D4	1.600	1.600	0	5
	D5	50	800	15	21
OS2R	D1	200	1.000	14	18
	D2	200	2.000	18	21
	D3	1.000	1.000	18	23
	D4	1.600	1.600	22	2
OS3	D1	100	1.250	15	21
	D2	300	2.000	21	24
OS3R	D1	200	1.000	14	18
	D2	50	1.000	17	21
	D3	1.250	1.250	23	24
	D4	800	800	11	15
OS3R1	D1	200	1.000	14	18
	D2	50	1.000	17	21
	D3	800	800	11	15




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

III.2.4.5 Tom em 100/125 Hz e harmônicos ocorrendo do início da noite de um dia até o final da manhã do dia seguinte.

O ruído destacado nas regiões marcadas como E são tons que aparecem durante um período do dia, indo, normalmente, entre 18h de um dia até perto de 05h do dia seguinte, tendo sido observado nos OS1, OS1A, OS3R e OS3. A Figura III.2.4.5-1 mostra, para os OS1 e OS1A, o mapa dia-hora da energia média das bandas centradas nas frequências de 100 e 125 Hz, mostrando a evolução desta energia no tempo. No mapa, este ruído aparece destacado nos retângulos magentas rotulados pela letra E, sendo observado de 22 de fevereiro a 15 de julho de 2018 e de 19 de fevereiro a 03 de julho de 2020 de forma mais intensa. Como a faixa de frequência usada se sobrepõe com a faixa do ruído do tipo D2, este padrão também aparece no mapa.

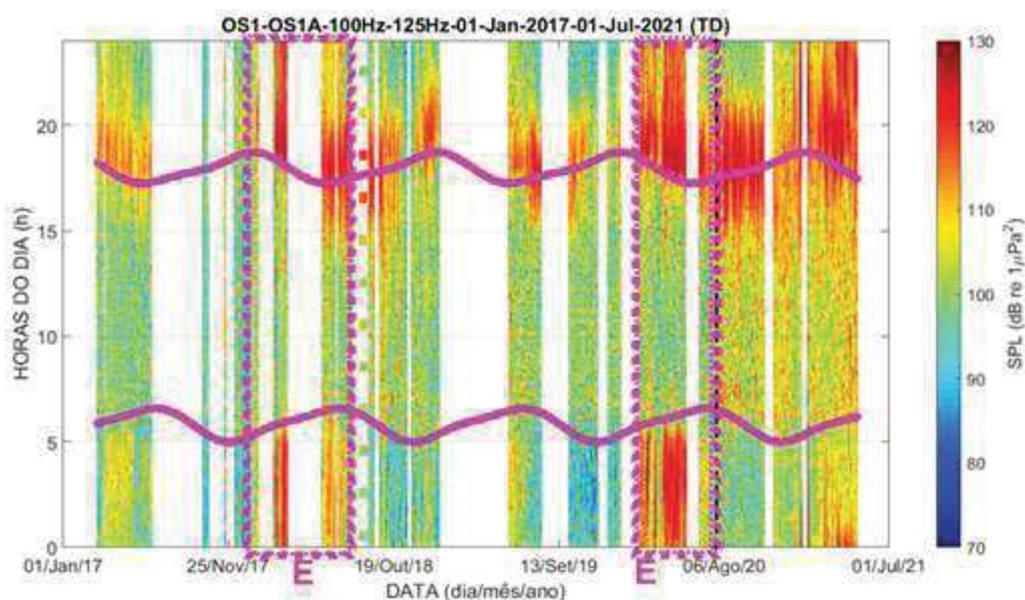


Figura III.2.4.5-1: SPL no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 100 Hz para os OS1 e OS1A, em função do dia e da hora do dia, no período de 01 de janeiro de 2017 a 01 de julho de 2021. As linhas magentas representam os instantes do nascer do sol (linha de baixo), e do pôr do sol (linha de cima). A linha vertical preta tracejada corresponde ao tempo que a posição do OS foi alterada de OS1 (à esquerda da linha) para OS1A (à direita)

A Figura III.2.4.5-2 mostra uma ampliação da Figura III.2.4.5-1, destacando a contribuição desta fonte de ruído. Uma avaliação do áudio mostra um ruído

semelhante a uma máquina rotativa, como em motores e bombas usados para o bombeamento de líquidos.

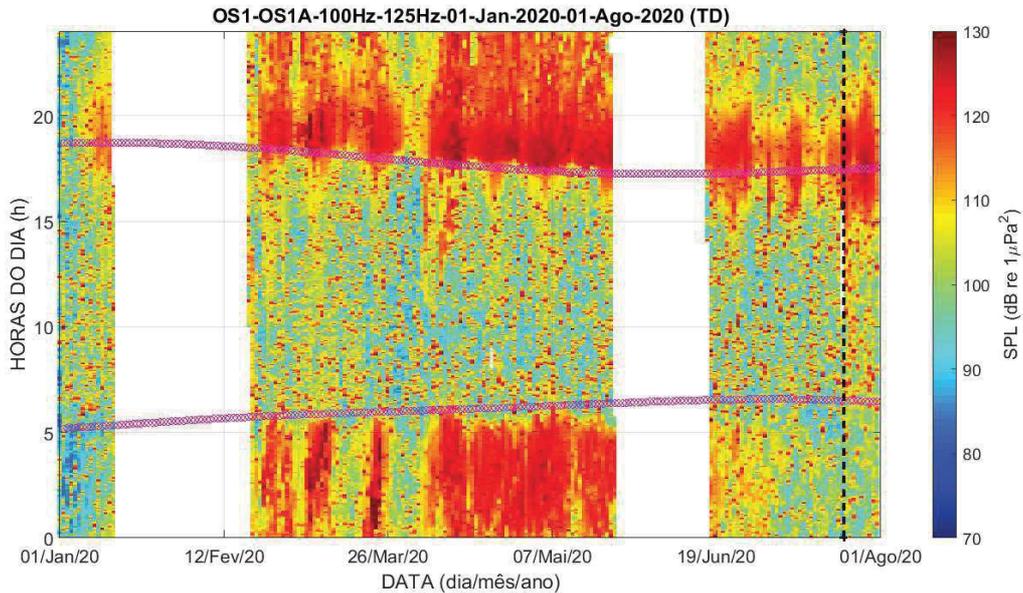
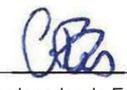


Figura III.2.4.5-2: Ampliação da Figura III.2.4.5-1 mostrando o SPL no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 100 Hz para os OS1 e OS1A, em função do dia e da hora do dia, no período de 01 de janeiro a 01 de agosto de 2020. As linhas magentas representam os instantes do nascer do sol (linha de baixo), e do pôr do sol (linha de cima).




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

III.3 DETECÇÃO DE EMBARCAÇÕES

III.3.1 Detecção de Embarcações nos Gliders

A detecção de embarcações nos *gliders* foi feita a partir da detecção de picos na evolução temporal da energia na faixa de frequência entre 300 e 3.000 Hz e que tivessem uma relação sinal-ruído (diferença entre a energia do pico para sua base) de 6 dB. A Figura III.3.1-1 apresenta o número de detecções encontradas por dia, no período de novembro de 2015 a dezembro de 2020. O número de detecções feitas nas gravações de um dia foi corrigido pelo número de horas gravadas naquele dia, para estimar o valor apresentado.

O número de detecções por dia variou bastante devido, provavelmente, ao fato do *glider* estar se movimentando constantemente e passando por regiões com características diferentes de tráfego de embarcações. Isto pode ser visto melhor na Figura III.3.1-2, que mostra as distribuições do número de detecções por dia com o *glider* nas regiões R1, R2, R3 e R4. A quantidade de amostras obtidas em cada região não permite afirmar que as diferenças são significativas estatisticamente ($F=6,2$, $p=0$). A Figura III.3.1-3 mostra o número de detecções por dia em função da posição média do *glider* em cada dia de medição. O maior número de pontos nas regiões R1 e R2 reflete a estratégia de medição adotada, privilegiando a aquisição de dados nestas regiões.

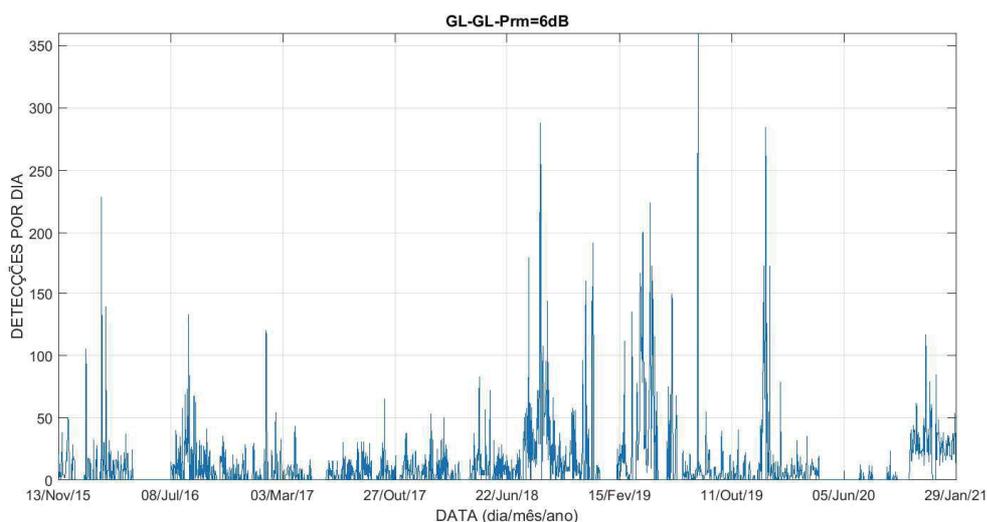


Figura III.3.1-1: Número de detecções de embarcações por dia para os dados gravados pelo glider.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

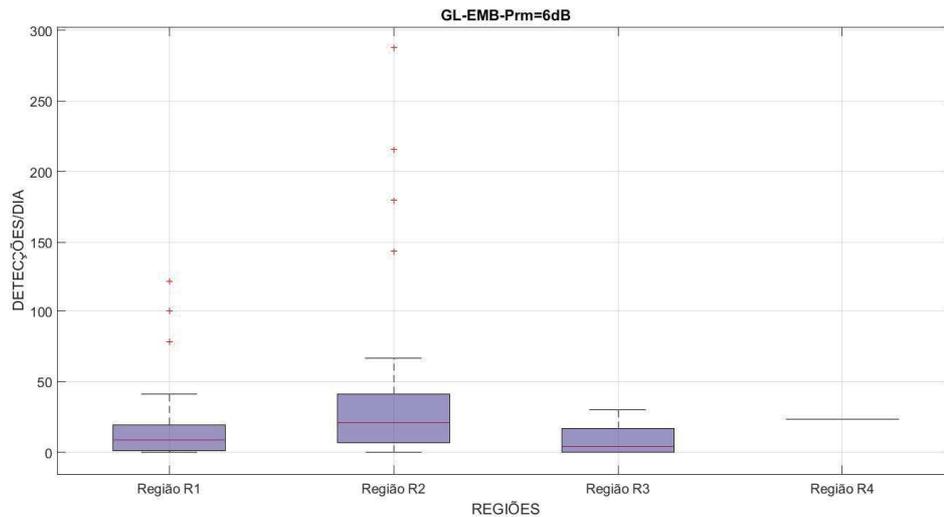


Figura III.3.1-2: Distribuições do número de detecções de embarcações por dia para as regiões R1, R2, R3 e R4.

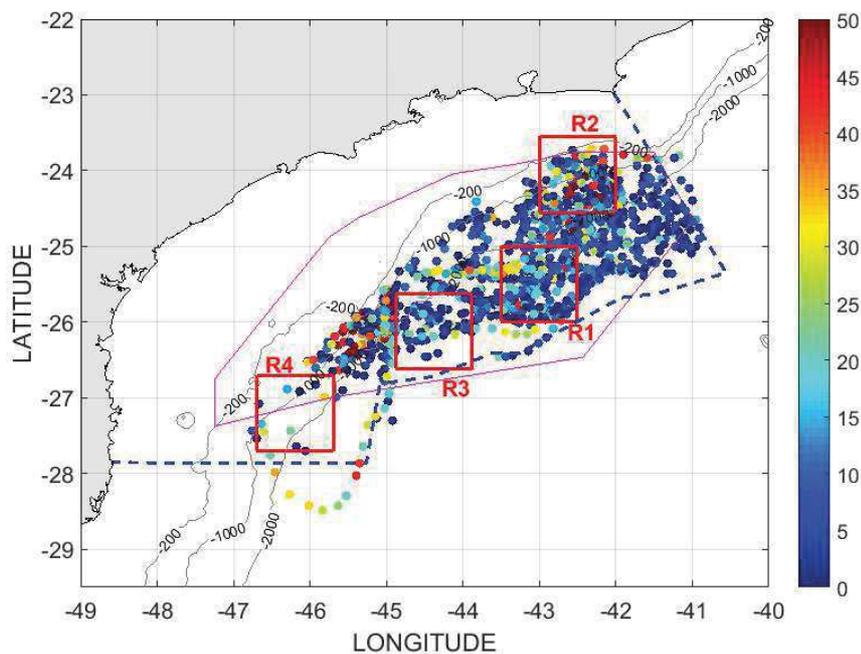


Figura III.3.1-3: Detecções de embarcações apresentadas no mapa da Bacia de Santos, para a posição média do glider no dia da medição. Os retângulos vermelhos mostram a posição das regiões R1, R2, R3 e R4.

III.3.2 Detecção de Embarcações nas LFIs

A detecção de embarcações nas LFIs foi feita a partir da detecção de picos na evolução temporal da energia na faixa de frequência entre 300 e 3.000 Hz e que tivessem uma relação sinal-ruído (diferença entre a energia do pico para sua base) de 6 dB ou mais. A Figura III.3.2-1 apresenta as distribuições do número de detecções encontradas por dia para cada uma das LFIs. O número de detecções feitas nas gravações de um dia foi corrigido pelo número de horas gravadas naquele dia, para estimar o valor apresentado. Não é possível afirmar que existem diferenças significativas entre as linhas FA01, FA03, FA04, FA06 e FA03R ($F=749,7$, $p=0$). A linha FA02 foi a que obteve a maior mediana, com 40 detecções por dia, seguida pela linha FA04R, com 30 e FA05, com 20. Em todas elas, no entanto, existem alguns dias com altas detecções, indicadas pelos valores extremos apresentados como cruces vermelhas na figura.

Deve-se levar em consideração que o procedimento de detecção usado não garante que a detecção corresponde realmente a uma embarcação, podendo haver casos de ocorrer detecção de outras elevações de energia, como o aumento momentâneo dos níveis de ruído do próprio sistema, provocado pelo fluxo da corrente oceânica em volta da linha. A associação das detecções com os registros AIS pode ajudar a confirmar se a detecção corresponde a uma embarcação, embora a ausência da associação não seja suficiente para afirmar que aquele ruído não seja proveniente de uma embarcação, já que o registro AIS para aquela embarcação pode não constar nos registros. Esta associação ainda não foi feita, mas está prevista no prosseguimento das atividades, devendo seus resultados serem apresentados no próximo relatório anual.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

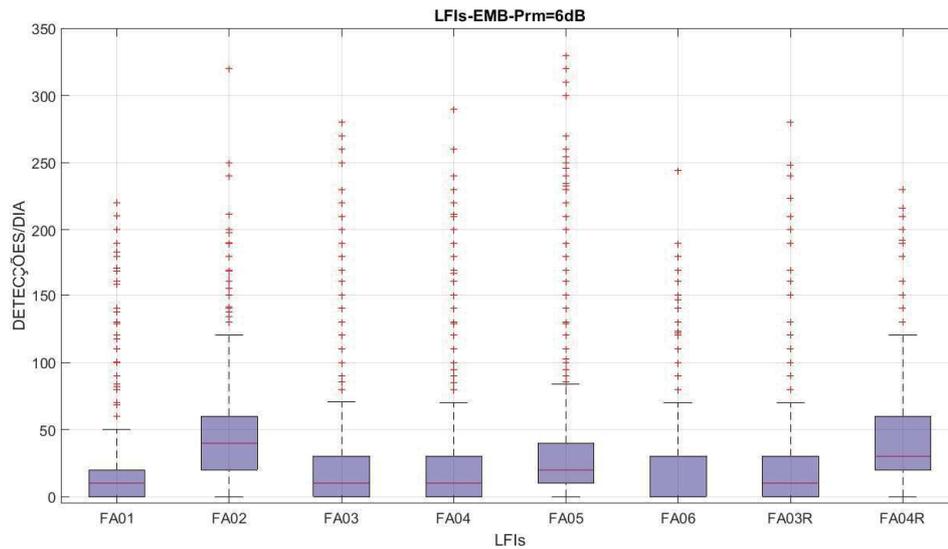


Figura III.3.2-1: Distribuição do número de detecções de embarcações por dia, para cada uma das linhas de fundeio instrumentadas.

III.3.3 Detecção de Embarcações nos OSs

Nas gravações realizadas nos OSs, foram feitas detecções das embarcações que passaram próximo o suficiente do ponto de instalação do observatório, a ponto de permitir um aumento do nível de ruído medido. A metodologia de associação das detecções acústicas com os registros do AIS foi modificada em relação à forma como foram obtidos os dados reportados no 4º Relatório Técnico Anual, aumentando o raio de busca de 1 km, usado anteriormente, para 2 km. A Tabela III.3.3-1 apresenta o número de detecções de passagem de embarcações nas campanhas de gravação nos OS1, OS1A, OS2, OS3, OS2R, OS3R e OS3R1, efetuadas no período de março de 2017 a maio de 2021.

No total, foram detectadas 72.271 passagens de embarcações nas 71.430,5 horas gravadas nas campanhas realizadas, sendo 34.527 detecções em 23.367,9 horas no OS1 e 10.089 detecções em 6.522,6 horas no OS1A, na Baía de Guanabara, 6.681 em 12.848,1 horas no OS2, na Baía de Ilha Grande, 3.079 em 5.191,0 horas no OS2R, no lado oeste da Ilha Grande, 12.082 em 16.202,9 horas no OS3, no Canal de São Sebastião, 4.512 em 6.109,3 horas no OS3R e 1.301 em 1.188,7 horas no OS3R1, nas Ilhas Cagarras. A maior parte das



embarcações foi detectada pelos OS1 e OS1A (44.616 nestes OSs, e 27.655 nos demais).

Tabela III.3.3-1: Número de embarcações detectadas em cada posição.

OS	Número de embarcações	Com AIS	Navio BR	Tempo de gravação (horas)	Total de embarcações / dia
OS1	34.527	22.199	9.492	23.367,9	35,5
OS2	6.681	1.257	2	12.848,1	12,5
OS3	12.082	810	436	16.202,9	17,9
OS1A	10.089	6.021	1.601	6.522,6	37,1
OS2R	3.079	347	264	5.191,0	14,2
OS3R	4.512	277	40	6.109,3	17,7
OS3R1	1.301	449	116	1.188,7	26,3
TOTAIS	72.271	31.360	11.951	71.430,5	24,3

Observa-se que a Baía de Guanabara é a área mais movimentada, com uma média de 35,5 detecções por dia no OS1 e 37,1 no OS1A. A segunda área é a região das Ilhas Cagarras, com média de 17,7 detecções por dia no OS3R e 26,3 detecções por dia no OS3R1. A seguir vem o Canal de São Sebastião, com média de 17,9 detecções por dia, seguida pelo OS2R, no lado oeste de Ilha Grande, com 14,2 e o OS2, no lado leste de Ilha Grande, com média de 12,5 detecções por dia.

A Figura III.3.3-1 mostra o número de detecções de embarcações obtidas por dia de gravação, para os OS1+OS1A, OS2, OS2R, OS3 e OS3R+OS3R1, permitindo visualizar melhor as detecções realizadas nos observatórios. Os tempos em que o número de detecções é zero corresponde, provavelmente, a trechos onde não houve gravação acústica.

A Figura III.3.3-2 mostra as distribuições anuais dos dados apresentados na Figura III.3.3-1, com as linhas verticais representando os percentis de 25% e 75% e o ponto de conexão entre os anos, para cada OS, correspondendo à mediana (percentil de 50%).




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

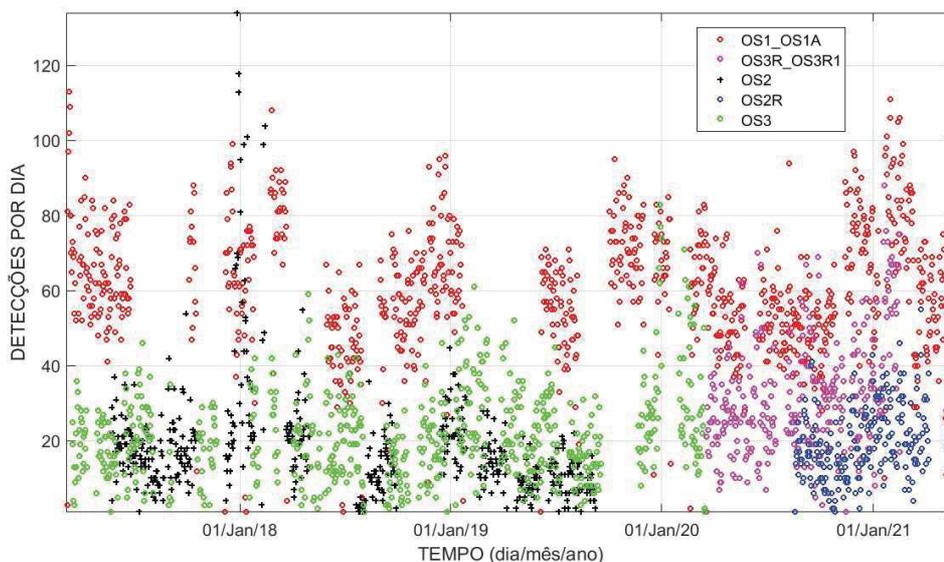


Figura III.3.3-1: Número de navios detectados por dia, nos OS1+OS1A, OS2, OS2R, OS3 e OS3R+OS3R1.

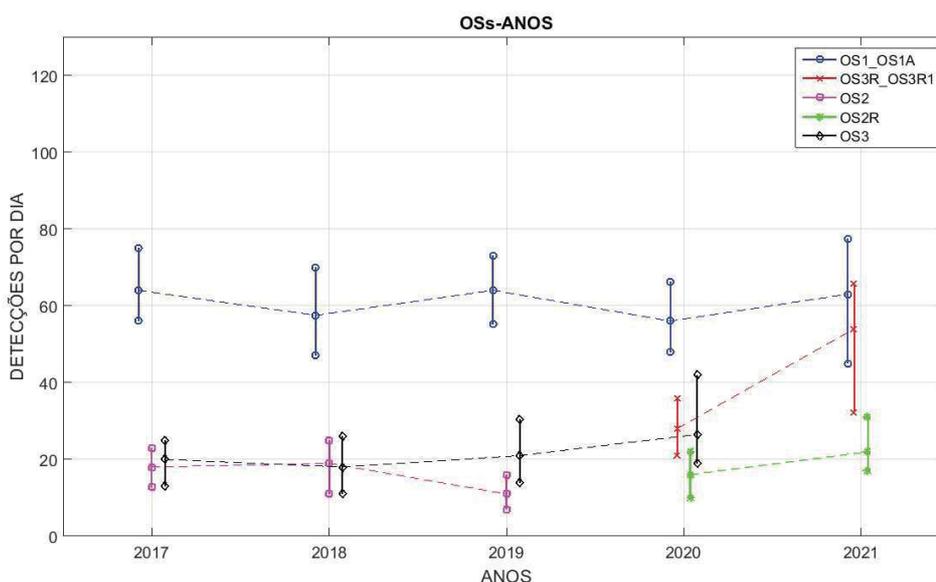


Figura III.3.3-2: Distribuição anual do número de navios detectados por dia, nos OS1+OS1A, OS2, OS2R, OS3 e OS3R+OS3R1. Cada linha vertical representa os percentis de 25% embaixo, 50% onde sai a linha tracejada conectando os anos e 75% em cima.

A maior parte das detecções ocorreu nos OS1+OS1A, na Baía de Guanabara, com o número de detecções se mantendo estável no decorrer dos anos, com uma mediana em torno de 60 detecções por dia. As diferenças entre

os anos de 2017, 2019 e 2021 e entre os anos de 2018 e 2020 não são estatisticamente significativas ($F=9,65$, $p=0$).

No OS2, houve uma redução no número de embarcações por dia, de 18 em 2017 e 19 em 2018, para 11 em 2019. Não é possível dizer que a diferença existente entre 2017 e 2018 é significativa, mas a diferença para o ano de 2019 é estatisticamente significativa ($F=25,28$, $p=0$).

No OS3, houve um aumento de 20 embarcações por dia em 2017, 18 em 2018 e 21 em 2019 e para 26 em 2020. Não é possível dizer que as diferenças entre os anos de 2017, 2018 e 2019 são significativas, mas a diferença para 2020 é estatisticamente significativa ($F=17,97$, $p=0$).

No OS2R houve um aumento de 16 para 22 embarcações por dia entre 2020 e 2021, sendo esta diferença considerada significativa ($F=41,57$, $p=0$).

No OS3R-OS3R1, o número de detecções em 2020 foi de 28, usando dados apenas do OS3R. Este número subiu para 54 detecções por dia em 2021, usando dados, agora, do OS3R1, sendo esta diferença considerada significativa ($F=99,38$, $p=0$). Parte desta diferença pode ser devida ao fato de o OS3R ter sido deslocado de uma posição com menor tráfego de embarcações, para a posição OS3R1, com maior tráfego, no início do ano de 2021 e por estarem sendo contabilizados apenas dados da primeira campanha nesta última posição, realizada no verão.

A Figura III.3.3-3 mostra no gráfico de cima o número de detecções por hora, a cada hora do dia e no gráfico de baixo, o número de detecções por mês a cada mês do ano, para os OS1+OS1A, OS2, OS2R, OS3 e OS3R+OS3R1, considerando todas as detecções obtidas nestes observatórios.

Em geral, a maior parte das detecções ocorre durante o dia, no período das 06:00 às 18:00, particularmente na área do OS1 e OS1A e, em menor grau, para o OS3R e OS3R1, sugerindo a existência de um ciclo diurno de atividades nestas regiões. Já para as demais regiões, o número de detecções não apresenta uma variação horária muito significativa.



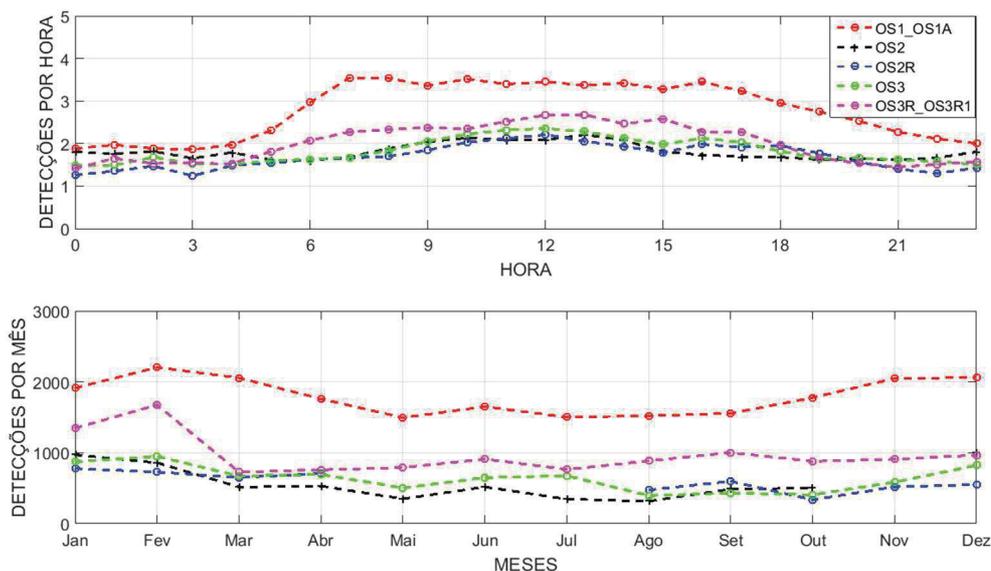


Figura III.3.3-3: Número de navios detectados por hora, para cada hora do dia e por mês, para cada mês do ano, nos OS1+OS1A, OS2, OS2R, OS3 e OS3R+OS3R1.

Em relação à variação sazonal, os meses de dezembro a março apresentam um número de detecções ligeiramente superior em relação aos demais períodos do ano, sobretudo no OS1, OS1A, OS3R e OS3R1. Uma tendência parecida é observada no OS2, o que pode estar relacionado ao período de maior atividade turística e uso de rotas de navegação entre o continente e a Ilha Grande durante os meses de verão. Nos demais observatórios submarinos esta variabilidade é menos clara.

O número de detecções obtido não representa exatamente o número de embarcações individuais detectadas. Pode ocorrer que uma mesma embarcação seja detectada mais de uma vez nos OSs. Para identificar as embarcações, foi feita a correlação dos tempos das detecções com informações do sistema AIS. Foi possível correlacionar 31.360 detecções com o AIS de embarcações, correspondendo a 3.128 diferentes embarcações. O maior número de detecções correlacionadas com o AIS ocorreu na Baía de Guanabara, com 22.199 detecções no OS1 e 6.021 no OS1A, seguido pela Baía de Ilha Grande, com 1.257 detecções no OS2 e 347 no OS2R e pelo Canal de São Sebastião, com 810 detecções. Nas Ilhas Cagarras, foram detectadas 277 embarcações correlacionadas com o AIS no OS3R e 449 no OS3R1. Destas embarcações com AIS, foram detectadas 9.492

no OS1 e 1.601 no OS1A a serviço da PETROBRAS na Baía de Guanabara, dois no OS2 no lado leste da Baía de Ilha Grande e 264 no OS2R no lado oeste da Ilha Grande, 436 no OS3, no Canal de São Sebastião, 40 no OS3R e 116 no OS3R1 nas Ilhas Cagarras. Foi nos OSs da Baía de Guanabara, portanto, que se obteve a maioria das gravações de navios a serviço da PETROBRAS, com confirmação a partir de dados de AIS (11.093 nos OS1+OS1A e 858 nos demais OSs). A posição do OS1 ou sua nova posição, no OS1A, são, assim, as mais adequadas para a aquisição de dados acústicos sobre embarcações a serviço da PETROBRAS.

Um levantamento feito para o período de março de 2017 a maio de 2021 mostrou 19.172 navios nos dados de AIS na Baía de Santos, dos quais 588 estavam a serviço da Petrobras e 18.854 eram navios de terceiros. Neste mesmo período, foram detectados, acusticamente, **31.360** passagens de embarcações que foram associadas a um AIS, sendo que estas detecções correspondem a 3.128 navios diferentes.

Dos 588 navios a serviço da PETROBRAS mostrados no AIS, 482 foram detectados acusticamente num dos OS, correspondendo a 82% do total. Se for analisado apenas o tipo dos navios, no AIS foram apresentados 70 tipos diferentes, dos quais 69 tipos foram detectados acusticamente nos OS, correspondendo a 98,5%. Estes resultados são um indicativo da eficiência dos OS na obtenção de informações sobre os navios da PETROBRAS que atuam na Baía de Santos, em particular os OSs posicionados na entrada da Baía de Guanabara, como os OS1 e OS1A, responsáveis pela grande maioria das detecções destes navios.


Coordenador da Equipe
Técnico Responsável5º Relatório
TécnicoRevisão 00
08/2021

III.4 DETECÇÃO DE VOCALIZAÇÃO DE CETÁCEOS

III.4.1 Detecção de Vocalizações nos Gliders

Para a detecção das vocalizações nos *gliders* foi feita uma busca manual nos mapas de detecções criados pelo PAMGuard. Nestes mapas, foram recortados trechos com detecções, para a análise.

Foram analisados os dados referentes às gravações acústicas de 36 campanhas do *glider*. Estas gravações cobrem o período de novembro de 2015 a dezembro de 2019. A Figura III.4.1-1 mostra o número de recortes feitos por estação do ano. As detecções se concentraram no inverno e na primavera, o que pode indicar que a presença de cetáceos é mais comum na Bacia de Santos nestas estações do ano.

Foram efetuados 1199 recortes oriundos das detecções automáticas. Ocorreram 551 recortes no inverno e 411 na primavera, ou seja, cerca de 80,2% dos recortes ocorreram no inverno ou na primavera, enquanto apenas 124 recortes (10,3% do total de recortes) ocorreram no outono e outros 113 recortes (9,4% do total de recortes) ocorreram no verão (Figura III.4.1-1).

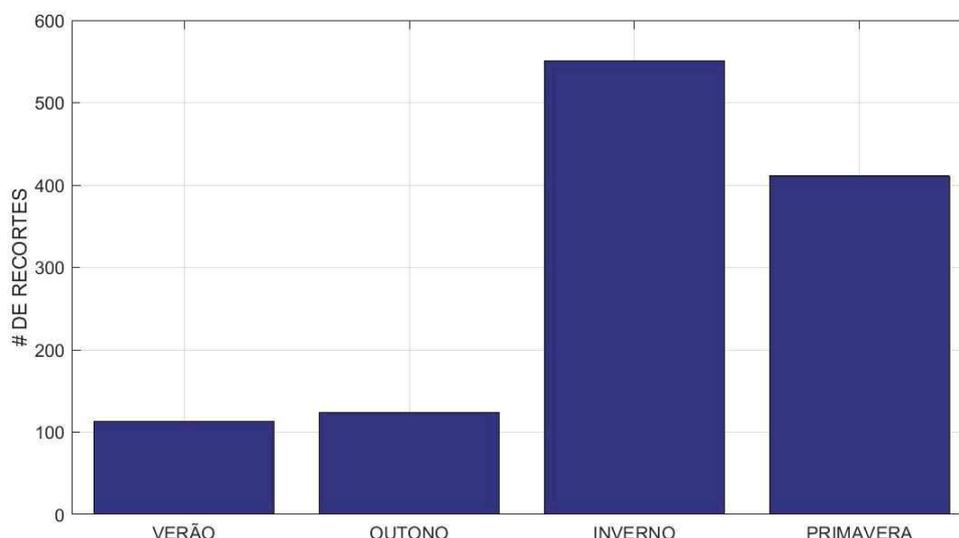


Figura III.4.1-1 – Recortes por estação do ano

Os recortes foram divididos em trechos menores, de um minuto de duração, sendo contabilizados o número de minutos para as detecções dos tipos “Assobios”, “Gemidos” e “Grunhidos”. A quantidade de minutos de detecção foi



normalizada pelo esforço de amostragem em cada período analisado. As Figuras III.4.1-2, III.4.1-3 e III.4.1-4 apresentam os tempos de detecção, normalizados pelo esforço amostral, para assobios, gemidos e grunhidos, respectivamente. Os mínimos e máximos de assobios ocorreram no verão e primavera, respectivamente, chegando a valores superiores a 1 hora/dia na primavera (III.4.1-2). Os sinais referentes aos misticetos (gemidos e grunhidos) foram maiores no inverno, atingindo uma taxa de mais de 6 horas/dia para os gemidos (III.4.1-3) e de uma hora/dia para os grunhidos (Figura III.4.1-4) com as menores taxas para os dois grupos sendo encontradas no outono.

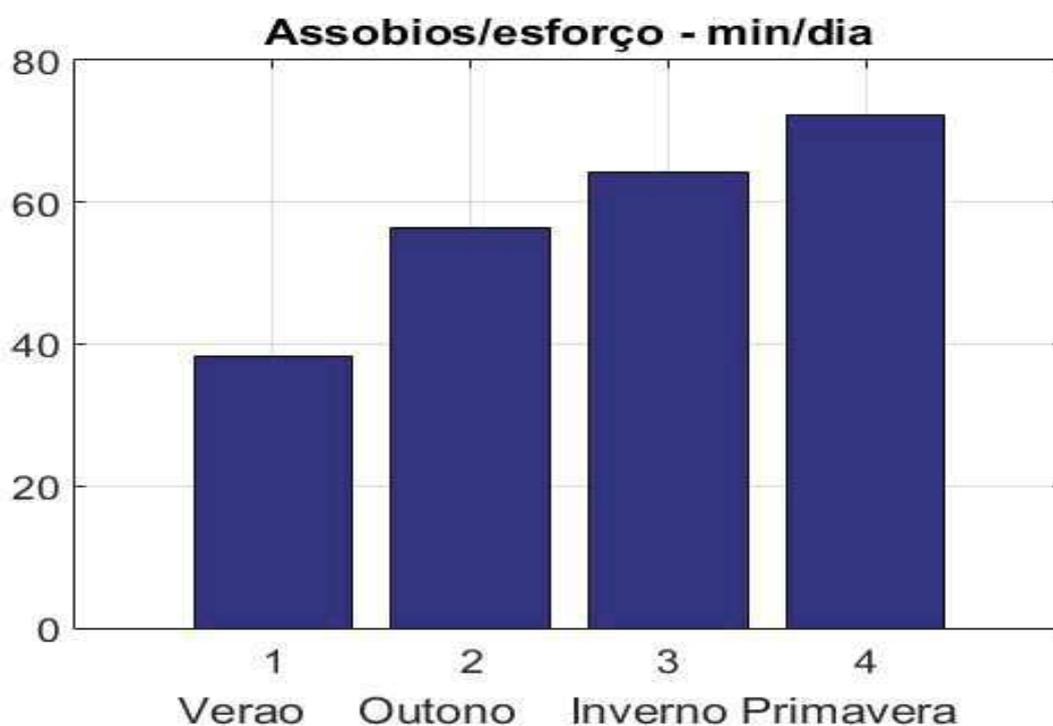


Figura III.4.1-2 - Minutos de assobios por dia de esforço, em cada estação do ano




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

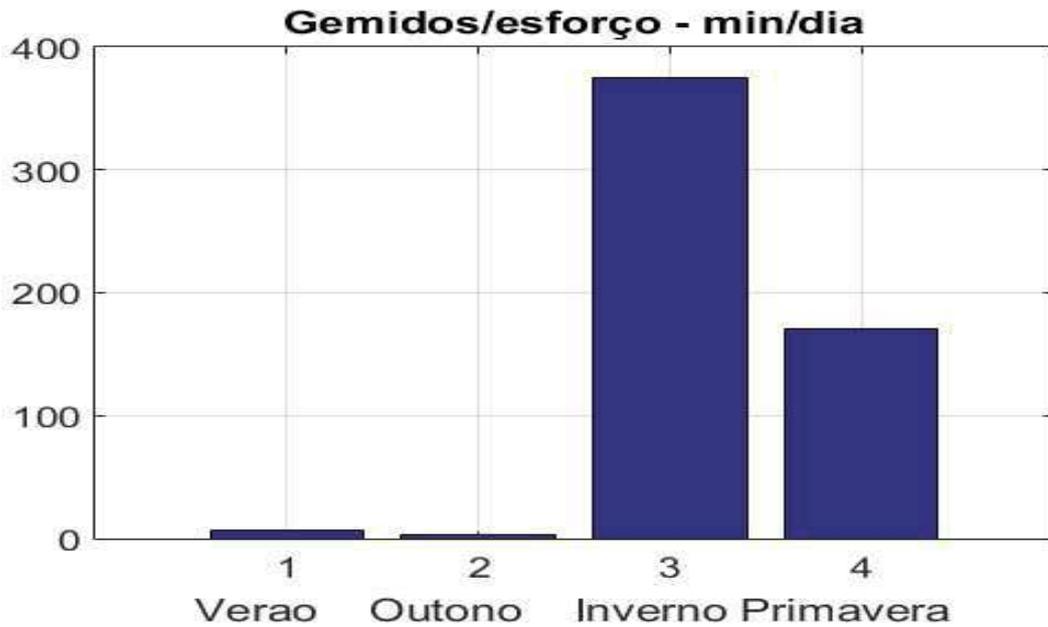


Figura III.4.1-3 - Minutos de gemidos por dia de esforço, em cada estação do ano

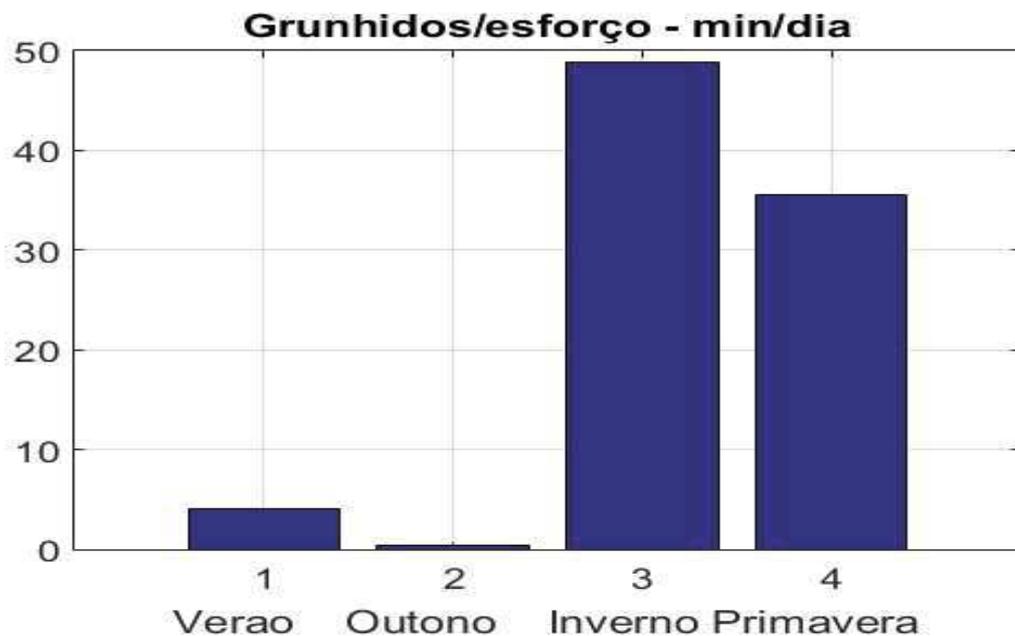


Figura III.4.1-4 - Minutos de grunhidos por dia de esforço, em cada estação do ano

Para uma visão mais completa da distribuição temporal das detecções, a Figura III.4.1-5 mostra o número de trechos com detecção por hora, para cada hora do dia, para assobios, gemidos e grunhidos. A detecção de gemidos ocorreu durante praticamente todo o dia, com uma maior quantidade entre as 13 e as 20 horas do dia. As detecções de grunhidos foram maiores em torno de 20 horas da

noite. Para assobios, o maior número de detecções ocorreu em torno das 2 horas da manhã e de 15 às 18 horas.

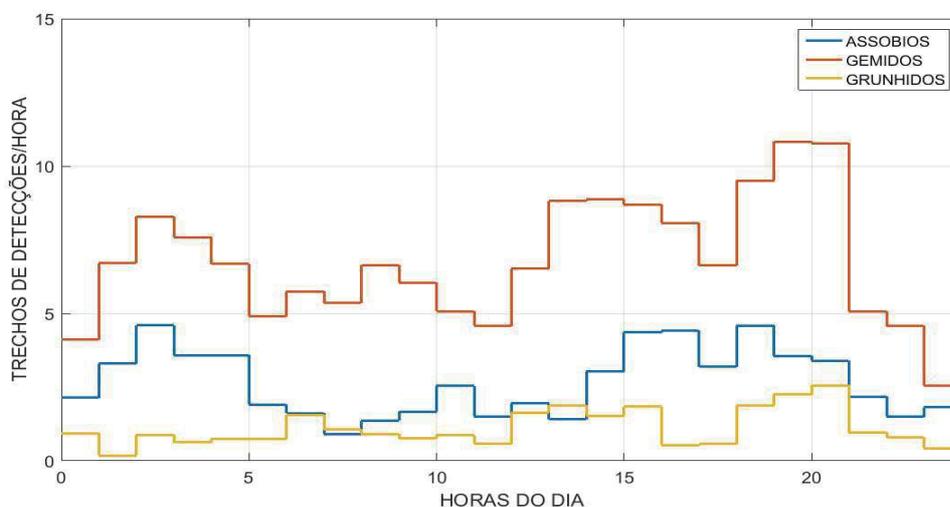


Figura III.4.1-5 – Número de trechos de detecções por hora para cada hora do dia para assobios, gemidos e grunhidos.

A Figura III.4.1-6 mostra o número de trechos com detecções por hora, a cada mês do ano, para assobios, gemidos e grunhidos. Os gemidos e os grunhidos ocorreram principalmente entre os meses de julho e outubro, enquanto os assobios ficaram melhor distribuídos ao longo do ano.

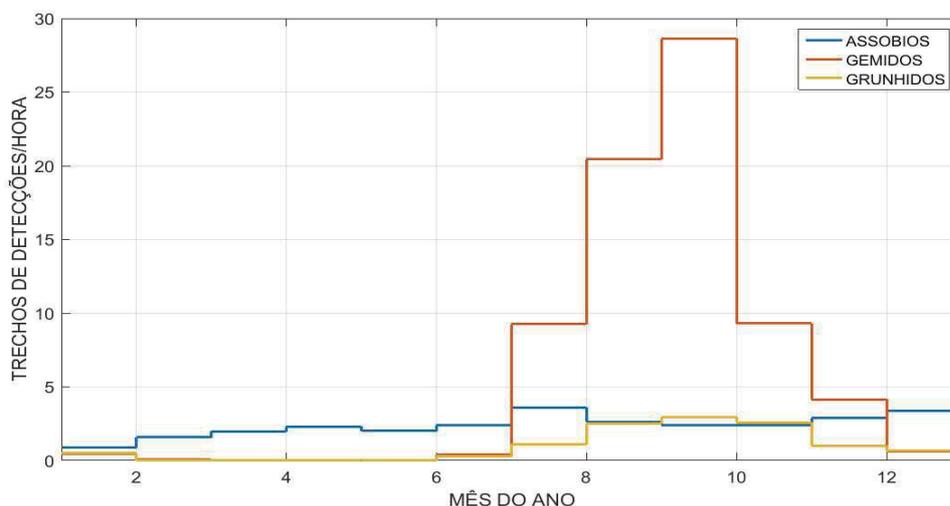


Figura III.4.1-6 - Número de trechos de detecções por hora para cada mês do ano para assobios, gemidos e grunhidos.

Para avaliar a distribuição espacial das primeiras 36 campanhas de gravações acústicas do *glider*, foi elaborado um mapa do número de trechos de um minuto de detecções por hora para as posições dentro de uma grade espacial



de 1/6 de grau. A Figura III.4.1-7 apresenta o número de detecções de assobios por hora de gravação feitas na região da Bacia de Santos. Não se observa a concentração destas detecções numa região específica, ocorrendo densidades altas em praticamente toda a região.

A Figura III.4.1-8 mostra o número de detecções de gemidos por hora de gravação feitas na região da Bacia de Santos. O maior número de trechos detectados por hora se concentra no lado leste da Bacia de Santos.

A Figura III.4.1-9 mostra o número de detecções de grunhidos por hora de gravação feitas na região da Bacia de Santos. As detecções ocorrem mais do centro para o sul da região amostrada da Bacia de Santos.

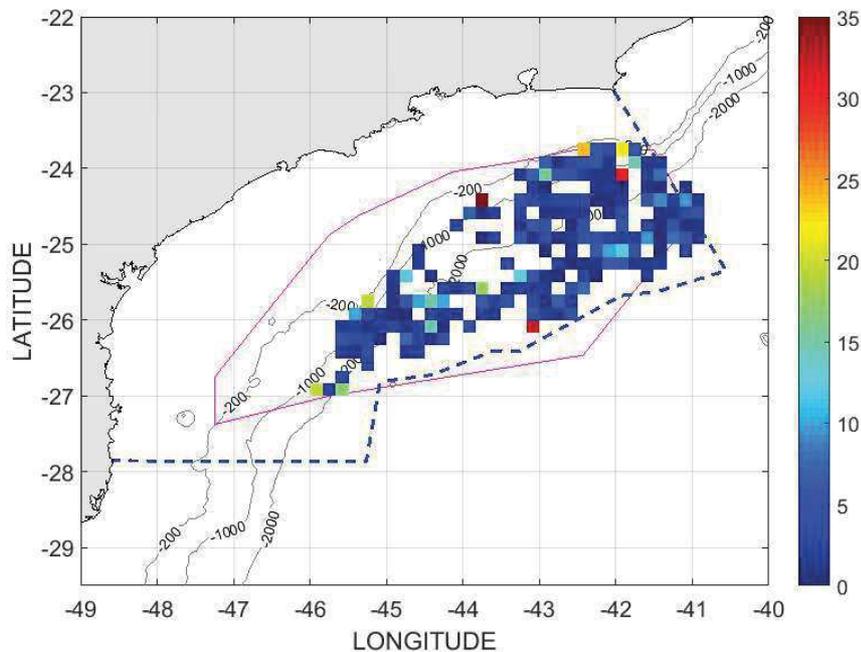


Figura III.4.1-7 – Número de trechos de detecções de assobios por hora para uma grade de 1/6 graus.

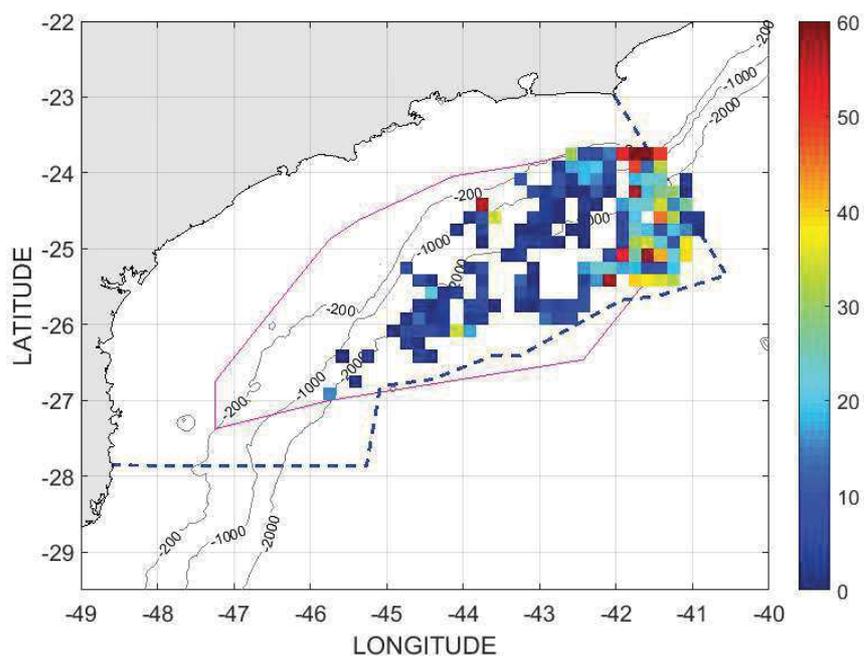


Figura III.4.1-8 – Número de trechos de detecções de gemidos por hora para uma grade de 1/6 graus.

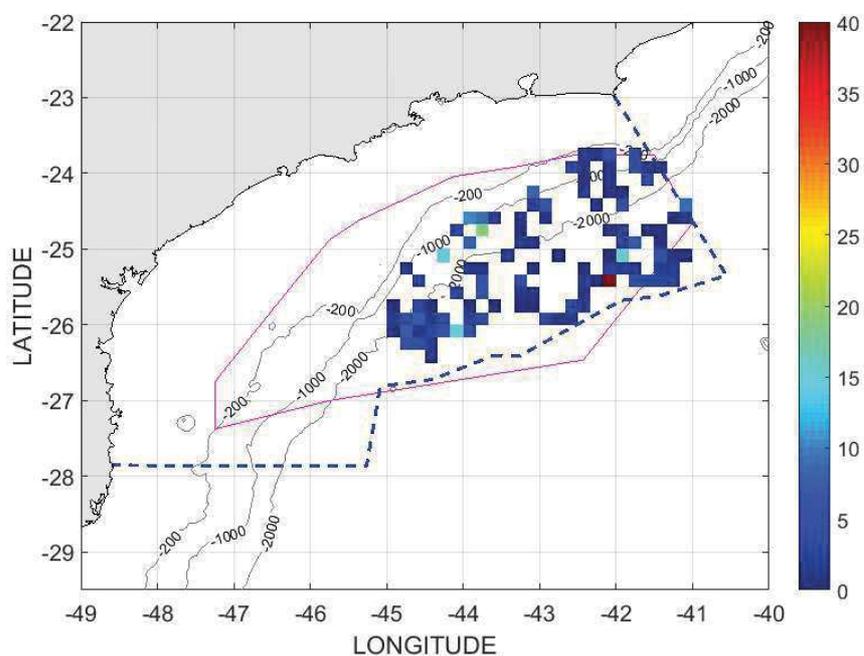


Figura III.4.1-9 – Número de trechos de detecções de grunhidos por hora para uma grade de 1/6 graus.

É válido lembrar que os dados aqui apresentados são frutos de uma exploração inicial, sendo que uma análise mais criteriosa será realizada no âmbito



do PMC-BS. Até o momento, já foram enviadas para o PMC-BS amostras recortadas de dez campanhas dos gliders (campanhas C10 a C20), cobrindo o período que vai de fevereiro a dezembro de 2017, além de amostras de vocalizações obtidas por meio dos OS e LFI, para uma análise inicial sobre a qualidade dos dados.

III.4.2 Detecção de Vocalizações nas LFIs

A detecção de vocalizações de cetáceos foi feita para todas as gravações realizadas nas LFIs, de setembro de 2017 a dezembro de 2020. O procedimento usa as detecções obtidas pelo PAMGuard, como foi feito com os *gliders*, mas ao invés de uma busca manual, foi feito um pós-processamento das detecções para acelerar o processo de seleção das detecções.

Os resultados visam, principalmente, verificar a existência e distribuição temporal de vocalizações que possam ser atribuídas a cetáceos e, também, avaliar a capacidade dos detectores usados. Os tons detectados foram classificados nas classes “Assobios”, “Gemidos” e “Grunhidos”, mas nenhuma tentativa foi feita em associar estes tons a uma fonte, o que deve ser parte de estudos específicos feitos pela equipe do Projeto de Monitoramento de Cetáceos da Bacia de Santos (PMC-BS). O uso de novos detectores ou mesmo de diferentes configurações para o detector usado pode, também, ser fruto de novos estudos, como já vem sendo realizado pelo PMC-BS. Alguns exemplos de sinais são apresentados para ilustrar o tipo de vocalização encontrado. Estes sinais foram obtidos numa busca não exaustiva, de forma que outros tipos de sinais podem estar presentes nas detecções. A classificação das fontes que produziram os tons detectados não foi objeto de estudo deste trabalho. Os dados das possíveis vocalizações serão ainda encaminhados para análise da equipe do PMC-BS.

As Figuras III.4.2-1 a III.4.2-4 apresentam, como exemplos, mapas das detecções obtidas para as classes “Assobios” e “Grunhidos” na banda MF e “Gemidos” e “Grunhidos” para a banda LF, para as linhas com maior número de detecções em cada uma destas classes. As linhas FA03R e FA04R não foram processadas. Em todas as linhas ocorreram detecções de assobios.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

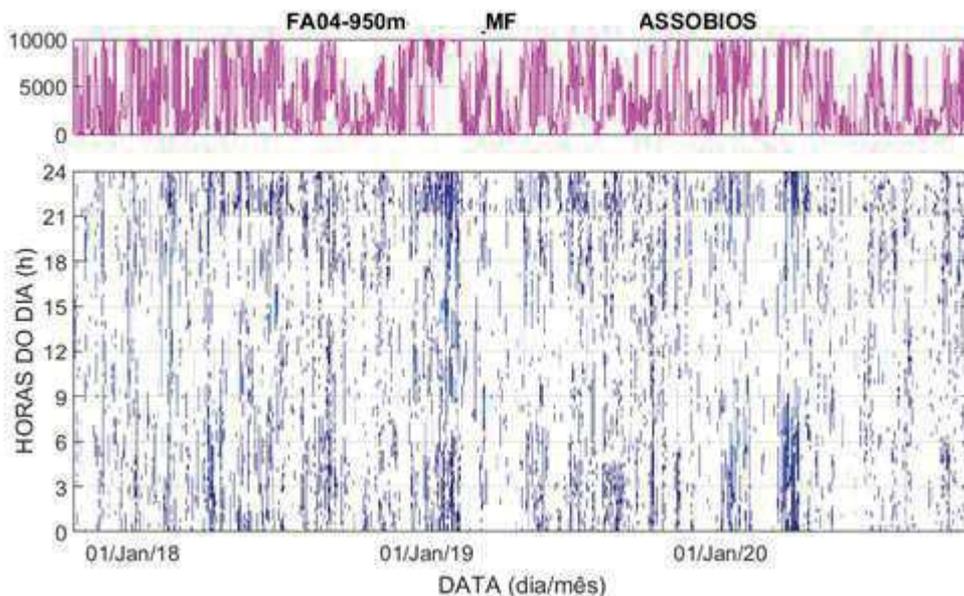


Figura III.4.2-1: Mapa de detecções em função da hora do dia, para cada dia de medição, para a classe “Assobios” na banda MF, para a linha FA04, na profundidade de 950m.

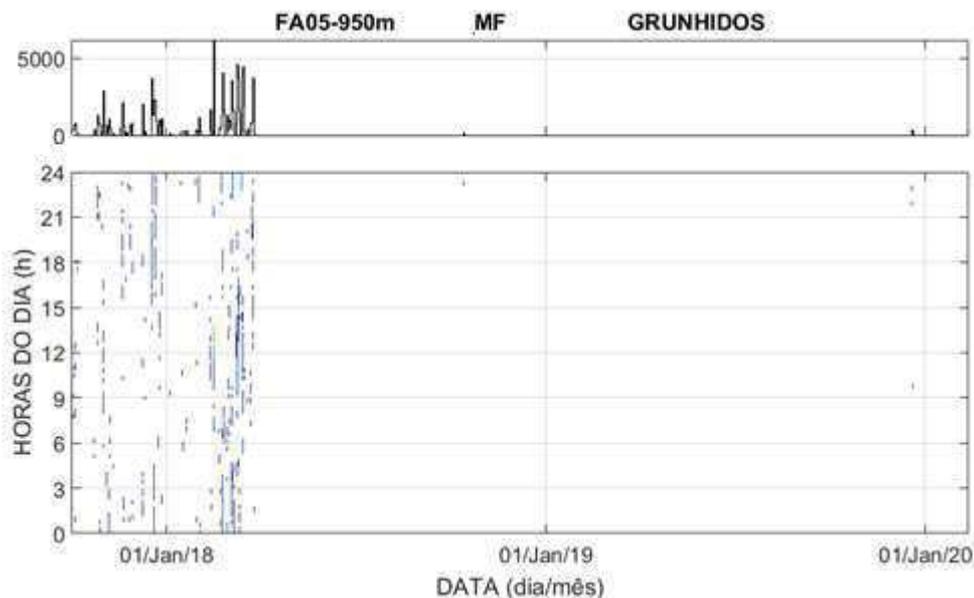


Figura III.4.2-2: Mapa de detecções em função da hora do dia, para cada dia de medição, para a classe “Grunhidos” na banda MF, para a linha FA05, na profundidade de 950m.

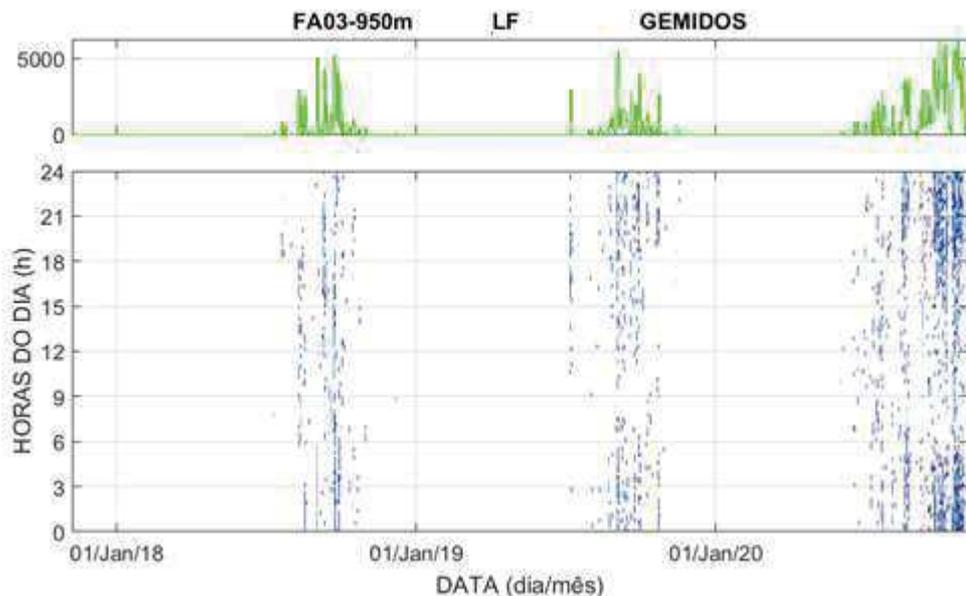


Figura III.4.2-3: Mapa de detecções em função da hora do dia, para cada dia de medição, para a classe “Gemidos” na banda LF, para a linha FA03, na profundidade de 950m.

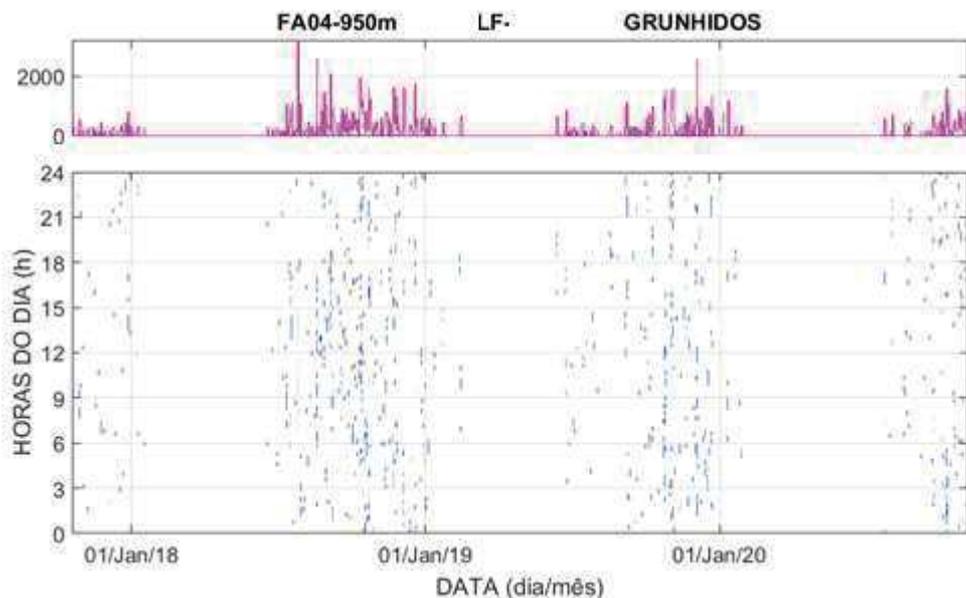


Figura III.4.2-4: Mapa de detecções em função da hora do dia, para cada dia de medição, para a classe “Grunhidos” na banda LF, para a linha FA04, na profundidade de 950m.

As Figuras III.4.2-5 a III.4.2-8 mostram histogramas do número de detecções por hora, para as classes “Gemidos” e “Grunhidos”, na banda LF, e para “Assobios” e “Grunhidos”, na banda MF. Na banda LF, as maiores detecções

de “Gemidos” ocorreram na linha FA04, com maior número de detecções no período da noite e nos meses de outubro e dezembro. As maiores detecções para a classe “Grunhidos” para esta banda ocorreram nas linhas FA04 e FA06, com detecções distribuídas por todo o dia e nos meses de setembro a dezembro.

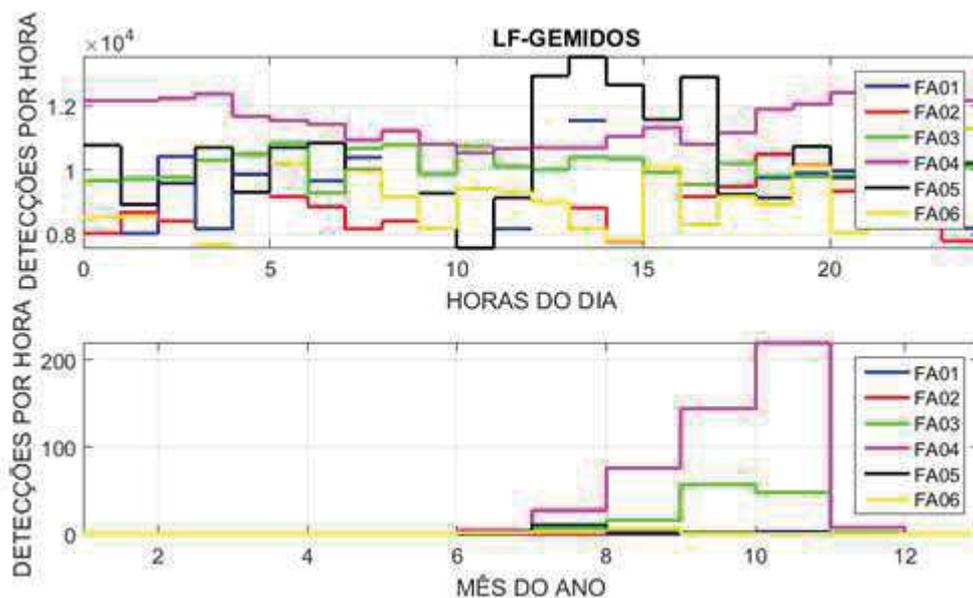


Figura III.4.2-5: Detecções por hora para cada hora do dia e para cada mês do ano, para as detecções do tipo “Gemidos” na banda LF, para as linhas FA01, FA02, FA03, FA04, FA05 e FA06.



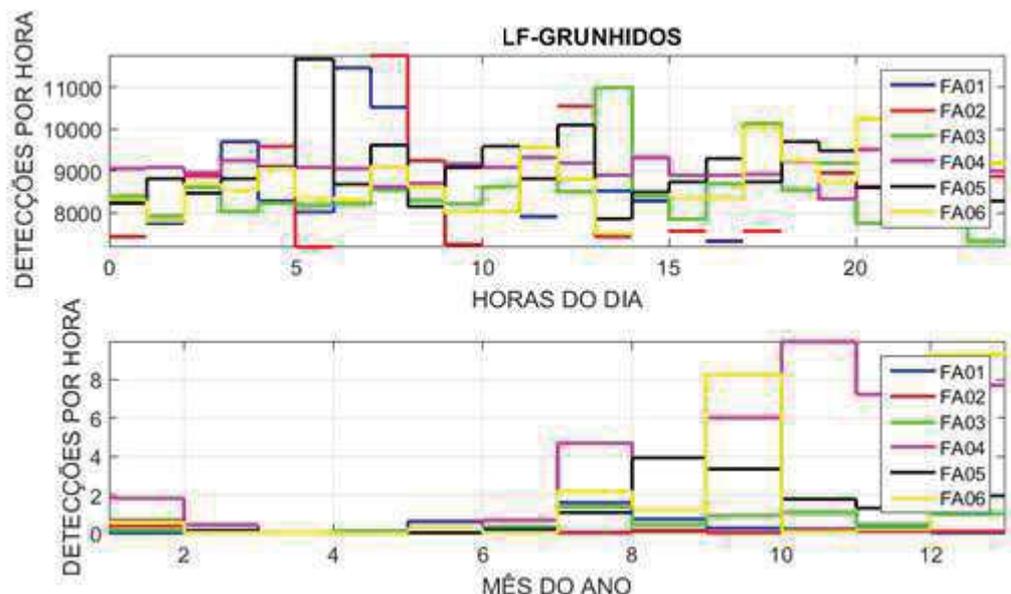


Figura III.4.2-6: Detecções por hora para cada hora do dia e para cada mês do ano, para as detecções do tipo “Grunhidos” na banda LF, para as linhas FA01, FA02, FA03, FA04, FA05 e FA06.

Para a banda MF, as detecções da classe “Assobios” ocorreram nas linhas FA04 e FA05, com maior número durante o dia e nos meses de janeiro e fevereiro. As detecções de “Grunhidos” para esta banda ocorreram com maior número nas linhas FA05 e FA04, ocorrendo durante o dia na linha FA05 e durante a madrugada na linha FA04.

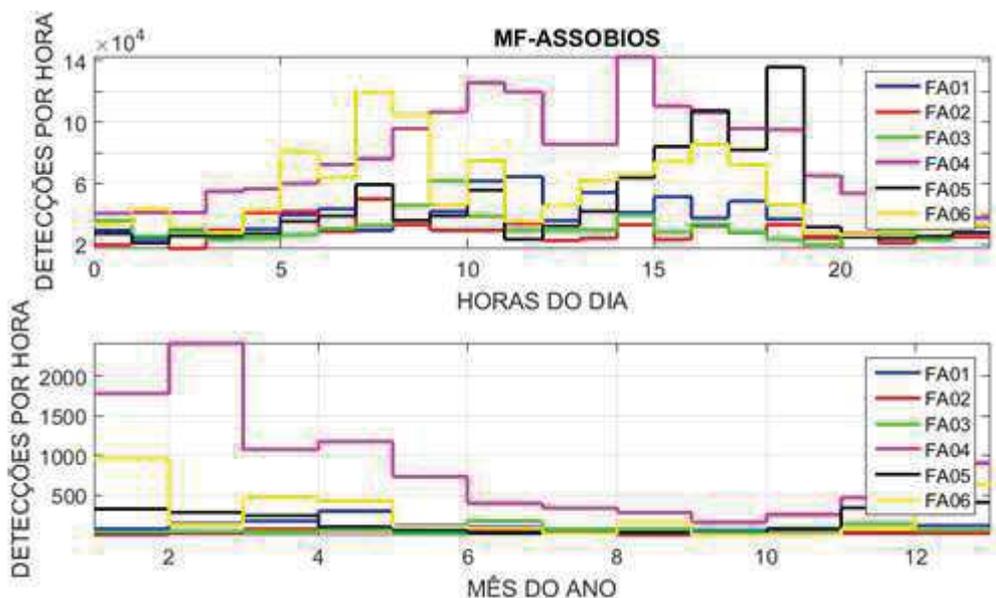


Figura III.4.2-7: Detecções por hora para cada hora do dia e para cada mês do ano, para as detecções do tipo “Assobios” na banda MF, para as linhas FA01, FA02, FA03, FA04, FA05 e FA06.

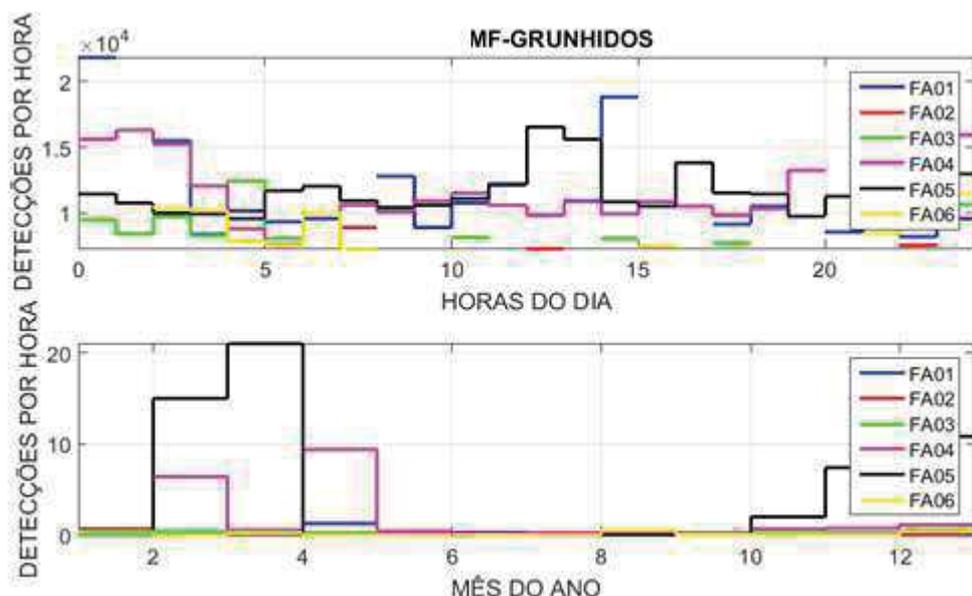


Figura III.4.2-8: Detecções por hora para cada hora do dia e para cada mês do ano, para as detecções do tipo “Grunhidos” na banda MF, para as linhas FA01, FA02, FA03, FA04, FA05 e FA06.

As Figuras III.4.2-9 a III.4.2 mostram espectrogramas de sinais encontrados em trechos com maiores densidades de detecções, com exemplos de “Gemidos” (Figura III.4.2-9) e “Grunhidos” (Figura III.4.2-10) obtidos na banda LF e de “Assobios” (Figura III.4.2-11) obtidos na banda MF. Não foram encontrados exemplos claros de vocalização do tipo “Grunhidos” para a banda MF. Em alguns trechos marcados com detecções deste tipo, foram encontrados ruídos do próprio sistema provocados, provavelmente, pela passagem do fluxo de corrente em torno do equipamento de medição (Figura III.4.2-12).

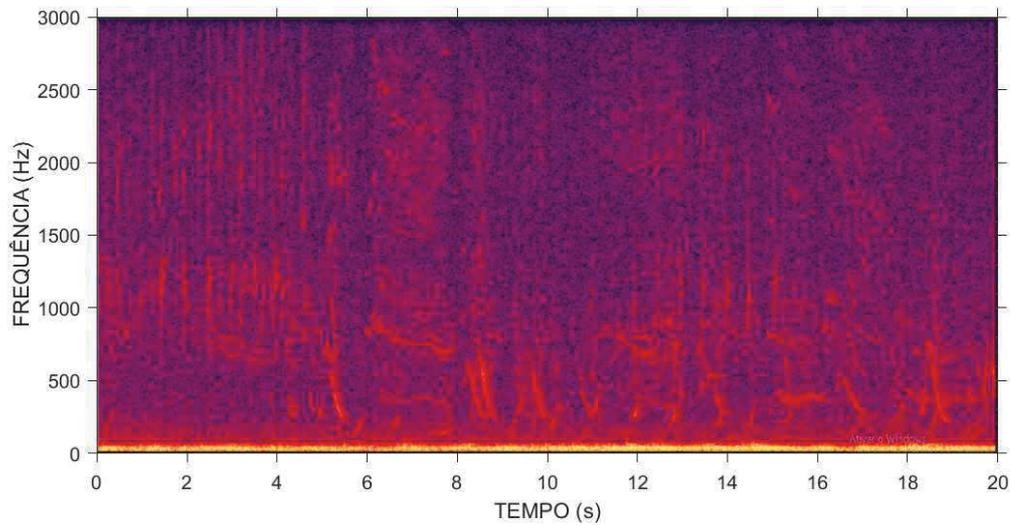


Figura III.4.2-9: Espectrograma de um sinal com vocalizações do tipo “Gemidos”, obtido na linha FA04, na profundidade de 950 m.

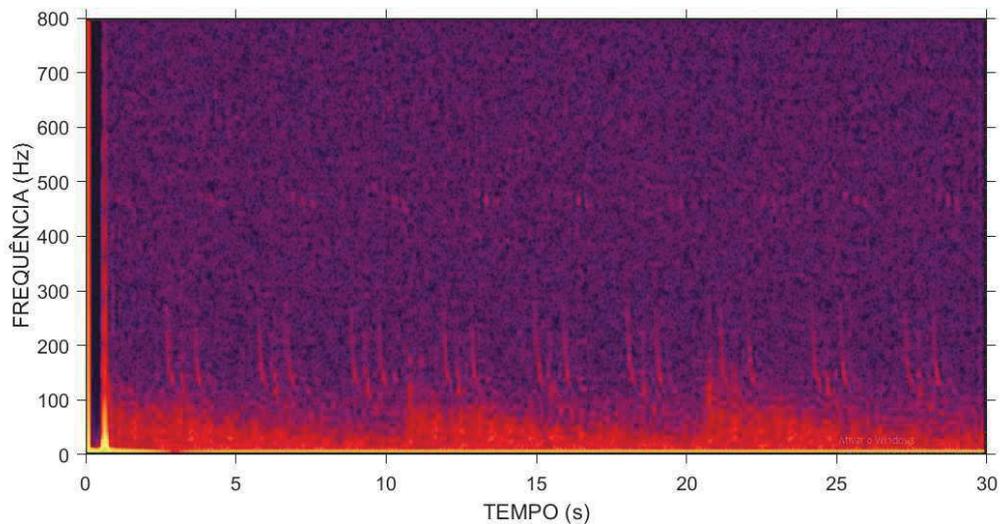


Figura III.4.2-10: Espectrograma de um sinal com vocalizações do tipo “Grunhidos”, obtido na linha FA06, na profundidade de 950 m.

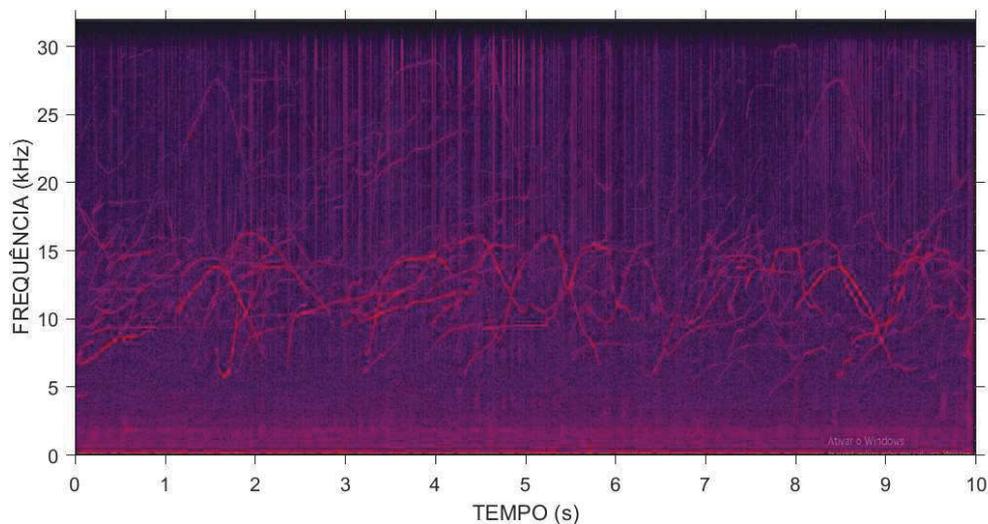


Figura III.4.2-11: Espectrograma de um sinal com uma vocalização do tipo “Assobios”, obtido na linha FA04, na profundidade de 950 m.

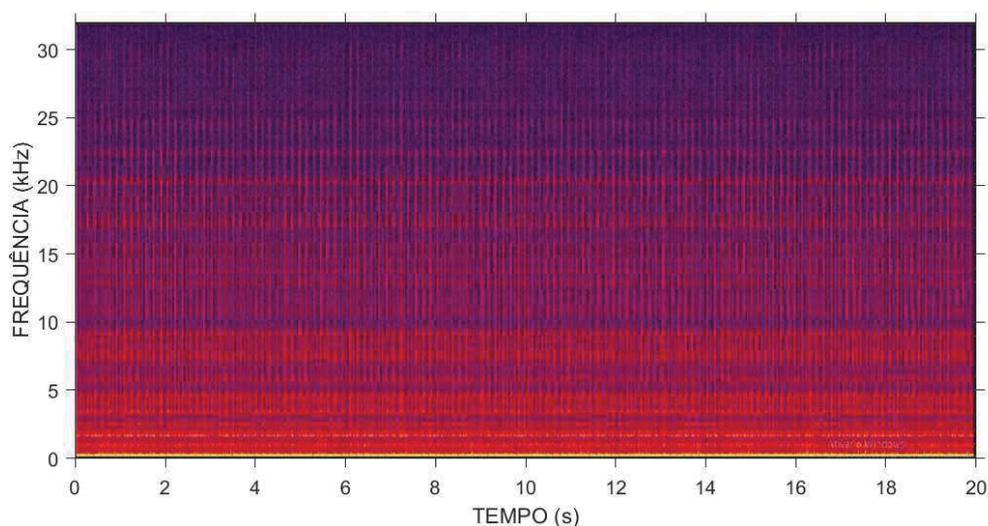


Figura III.4.2-12: Espectrograma de um sinal do próprio sistema, identificado como sendo do tipo “Gemidos”, obtido na linha FA05 na profundidade de 950 m.

Estes resultados preliminares mostram que o procedimento adotado é adequado para a separação das vocalizações nas LFI. Estudos complementares devem ser feitos para avaliar a influência do ruído próprio provocado pelas correntes na detecção das vocalizações. O ruído próprio pode ser detectado como sendo uma vocalização ou pode atrapalhar a detecção de uma vocalização existente. Da mesma forma, os procedimentos devem ser aprimorados para permitir a indicação de trechos com vocalizações para recorte e envio ao PMC-




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

BS, que é o responsável pela classificação final e inclusão nas bases de dados de vocalizações.





Coordenador da Equipe





Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

III.4.4 Detecção de Vocalizações nos OSs

A detecção de vocalizações de cetáceos foi feita para todas as gravações realizadas nos OSs até abril de 2021.

III.4.4.1 OS1 e OS1A – Baía de Guanabara

Foram detectadas poucas vocalizações do tipo “Assobios”, tanto na banda LF quanto na banda MF. Buscas não exaustivas não encontraram um sinal de vocalização claro desse tipo.

A Figura III.4.4.1-1 mostra o número de detecções por dia (parte de cima dos gráficos) e sua distribuição ao longo de cada dia (parte de baixo dos gráficos), para detecções classificadas como “Grunhidos” obtidas na banda LF nos OS1 e OS1A. É possível ver um padrão bem definido, com um aumento de detecções após as 15 horas. Os “Gemidos” (gráfico não apresentado aqui) seguem um padrão parecido com o observado para “Grunhidos”, o que sugere que os dois tipos de tons podem ter sido provocados pela mesma fonte, com classificação diferente para trechos diferentes da vocalização.

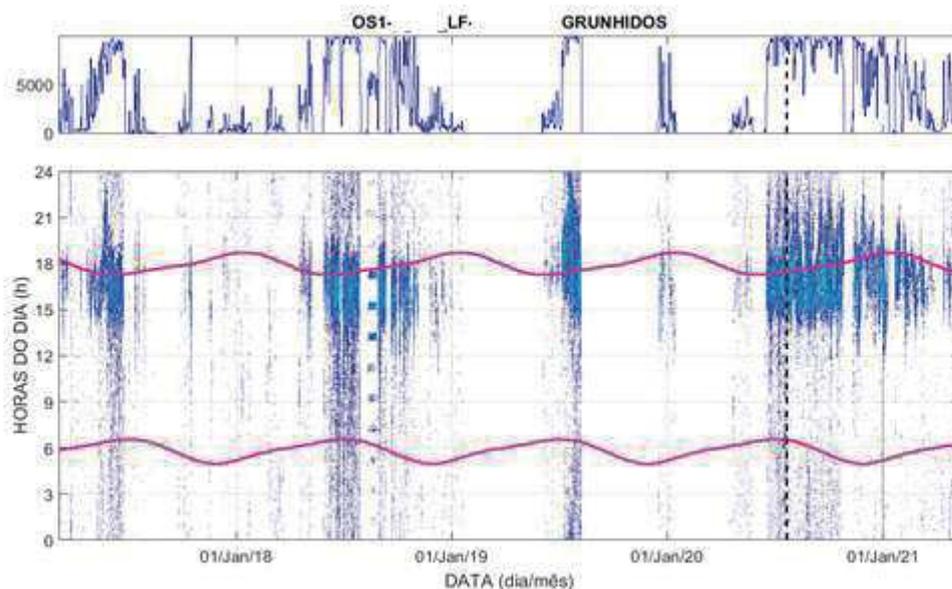


Figura III.4.4.1-1: Número de detecções de vocalizações classificadas como “Grunhidos” para os OS1 e OS1A, na Baía de Guanabara, na faixa de baixa frequência (LF). A parte de baixo mostra o número de detecções distribuído pelas horas do dia, para cada dia. A parte de cima mostra o total de detecções por dia.



A Figura III.4.4.1-2 apresenta um espectrograma de 20 segundos de sinal, na faixa de frequência de 0 a 320 Hz, mostrando o sinal encontrado num dos trechos com maior densidade de detecção na Figura III.4.4.1-1. Uma busca não exaustiva em alguns outros trechos mostraram sinais semelhantes. No áudio, estes sinais soam como grunhidos, ocorrendo em tempos bem curtos, em torno de 0,5 segundos, com frequência central em torno de 120 Hz e uma variação negativa de frequência (*downsweep*) em torno de 50 Hz.

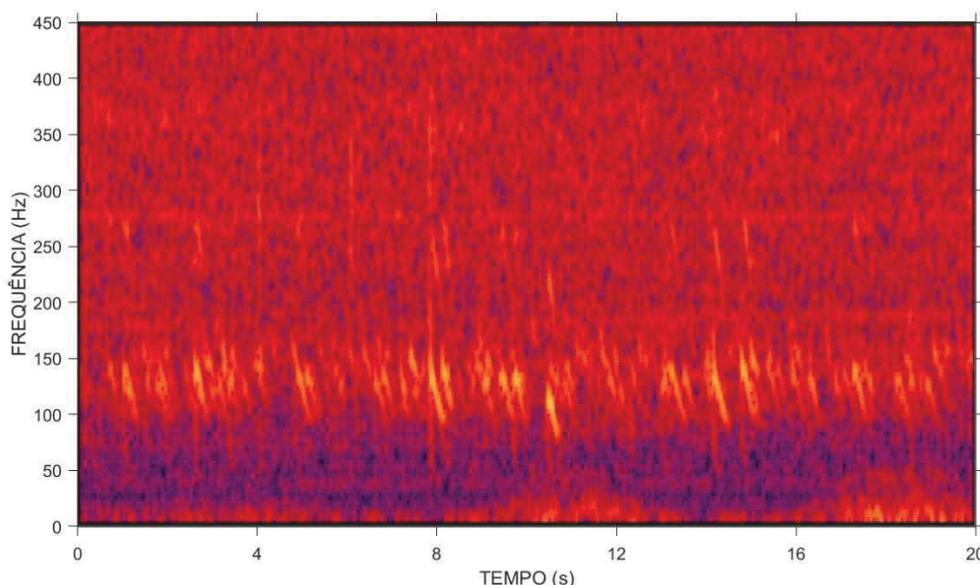


Figura III.4.4.1-2: Espectrograma de banda estreita mostrando 20 segundos de sinal num dos trechos de maior densidade de detecções da Figura III.4.4.1-1-C.

A Figura III.4.4.1-3 mostra o número de detecções por dia (parte de cima dos gráficos) e sua distribuição ao longo de cada dia (parte de baixo dos gráficos), para detecções classificadas como “Grunhidos”, na banda MF para os OS1 e OS1A. A detecção de “Grunhidos” apresenta padrões horários mais definidos, em especial entre 0 e 5 horas do dia.

A Figura III.4.4.1-4 apresenta um espectrograma de 20 segundos de sinal, na faixa de frequência de 0 a 2.000 Hz, mostrando o sinal encontrado num dos trechos com maior densidade de detecção na Figura III.4.4.1-3, sendo visto também em alguns outros trechos. No áudio estes sinais parecem com grunhidos, com duração em torno de 100 milissegundos, com frequência central em cerca de 1.300 Hz e variação negativa de frequência da ordem de 200 Hz.



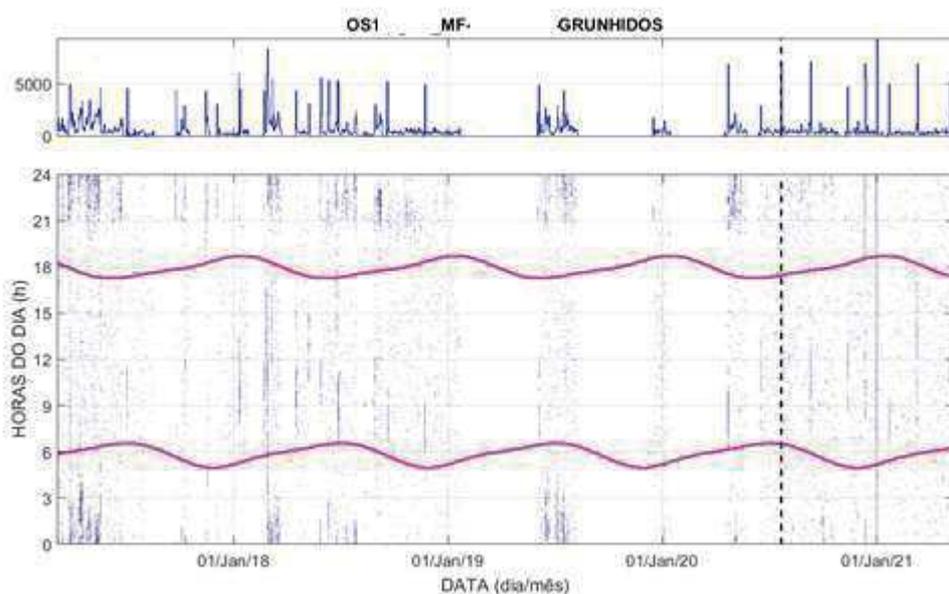


Figura III.4.4.1-3: Número de detecções de vocalizações classificadas como “Grunhidos” para os OS1 e OS1A, na Baía de Guanabara, na faixa de média frequência (MF). A parte de baixo mostra o número de detecções distribuído pelas horas do dia, para cada dia. A parte de cima mostra o total de detecções por dia.

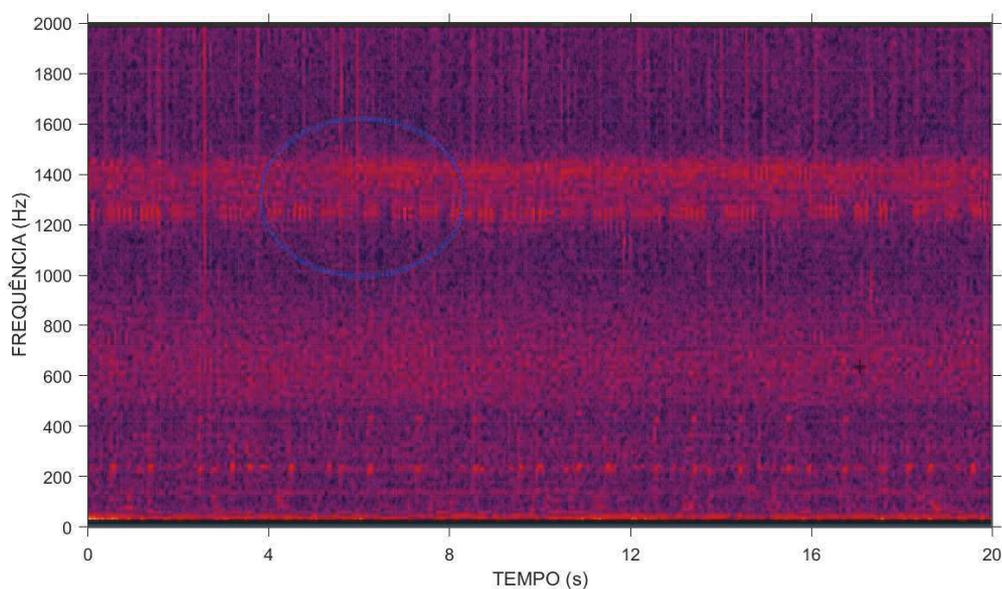


Figura III.4.4.1-4: Espectrograma de banda estreita mostrando 20 segundos de sinal num dos trechos de maior densidade de detecções da Figura III.4.4.1-3.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

III.4.4.2 OS2 – Baía de Ilha Grande

A Figura III.4.4.2-1 mostra o número de detecções por dia (parte de cima dos gráficos) e sua distribuição ao longo de cada dia (parte de baixo dos gráficos), para detecções classificadas como “Gemidos”, para a banda LF para o OS2. Em alguns dias do ano ocorre um aumento de detecções que duram quase todo o dia.

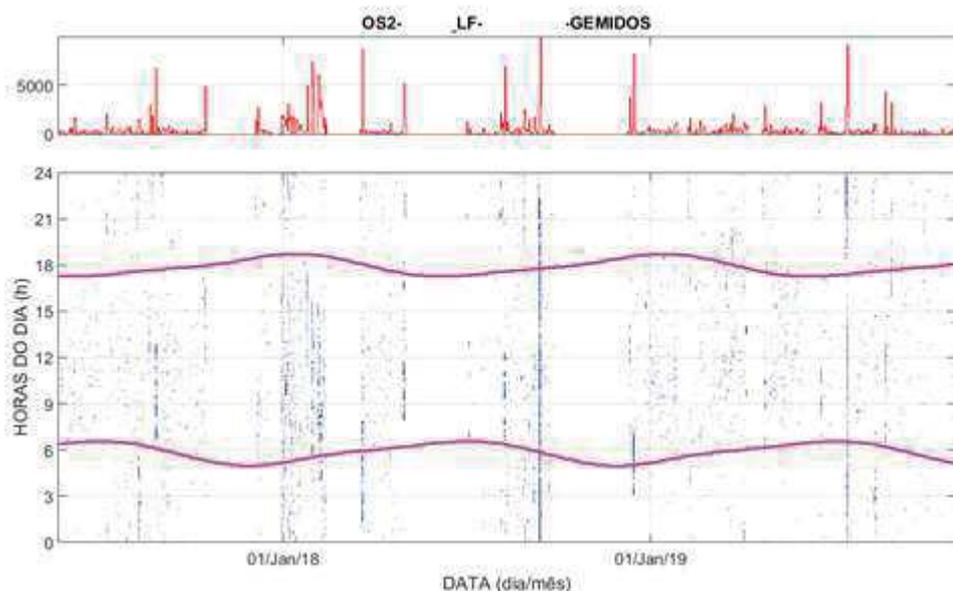


Figura III.4.4.2-1: Número de detecções de vocalizações classificadas como “Gemidos” para os OS2, na Baía de Ilha Grande, na faixa de baixa frequência (LF). A parte de baixo mostra o número de detecções distribuído pelas horas do dia, para cada dia. A parte de cima mostra o total de detecções por dia.

A Figura III.4.4.2-2 mostra um espectrograma com duração de 20 segundos mostrando um sinal que foi detectado num trecho com maior densidade de detecção na Figura III.4.4.2-1. O áudio deste trecho mostra gemidos que podem ter sido originados por misticetos. Neste trecho, os sinais têm frequência central em torno de 220 Hz e modulações na frequência variando em quase 200 Hz. A duração das vocalizações ficou em torno de um segundo. Algumas destas vocalizações, ou trechos delas, podem ter sido detectadas como se fossem “Grunhidos”, podendo ser o motivo dos mapas de detecção para “Gemidos” e “Grunhidos” terem ficado parecidos.

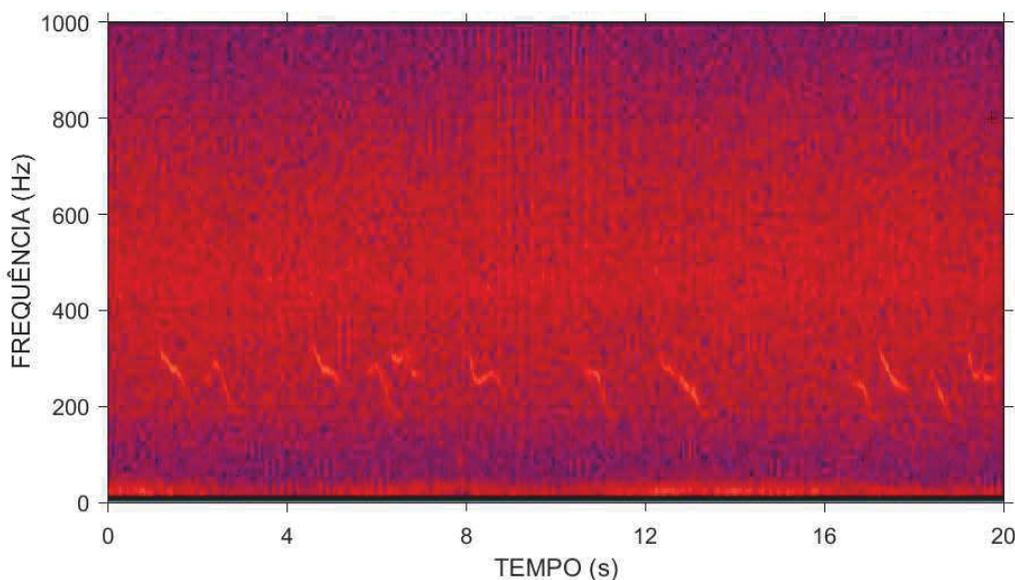


Figura III.4.4.2-2: Espectrograma de banda estreita mostrando 20 segundos de sinal num dos trechos de maior densidade de detecções da Figura III.4.4.2-1.

A Figura III.4.4.2-3 mostra o número de detecções por dia (parte de cima dos gráficos) e sua distribuição ao longo de cada dia (parte de baixo dos gráficos), para detecções classificadas como “Grunhidos”, para a banda LF para o OS2. As detecções do tipo “Gemidos” e “Grunhidos” ocorrem com padrões parecidos, com um aumento de detecções que duram quase todo o dia em alguns dias do ano.

A Figura III.4.4.2-4 mostra um sinal encontrado num trecho com maior densidade da Figura III.4.4.2-3, com o áudio parecendo com um gemido “rouco”, ou seja, como se estivesse raspando alguma coisa. A duração do sinal ficou em torno de 1 a 1,5 segundos e se destacou com frequências acima de 800 Hz, mas com várias linhas acima desta frequência, separadas por cerca de 70 Hz. No trecho apresentado, aparece um sinal contínuo que tem características parecidas com o sinal destacado, mas com maiores energias em frequências mais baixas. Uma hipótese é que o sinal destacado corresponde ao sinal de uma única fonte próxima ao hidrofone, enquanto o sinal contínuo representa o som de um grande número destas fontes, mas posicionadas a uma distância maior do hidrofone.



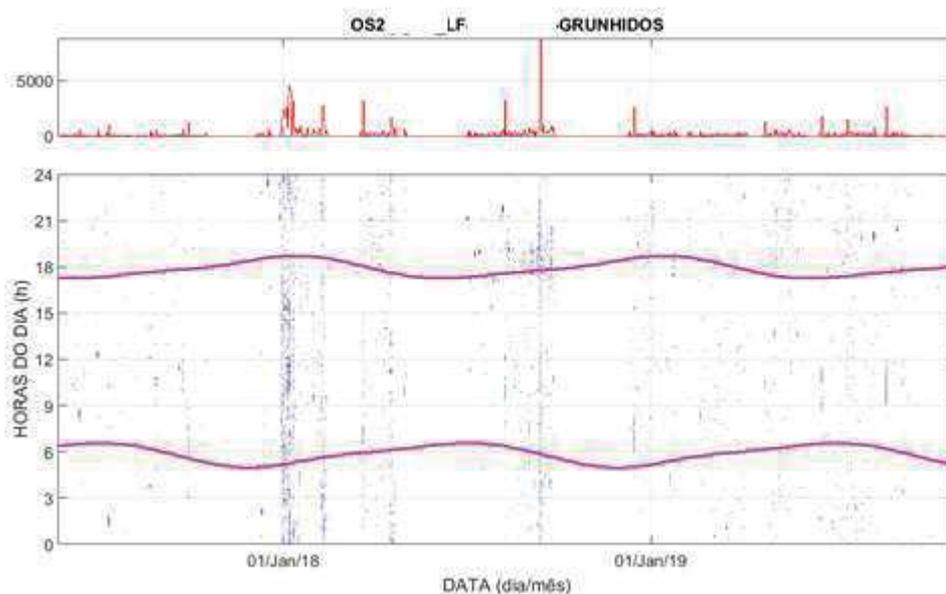


Figura III.4.4.2-3: Número de detecções de vocalizações classificadas como “Grunhidos” para os OS2, na Baía de Ilha Grande, na faixa de baixa frequência (LF). A parte de baixo mostra o número de detecções distribuído pelas horas do dia, para cada dia. A parte de cima mostra o total de detecções por dia.

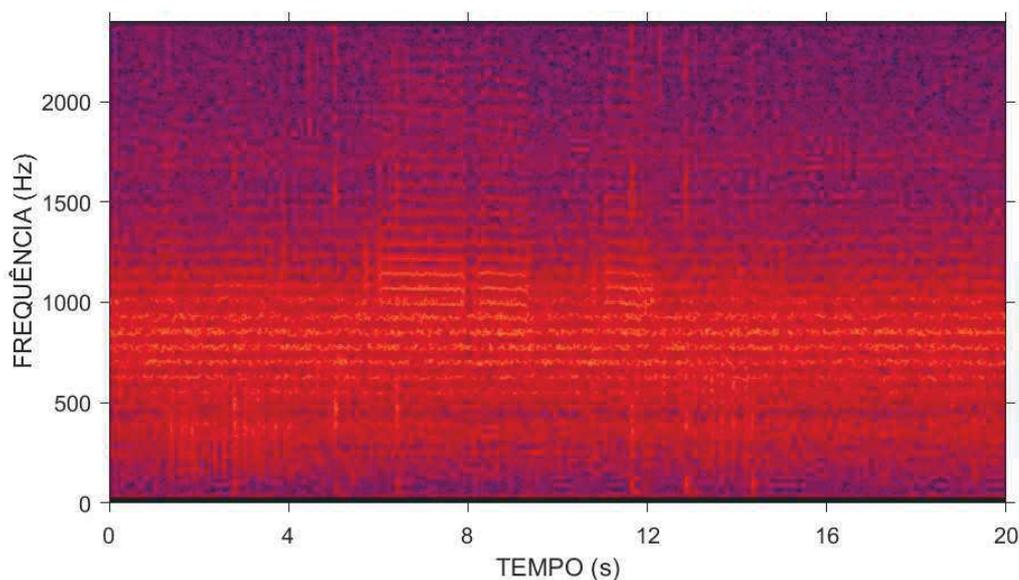


Figura III.4.4.2-4: Espectrograma de banda estreita mostrando 20 segundos de sinal num dos trechos de maior densidade de detecções da Figura III.4.4.1-3.

A Figura III.4.4.2-5 mostra o número de detecções por dia (parte de cima dos gráficos) e sua distribuição ao longo de cada dia (parte de baixo dos gráficos), para detecções classificadas como “Assobios” para a banda MF no OS2. As

detecções ocorrem praticamente durante todo o tempo, com predominância entre as 15 horas de um dia até antes das 10 horas do dia seguinte.

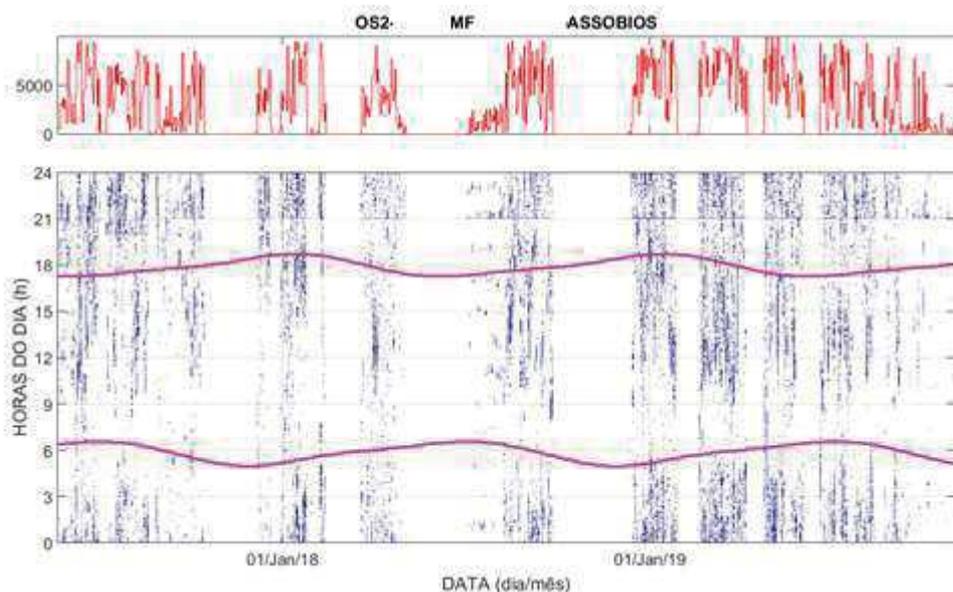


Figura III.4.4.2-5: Número de detecções de vocalizações classificadas como “Assobios” para os OS2, na Baía de Ilha Grande, na faixa de média frequência (MF). A parte de baixo mostra o número de detecções distribuído pelas horas do dia, para cada dia. A parte de cima mostra o total de detecções por dia.

A Figura III.4.4.2-6 mostra um sinal encontrado num trecho com maior densidade de detecções da Figura III.4.4.2-5. São observadas vocalizações com duração em torno de 0,5 a 1 segundo, ocorrendo na faixa de frequência de 7 a 20 kHz. No áudio, são ouvidos assobios cuja fonte provável são os odontocetos.

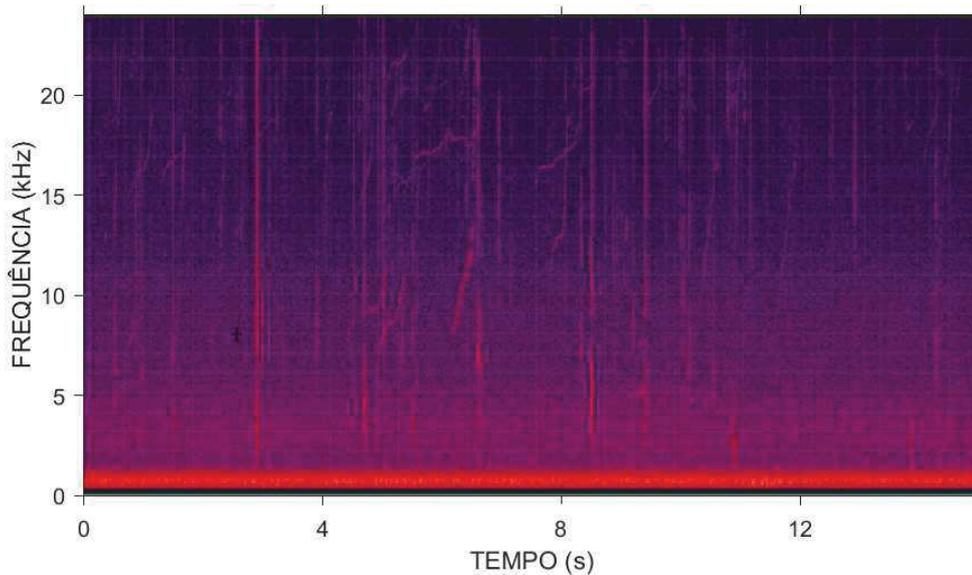


Figura III.4.4.2-6: Espectrograma de banda estreita mostrando 15 segundos de sinal num dos trechos de maior densidade de detecções da Figura III.4.4.2-5.

A Figura III.4.4.2-7 mostra o número de detecções por dia (parte de cima dos gráficos) e sua distribuição ao longo de cada dia (parte de baixo dos gráficos), para detecções classificadas como “Grunhidos” para a banda MF no OS2. As detecções ocorrem do final da noite até o início da manhã.

A Figura III.4.4.2-8 mostra um sinal encontrado num trecho com maior densidade de detecções da Figura III.4.4.2-7. São observadas vocalizações com duração em torno de 100 milissegundos, com frequência central em 1.200 Hz e variação de frequência negativa em torno de 400 Hz. No áudio, se parecem com assobios modulados curtos, que ocorrem agrupados.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

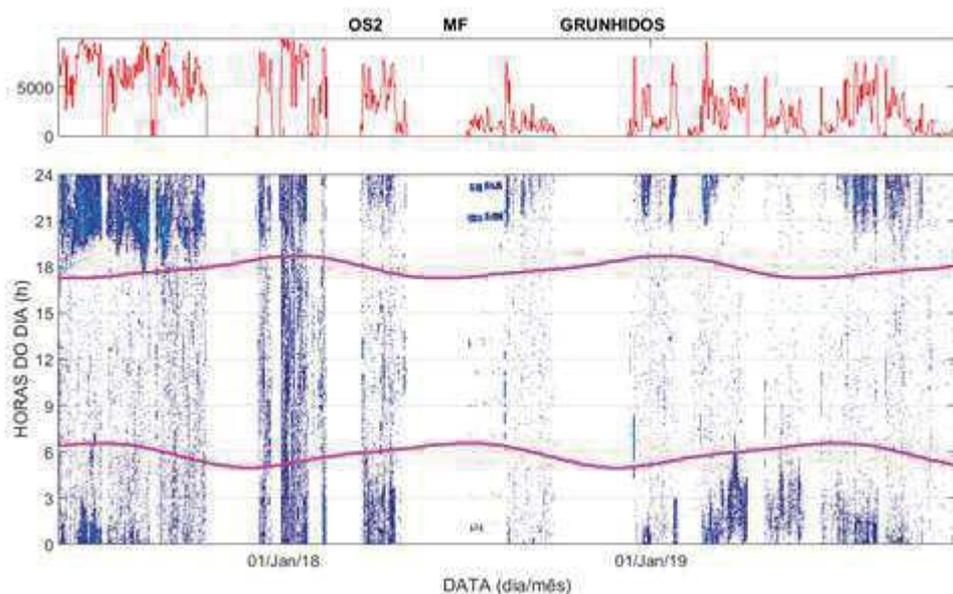


Figura III.4.4.2-7: Número de detecções de vocalizações classificadas como “Grunhidos” para os OS2, na Baía de Ilha Grande, na faixa de média frequência (MF). A parte de baixo mostra o número de detecções distribuído pelas horas do dia, para cada dia. A parte de cima mostra o total de detecções por dia.

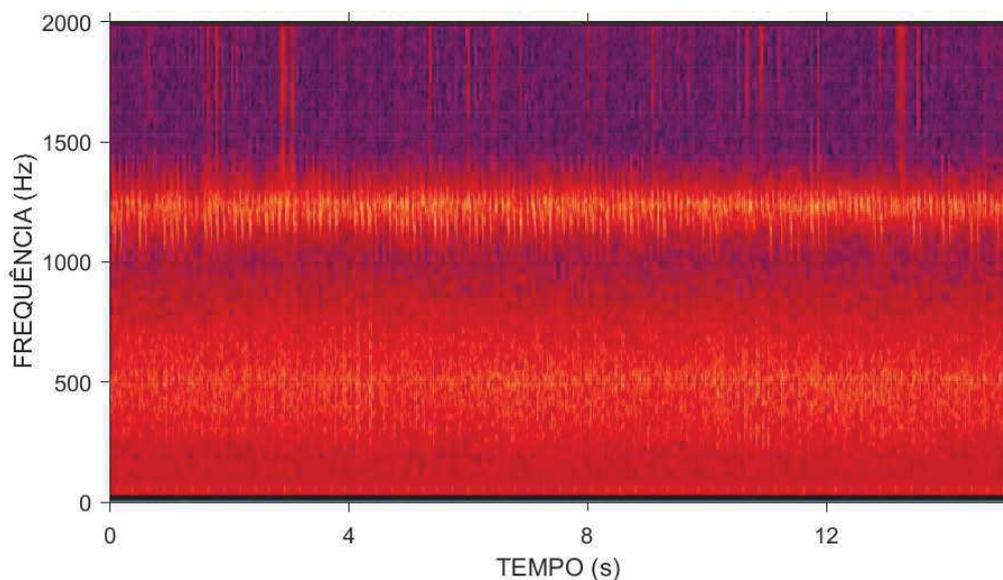


Figura III.4.4.2-8: Espectrograma de banda estreita mostrando 15 segundos de sinal num dos trechos de maior densidade de detecções da Figura III.4.4.2-7.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

III.4.4.3 OS2R – Oeste de Ilha Grande

Para a banda LF, foram detectadas poucas vocalizações dos tipos “Assobios” e “Gemidos” no OS2R e nenhum sinal de vocalização claro desses tipos foi encontrado numa busca não exaustiva nos dados.

A Figura III.4.4.3-1 mostra o número de detecções por dia (parte de cima dos gráficos) e sua distribuição ao longo de cada dia (parte de baixo dos gráficos), para detecções classificadas como “Grunhidos” para a banda LF no OS2R. As detecções de “Grunhidos” foram poucas, com pequenos trechos com mais detecções em locais variados, tendo sido encontrados alguns sinais característicos deste tipo de sinal.

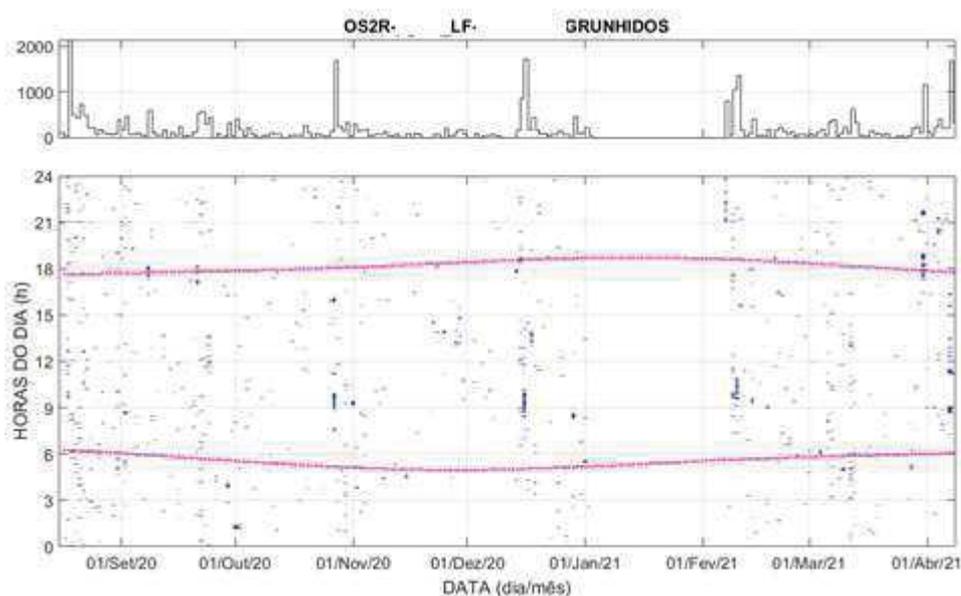


Figura III.4.4.3-1: Número de detecções de vocalizações classificadas como “Grunhidos” para o OS2R, no lado oeste de Ilha Grande, na faixa de baixa frequência (LF). A parte de baixo mostra o número de detecções distribuído pelas horas do dia, para cada dia. A parte de cima mostra o total de detecções por dia.

A Figura III.4.4.3-2 mostra sinais encontrados num trecho com maior densidade de detecções da Figura III.4.4.3-1. Estes sinais ocorrem na faixa de frequência entre 50 Hz e 250 Hz, com duração em torno de 400 milissegundos. No áudio, o sinal se parece com grunhidos.

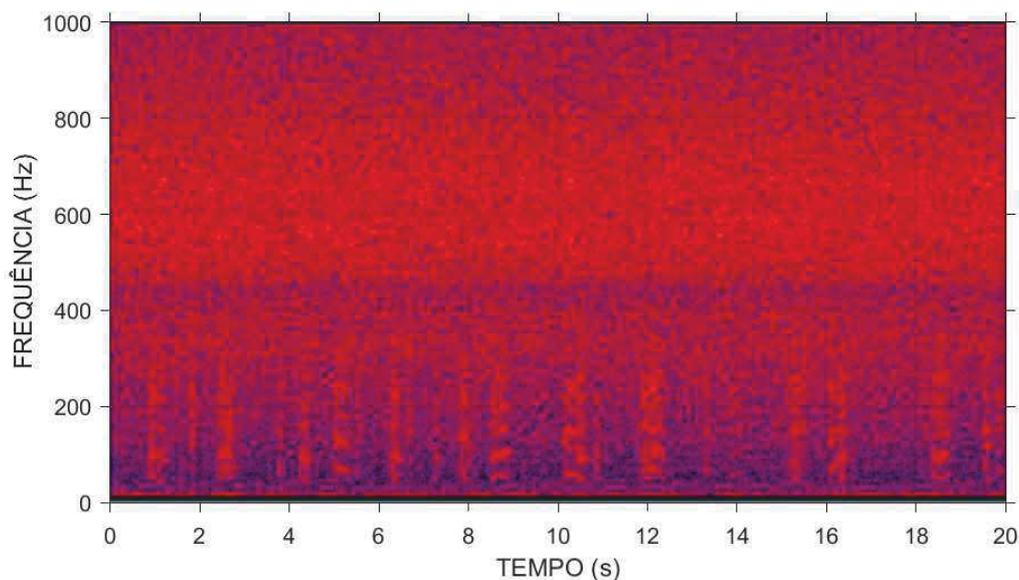


Figura III.4.4.3-2: Espectrograma de banda estreita mostrando 20 segundos de sinal num dos trechos de maior densidade de detecções da Figura III.4.4.3-1.

A Figura III.4.4.3-3 mostra o número de detecções por dia (parte de cima dos gráficos) e sua distribuição ao longo de cada dia (parte de baixo dos gráficos), para detecções classificadas como “Assobios” para a banda MF no OS2R. As detecções apareceram durante todo o período, com maior intensidade no final da noite.

A Figura III.4.4.3-4 mostra um sinal encontrado num trecho com maior densidade de detecções da Figura III.4.4.3-3. São observadas vocalizações com duração em torno de 0,5 a 1 segundo, ocorrendo na faixa de frequência de 7 a 24 kHz. No áudio, são ouvidos assobios cuja fonte provável são odontocetos.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

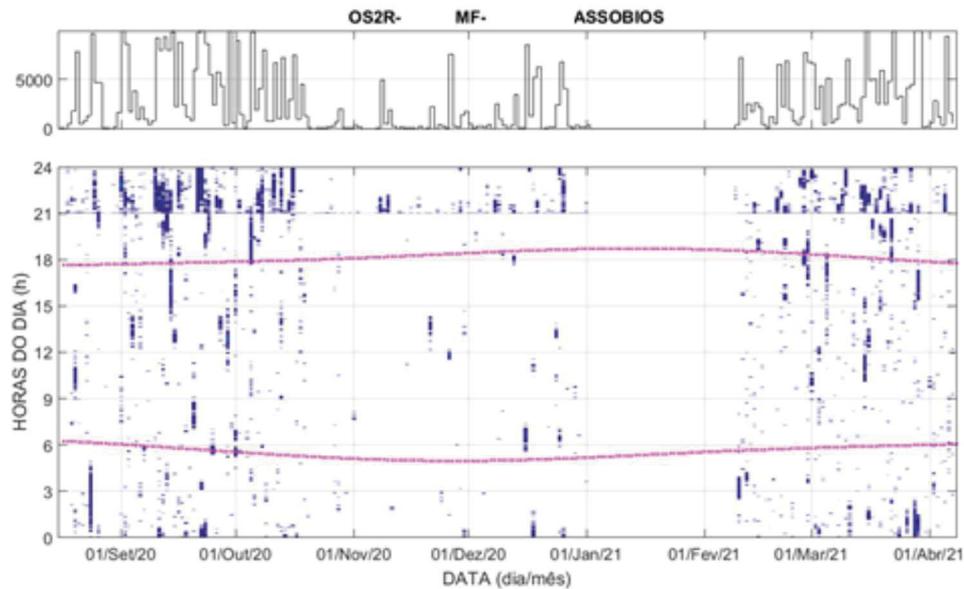


Figura III.4.4.3-3: Número de detecções de vocalizações classificadas como “Assobios” para o OS2R, no lado oeste de Ilha Grande, na faixa de média frequência (MF). A parte de baixo mostra o número de detecções distribuído pelas horas do dia, para cada dia. A parte de cima mostra o total de detecções por dia.

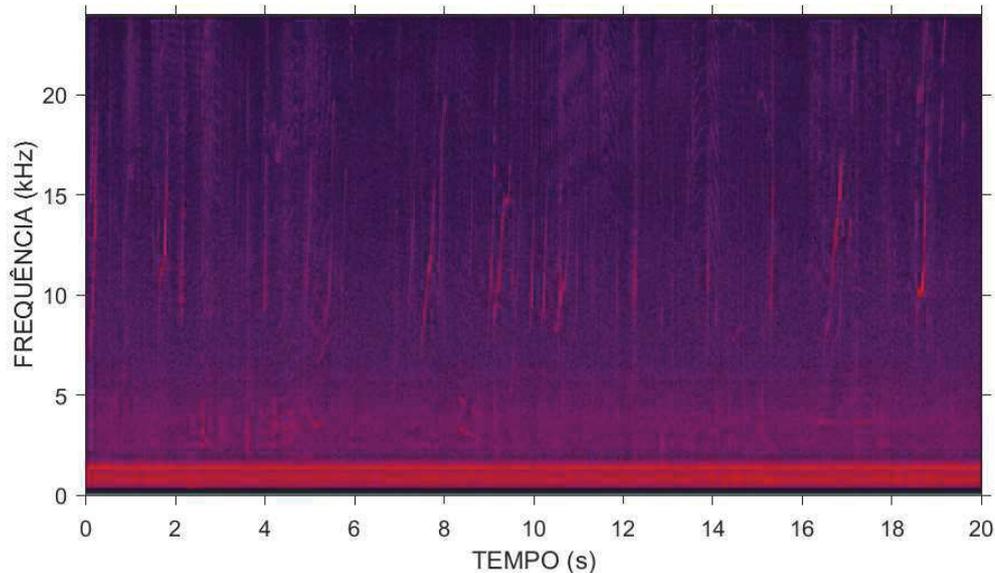


Figura III.4.4.3-4: Espectrograma de banda estreita mostrando 20 segundos de sinal num dos trechos de maior densidade de detecções da Figura III.4.4.3-3.

A Figura III.4.4.3-5 mostra o número de detecções por dia (parte de cima dos gráficos) e sua distribuição ao longo de cada dia (parte de baixo dos gráficos), para detecções classificadas como “Grunhidos” para a banda MF no OS2R. As

deteccões ocorreram por quase todo o período analisado, indo do final da noite para o início da manhã.

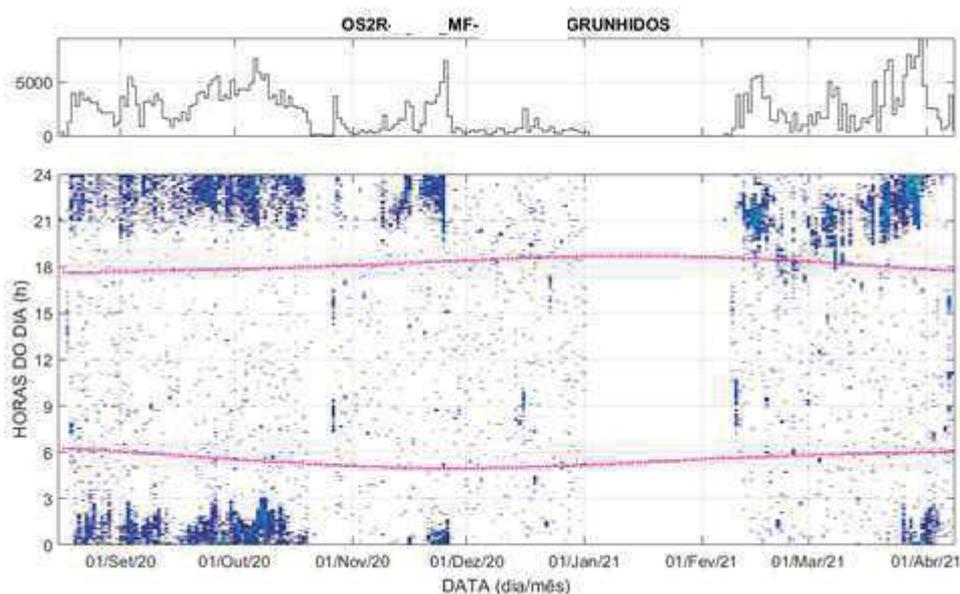


Figura III.4.4.3-5: Número de deteções de vocalizações classificadas como “Grunhidos” para o OS2R, no lado oeste de Ilha Grande, na faixa de média frequência (MF). A parte de baixo mostra o número de deteções distribuído pelas horas do dia, para cada dia. A parte de cima mostra o total de deteções por dia.

A Figura III.4.4.3-6 mostra um sinal encontrado num trecho com maior densidade de deteções da Figura III.4.4.3-5. São observadas vocalizações com duração em torno de 200 milissegundos, com frequência central em torno de 1 kHz e com uma variação negativa de frequência em torno de 200 Hz. No áudio, são ouvidos grunhidos.

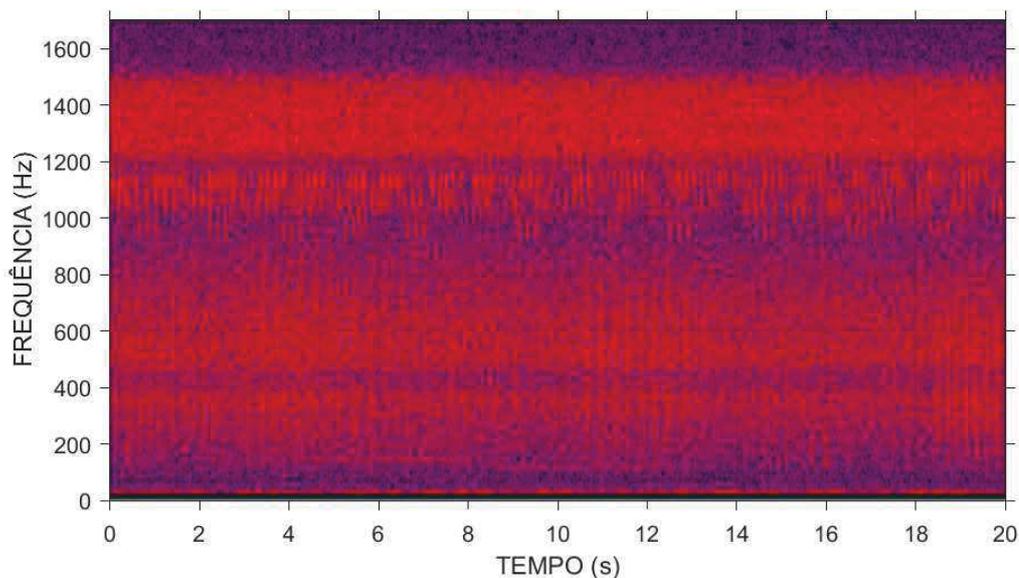


Figura III.4.4.3-6: Espectrograma de banda estreita mostrando 20 segundos de sinal num dos trechos de maior densidade de detecções da Figura III.4.4.3-5.

III.4.4.4 OS3 – Canal de São Sebastião

Na banda LF, foram detectadas poucas vocalizações do tipo “Assobios” e nenhum sinal característico de vocalização desse tipo foi encontrado numa busca não exaustiva nos dados.

A Figura III.4.4.4-1 mostra o número de detecções por dia (parte de cima dos gráficos) e sua distribuição ao longo de cada dia (parte de baixo dos gráficos), para detecções classificadas como “Gemidos” para a banda LF no OS3. As detecções ocorreram praticamente durante todo o dia em torno do mês de julho dos anos de 2017, 2018 e 2019.

A Figura III.4.4.4-2 mostra um sinal encontrado num trecho com maior densidade de detecções da Figura III.4.4.4-1. São observadas vocalizações com duração em torno de um segundo, com frequência central em torno de 200 e 400 Hz. No áudio, soam como gemidos de misticetos. Outros tipos diferentes de gemidos obtidos são apresentados na Figura III.4.4.4-3.

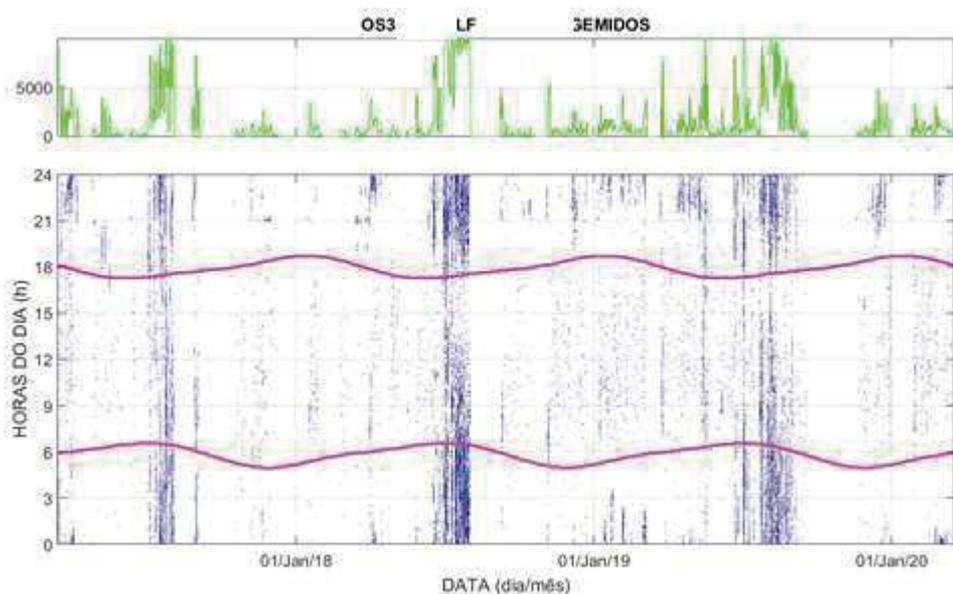


Figura III.4.4.4-1: Número de detecções de vocalizações classificadas como “Gemidos” para os OS3, no Canal de São Sebastião, na faixa de baixa frequência (LF). A parte de baixo mostra o número de detecções distribuído pelas horas do dia, para cada dia. A parte de cima mostra o total de detecções por dia.

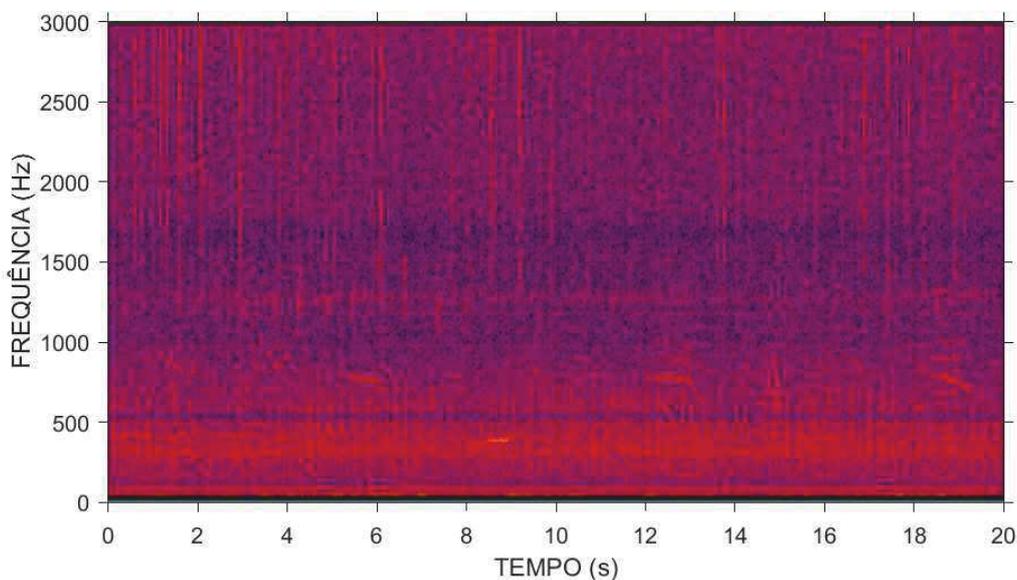


Figura III.4.4.4-2: Espectrograma de banda estreita mostrando 20 segundos de sinal num dos trechos de maior densidade de detecções da Figura III.4.4.4-1.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

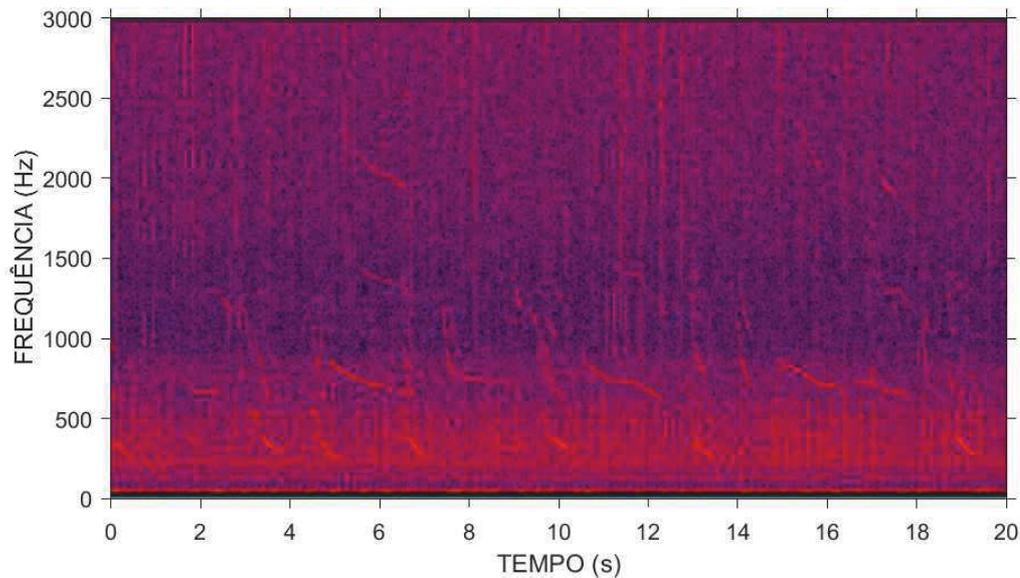


Figura III.4.4.4-3: Espectrograma de banda estreita mostrando 20 segundos de sinal num dos trechos de maior densidade de detecções da Figura III.4.4.4-1.

A Figura III.4.4.4-4 mostra o número de detecções por dia (parte de cima dos gráficos) e sua distribuição ao longo de cada dia (parte de baixo dos gráficos), para detecções classificadas como “Grunhidos” para a banda LF no OS3. As detecções ocorreram de forma menos intensa nos mesmos períodos dos “Gemidos”, mas ocorreram também em torno das 21 horas, entre abril e junho de 2019.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

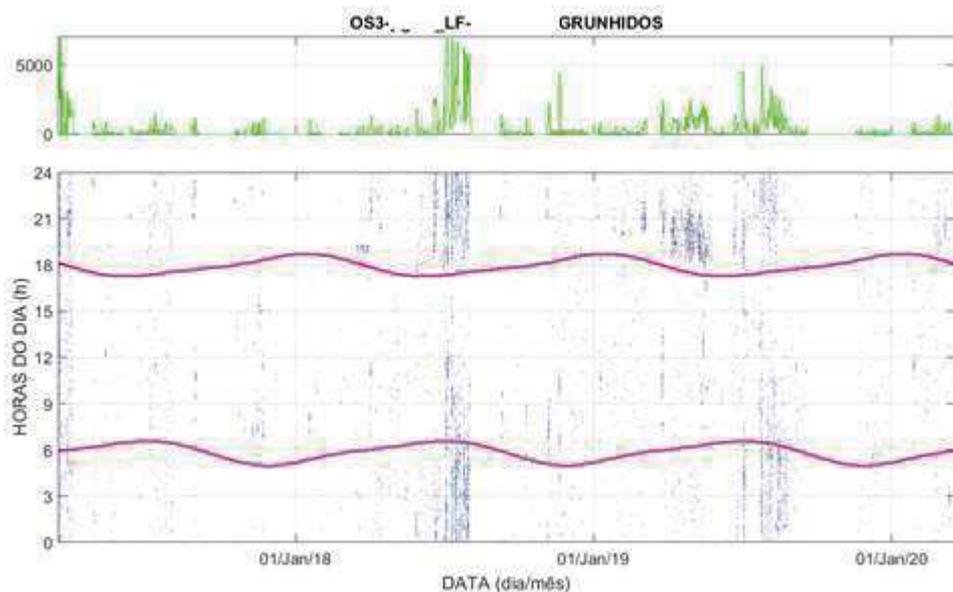


Figura III.4.4.4-4: Número de detecções de vocalizações classificadas como “Grunhidos” para os OS3, no Canal de São Sebastião, na faixa de baixa frequência (LF). A parte de baixo mostra o número de detecções distribuído pelas horas do dia, para cada dia. A parte de cima mostra o total de detecções por dia.

A Figura III.4.4.4-5 mostra um sinal encontrado num trecho com maior densidade de detecções da Figura III.4.4.4-4. São observadas vocalizações com duração em torno de meio segundo, com frequência central em torno de 200 Hz e variação negativa de frequência em torno de 100 Hz. No áudio, soam como grunhidos podendo ter sido originados por misticetos, devido ao aparecimento em conjunto com os gemidos mostrados nas figuras anteriores. São necessários estudos complementares voltados para a classificação, para tentar definir a origem correta destes sons.



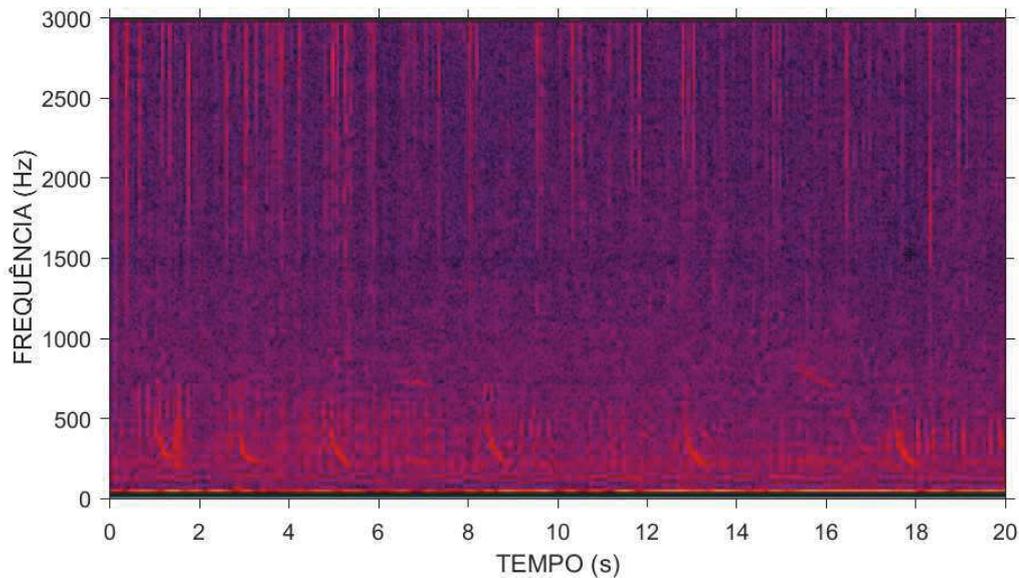


Figura III.4.4.4-5: Espectrograma de banda estreita mostrando 20 segundos de sinal num dos trechos de maior densidade de detecções da Figura III.4.4.4-4.

A Figura III.4.4.4-6 mostra o número de detecções por dia (parte de cima dos gráficos) e sua distribuição ao longo de cada dia (parte de baixo dos gráficos), para detecções classificadas como “Assobios” para a banda MF no OS3. As detecções apareceram um pouco mais no ano de 2019.

A Figura III.4.4.4-7 mostra um sinal encontrado num trecho com maior densidade de detecções da Figura III.4.4.4-6. São observadas vocalizações com duração em torno de um segundo, ocorrendo na faixa de frequência de 5 a 24 kHz. No áudio, soam como assobios podendo ter sido originados por odontocetos.

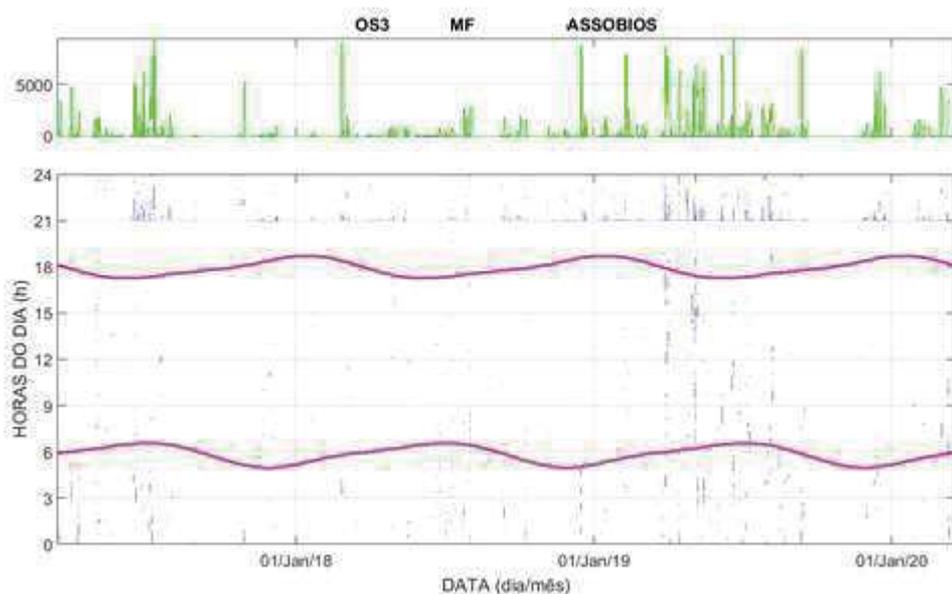


Figura III.4.4.4-6: Número de detecções de vocalizações classificadas como “Assobios” (A) e “Grunhidos” (B) para os OS3, no Canal de São Sebastião, na faixa de média frequência (MF). A parte de baixo mostra o número de detecções distribuído pelas horas do dia, para cada dia. A parte de cima mostra o total de detecções por dia.

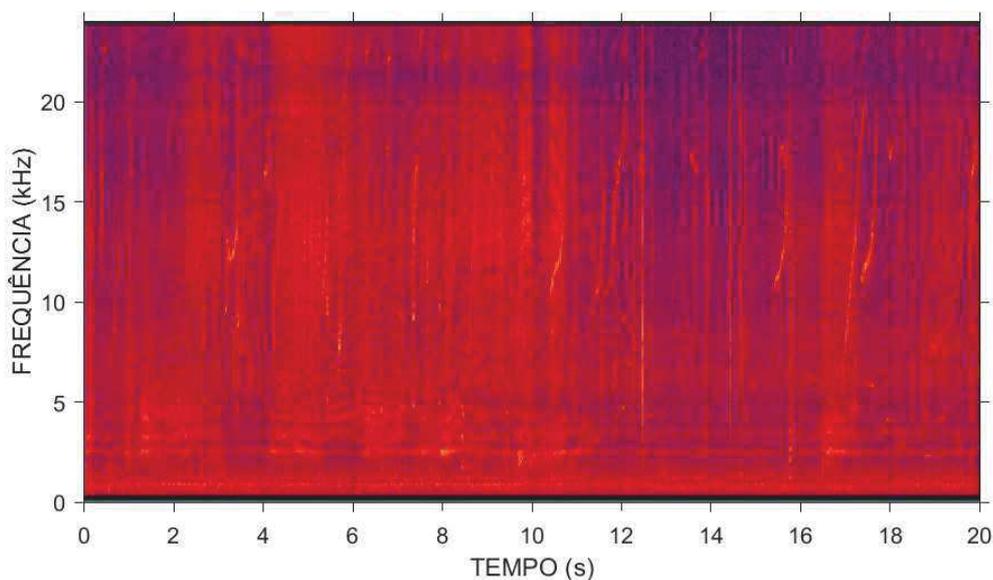


Figura III.4.4.4-7: Espectrograma de banda estreita mostrando 20 segundos de sinal num dos trechos de maior densidade de detecções da Figura III.4.4.4-6.

A Figura III.4.4.4-8 mostra o número de detecções por dia (parte de cima dos gráficos) e sua distribuição ao longo de cada dia (parte de baixo dos gráficos), para detecções classificadas como “Grunhidos” para a banda MF no OS3. As



detecções ocorreram em alguns trechos entre janeiro e junho para os anos de 2017, 2018 e 2019, entre o final da noite e o início da manhã.

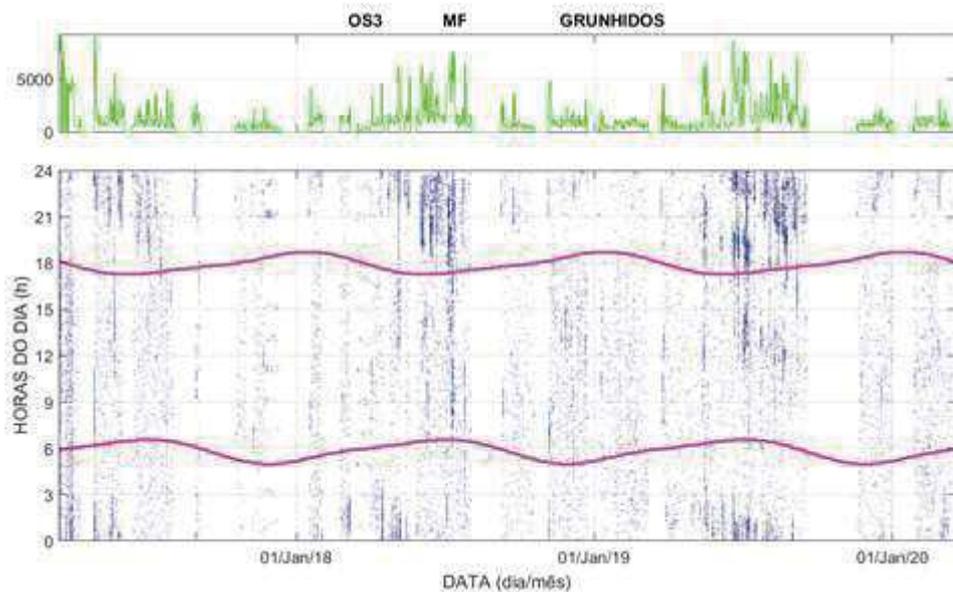


Figura III.4.4.4-8: Número de detecções de vocalizações classificadas como "Grunhidos" para os OS3, no Canal de São Sebastião, na faixa de média frequência (MF). A parte de baixo mostra o número de detecções distribuído pelas horas do dia, para cada dia. A parte de cima mostra o total de detecções por dia.

A Figura III.4.4.4-9 mostra um sinal encontrado num trecho com maior densidade de detecções da Figura III.4.4.4-8. São observadas vocalizações com duração em torno de 100 milissegundos, com frequência central em torno de 1 kHz e variação negativa de frequência em torno de 200 Hz.

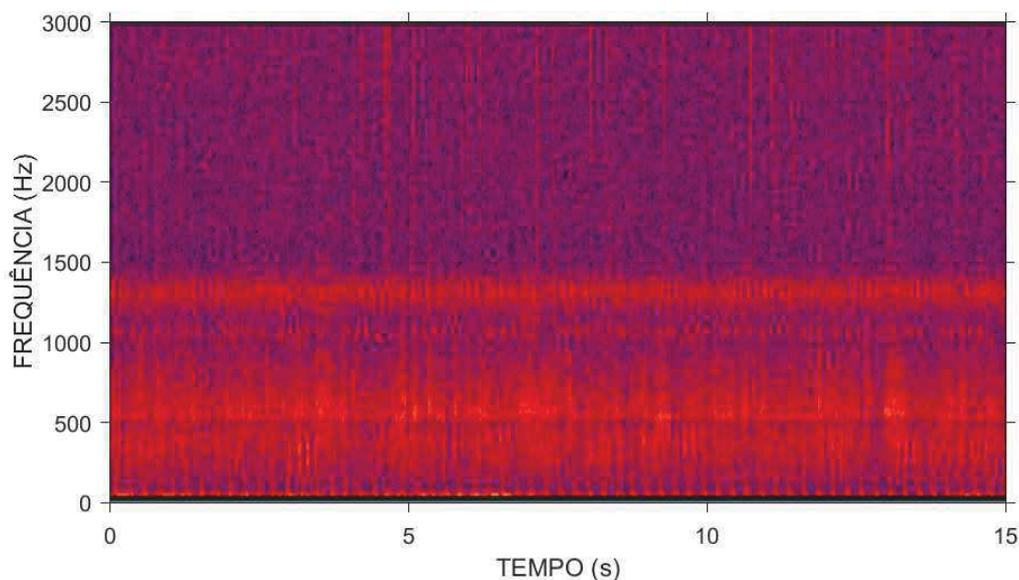


Figura III.4.4.4-9: Espectrograma de banda estreita mostrando 15 segundos de sinal num dos trechos de maior densidade de detecções da Figura III.4.4.4-8.

III.4.4.5 OS3R e OS3R1– Ilhas Cagarras

A Figura III.4.4.5-1 mostra o número de detecções por dia (parte de cima dos gráficos) e sua distribuição ao longo de cada dia (parte de baixo dos gráficos), para detecções classificadas como “Assobios” para a banda LF nos OS3R e OS3R1. Foram detectadas poucas vocalizações do tipo “Assobios”.

A Figura III.4.4.5-2 mostra um sinal encontrado num trecho com maior densidade de detecções da Figura III.4.4.5-1. São observados assobios com duração em torno de 1 segundo e variando a frequência entre 1,5 e 2 kHz.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

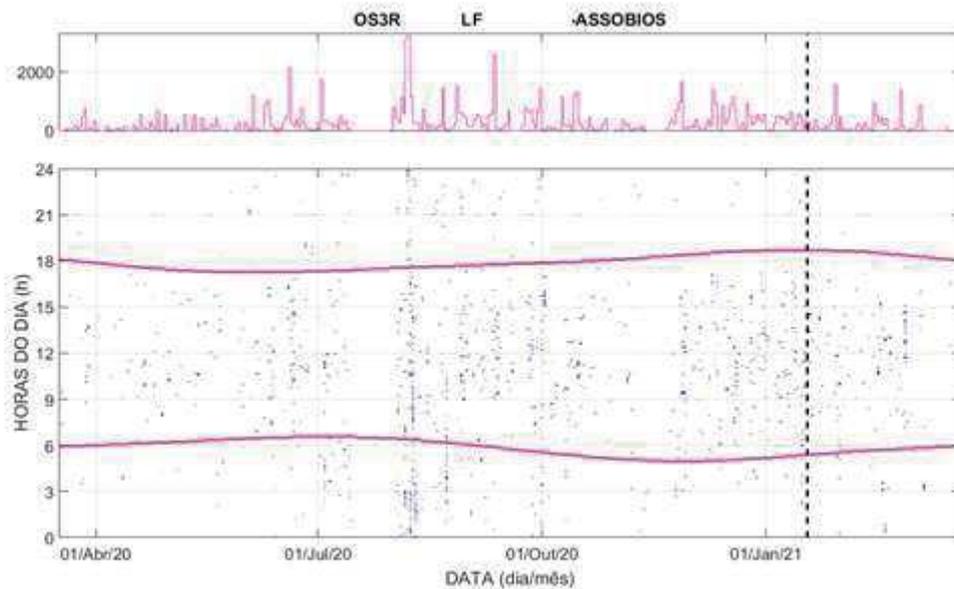


Figura III.4.4.5-1: Número de detecções de vocalizações classificadas como “Assobios” para os OS3R e OS3R1, nas Ilhas Cagarras, na faixa de baixa frequência (LF). A parte de baixo mostra o número de detecções distribuído pelas horas do dia, para cada dia. A parte de cima mostra o total de detecções por dia.

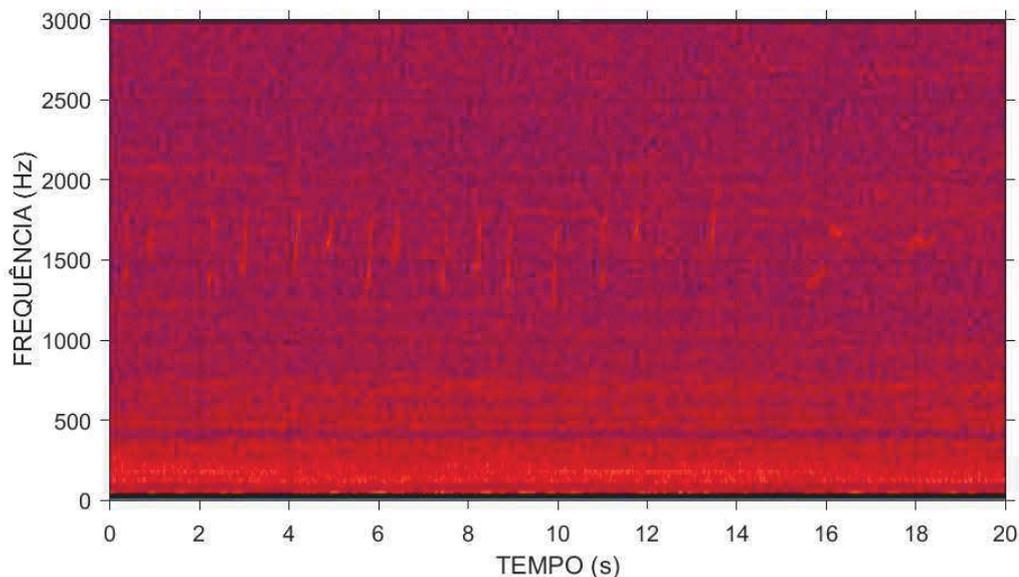


Figura III.4.4.5-2: Espectrograma de banda estreita mostrando 20 segundos de sinal num dos trechos de maior densidade de detecções da Figura III.4.4.5-1.

A Figura III.4.4.5-3 mostra o número de detecções por dia (parte de cima dos gráficos) e sua distribuição ao longo de cada dia (parte de baixo dos gráficos), para detecções classificadas como “Gemidos” para a banda LF nos OS3R e OS3R1. As detecções ocorreram principalmente na parte da madrugada e manhã, entre junho e outubro de 2020.

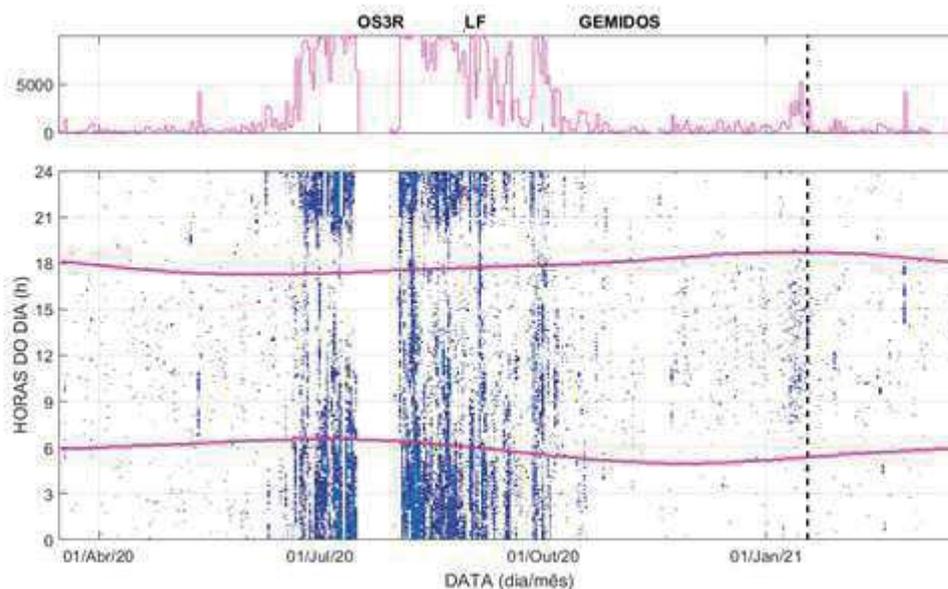


Figura III.4.4.5-3: Número de detecções de vocalizações classificadas como “Assobios” (A), “Gemidos” (B) e “Grunhidos” (C) para os OS3R e OS3R1, nas Ilhas Cagarras, na faixa de baixa frequência (LF). A parte de baixo mostra o número de detecções distribuído pelas horas do dia, para cada dia. A parte de cima mostra o total de detecções por dia.

A Figura III.4.4.5-4 mostra um sinal encontrado num trecho com maior densidade de detecções da Figura III.4.4.5-3. São observados gemidos com duração em torno de 1 segundo e variando a frequência entre 400 e 900 Hz.

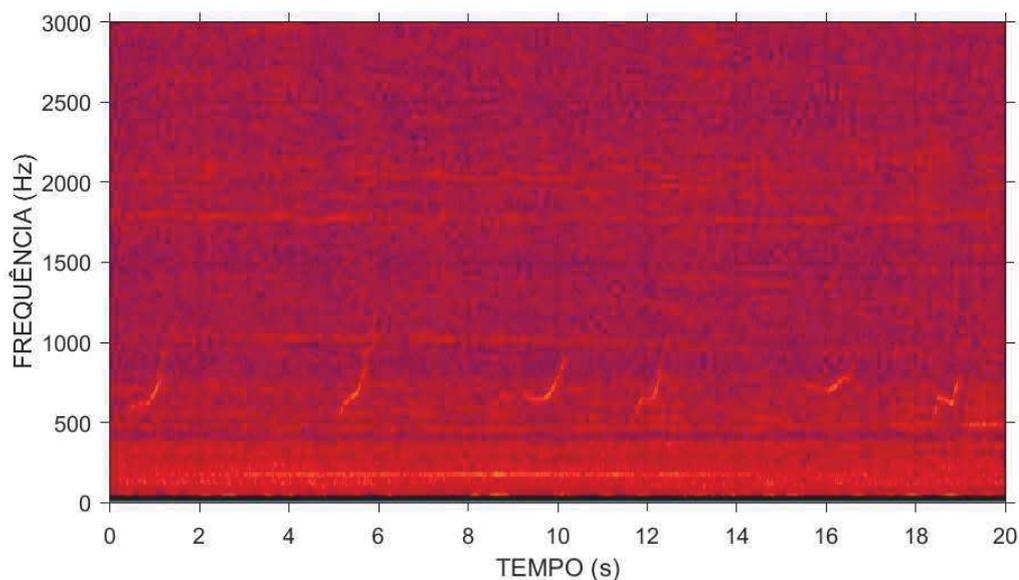


Figura III.4.4.5-4: Espectrograma de banda estreita mostrando 20 segundos de sinal num dos trechos de maior densidade de detecções da Figura III.4.4.5-3.

A Figura III.4.4.5-5 mostra o número de detecções por dia (parte de cima dos gráficos) e sua distribuição ao longo de cada dia (parte de baixo dos gráficos), para detecções classificadas como “Grunhidos” para a banda LF nos OS3R e OS3R1. As detecções ocorreram de forma menos intensa nos mesmos períodos dos “Gemidos”, mas ocorreram também em torno das 20 horas, para um período que vai de maio a outubro de 2020.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

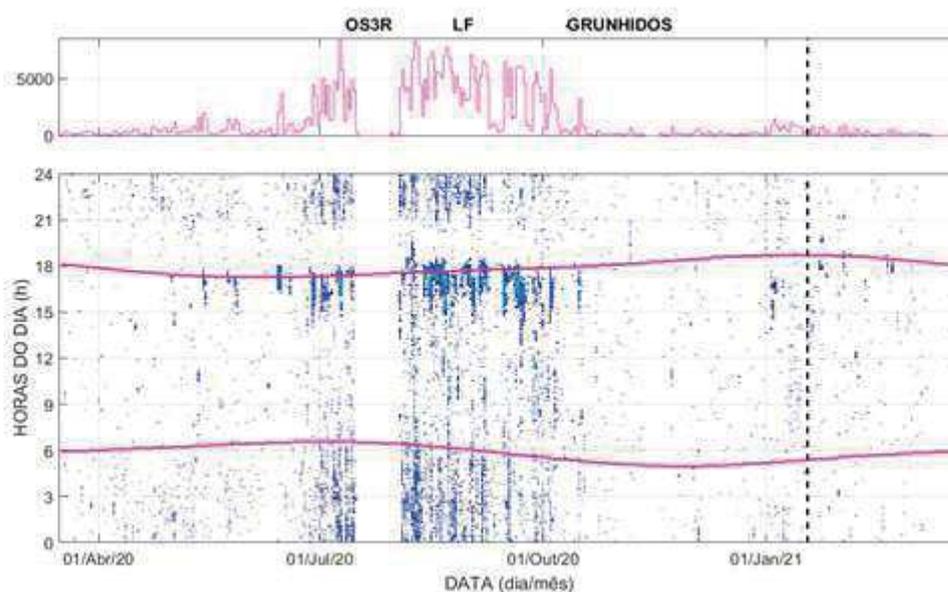


Figura III.4.4.5-5: Número de detecções de vocalizações classificadas como “Grunhidos” para os OS3R e OS3R1, nas Ilhas Cagarras, na faixa de baixa frequência (LF). A parte de baixo mostra o número de detecções distribuído pelas horas do dia, para cada dia. A parte de cima mostra o total de detecções por dia.

A Figura III.4.4.5-6 mostra um sinal encontrado num trecho com maior densidade de detecções da Figura III.4.4.5-5. São observados sinais que soam no áudio como grunhidos, com duração em torno de 300 milissegundos, com frequência central em 100 Hz e com variação negativa de frequência em torno de 60 Hz.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

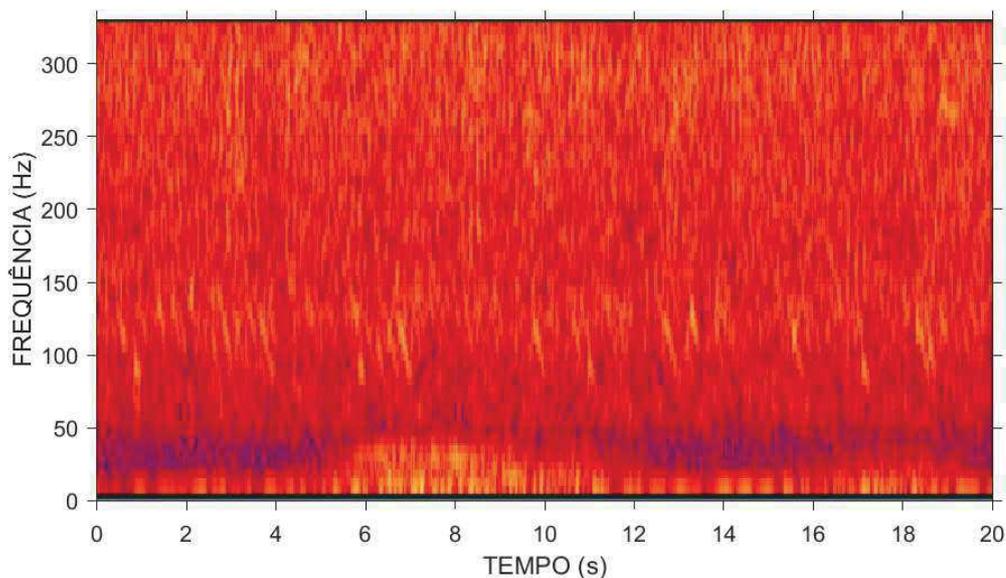


Figura III.4.4.5-6: Espectrograma de banda estreita mostrando 20 segundos de sinal num dos trechos de maior densidade de detecções da Figura III.4.4.5-5.

A Figura III.4.4.5-7 mostra o número de detecções por dia (parte de cima dos gráficos) e sua distribuição ao longo de cada dia (parte de baixo dos gráficos), para detecções classificadas como “Assobios” para a banda MF nos OS3R e OS3R1. As detecções ocorrem praticamente durante todo o tempo, com predominância pelo período da manhã.

A Figura III.4.4.5-8 mostra um sinal encontrado num trecho com maior densidade de detecções da Figura III.4.4.5-7. São observadas vocalizações com duração em torno de um segundo, ocorrendo na faixa de frequência de 7 a 20 kHz. No áudio, soam como assobios podendo ter sido originados por odontocetos.

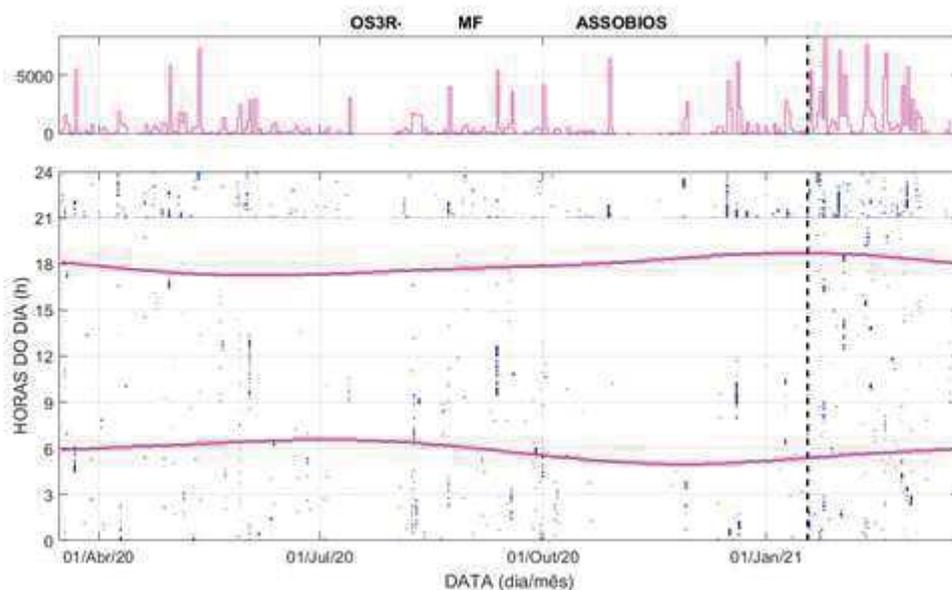


Figura III.4.4.5-7: Número de detecções de vocalizações classificadas como “Assobios” para os OS3R e OS3R1, nas Ilhas Cagarras, na faixa de média frequência (MF). A parte de baixo mostra o número de detecções distribuído pelas horas do dia, para cada dia. A parte de cima mostra o total de detecções por dia.

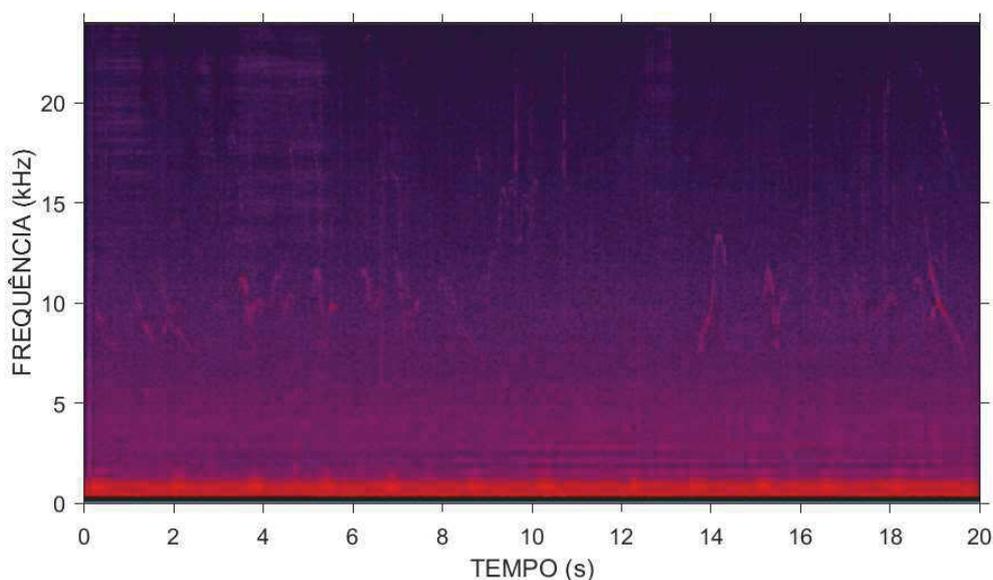


Figura III.4.4.5-8: Espectrograma de banda estreita mostrando 20 segundos de sinal num dos trechos de maior densidade de detecções da Figura III.4.4.5-7.

A Figura III.4.4.5-9 mostra o número de detecções por dia (parte de cima dos gráficos) e sua distribuição ao longo de cada dia (parte de baixo dos gráficos), para detecções classificadas como “Grunhidos” para a banda MF nos OS3R e



OS3R1. As detecções ocorreram em alguns trechos entre junho e outubro de 2020, no começo da madrugada, aparecendo também durante boa parte do dia em torno de agosto e outubro de 2020.

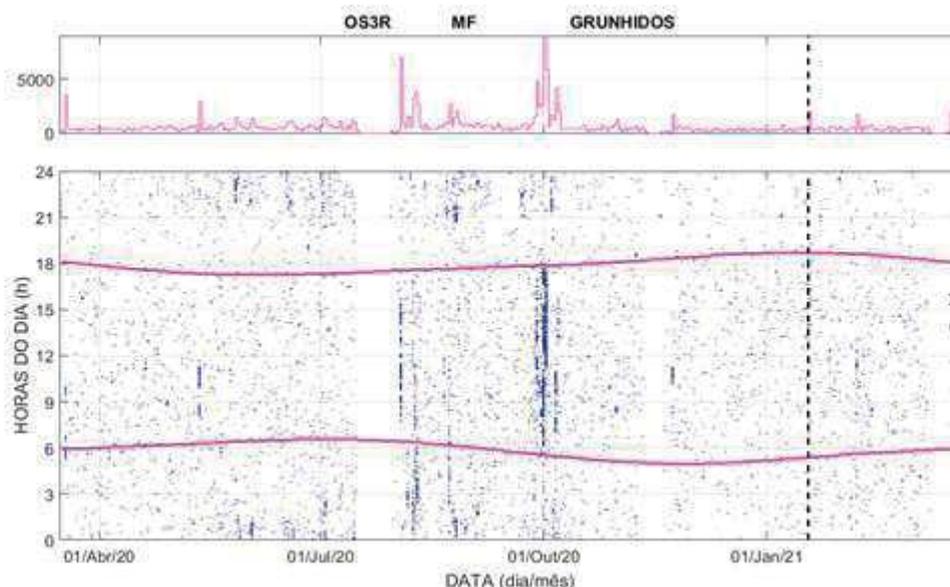


Figura III.4.4.5-9: Número de detecções de vocalizações classificadas como “Grunhidos” para os OS3R e OS3R1, nas Ilhas Cagarras, na faixa de média frequência (MF). A parte de baixo mostra o número de detecções distribuído pelas horas do dia, para cada dia. A parte de cima mostra o total de detecções por dia.

A Figura III.4.4.5-10 mostra um sinal encontrado num trecho com maior densidade de detecções da Figura III.4.4.5-9. São observadas vocalizações com duração em torno de 100 milissegundos, compostas por um sinal com frequência central em torno de 1.300 Hz e com variação negativa de frequência em torno de 200 Hz. No áudio, soam como um grunhido.

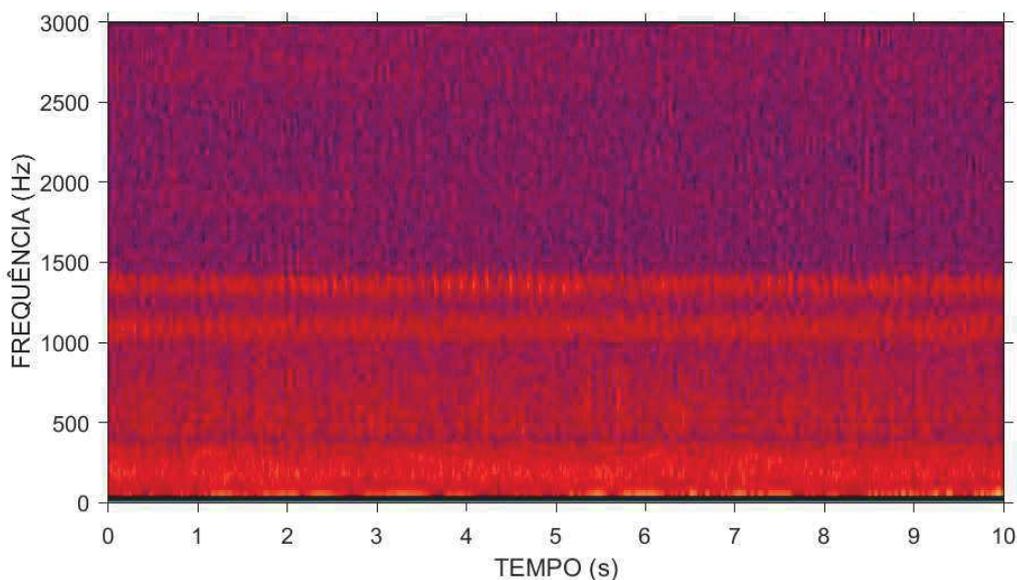


Figura III.4.4.5-10: Espectrograma de banda estreita mostrando 10 segundos de sinal num dos trechos de maior densidade de detecções da Figura III.4.4.5-9.

III.4.4.6 Comparação entre OSs

As Figuras III.4.4.6-1 a III.4.4.6-5 mostram a contagem de detecções para as faixas de baixa frequência (LF) e média frequência (MF), para as diferentes classes de ruído detectadas, para todos os OSs. Em relação à faixa LF, o maior número de detecções de “Assobios” (Figura III.4.4.6-1) ocorreu no período entre 10 e 15 horas do dia, com um maior número de detecções no OS2R. Durante o ano, o período de junho a agosto e dezembro foram os períodos com maiores detecções para o OS2R. Para os outros OSs, o número de detecções a cada mês é mais bem distribuído, mas observa-se uma redução comum a todos eles no mês de maio.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

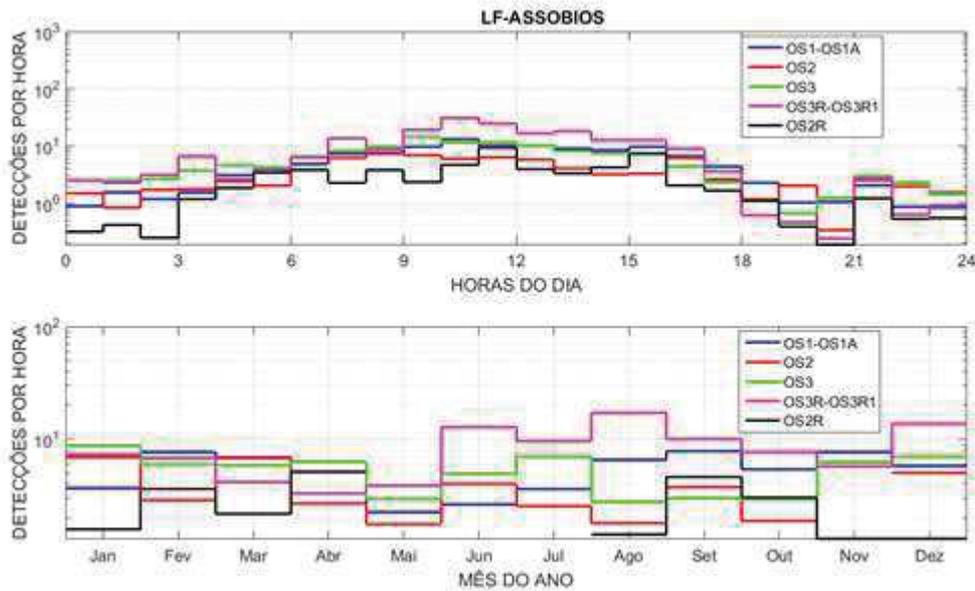


Figura III.4.4.6-1: Número de detecções na faixa de baixa frequências (LF) obtidas por hora do dia, no gráfico de cima e por mês do ano, no gráfico de baixo, para detecções classificadas como “Assobios”, para as posições OS1-OS1A, OS2, OS3 e OS3-OS3R1.

Em relação ao número de detecções de “Gemidos” (Figura III.4.4.6-2), as maiores contagens também ocorrem no OS2R, com maiores detecções entre as 21 horas de um dia até as 6 horas do dia seguinte e nos meses de julho e agosto. O OS3 fica atrás do OS2R, mas à frente de todos os outros OSs e as maiores contagens são obtidas nos mesmos períodos do OS2R.

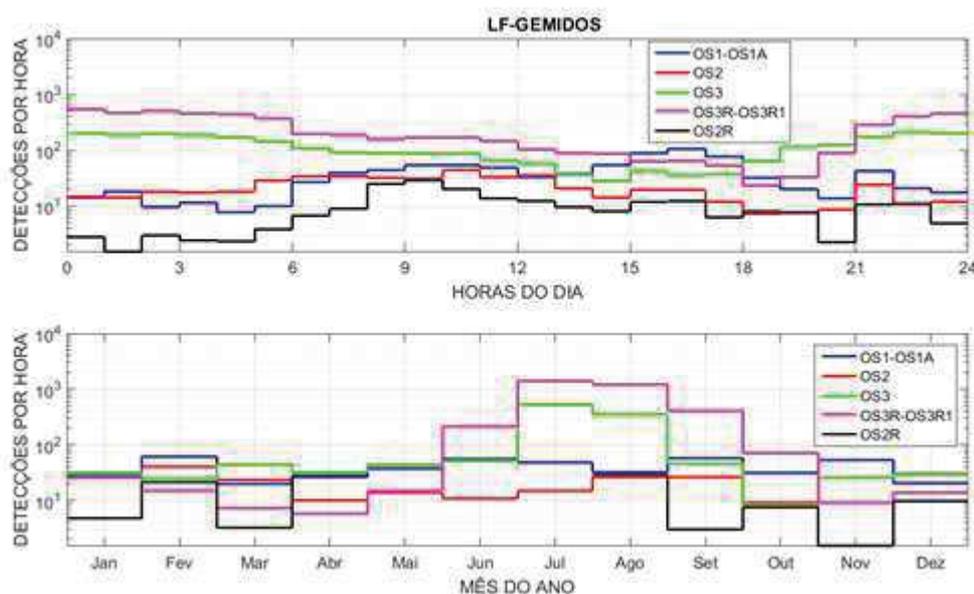


Figura III.4.4.6-2: Número de detecções na faixa de baixa frequências (LF) obtidas por hora do dia, no gráfico de cima e por mês do ano, no gráfico de baixo, para detecções classificadas como “Gemidos”, para as posições OS1-OS1A, OS2, OS3 e OS3-OS3R1.

Já para os “Grunhidos” (Figura III.4.4.6-3), as maiores detecções ocorreram no OS1-OS1A, com maiores contagem entre as 14 horas e as 19 horas e nos meses de junho a outubro. O OS3R-O3R1 vem sem seguida, com uma contagem menor, com seus máximos ocorrendo entre as 15 e 17 horas, nos meses de julho a setembro.

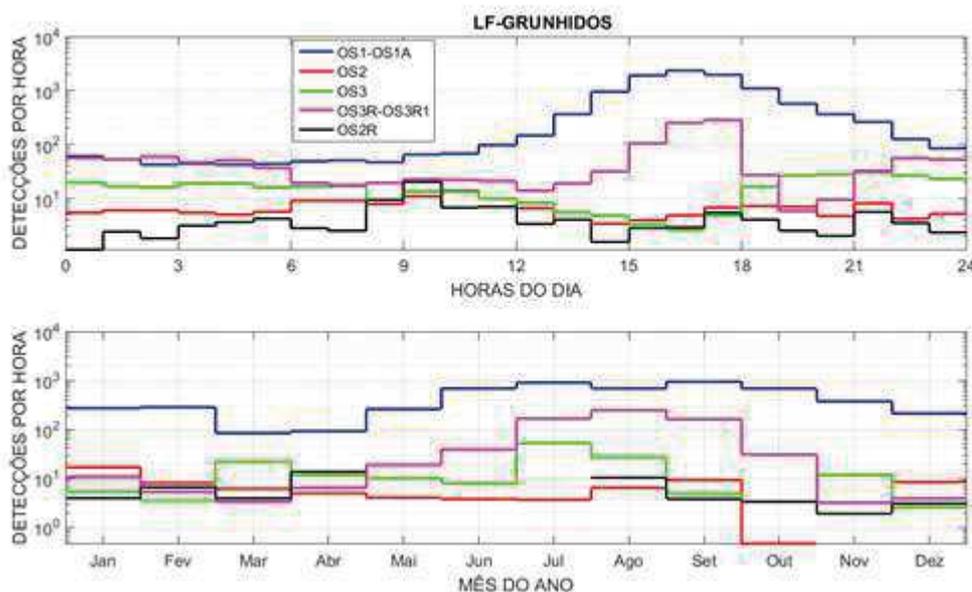


Figura III.4.4.6-3: Número de detecções na faixa de baixa frequências (LF) obtidas por hora do dia, no gráfico de cima e por mês do ano, no gráfico de baixo, para detecções classificadas como “Grunhidos, para as posições OS1-OS1A, OS2, OS3 e OS3-OS3R1.

Em relação à faixa MF, o maior número de detecções de “Assobios” (Figura III.4.4.6-4) ocorreu no período entre 21 horas de um dia até a 1ª hora do dia seguinte, com um maior número de detecções no OS2R. Durante o ano, os períodos de março e setembro foram os períodos com maiores detecções para o OS2R. O OS2 vem a seguir, com maiores contagens em torno das 12 horas e de meia-noite. No ano, o OS2 tem uma distribuição mais uniforme. Para os outros OSs, o número de detecções por hora e por mês é bem mais baixo.

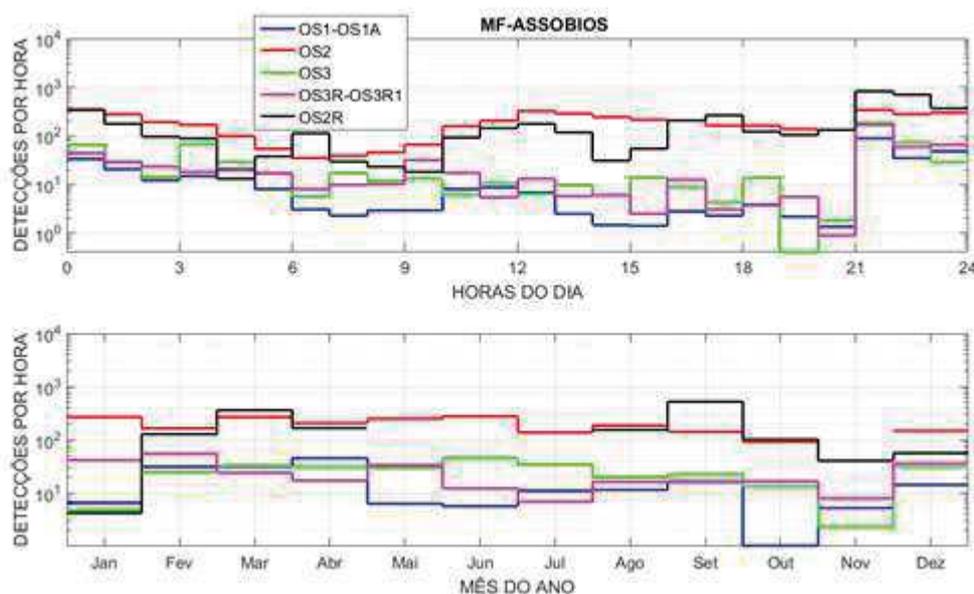


Figura III.4.4.6-4: Número de detecções na faixa de média frequências (MF) obtidas por hora do dia, no gráfico de cima e por mês do ano, no gráfico de baixo, para detecções classificadas como “Assobios”, para as posições OS1-OS1A, OS2, OS3 e OS3-OS3R1.

Em relação às detecções de “Grunhidos” na faixa MF (Figura III.4.4.6-5), as maiores contagens ocorrem no OS2, seguida pelo OS2R. Durante o dia, os dois OSs têm maiores contagens entre as 20 horas de um dia e as 2 horas do dia seguinte. Durante o ano, o OS2 tem sua contagem máxima nos meses de junho e janeiro, enquanto o OS2R tem sua contagem máxima nos meses de março e setembro.

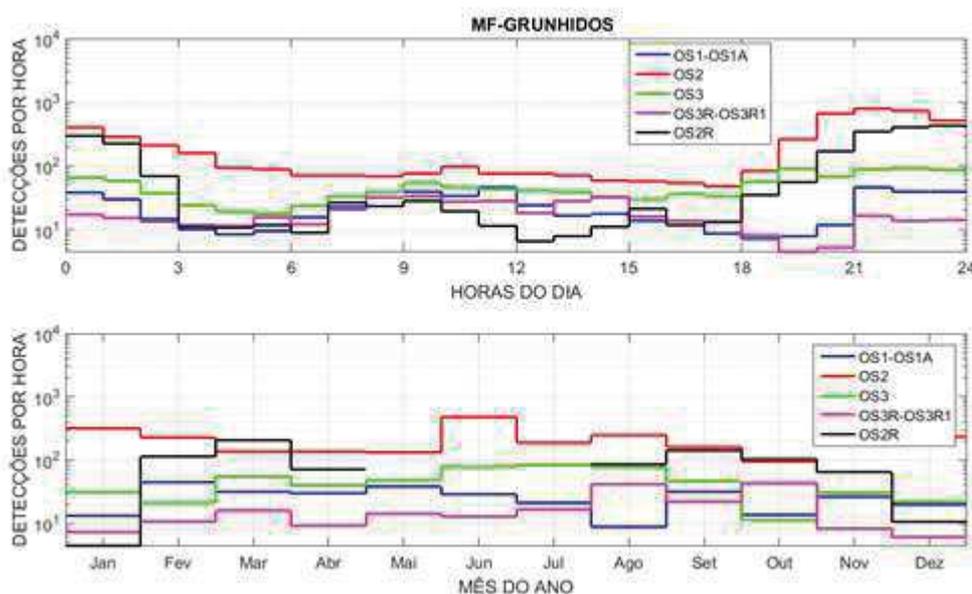


Figura III.4.4.6-5: Número de detecções na faixa de média frequências (MF) obtidas por hora do dia, no gráfico de cima e por mês do ano, no gráfico de baixo, para detecções classificadas como “Grunhidos, para as posições OS1-OS1A, OS2, OS3 e OS3-OS3R1.

Para a detecção de vocalizações nos dados acústicos dos OSs, utilizou-se o programa PAMGuard para a detecção de tons e uma rede neural multicamadas para uma classificação inicial destes tons em classes de “Assobios”, “Gemidos” e “Grunhidos, e para remover outros sinais sem interesse, chamados aqui de “Ruídos”. Neste relatório, o programa foi usado para contar o número de cada tipo de tom detectado nos sinais ao longo do tempo, sendo apresentados gráficos mostrando estas detecções por hora do dia, a cada dia de gravação.

Os “Assobios” foram detectados em todos os OSs, com exceção do OS1+OS1A, onde ocorreu pouca detecção e nenhum exemplo foi encontrado na busca não exaustiva realizada. Nos outros OSs, a detecção ocorreu principalmente na faixa MF.

Em relação aos “Gemidos”, na faixa LF eles não foram detectados no OS1+OS1A nem no OS2R. Em ambos os casos, os sinais encontrados na busca mostraram a presença de ruídos provenientes, provavelmente, de máquinas de embarcações, como os produzidos por engrenagens redutoras. Também ocorreu um caso em que o ruído produzido por uma corrente de amarração de uma boia foi detectado e classificado como “Gemido”. A análise do áudio realizada mostrou

sons parecidos com os gemidos de mysticetos, justificando a detecção. Na faixa MF, esta classe não foi usada para o treinamento da rede na faixa MF, sendo seus dados agrupados com os de “Assobios” no treinamento.

Quanto aos “Grunhidos”, este tipo de sinal foi encontrado em todos os OSs e tanto na faixa LF quanto na MF. Na faixa LF, os tons ocupam a faixa de frequência abaixo de 200 Hz, enquanto na faixa MF os tons ocupam a faixa em torno de 1.000 Hz. Diferentes tipos de sinais foram obtidos, sugerindo a presença de fontes diferentes.

Em resumo, o procedimento adotado para a detecção dos tons produzidos pelos cetáceos se mostrou uma ferramenta útil na triagem inicial de grandes volumes de dados, mapeando as detecções de forma a permitir o recorte de trechos com maiores probabilidades de ocorrência. Estes trechos podem, então, ser usados por especialistas para a classificação da fonte responsável pelo som e também em estudos sobre o comportamento do animal. Algumas correções precisam ser feitas, por exemplo, para reduzir a quantidade de ruído que ainda permanece após o processamento com a rede neural. Além disso, a rede pode ser melhorada para permitir uma melhor classificação de cada classe, como por exemplo, para não classificar os ruídos de embarcações e de correntes como “Gemidos”. É importante destacar que esse trabalho para classificação da fonte, e possível identificação da espécie, será feito pela equipe do PMC-BS, conforme já vem sendo realizado com dados obtidos pelos *gliders*. Também já estão sendo desenvolvidos estudos em conjunto pelas equipes técnicas responsáveis pelo PMPAS-BS e PMC-BS para melhorar a triagem inicial dos dados.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

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 utiliza um modelo de propagação acústica baseado em modos normais, tendo como entrada os dados do sistema de identificação automática de navios (AIS), assinatura acústica dos navios, dados oceanográficos e geofísicos. O objetivo é o desenvolvimento e implementação de um modelo computacional do ruído oceânico num domínio tridimensional para a Bacia de Santos, mas que pode ser empregado nas principais bacias sedimentares marítimas brasileiras (Bacias de Santos, Campos e Espírito Santo). Este sistema está sendo ajustado e validado com dados acústicos obtidos em campo, e tem por objetivo auxiliar no acompanhamento do ruído na região e apoiar o gerenciamento das estratégias que visem o controle deste ruído. Um bom funcionamento do modelo pode reduzir a necessidade de medições contínuas de longo prazo, além de permitir estimar os níveis de ruído em regiões onde seria pequena a viabilidade de obtenção de dados reais.

A região oceânica objeto deste desenvolvimento inicial do modelo computacional de ruído oceânico 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 do ruído acumulado, são gerados mapas instantâneos, obtidos por meio de sobreposição do nível sonoro irradiado de múltiplas fontes sonoras, para todos os receptores, ao longo de posições contidas numa 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 (1/6°x1/6°) produzidos por fontes antrópicas (navios, plataformas, etc.) e ambientais (ondas, ventos) nas bandas de 1/3 de oitava centradas nas frequências de 63 e 125 Hz, com caracterização do ruído SPL (dB re 1 μPa^2) 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




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

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.

Durante o período abrangido por este relatório, foi feito o desenvolvimento e ajustes do SIMAS (Sistema de Modelagem Acústica Submarina), utilizando dados acústicos reais obtidos por *gliders* e perfiladores. Até o momento, foi concluído o processamento dos dados relativos aos anos de 2016, 2017, 2018 e 2019 nas frequências de 63 e 125 Hz e nas profundidades de 50 m, 200 m e 1.000 m, com a disponibilização de mapas para o Sistema de Medições e Modelagem Acústica Oceânica (SIMMAO), tendo sido iniciado o processamento referente ao ano de 2020.

IV.1 COMPARAÇÃO ENTRE AS REGIÕES R1, R2, R3 E R4

As regiões apresentadas na Seção II.1.2, para a comparação dos dados do monitoramento móvel na região oceânica da Bacia de Santos, foram usadas para a comparação dos dados obtidos pelo SIMAS com os dados reais medidos nestas regiões.

O parâmetro AIS processado fornece a posição e a hora das fontes acústicas, considerando a cavitação do hélice como a principal fonte de ruído. Estes parâmetros são contabilizados por janelas temporais de duas horas, sendo considerada apenas uma aparição de cada navio identificado por janela. A densidade é obtida pela soma de suas aparições em cada janela em período específico (mensal, trimestral e anual) correspondente à quantidade de janelas utilizadas para simulação dos mapas. A Figura IV.1-1 mostra os *boxplots* da densidade de registros AIS nas Regiões R1, R2, R3 e R4, para os anos de 2016 a 2019. 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.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

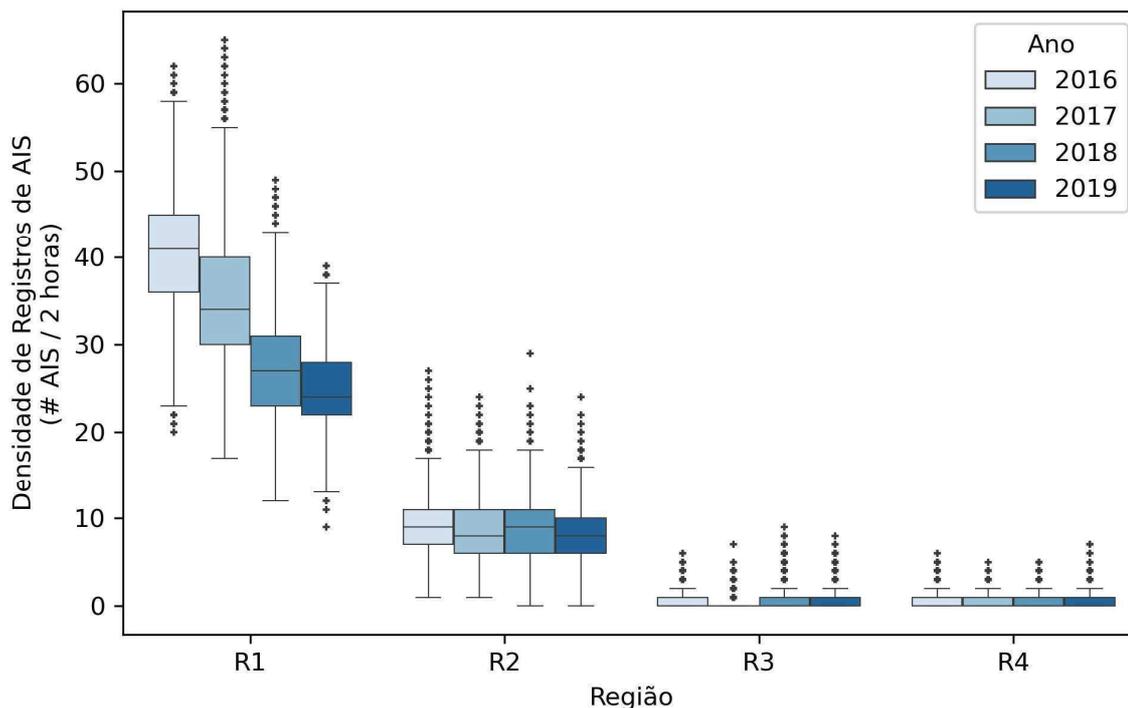


Figura IV.1-1: - Variação anual do número de registros de AIS em janelas de 2 horas, para as regiões R1, R2, R3 e R4 nos anos de 2017 a 2019. (Fonte: PMTE 2016, 2017, 2018, 2019)

A Figura IV.1-2 mostra a distribuição do SPL na frequência de 63Hz, para as regiões R1, R2, R3 e R4 nos anos de 2016 a 2019. No mesmo gráfico, são apresentados a mediana e os percentis de 25% e de 75% para os dados reais obtidos nas mesmas regiões e períodos. Para os dados modelados, os maiores níveis foram obtidos para a região R1, seguidos pela região R3, depois a região R2 e, por fim, a região R4 com os menores níveis. Ao longo dos anos, observa-se uma redução dos níveis apresentados, com exceção do ano de 2018 para a região R2, que ficou com um nível maior do que no ano de 2017. Os dados reais apresentam suas medianas com níveis maiores do que para os dados modelados em todas as situações, com uma diferença mínima de menos de 1 dB em 2016 na região R4 e uma diferença máxima de 8 dB em 2019 na região R2.

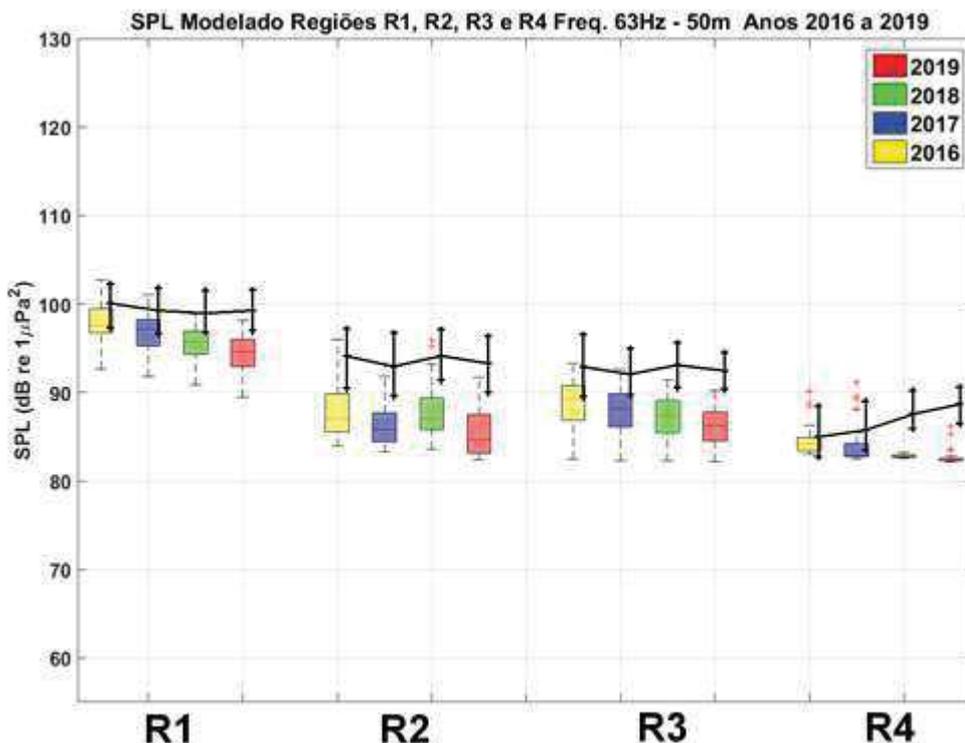


Figura IV.1-2: SPL_{63Hz} para a profundidade de 50 m, para as regiões R1, R2, R3 e R4 nos anos de 2017 a 2019.

A Figura IV.1-3 mostra as distribuições do SPL na frequência de 125Hz, para as regiões R1, R2, R3 e R4 nos anos de 2016 a 2019 e a mediana e os percentis de 25% e 75% para os dados reais obtidos nas mesmas regiões e períodos. Para os dados modelados, observa-se uma dinâmica semelhante ao visto na frequência de 63 Hz nas comparações dos valores de SPL para as regiões R1, R2, R3 e R4 e entre os anos, inclusive com a exceção apresentada para o ano de 2018. Os níveis de ruído dos dados reais para esta frequência ficaram mais próximos dos dados modelados, com uma tendência a ter valores mais baixos. A menor diferença foi observada em 2018, para a região R4, com os dados reais menos de 1 dB menores do que os dados modelados. A maior diferença foi observada também na região R4, para o ano de 2016, com os dados reais cerca de 10 dB menores que os dados modelados.

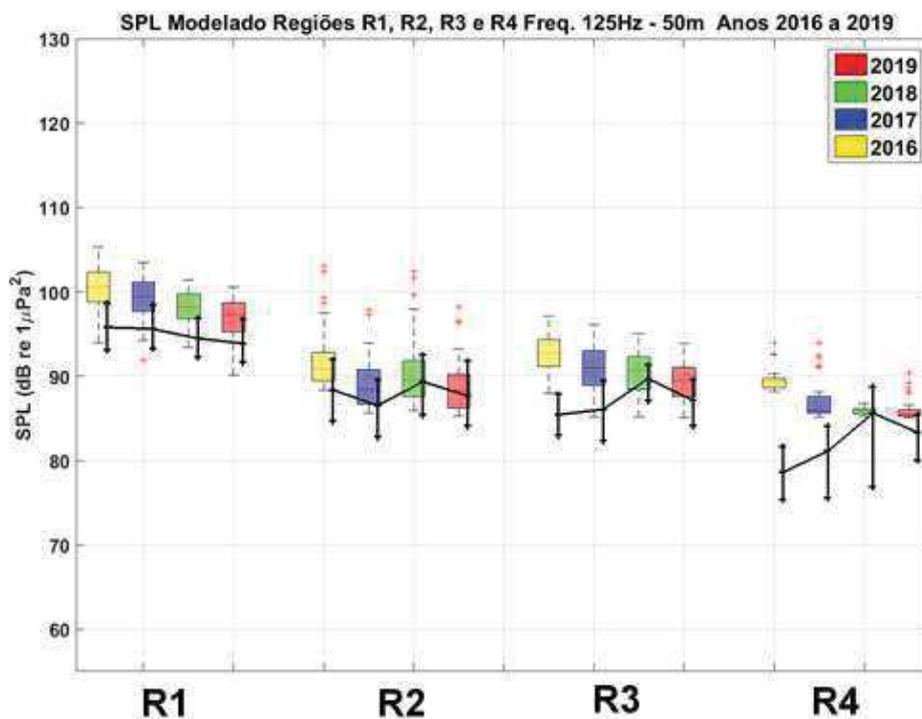


Figura IV.1-3: - SPL_{125Hz} na profundidade de 50 m, para as regiões R1, R2, R3 e R4 nos anos de 2017 a 2019.

Uma razão para as diferenças verificadas pode ser a imprecisão dos parâmetros usados como entrada para o modelo, como as condições ambientais, os níveis irradiados pelas embarcações e mesmo as limitações da disponibilidade de dados AIS, dependendo de cada região modelada. Para garantir uma melhor precisão do modelo, estão sendo feitos estudos sobre diferentes formas de obtenção destes parâmetros.

Os mecanismos de fontes naturais, como a ação do vento e de ondas, não estão sendo considerados para a estimativa do ruído ambiente no SIMAS. Nas frequências de 63 Hz e 125Hz, são empregados valores médios obtidos a partir de informações da literatura (URICK, 1983; WENZ, 1962) que mostram a relação entre a força do vento e o nível do ruído ambiente. Estão sendo estudadas formas de uso destes parâmetros a partir de informações de modelos atmosféricos, como os fornecidos pela reanálise ERA5 da ECMWF (*The European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*).

É necessário salientar que o SIMAS faz a simulação da propagação do ruído de fontes com posição e características conhecidas, podendo haver



situações em que a presença de um navio não tenha sido registrada pelo AIS, contribuindo para a redução da precisão do modelo.

IV.2 APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS MODELADOS

A Figura IV.2-1 mostra mapas de densidade de navegação, derivados dos registros de AIS, e computados no âmbito do PMTE-BS, para os anos de 2016 a 2019. Na região R1, houve uma gradual redução da densidade de navegação ao longo dos anos. Nas demais regiões, as variações de densidade de tráfego são menos evidentes. É importante ressaltar que, ao invés de utilizar os resultados processados pelo PMTE-BS, o SIMAS necessita dos dados brutos de posicionamento AIS para a modelagem das fontes, os quais são manipulados e processados de forma a atender as premissas estabelecidas na configuração do sistema. As tendências gerais das fontes de ruído antropogênico, no entanto, devem estar em linha com o indicado pelo monitoramento do tráfego de embarcações, tendo em vista que ambos utilizam a mesma fonte de informação.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

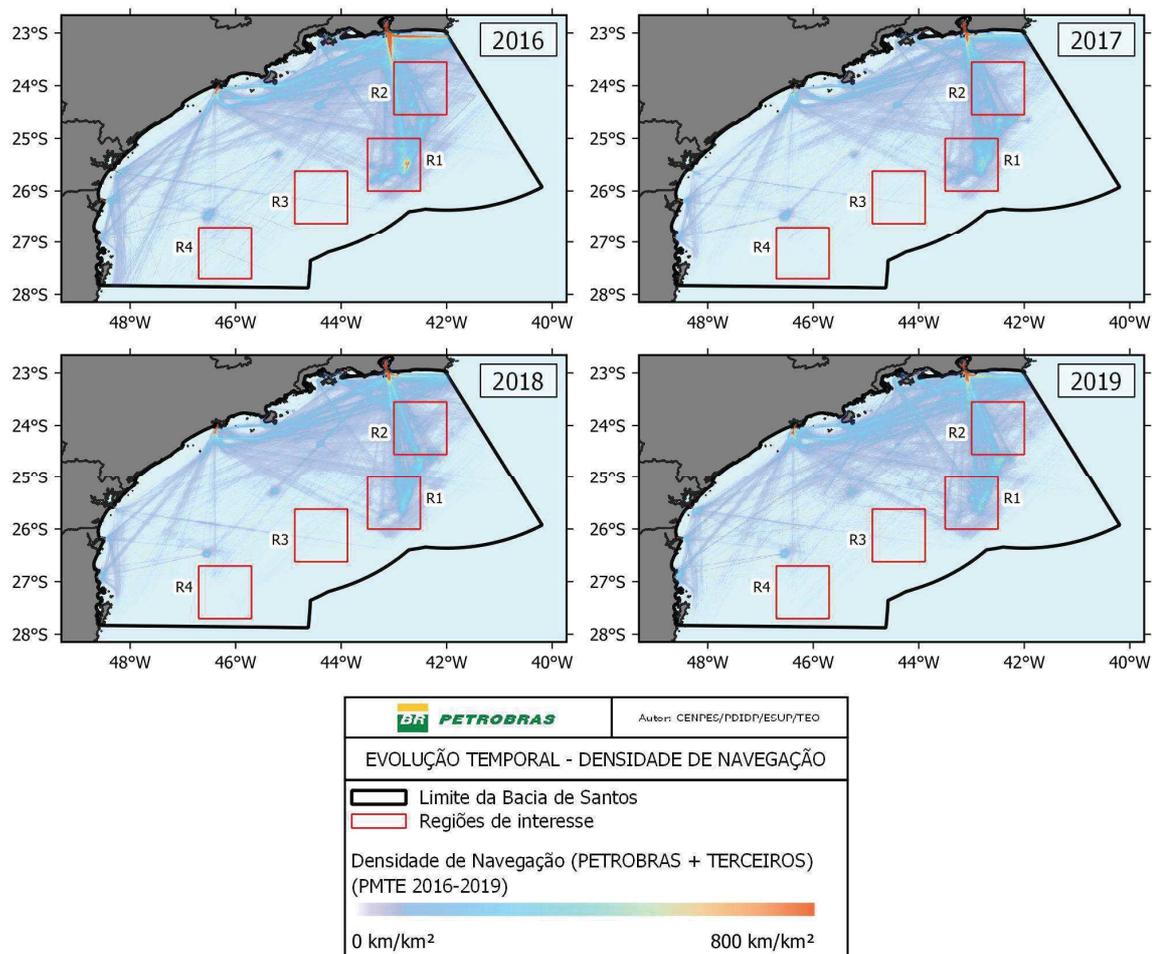


Figura IV.2-1: Densidade de navegação estimada a partir dos registros de AIS referentes aos anos de 2016 a 2019. Os retângulos correspondem às regiões R1, R2, R3 e R4, usadas para comparações nesta seção. Fonte: PMTE (2016, 2017, 2018, 2019).

A Figura IV.2-2 mostra os mapas de ruído com o SPL_{63Hz} médio na Bacia de Santos para os anos de 2016 a 2019, para a profundidade de 50 m. Ao longo dos anos, observa-se uma redução nos níveis do ruído principalmente ao longo do litoral e na região de maiores níveis de ruído na região do pré-sal, no centro do mapa.

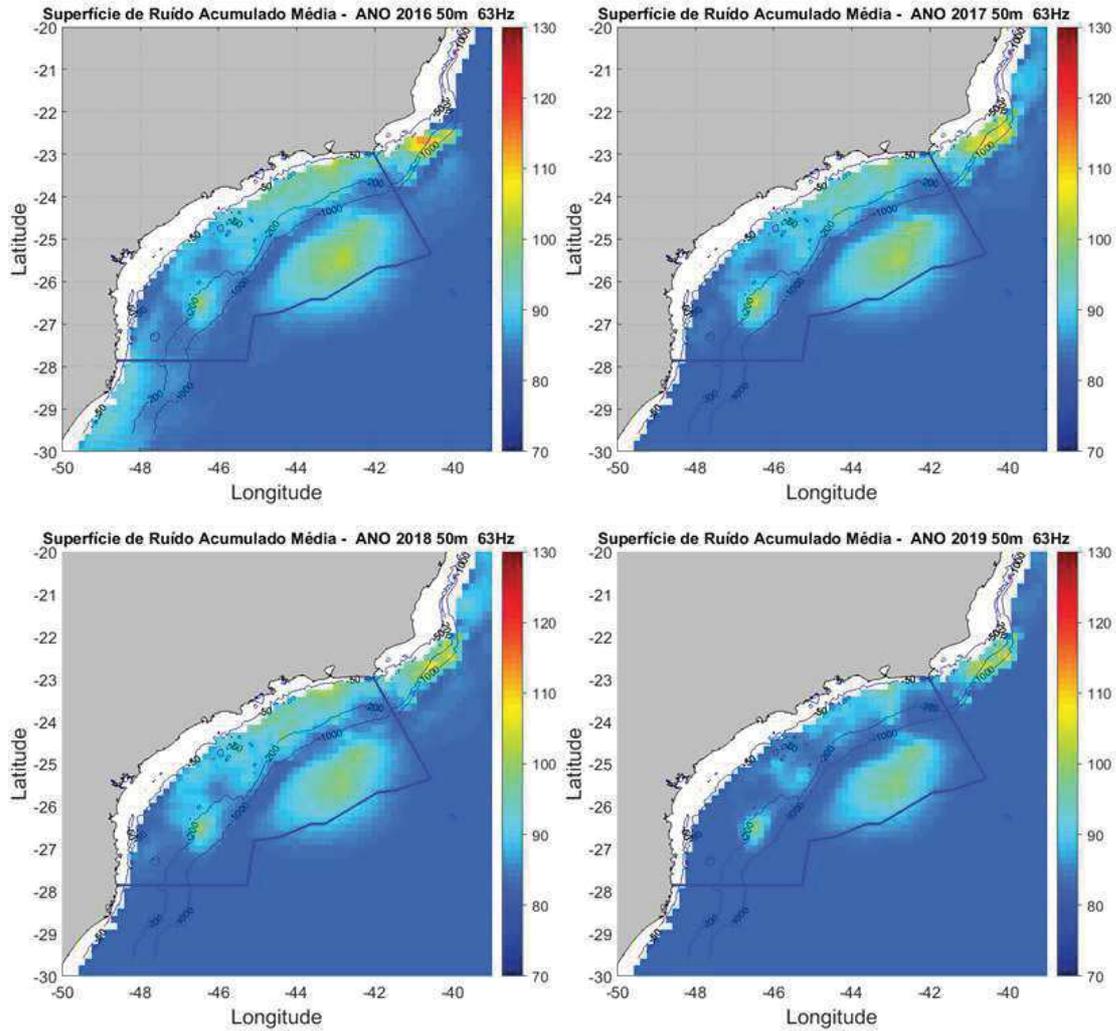


Figura IV.2-2: Mapas de ruído com o SPL_{63Jz} médio na Bacia de Santos para os anos de 2016 a 2019, para a profundidade de 50 m.

A Figura IV.2-3 mostra a diferença entre os mapas dos anos de 2019 e 2016, mostrando uma redução do ruído em boa parte da Bacia de Santos.



Coordenador da Equipe



Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

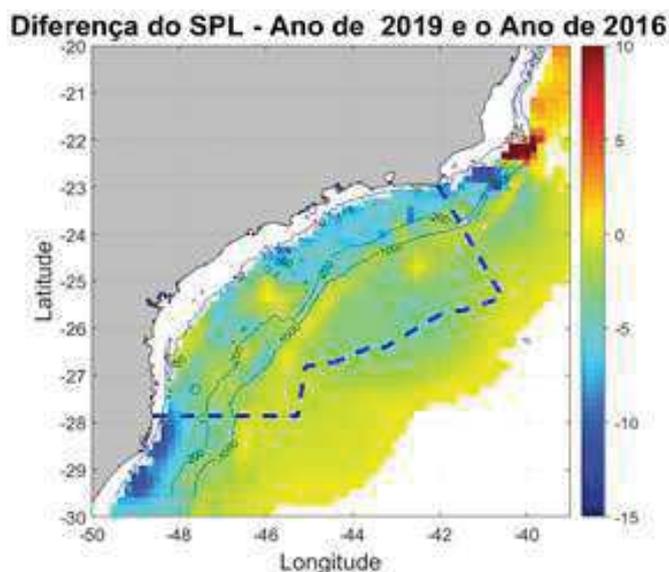


Figura IV.2-3: Mapa das diferenças do $SPL_{63\text{Hz}}$ (dB) entre os anos de 2019 e 2016 para a profundidade de 50 m.

A Figura IV.2-4 mostra os mapas gerados pelo SIMAS para a frequência de 125 Hz, na profundidade de 50 m, referentes aos anos de 2016 a 2019. Assim como na frequência de 63 Hz, houve uma redução nos níveis de ruído, de forma mais notável na região do litoral e em torno da região do pré-sal, no centro do mapa.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

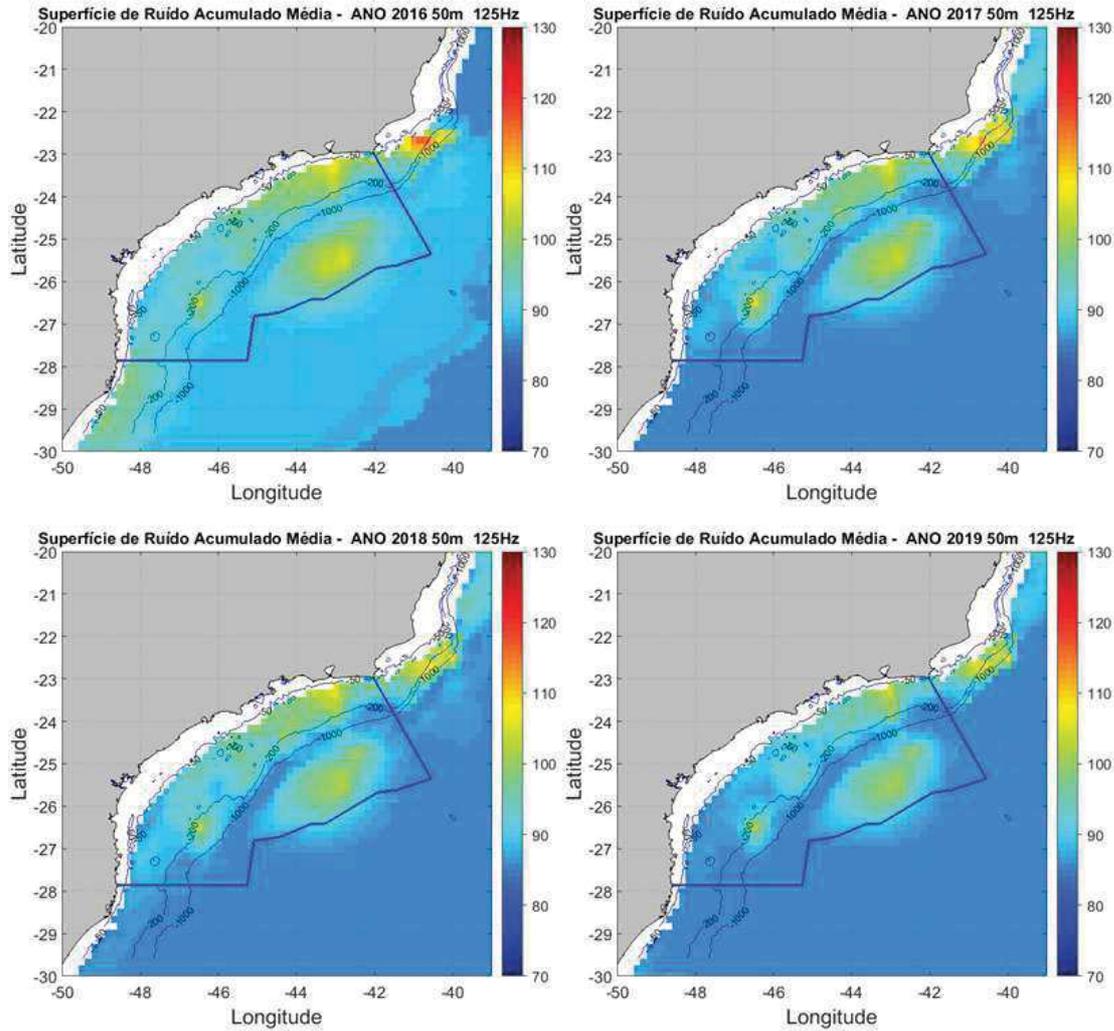


Figura IV.2-4: Mapas de ruído com o SPL_{125Jz} médio na Bacia de Santos para os anos de 2016 a 2019, para a profundidade de 50 m.

A Figura IV.2-5 mostra a diferença entre os mapas dos anos de 2019 e 2016 para a frequência de 125 Hz, mostrando uma redução do ruído em praticamente toda Bacia de Santos.

Diferença do SPL - Ano de 2019 e o Ano de 2016 - 125 Hz

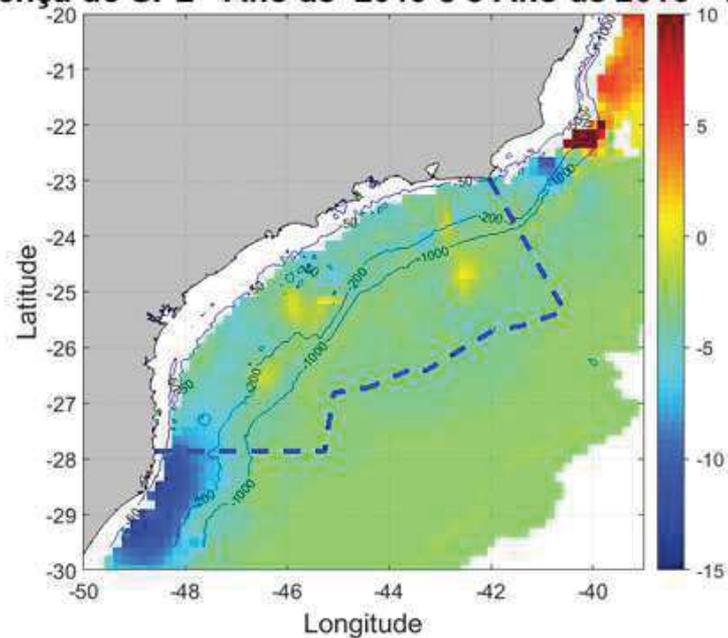


Figura IV.2-5: - Mapa das diferenças do SPL_{125Hz} (dB) entre os anos de 2019 e 2016 para a profundidade de 50 m.

A Figura IV.1-3 mostra os mapas gerados pelo SIMAS para a frequência de 63 Hz na profundidade de 50 metros referentes a cada uma das estações, considerando todos os dados de 2016 a 2019. Não se notam diferenças marcantes nos mapas de ruído entre as estações do ano.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

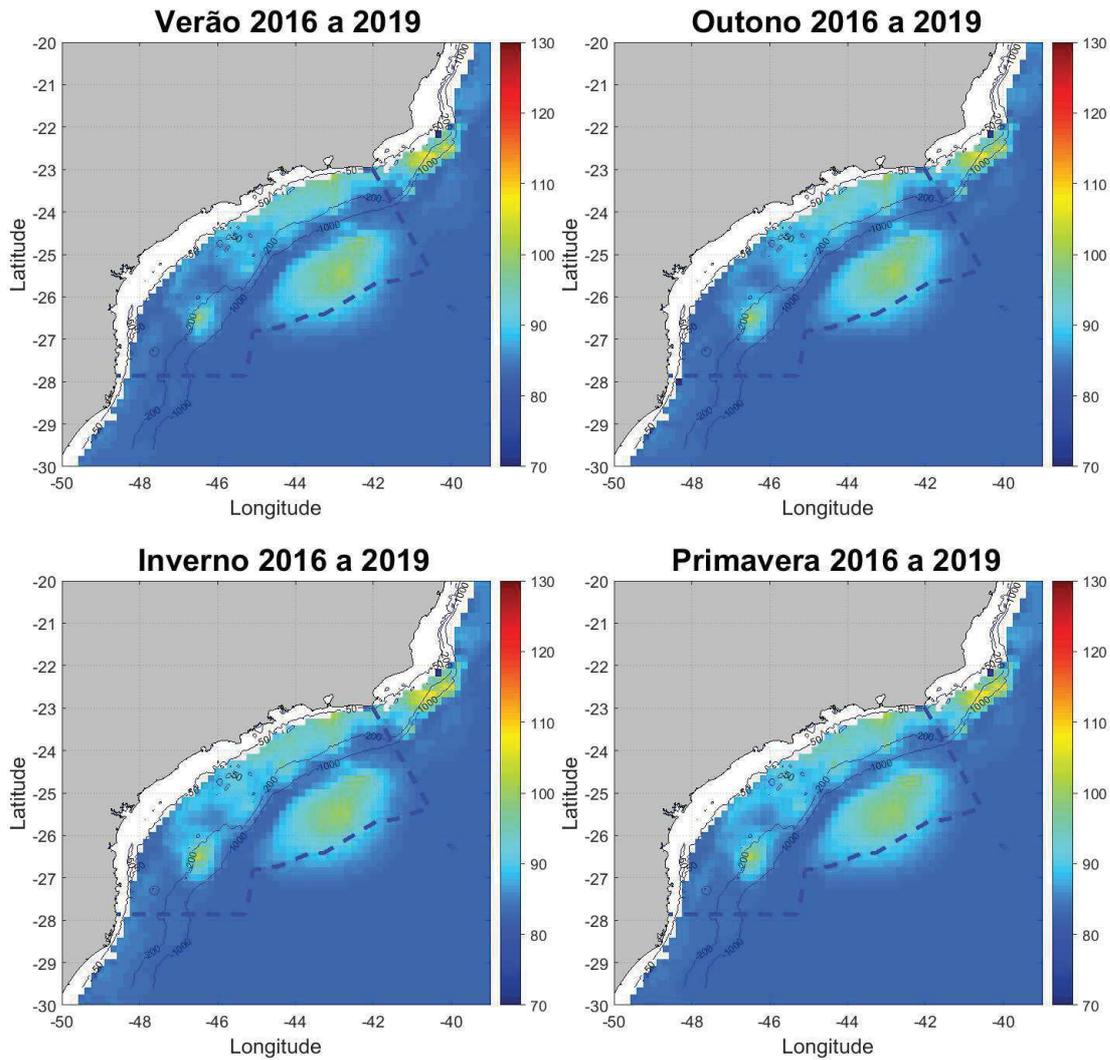


Figura IV.2-6: - Mapas de ruído com o SPL_{63Hz} médio na Bacia de Santos para as estações do ano, combinando dados de 2016 a 2019, para a profundidade de 50 m.

A Figura IV.2-7 mostra os mapas gerados pelo SIMAS para a frequência de 125 Hz na profundidade de 50 metros referentes a cada uma das estações, considerando todos os dados de 2016 a 2019. Nota-se um aumento no ruído para o inverno, mais próximo ao litoral.

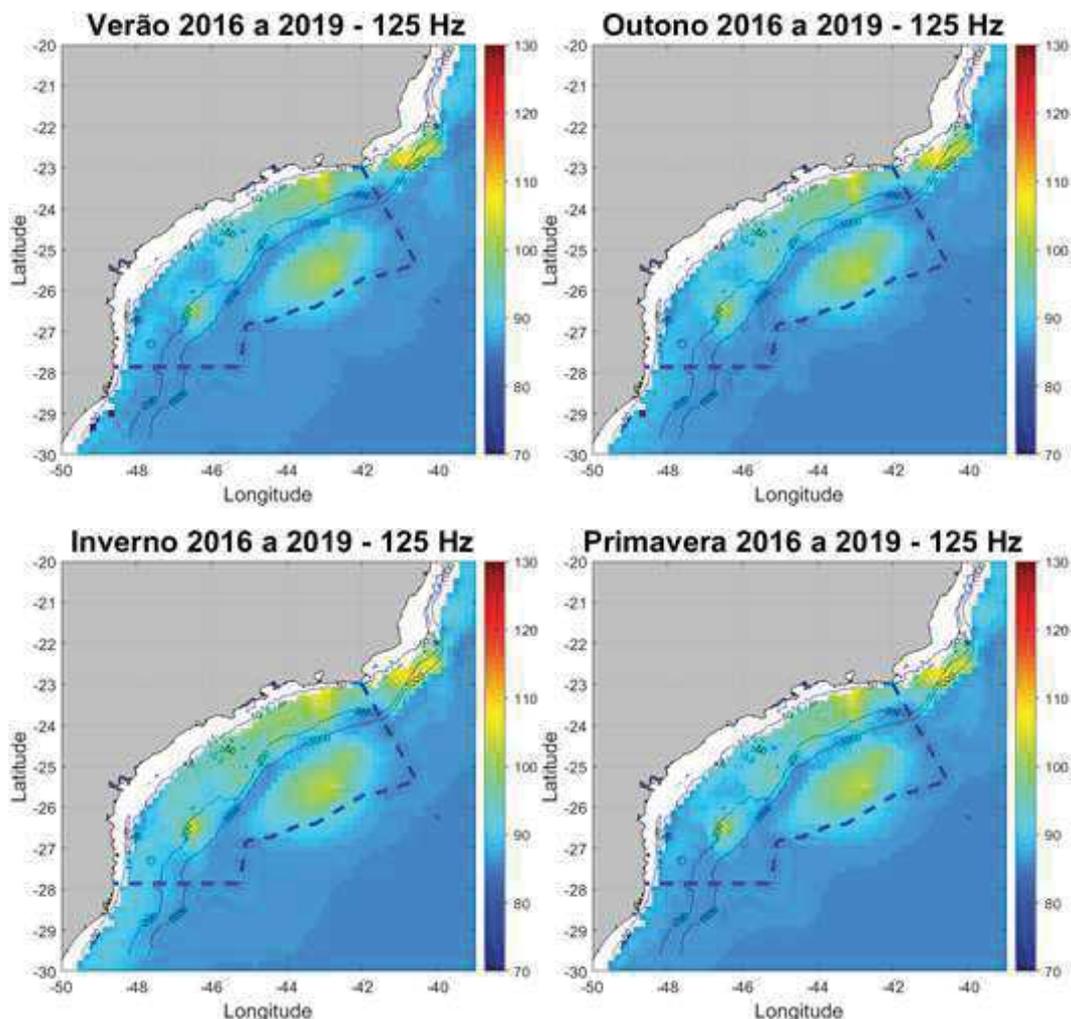


Figura IV.2-7: - Mapas de ruído com o SPL_{125Hz} médio na Bacia de Santos para as estações do ano, combinando dados de 2016 a 2019, para a profundidade de 50 m.

IV.3 AVALIAÇÃO SOBRE OS RESULTADOS DA MODELAGEM

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 variação média em torno de 5 dB em ambas as frequências (LIMA et al., 2020). 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. As diferenças




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

encontradas são esperadas nesta fase do desenvolvimento e a tendência é que elas diminuam à medida que os ajustes sejam feitos. Outros modelos também apresentam erros desta ordem de grandeza, como pode ser visto, por exemplo, em Farcas *et al.* (2020), onde o erro médio na frequência de 63 Hz foi de 5,3 dB, demonstrando que o desempenho do SIMAS já se encontra num nível de maturidade compatível com outras iniciativas de modelagem em âmbito internacional.

Como parte da evolução do SIMAS, estão sendo 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 a ser adotada para a redução dos erros observados no modelo passam 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.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

V CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este relatório apresenta os resultados obtidos pelo projeto PMPAS-BS no período de novembro de 2015 a dezembro de 2020 para *gliders* e perfiladores, de setembro de 2017 a dezembro de 2020 para as LFIs e de março de 2017 até maio de 2021 para os OSs. Neste período, foram realizadas 19 campanhas de lançamento de perfiladores, com um total de 195 perfiladores lançados, 46 campanhas de lançamento e recolhimento de *gliders*; seis campanhas de lançamento de LFIs, com seis linhas com gravação acústica em três profundidades diferentes; e 86 campanhas de lançamento e recolhimento de OSs. Foram gravadas 112.172,1 horas de dados acústicos para os *gliders*, OSs e LFIs. Neste mesmo período, os perfiladores analisaram um total de 3.430 horas de sinal.

V.1 MONITORAMENTO MÓVEL

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 altos. Foram encontradas diferenças de mais de 10 dB entre os trechos mais silenciosos e os mais ruidosos, dependendo da faixa de frequência analisada.

Os níveis de ruído da Bacia de Santos foram comparados com níveis de ruído obtidos em medições no Golfo do México (HAVER et al., 2018) e no Reino Unido (MERCHANT et al., 2016). Os níveis obtidos na Bacia de Santos ficaram próximos ou foram menores do que aqueles do Golfo do México e similares aos obtidos no Reino Unido.

A evolução dos níveis de ruído nos cinco anos de medição (2016 a 2020) mostrou variações entre os anos que não indicam uma tendência de aumento do ruído com o tempo. A comparação das medições realizadas em diferentes profundidades mostrou que para as frequências de 63 Hz e 125 Hz os níveis dos




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

ruídos medidos a 950 m é maior do que nas outras três profundidades em até 2 dB, talvez devido à propagação de ruídos de baixa frequência pelo canal sonoro profundo (Canal SOFAR).

V.2 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 seis ciclos de lançamento e recolhimento, para as seis linhas (FA-01 a FA-06) e mais as duas novas posições das linhas FA-03 e FA04 (FA-03R e FA-04R) usadas na sexta campanha.

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 FA03R.

As comparações entre as linhas nos anos de 2017 a 2020 mostraram um aumento na linha FA02 de até 6 dB nas frequências mais baixas e até 9 dB nas frequências maiores. Nas linhas FA03 e FA06 observou-se um aumento de 5 dB na frequência de 63 Hz. Nas outras linhas, a variação do ruído entre os anos foi pequena. As comparações entre as diferentes profundidades não mostraram nenhuma profundidade com aumento significativo e consistente nas linhas.

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).

V.3 OBSERVATÓRIOS SUBMARINOS

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

Os OSs instalados no interior e nas imediações da Baía de Guanabara (OS1 e OS1A na Baía de Guanabara e OS3R e OS3R1 nas Ilhas Cagarras) são




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

mais ruidosos na maior parte do espectro, particularmente entre 10 e 300 Hz e acima de 2 kHz. 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 os mais ruidosos.

O SEL_{24-MF} e o SEL_{24-LF} foram menores para o OS2R. Os maiores níveis ficaram com o OS1A, para o SEL_{24-LF} e com o OS1, para o SEL_{24-LF}. 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.

Uma análise da variabilidade temporal dos níveis de ruído entre 2017 e 2020 mostrou uma discreta tendência de aumento do ruído no período de 2019-2020 para os OSs na Baía de Guanabara (OS1 e OS1A). Para a região da Baía de Ilha Grande (OS2 e OS2R) e do Canal de São Sebastião (OS3), observa-se uma estabilidade nos níveis de ruído no período de 2017 a 2020. Os dados do OS3R, obtidos praticamente todos em 2020 e do OS3R1, com aquisição apenas em 2021, não permitem fazer esta análise da variabilidade temporal. Nenhuma das posições apresentou um ciclo sazonal muito evidente nas faixas de frequências analisadas, sendo a variabilidade entre os meses do ano bastante discreta.

Em todos os OSs, destacaram-se a contribuição, para o ruído medido, do ruído da passagem de embarcações e do ruído associado, provavelmente, a coros de peixes que ocorrem em horários específicos. Na Baía de Guanabara, em especial no OS1, aparece um ruído contínuo com características de estalos/cliques que pode estar associado ao ruído provocado por invertebrados, como ouriços e camarões de estalo. Na Baía de Guanabara aparece um ruído de baixa frequência que parece estar associado a correntes associadas à maré. No Canal de São Sebastião e nas Ilhas Cagarras este ruído também é observado, mas com uma intensidade bem menor e na Baía de Ilha Grande ele não aparece. Na Baía de Guanabara e no Canal de São Sebastião foram observados tons nas bandas de frequência de 100 e 125 Hz que se parecem com uma máquina rotativa, como em motores e bombas usadas para o bombeamento de líquidos. Uma análise mais detalhada da paisagem acústica e das fontes de ruído existentes nos




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

OSs está sendo realizada em relatório técnico específico, apresentado em anexo ao 11º Relatório Executivo do PMPAS-BS.

Os níveis de ruído nos OSs foram comparados com níveis medidos em diversas regiões no Mar Báltico. Este mar consiste em uma série de diferentes localidades, com características próprias de ruído. Os OSs localizados na região da Baía de Guanabara tiveram seus níveis de ruído abaixo dos locais com maior volume de tráfego, mas acima da maioria dos outros locais. Já os OSs localizados na Baía de Ilha Grande e no Canal de São Sebastião tiveram seus níveis de ruído acima daqueles obtidos nas regiões mais silenciosas do Mar Báltico, mas próximo dos locais menos impactados pelo tráfego de embarcações, posicionados em regiões mais abertas e menos protegidas do vento.

V.4 DETECÇÃO DE EMBARCAÇÕES

Nos *gliders*, a detecção de embarcações variou ao longo do tempo, provavelmente devido ao fato dele estar em movimento e passar em regiões com diferentes intensidades de tráfego de embarcações.

Nas linhas de fundeio instrumentadas, as linhas FA02 e FA05 foram as que apresentaram maiores números de detecção de embarcações por dia.

Nos OSs, a Baía de Guanabara apresentou um número mais elevado de navios em relação à Baía de Ilha Grande e ao Canal de São Sebastião. Foram detectados ruídos de navios a serviço da PETROBRAS e de outras empresas, incluindo tráfego marítimo de lazer e turismo. Houve uma manutenção do número de embarcações detectadas no decorrer dos anos nos OS1 e OS1A. No OS2 houve uma pequena redução no número de embarcações detectadas por dia, enquanto no OS2R e no OS3 houve um pequeno aumento neste número. Nos OS3R e OS3R1, não foi possível fazer esta avaliação, uma vez que só foram feitas gravações no ano de 2020 no OS3R e em 2021 no OS3R1. Além disso, cada OS tinha uma proposta de monitoramento diferente: um com menor intensidade de tráfego de embarcações (OS3R) e outro com maior intensidade (OS3R1).

Para todos os sistemas, as análises foram feitas usando as detecções do ruído das embarcações nos sinais gravados. Nos OSs os registros de AIS foram usados para a identificação das embarcações, mas o número das detecções que




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

puderam ser associadas com o AIS ficou abaixo de 50%, indicando que a detecção das embarcações no sinal acústico será sempre importante para uma avaliação do ruído global das embarcações.

Nos *gliders* e LFI, os estudos devem evoluir para se fazer a associação das detecções com registros AIS e para excluir possíveis detecções provocadas por outras fontes que não as embarcações.

V.5 BIOFONIA

Para os *gliders*, foi feita a detecção de vocalização de cetáceos em todas as gravações, tendo sido obtidos sinais classificados como “Assobios”, “Gemidos” e “Grunhidos”. A detecção e classificação das vocalizações foi feita de forma manual por meio de uma busca nos mapas de detecções criados pelo programa PAMGuard nas bandas LF (até 3kHz) e MF (1 a 62 kHz).

Para as linhas de fundeio instrumentadas, as detecções feitas pelo PAMGuard foram pós-processadas usando-se uma rede neural para a classificação destas detecções como “Assobios”, “Gemidos” e “Grunhidos”. Na banda LF (até 3 kHz), as maiores detecções de “Gemidos” ocorreram na linha FA04, no período da noite e nos meses de outubro e dezembro. As maiores detecções de “Grunhidos” para esta banda ocorreram nas linhas FA04 e FA06, durante todo o dia e nos meses de setembro a dezembro.

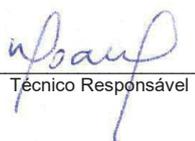
Para a banda MF (1 a 32 kHz), as detecções da classe “Assobios” ocorrerem nas linhas FA04 e FA05 com maior número durante o dia e nos meses de janeiro e fevereiro. As detecções de “Grunhidos” para esta banda ocorrerem com maior número nas linhas FA05 e FA04, ocorrendo durante o dia na linha FA05 e durante a madrugada na linha FA04. Em ambas as linhas as detecções ocorrerem em maior número entre fevereiro e abril. A maior parte das detecções de “Assobios” ocorreu na primavera. Para “Gemidos” e “Grunhidos”, a maior parte das detecções ocorreu no inverno e na primavera.

Nos observatórios submarinos, foi feita a detecção de vocalização de cetáceos em todas as gravações até maio de 2021, usando-se o mesmo procedimento empregado nas LFI. Para as detecções “Gemidos” em baixa frequência (até 3 kHz), as maiores contagens ocorrerem no OS2R, com maiores




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

detecções entre as 21 horas de um dia até as 6 horas do dia seguinte e nos meses de julho e agosto. Já para os “Grunhidos”, as maiores detecções ocorreram nos OS1 e OS1A, com maiores contagens entre as 14 horas da tarde e as 19 horas da noite e nos meses de junho a outubro.

Na banda de média frequência (1 a 24 kHz), o maior número de “Assobios” ocorreu no OS2R, no período entre 21 horas de um dia e 1 hora do dia seguinte e nos meses de março e setembro. Para a detecção de “Grunhidos”, as maiores contagens ocorreram no OS2, entre as 20 horas de um dia e as 2 horas do dia seguinte e nos meses de junho e janeiro.

Artigos da literatura especializada em bioacústica, como Klinck *et al.* (2012), apresentam experimentos bem-sucedidos de medições de ruídos de origem biológica utilizando *gliders*. A versatilidade de o equipamento estar se deslocando em mergulhos ao longo da coluna de água até 1.000 metros, associada ao fato de estar utilizando uma extensa banda de frequência de amostragem, permite uma maior probabilidade de detecção de sinais da biota presente na região oceânica.

As gravações com detecção de vocalização feitas pelos *gliders* estão sendo disponibilizadas para o PMC-BS para inclusão em sua sonoteca de cetáceos. O procedimento de detecção de vocalizações de cetáceos e transferência dos respectivos trechos de gravação para o PMC-BS está sendo estendido para as gravações realizadas pelas LFIs e OSs.

V.6 **MODELAGEM DO RUÍDO ACÚSTICO NA 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, são muito promissores. Estes modelos 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 e já são utilizados em diversos outros programas internacionais de monitoramento da paisagem acústica, conforme Dekeling *et al.* (2014b).




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

A validação dos resultados da modelagem acústica utilizando os dados acústicos medidos, particularmente da componente móvel (perfiladores e *gliders*), está em andamento e permite uma avaliação da distribuição de ruído na Bacia de Santos, possibilitando o uso integrado de modelagem e medições para otimização futura do projeto PMPAS-BS.

V.7 Paisagem Acústica

O conjunto de dados coletados no âmbito do PMPAS-BS no período de 2015 a 2020 na sua vertente 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 um incremento de ruído de 10,1 e 10,3 dB para as faixas de 63 e 125 Hz, respectivamente, nas regiões R1 e R2, onde se concentram a maior parte das atividades da PETROBRAS e também a maior parte das medições acústicas, em relação à região mais silenciosa (R4). A diferença entre as regiões com maior ou menor grau de atividades antropogênicas para as bandas de 500 e 1.000 Hz, no entanto, é menor, da ordem de 6 dB, indicando a relevância de ruídos de origem geofônica, como o ruído induzido pela ação do vento e por ondas de gravidade em superfície.

Neste contexto, os dados coletados permitiram inferir que o ruído geofônico gerado pela ação do vento na superfície contribui de forma significativa aos níveis sonoros observados na Bacia de Santos. Há uma correlação de até 75% entre os níveis observados e a intensidade do vento próximo ao local e ao instante de medição, sobretudo para ventos acima de 1,5 m/s, limiar frequentemente superado nas regiões *offshore* da Bacia de Santos. Tal contribuição, no entanto, varia com a frequência, ocorrendo a partir de 400 Hz até 10 kHz e com os maiores aportes, variando de 8 a 16 dB, na faixa de 1 a 2 kHz. Valores de SPL medidos sob influência de embarcações próximas (raio de 40 km) e na ausência de aportes significativos do vento resultaram em aumentos de até 8 dB na faixa de 10 Hz até aproximadamente 2 kHz, em relação aos dados medidos na ausência destas fontes.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

Estes incrementos e estas tendências são muito semelhantes àquelas já apontadas em relatórios técnicos anteriores, elaborados com conjuntos menores de dados, o que indica estabilidade nos níveis de ruído medidos e que o conjunto de dados ora obtidos é suficiente para a caracterização da paisagem acústica submarina da Bacia de Santos.

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 em todas as regiões 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 0,4 dB nas regiões mais ruidosas a no máximo 3,6 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.

O comportamento dos níveis de intensidade (SPL) ao longo do tempo foi avaliado usando os resultados tanto do monitoramento fixo quanto do monitoramento móvel. Com o monitoramento móvel, não foram identificadas tendências de aumento do ruído ao longo do tempo. Já com o monitoramento fixo, no período de 2017 a 2020 observou-se na linha FA02 um aumento de até 6 dB nas frequências de 63 Hz e 125 Hz e até 9 dB nas frequências de 500 Hz e 1.000 Hz, enquanto na linha FA06 ocorreu um aumento de 5 dB em 63 Hz e 125 Hz. Nas outras linhas e frequências as variações de níveis entre os anos foram pequenas ou inexistentes. Apesar dos aumentos observados em FA02 e FA06, os SEL_{24h_LF} e SEL_{24h_MF} obtidos em todas as LFI's estão ainda bem abaixo do valor de TTS indicado por Finneran (2016) para os cetáceos dos grupos de baixa frequência (LF) e de média frequência (MF).

Para os ambientes costeiros, os resultados do monitoramento também 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: o coro de peixes e invertebrados, estalos e vocalizações de cetáceos; o ruído de fluxo induzido pelas correntes sobre o sensor; e o ruído de




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

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, 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 OSs são semelhantes. À exceção da região da Baía de Guanabara, que apresentou um pequeno incremento nos níveis de ruído nas bandas de 63 e 125 Hz no período 2017-2021 para o OS1 e o OS1A, há uma tendência de estabilidade no ruído medido no entorno da Ilha Grande e do Canal de São Sebastião.

Não obstante a proximidade geográfica entre alguns dos pontos monitorados, em particular os OS1 e OS1A e os OS3R e OS3R1, 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, em conjunto com a baixa variabilidade interanual identificada em todas as regiões monitoradas, sugerem 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 e cuja resultante, no entanto, tem mantido um caráter de estabilidade. 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., 2016).

É importante ressaltar que o simples incremento do ruído ambiente em regiões com maior atividade não pode ser tomado como uma medida direta de 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


Coordenador da Equipe
Técnico Responsável5º Relatório
TécnicoRevisão 00
08/2021

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.

A existência de maiores níveis de ruído próximo a regiões de intensa atividade de E&P e navegação na Bacia de Santos vem sendo observada e consolidada ao longo dos ciclos de medição. Tais níveis, no entanto, estão em linha ou mesmo abaixo do ruído medido em outras regiões em que atividades antropogênicas semelhantes ocorrem. Em relação ao Golfo do México, região de intensa atividade de E&P, os níveis espectrais nas bandas de 63 e 125 Hz na região R1 ficaram próximos dos níveis naquela região, mas nas regiões R2, R3 e R4, os níveis ficaram próximo ou abaixo dos níveis daquela região nos seus momentos menos ruidosos. Já em relação ao Mar do Norte, onde o nível de atividade da indústria de óleo e gás vem declinando ao longo dos últimos anos, os níveis observados nas regiões R1 e R2 da Bacia de Santos são mais elevados para a frequência de 63 Hz na comparação com resultados de estudos realizados naquela região. Isto sugere que o nível de atividade e desenvolvimento da indústria na Bacia de Santos se encontra num patamar intermediário em relação a estas duas regiões.

Diante do exposto, considera-se que os resultados apresentados neste relatório com dados do 1º ciclo do PMPAS-BS de novembro de 2015 até dezembro de 2020 (05 anos de dados acústicos medidos) são capazes de fornecer uma base robusta para definição dos principais aspectos e tendências da paisagem acústica submarina da Bacia de Santos, conforme gráficos e tabelas apresentados nos capítulos anteriores, 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




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

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.). No futuro, com o aprimoramento e validação do modelo regional de propagação acústica SIMAS, a contribuição dos diversos atores poderá ser gradualmente avaliada.



Coordenador da Equipe

Técnico Responsável5º Relatório
TécnicoRevisão 00
08/2021

VI REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANSI. **ANSI S1.11-2004 - Specification for octave-band and fractional-octave-band analog and digital filters.** [s.l.: s.n.].

AU, Whitlow W. L.; BANKS, Kiara. The acoustics of the snapping shrimp *Synalpheus parneomeris* in Kaneohe Bay. **The Journal of the Acoustical Society of America**, [S. l.], v. 103, n. 1, p. 41–47, 1998. DOI: 10.1121/1.423234. Disponível em: <http://asa.scitation.org/doi/10.1121/1.423234>.

AUSTIN, Melanie E. Underwater noise emissions from drillships in the Arctic. *In*: 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE AND EXHIBITION ON UNDERWATER ACOUSTICS 2014, **Anais [...]**. [s.l.: s.n.] p. 257–264.

BASSETT, Christopher; THOMSON, Jim; DAHL, Peter H.; POLAGYE, Brian. Flow-noise and turbulence in two tidal channels. **The Journal of the Acoustical Society of America**, [S. l.], v. 135, n. 4, p. 1764–1774, 2014. DOI: 10.1121/1.4867360.

BITTENCOURT, Lis; SOARES-FILHO, William; DE LIMA, Isabela Maria Seabra; PAI, Sudhir; LAILSON-BRITO, Jose; BARREIRA, Leonardo Martins; AZEVEDO, Alexandre Freitas; GUERRA, Luiz Alexandre A. Mapping cetacean sounds using a passive acoustic monitoring system towed by an autonomous Wave Glider in the Southwestern Atlantic Ocean. **Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers**, [S. l.], v. 142, n. October, p. 58–68, 2018. DOI: 10.1016/j.dsr.2018.10.006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2018.10.006>.

BOHNENSTIEHL, Delwayne R.; LILLIS, Ashlee; EGGLESTON, David B. The curious acoustic behavior of estuarine snapping shrimp: Temporal patterns of snapping shrimp sound in sub-tidal oyster reef habitat. **PLoS ONE**, [S. l.], v. 11, n. 1, p. 1–21, 2016. DOI: 10.1371/journal.pone.0143691.

BUSCAINO, Giuseppa et al. Temporal patterns in the soundscape of the shallow waters of a Mediterranean marine protected area. **Scientific Reports**, [S. l.], v. 6,



n. May, p. 1–13, 2016. DOI: 10.1038/srep34230. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/srep34230>.

BUTLER, Jack; BUTLER, Mark J.; GAFF, Holly. Snap, crackle, and pop: Acoustic-based model estimation of snapping shrimp populations in healthy and degraded hard-bottom habitats. **Ecological Indicators**, [S. l.], v. 77, p. 377–385, 2017. DOI: 10.1016/j.ecolind.2017.02.041. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.02.041>.

CAMPBELL, Daniel. **Estudo da paisagem acústica submarina na região do Arraial do Cabo, Rio de Janeiro, Brasil**. 2018. Universidade Federal Fluminense, [S. l.], 2018.

CATO, Douglas H. Ocean ambient noise: Its measurement and its significance to marine animals. **Proceedings of the Institute of Acoustics**, [S. l.], v. 30, n. PART 5, p. 1–9, 2008.

COCKREM, John. Review of Stress and the Measurement of Stress in Marine Mammals. *In*: FINAL 2014 REPORT FROM ONR MARINE MAMMAL PHYSIOLOGICAL STRESS RESPONSE 2014, **Anais [...]**. [s.l: s.n.] p. 1–6.

COLLADON, J. D.; STURM, J. K. E. Speed of sound in liquids. *In*: **The compression of liquids (in French)**. [s.l: s.n.] p. 236–257.

COQUEREAU, Laura; GRALL, Jacques; CHAUVAUD, Laurent; GERVAISE, Cédric; CLAVIER, Jacques; JOLIVET, Aurélie; DI IORIO, Lucia. Sound production and associated behaviours of benthic invertebrates from a coastal habitat in the north-east Atlantic. **Marine Biology**, [S. l.], v. 163, n. 5, 2016. DOI: 10.1007/s00227-016-2902-2.

DAHL, Peter H.; MILLER, James H.; CATO, Douglas H.; ANDREW, Rex K. Underwater Ambient Noise. **Acoustics Today**, [S. l.], v. 3, n. 1, p. 23–33, 2007.

DEKELING, R. P. A. et al. Monitoring Guidance for Underwater Noise in European Seas. Part II - Monitoring guidance specification. **Jrc Scientific and Policy Reports**, [S. l.], n. November, p. 47, 2013. DOI: 10.2788/29293.



DEKELING, R. P. A. et al. **Monitoring Guidance for Underwater Noise in European Seas. Part I: Executive Summary.** [s.l: s.n.]. DOI: 10.1111/j.1755-148X.2008.00479.x.

DEKELING, R. P. A. et al. **Monitoring guidance for underwater noise in European seas - Part III - Background Information and Annexes.** [s.l: s.n.]. DOI: 10.2788/2808.

ERBE, Christine; MCCAULEY, Robert; MCPHERSON, Craig; GAVRILOV, Alexander. Underwater noise from offshore oil production vessels. **The Journal of the Acoustical Society of America**, [S. l.], v. 133, n. 6, p. EL465–EL470, 2013. DOI: 10.1121/1.4802183.

ERBE, Christine; VERMA, Arti; MCCAULEY, Robert; GAVRILOV, Alexander; PARNUM, Iain. The marine soundscape of the Perth Canyon. **Progress in Oceanography**, [S. l.], v. 137, n. June, p. 38–51, 2015. a. DOI: 10.1016/j.pocean.2015.05.015.

ERBE, Christine; VERMA, Arti; MCCAULEY, Robert; GAVRILOV, Alexander; PARNUM, Iain. The marine soundscape of the Perth Canyon. **Progress in Oceanography**, [S. l.], v. 137, p. 38–51, 2015. b. DOI: 10.1016/j.pocean.2015.05.015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pocean.2015.05.015>.

EUROPEAN COMMISSION. **Report on the implementation of the Marine Strategy Framework Directive COM(2020) 259 final.** [s.l: s.n.].

FARCAS, Adrian; POWELL, Claire F.; BROOKES, Kate L.; MERCHANT, Nathan D. Validated shipping noise maps of the Northeast Atlantic. **Science of the Total Environment**, [S. l.], v. 735, n. May, p. 139509, 2020. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.139509. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139509>.

FINNERAN, James J. **Auditory weighting functions and TTS/PTS exposure functions for cetaceans and marine carnivores. Technical Report 3026.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/1026445.pdf>.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

GEDAMKE, Jason et al. **Ocean Noise Strategy Roadmap**Noaa. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <http://cetsound.noaa.gov/ons>.

GILLESPIE, D.; GORDON, J.; MCHUGH, R.; MCLAREN, D.; MELLINGER, D. K.; REDMOND, P.; THODE, A.; TRINDER, P.; DENG, X. Y. PAMGUARD: Semiautomated, open source software for real-time acoustic detection and localisation of cetaceans. **Proceedings of the Institute of Acoustics**, [S. l.], v. 30, n. PART 5, p. 54–62, 2008. DOI: 10.1121/1.4808713.

HARRIS, Sydney A.; RADFORD, Craig A. Marine Soundscape Ecology. [S. l.], p. 1–9, 2014.

HAYER, Samara M. et al. Monitoring long-term soundscape trends in U.S. Waters: The NOAA/NPS Ocean Noise Reference Station Network. **Marine Policy**, [S. l.], v. 90, n. February, p. 6–13, 2018. DOI: 10.1016/j.marpol.2018.01.023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.01.023>.

HAWKINS, Anthony D.; POPPER, Arthur N. A sound approach to assessing the impact of underwater noise on marine fishes and invertebrates. **ICES Journal of Marine Science**, [S. l.], v. 74, n. 3, p. 635–651, 2017. DOI: 10.1093/icesjms/fsw205. Disponível em: <https://academic.oup.com/icesjms/article/74/3/635/2739034>.

HELCOM. **State of the Baltic Sea- Second HELCOM holistic assessment, 2011-2016**Baltic Sea Environment Proceedings 155. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <http://stateofthebalticsea.helcom.fi/pressures-and-their-status/hazardous-substances/>.

HILDEBRAND, JA. Anthropogenic and natural sources of ambient noise in the ocean. **Marine Ecology Progress Series**, [S. l.], v. 395, p. 5–20, 2009. DOI: 10.3354/meps08353. Disponível em: <http://www.int-res.com/abstracts/meps/v395/p5-20/>.

IPQM/PETROBRAS. **3º Relatório Técnico PMPAS-BS - Nov/2015 a Dez/2018**. Rio de Janeiro.

IPQM. **RT-A2-004 - Teste de ruído de fluxo dos gliders**. [s.l.: s.n.].




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

JENSEN, Finn B.; KUPERMAN, William A.; PORTER, Michael B.; SCHMIDT, Henrik. **Computational Ocean Acoustics**. New York, NY: Springer New York, 2011. v. 42 Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/978-1-4419-8678-8>.

KLINCK, Holger et al. Near-real-time acoustic monitoring of beaked whales and other cetaceans using a Seaglider™. **PLoS ONE**, [S. l.], v. 7, n. 5, p. 1–8, 2012. DOI: 10.1371/journal.pone.0036128.

KRAUSE, Bernard L. Bioacoustic habitat ambience & ecological balance. **Whole Earth**, [S. l.], n. 57, p. 142p, 1987.

LANDAU, L. D.; LIFSHITZ, E. M. **Fluid Mechanics**. [s.l.] : Pergamon Press, 1987.

LILLIS, Ashlee; MOONEY, T. Aran. Snapping shrimp sound production patterns on Caribbean coral reefs: relationships with celestial cycles and environmental variables. **Coral Reefs**, [S. l.], v. 37, n. 2, p. 597–607, 2018. DOI: 10.1007/s00338-018-1684-z. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00338-018-1684-z>.

LIMA, Fabiano Marcos De; JUNIOR, Carlos Correa; SOARES-FILHO, William; GALOTTA, Catia; ANTONIO, José; LIMA, Moreira; PAULA, Thiago Pires De. An Underwater Acoustic Modelling Framework for Santos Basin , Brazil. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON UNDERWATER ACOUSTICS 2020, **Anais [...]**. [s.l: s.n.] p. 1–8.

MCWILLIAM, Jamie N.; MCCAULEY, Robert D.; ERBE, Christine; PARSONS, Miles J. G. Patterns of biophonic periodicity on coral reefs in the Great Barrier Reef. **Scientific Reports**, [S. l.], v. 7, n. 1, p. 1–14, 2017. DOI: 10.1038/s41598-017-15838-z. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-017-15838-z>.

MEDWIN, Herman; CLAY, Clarence S. **Fundamentals of acoustics oceanography**. San Diego: Academic Press, 1998.

MELO JUNIOR, Ubirajara Gonçalves; XAVIER, Fábio Contrera; CAMPBELL, Daniel; SILVEIRA, Nilce; VERSIANI, Leonardo; CUMPLIDO, Rodrigo; RODRIGUES, Marcelo; NETTO, Eduardo B. Fagundes. Characterization of the acoustic activity of Perna perna (bivalve mollusc) under laboratory conditions. **2019 International Congress on Ultrasonics**, [S. l.], v. 38, n. June 2020, p. 010010,




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

2020. DOI: 10.1121/2.0001254.

MERCHANT, Nathan D.; BROOKES, Kate L.; FAULKNER, Rebecca C.; BICKNELL, Anthony W. J.; GODLEY, Brendan J.; WITT, Matthew J. 2-Underwater noise levels in UK waters. **Scientific Reports**, [S. l.], v. 6, n. 1, p. 36942, 2016. DOI: 10.1038/srep36942. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/srep36942>.

MOONEY, T. Aran; DI IORIO, Lucia; LAMMERS, Marc; LIN, Tzu Hao; NEDELEC, Sophie L.; PARSONS, Miles; RADFORD, Craig; URBAN, Ed; STANLEY, Jenni. Listening forward: Approaching marine biodiversity assessments using acoustic methods: Acoustic diversity and biodiversity. **Royal Society Open Science**, [S. l.], v. 7, n. 8, 2020. DOI: 10.1098/rsos.201287.

MOREIRA, Jobel Lourenço Pinheiro; VALDETARO, Claudio; GIL, João Alexandre; MACHADO, Marco Antônio Pinheiro. Bacia de Santos. **Boletim de Geociencias da Petrobras**, [S. l.], p. 531–549, 2007.

MUSTONEN, Mirko et al. Spatial and Temporal Variability of Ambient Underwater Sound in the Baltic Sea. **Scientific Reports**, [S. l.], v. 9, n. 1, p. 1–13, 2019. DOI: 10.1038/s41598-019-48891-x.

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. **Relatório Técnico do Projeto de Monitoramento do Tráfego de Embarcações da Bacia de Santos - PMTE-BS - Em elaboração**. [s.l: s.n.].

PIJANOWSKI, Bryan C.; VILLANUEVA-RIVERA, Luis J.; DUMYAHN, Sarah L.; FARINA, Almo; KRAUSE, Bernie L.; NAPOLETANO, Brian M.; GAGE, Stuart H.; PIERETTI, Nadia. Soundscape ecology: The science of sound in the landscape. **BioScience**, [S. l.], v. 61, n. 3, p. 203–216, 2011. DOI: 10.1525/bio.2011.61.3.6.

PROOCEANO. **Análise de flow-noise nos dados acústicos coletados por gliders**. [s.l: s.n.].




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

RADFORD, C. A.; STANLEY, J. A.; JEFFS, A. G. Adjacent coral reef habitats produce different underwater sound signatures. **Marine Ecology Progress Series**, [S. l.], v. 505, p. 19–28, 2014. DOI: 10.3354/meps10782.

RADFORD, C. A.; STANLEY, J. A.; TINDLE, C. T.; MONTGOMERY, J. C.; JEFFS, A. G. Localised coastal habitats have distinct underwater sound signatures. **Marine Ecology Progress Series**, [S. l.], v. 401, n. July 2014, p. 21–29, 2010. DOI: 10.3354/meps08451.

RADFORD, Craig; JEFFS, Andrew; TINDLE, Chris; MONTGOMERY, JC. Resonating sea urchin skeletons create coastal choruses. **Marine Ecology Progress Series**, [S. l.], v. 362, p. 37–43, 2008. DOI: 10.3354/meps07444. Disponível em: <http://www.int-res.com/abstracts/meps/v362/p37-43/>.

ROSS, Donald. **Mechanics of underwater noise**. [s.l.] : Pergamon Press, 1976.

SAHA, Suranjana et al. The NCEP climate forecast system version 2. **Journal of Climate**, [S. l.], v. 27, n. 6, p. 2185–2208, 2014. DOI: 10.1175/JCLI-D-12-00823.1.

SCHAFER, R. Murray. **The soundscape: our sonic environment and the tuning of the world**. [s.l.: s.n.].

SOUTHWORTH, M. The Sonic Environment of Cities. **Environment and Behavior**, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 49–70, 1969. DOI: 10.1177/001391656900100104. Disponível em: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/001391656900100104>.

STRASBERG, M.; TAYLOR, David W. Nonacoustic noise interference in measurements of infrasonic ambient noise. **Journal of the Acoustical Society of America**, [S. l.], v. 66, n. 5, p. 1487–1493, 1979. DOI: 10.1121/1.383543.

URICK, Robert J. **Principles of Underwater Sound**. 3rd. ed. [s.l.] : McGraw-Hill Book Company, 1983.

VAN GEEL, Nienke C. F.; MERCHANT, Nathan D.; CULLOCH, Ross M.; EDWARDS, Ewan W. J.; DAVIES, Ian M.; O'HARA MURRAY, Rory B.; BROOKES, Kate L. Exclusion of tidal influence on ambient sound measurements. **The Journal of the Acoustical Society of America**, [S. l.], v. 148, n. 2, p. 701–




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

712, 2020. DOI: 10.1121/10.0001704. Disponível em:
<http://asa.scitation.org/doi/10.1121/10.0001704>.

VELLEMAN, Paul F.; HOAGLIN, David C. **Applications, Basics, and Computing of Exploratory Data Analysis**. Boston.

WENZ, Gordon M. Acoustic Ambient Noise in the Ocean: Spectra and Sources. **The Journal of the Acoustical Society of America**, [S. l.], v. 34, n. 12, p. 1936–1956, 1962. DOI: 10.1121/1.1909155.

WILLIAMS, R. et al. Impacts of anthropogenic noise on marine life: Publication patterns, new discoveries, and future directions in research and management. **Ocean and Coastal Management**, [S. l.], v. 115, p. 17–24, 2015. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2015.05.021. Disponível em:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.05.021>.

XAVIER, Fabio C. **Assinatura bioacústica de costões rochosos: Caracterização, modelagem e aplicações biotecnológicas**. 2021. Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira & Universidade Federal Fluminense, [S. l.], 2021.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

VII EQUIPE TÉCNICA**VII.1 PETROBRAS**

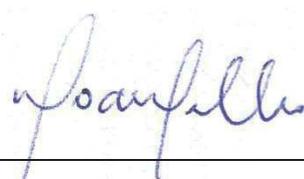
Profissional	Thiago Pires de Paula
Unidade de Negócios	CENPES/PDDP/TEO
Registro no Conselho de Classe	CREA/RJ 200920704-1
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	6964874
Responsável pela(s) Seção(ões)	III, IV, V
Assinatura	



Coordenador da Equipe

Técnico Responsável5º Relatório
TécnicoRevisão 00
08/2021

VII.2 INSTITUTO DE PESQUISAS DA MARINHA (IPQM)

Profissional	Cristiani Perrini Bodart
Unidade de Negócios	IPqM
Registro no Conselho de Classe	CREA-RJ – 148.978-D
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	7222416
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 Metodologia de Aquisição e Processamento dos Dados

A.1 Monitoramento Móvel

A.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 fluutuabilidade 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 emersão.

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 emersão. Os dados recebidos de cada perfilador são armazenados num arquivo com formato "NetCDF". Os dados destes arquivos 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.

A.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 *Seagliders*, fabricados pela empresa Kongsberg, que permitem a coleta contínua de dados oceanográficos de




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

temperatura, condutividade e profundidade, usando um sensor de CTD (do inglês, *Conductivity, Temperature, Depth*), e sua transmissão ocorre quando o *glider* retorna à superfície. Os *Seagliders* 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 com duração de até 500 horas por campanha 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 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.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

A.2 Monitoramento Fixo

A.2.1 Aquisição dos Dados Acústicos com Observatórios Submarinos (OSs)

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

Nos OSs 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. Diferentes equipamentos foram usados para a aquisição do sinal acústico nos OSs.

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

O processamento dos sinais acústicos gravados nos OSs 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 OSs 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.

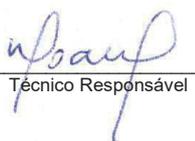
A.2.2 Aquisição dos Dados Acústicos com Linhas de Fundeio Instrumentadas (LFIs)

As Linhas de Fundeio Instrumentadas (LFIs) consistem numa linha, presa por um liberador acústico a uma poita e terminando numa boia submersa de




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

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.

Nas profundidades de 50 m, 200 m e 950 m, estão instalados equipamentos de monitoração acústica capazes de realizar gravações no modo pulsado, sendo programados para a gravação de 85 segundos de sinal a cada 10 minutos. O período pretendido de recuperação das linhas é da ordem de seis meses. O equipamento usado para a gravação dos sinais acústicos é o gravador autônomo AMAR-G3, fabricado pela empresa JASCO.

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.

A.2.3 Dados Ambientais

Com intuito de verificar possíveis correlações entre os dados coletados pelos sensores acústicos e parâmetros abióticos, neste relatório foram utilizados dois parâmetros ambientais (vento e altura significativa de onda). Os dados horários de vento e onda, com resolução de aproximadamente 27 km, foram extraídos do produto ERA5 da ECMWF (*The European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*). Tais parâmetros foram filtrados espacialmente, de acordo




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

com as regiões de interesse, e temporalmente em relação aos períodos de medição dos dados acústicos.

A.3 Densidade de Embarcações

As posições das embarcações nas regiões de interesse foram 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.

A.4 Georeferenciamento 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 LFIs 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.

A.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.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

A.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, 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 (OSs), *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.

A.7 Processamento e Arquivamento dos Dados

A.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




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

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*, OSs e LFI), 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.

A.7.2 Critérios de Detecção de Embarcações

Um dos objetivos principais dos observatórios submarinos é a obtenção do nível da fonte (**SL = Source Level**) de embarcações da PETROBRAS e de terceiros que trafeguem próximo aos OSs. Os SL destas embarcações são usados nos modelos para a construção de mapas geográficos com níveis de ruído na Bacia de Santos. A Figura A.7.2-1 mostra o sinal captado no OS da Baía de Guanabara durante a passagem de uma embarcação, podendo-se observar a elevação correspondente dos níveis do sinal acústico.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

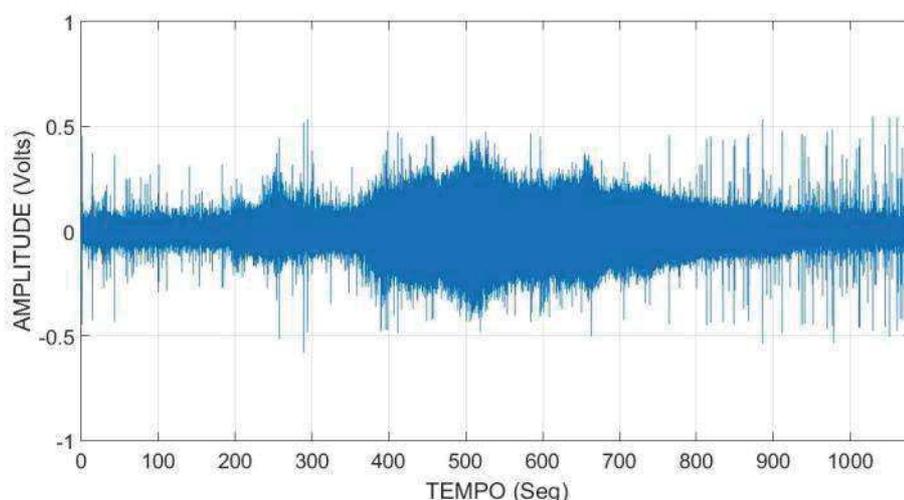


Figura A.7.2-1: Exemplo do sinal acústico durante a passagem de uma embarcação por um OS.

Para a obtenção dos níveis da fonte para uma embarcação, é necessário que o ruído produzido por ela seja significativamente maior do que os níveis do ruído ambiente no local, sendo um aumento igual ou maior que 10 dB um valor adequado, para as distâncias dos OSs aos canais de navegação. São analisadas as bandas entre 40 e 3.000 Hz. A Figura A.7.2-2 mostra, como exemplos, espectros obtidos antes e durante a passagem da embarcação. Pode-se observar que, para esta embarcação, ocorreu um aumento maior que 10 dB em toda a faixa de frequência analisada, sendo possível obter seu SL.

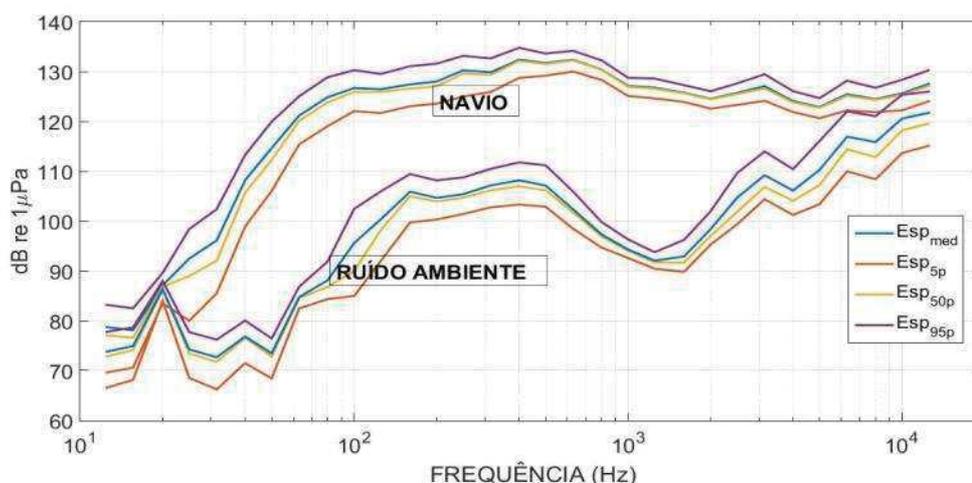


Figura A.7.2-2: Espectros obtidos antes e durante a passagem da embarcação.

A.7.3 Critérios de Detecção de Biofonia

Na detecção de sinais de origem biológica, são avaliados os sinais acústicos para a busca de sinais tonais e de sons pulsados que representam as frequências e durações típicas dos sinais produzidos pelos delfinídeos, e os sinais correspondentes a baleias e peixes. Os parâmetros de duração e frequência usados em cada configuração dos detectores foram escolhidos baseados na literatura, como em Bittencourt *et al.* (2018), sobre sons da fauna marinha.

A detecção é feita utilizando o programa PAMGuard (GILLESPIE *et al.*, 2008) e sua saída é processada manualmente, como no caso dos *gliders*, ou por meio de uma rede neural, como foi feito para os OSs e LFI. Os trechos detectados são recortados e enviados para o Projeto de Monitoramento de Cetáceos, para separação das vocalizações, classificação e inclusão na base de dados de vocalizações de cetáceos.

A.7.4 Definição dos Parâmetros Processados

Os perfiladores não transmitem as séries temporais correspondentes às medições realizadas nas janelas acústicas. Calculam e transmitem espectros de 1/3 de oitava do Nível de Pressão Sonora (SPL, do inglês **Sound Pressure Level**) entre 10 Hz a 10 kHz, mais especificamente o espectro médio e os espectros dos percentis de 5%, 50% e 95%, além dos parâmetros SPL_{RMS} Médio, SPL_{MAX} e $SPL_{pico-a-pico}$.

Por outro lado, as medições dos demais equipamentos são séries temporais contínuas ou com interrupções, de valores relacionados ao Nível de Pressão Sonora, amostrados em altas frequências.

Foi considerado que 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.*, 2014a; 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.*, 2014a,




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

2014b). 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 OSs e extrair delas parâmetros equivalentes, ou seja, 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 a 10 kHz;
- Espectro de 1/3 de oitava do Nível de Pressão Sonora (SPL) RMS percentil de 5% entre 10 Hz a 10 kHz;
- Espectro de 1/3 de oitava do Nível de Pressão Sonora (SPL) RMS percentil de 50% entre 10 Hz a 10 kHz;
- Espectro de 1/3 de oitava do Nível de Pressão Sonora (SPL) RMS percentil de 95% entre 10 Hz a 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%.

A.7.5 Outros Processamentos

Os valores de SPL de perfiladores e *gliders* foram utilizados para avaliar preliminarmente a distribuição estatística destes dados. Dessa forma, os dados foram representados através de histogramas e avaliados para verificar se os dados se ajustam a uma função de densidade de probabilidade para distribuição




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

normal. Além disso, os dados SPL foram correlacionados com o número de embarcações e fatores abióticos (intensidade do vento e altura significativa de onda) ao longo do tempo nas regiões de interesse. Os coeficientes de correlação de *Spearman* foram calculados para cada situação.

Com o intuito de avaliar se existe diferença significativa entre os dados de SPL das regiões de interesse, foi realizada uma Análise de Variância (ANOVA) nas bandas de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz, seguida de um teste pos-hoc para verificar para quais regiões as diferenças encontradas entre as distribuições são estatisticamente significativas.

A.7.5.1 Perfiladores Acústicos

No caso dos perfiladores acústicos, cujos dados são processados internamente, são somente realizados testes de qualificação para a detecção e remoção de dados espúrios baseados na distribuição estatística dos parâmetros.

Todas as janelas acústicas qualificadas são consideradas para inclusão no sistema de informações, mesmo aquelas que se encontram fora da área delimitada da Bacia de Santos ou aquelas fora das três áreas de interesse. As janelas acústicas são classificadas pelas faixas de profundidade e distribuídas nos quadrados de resolução de 1/6 de grau. As janelas de medições dos perfiladores em cada ciclo estão todas georreferenciadas ao seu ponto de emersão.

A Figura A.7.5.1-1 é um exemplo de espectros de SPL médio e nos percentis de 5%, 50% e 95%, coletados por um perfilador, em 26/01/2017, na profundidade de 183 m.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

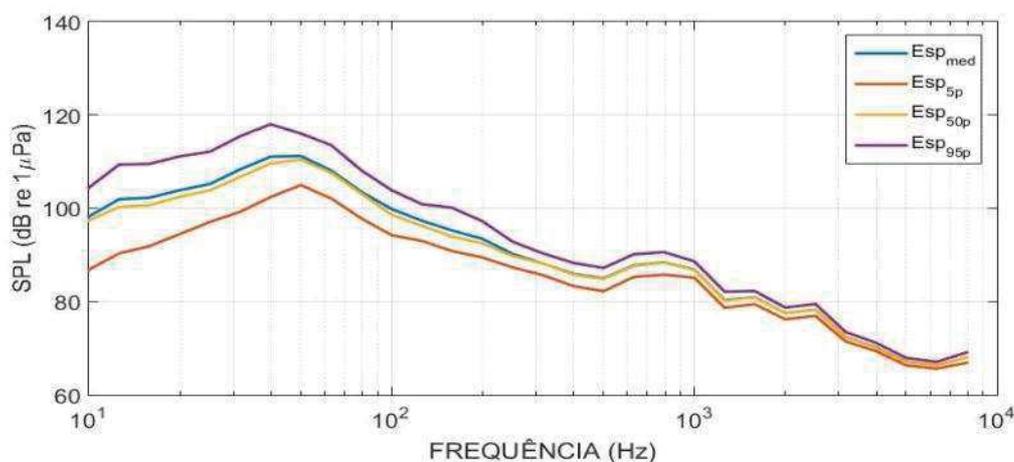


Figura A.7.5.1-1: Exemplo de espectro de SPL médio e nos percentis de 5%, 50% e 95%, transmitido por um perfilador, em 26/01/2017, para a profundidade de 183 m.

A.7.5.2 Gliders

No processamento dos dados advindos dos *gliders*, os arquivos de cada perfil são tratados para identificar os eventos de ruído próprio de acionamento ou ruído de fluxo excessivo e remoção de *outliers*. A seguir são escolhidas janelas acústicas, classificadas pelas faixas de profundidade e distribuídas nos quadrados de resolução de 1/6 de grau. As janelas de medições dos *gliders* são georreferenciadas às posições estimadas na sua trajetória, obtidas pela interpolação das posições GPS do *glider* no início e final de cada mergulho, nos tempos das medições acústicas.

A Figura A.7.5.2-1 é um exemplo de um espectro de SPL médio e nos percentis de 5%, 50% e 95%, calculados a partir de sinais coletados por um *glider*, em 14/11/2017, na profundidade de 592 m.



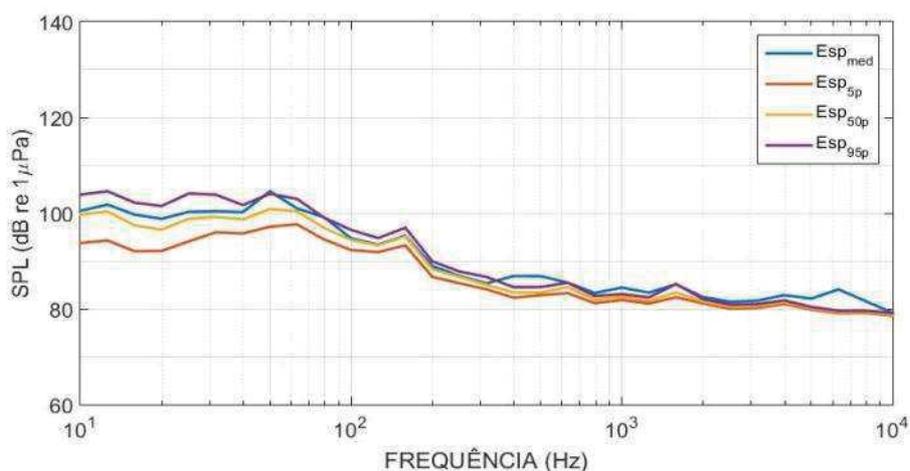


Figura A.7.5.2-1: Exemplo de espectro de SPL médio e nos percentis de 5%, 50% e 95%, calculado a partir de um sinal gravado por um glider em 14/11/2017, para a profundidade de 592 m.

A.7.5.3 Observatórios Submarinos

No processamento dos dados advindos dos OSs, os arquivos são processados para garantir a sua qualificação e para a identificação de eventos, como a passagem de navios e a ocorrência de biofonia. Os arquivos são segmentados e para cada janela de um minuto selecionada é realizado o processamento para a obtenção dos parâmetros SPL e dos espectros de 1/3 de oitava.

A Figura A.7.5.3-1 é um exemplo de um espectro de SPL médio e nos percentis de 5%, 50% e 95%, calculados a partir de sinais coletados por um OS, em 17/07/2017, na profundidade de 24 m.



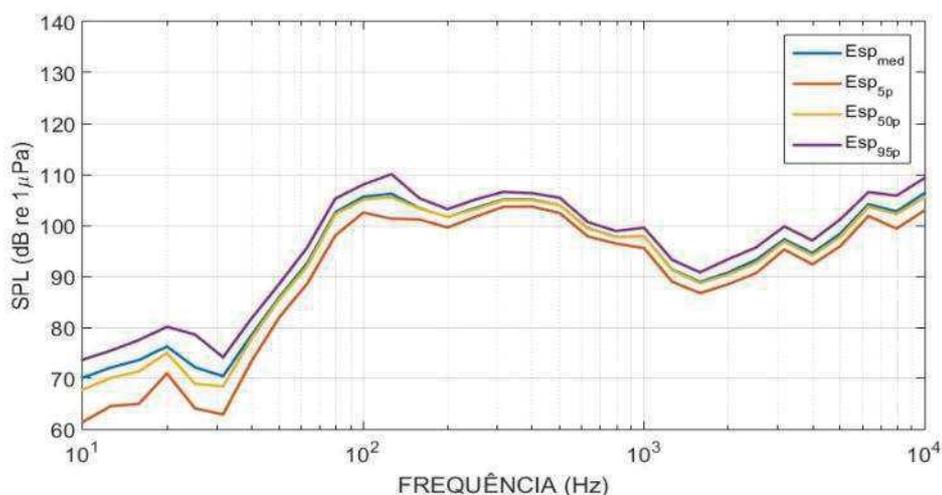


Figura A.7.5.3-1: Exemplo de espectro de SPL médio e nos percentis de 5%, 50% e 95%, calculado a partir de um sinal gravado num OS em 17/07/2017, para a profundidade de 24 m.

A.7.5.4 Linhas de Fundeio Instrumentadas

No processamento dos dados advindos das LFIs, os arquivos são processados para garantir a sua qualificação e para a identificação de eventos, como a passagem de navios e a ocorrência de biofonia. Ainda é verificada a correlação do SPL com a velocidade de corrente, sendo excluídos os trechos onde esta correlação for alta. Os arquivos são segmentados e para cada janela de um minuto selecionada é realizado o processamento para a obtenção dos parâmetros SPL e dos espectros de 1/3 de oitava.

A Figura A.7.5.4-1 é um exemplo de um espectro de SPL médio e nos percentis de 5%, 50% e 95%, calculados a partir de sinais coletados por uma LFI, em 26/11/2017, na profundidade de 200 m.



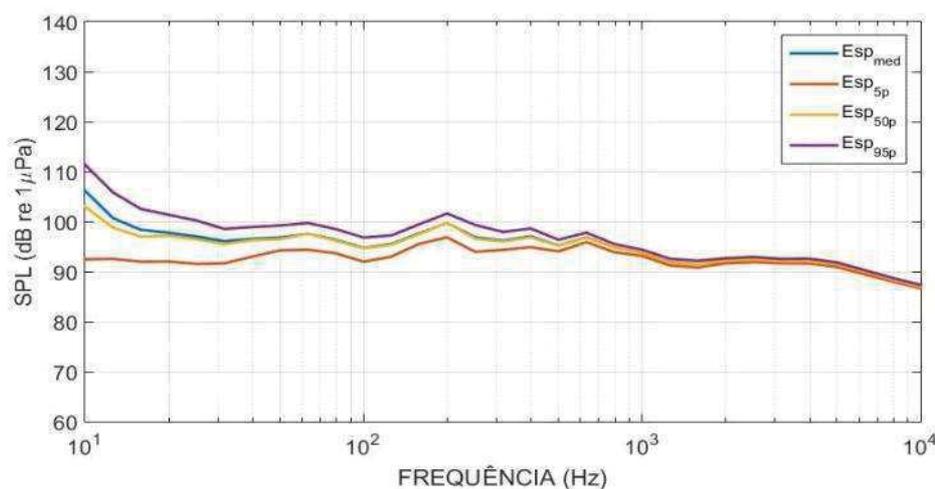


Figura A.7.5.4-1: Exemplo de espectro de SPL médio e nos percentis de 5%, 50% e 95%, calculado a partir de um sinal gravado numa LFI em 26/11/2017, para a profundidade de 200m.

A.7.5.5 Dados Ambientais

Os dados ambientais são usados apenas quando são feitas análises para correlacionar estes parâmetros com os níveis de ruído obtidos no PMPAS-BS. Eles não ficam armazenados no sistema de informações do projeto. Por este motivo, o processamento a ser realizado nestes dados vai depender do teste específico sendo realizado e será detalhado junto à descrição destes testes.

A.7.5.6 Densidade de Embarcações

O número de embarcações (NEMB) para cada região é calculado a partir dos registros presentes em cada hora cheia com uma margem de 10 minutos, totalizando um *duty cycle* de 33,3%, aproximadamente. Por exemplo, num determinado dia o NEMB de uma região é calculado a partir das etapas abaixo:

- Determinam-se os intervalos de amostragem (Ex: 00h50min a 01h10min, 01h50min a 02h10min, 23h50min a 00h10);
- Verifica-se o NEMB para cada intervalo de amostragem;
- Excluem-se as informações enviadas mais de uma vez, para cada embarcação, dentro do intervalo de amostragem;
- Calcula-se o NEMB para cada intervalo de amostragem.



O NEMB é usado para quantificar a atividade antrópica associada ao tráfego de embarcações numa determinada região. Nas análises apresentadas neste relatório, o NEMB é utilizado para avaliar sua influência nos níveis de ruído medidos pelos equipamentos de gravação acústica. São usadas nesta contagem apenas as embarcações que estejam dentro de um raio de 10 km das posições onde ocorreram uma medição. Esta limitação considera que os navios muito distantes têm uma contribuição muito pequena, quando comparada com a contribuição de um navio passando próximo ao sensor.

A.7.6 Apresentação dos Dados e Resultados

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

A.7.6.1 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 $1\mu\text{Pa}^2$, 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.

A.7.6.2 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.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

A.7.6.3 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 A.7.6.3-1. 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 A.7.6.3-1: Frequência central das bandas dos filtros de 1/3 de oitava, em Hz, em função do número da banda.

#Banda	Freq. Central						
1	6,3	11	63,1	21	631,0	31	6.310
2	7,9	12	79,4	22	794,3	32	7.943
3	10	13	100	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	31698
9	39,8	19	398,1	29	3.981	39	39.906
10	50,1	20	501,2	30	5.012	40	50.238

A.7.6.4 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.

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 OSs, 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.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

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.

A.7.6.5 *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 A.7.6.5-1 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)).

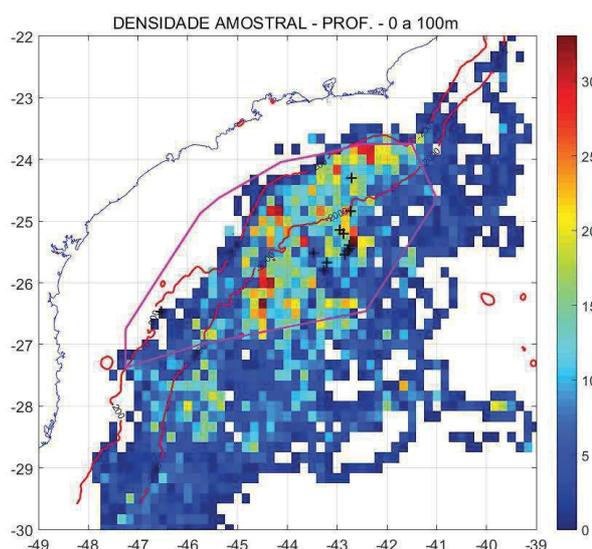


Figura A.7.6.5-1: Exemplo da distribuição espacial da Densidade Amostral para as profundidades entre 0 e 100 m.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

A.7.6.6 *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 A.7.6.6-1 mostra um exemplo desta apresentação.

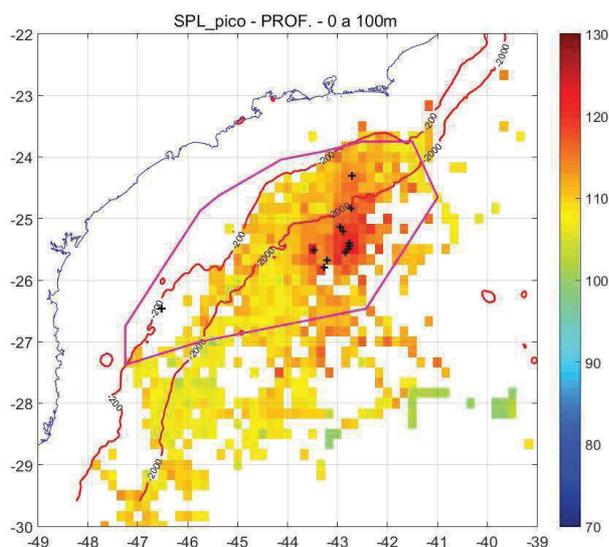


Figura A.7.6.6-1: Exemplo da distribuição espacial de SPL para as profundidades entre 0 e 100 m.

A.7.6.7 *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 A.7.6.7-1 mostra um exemplo desta apresentação.



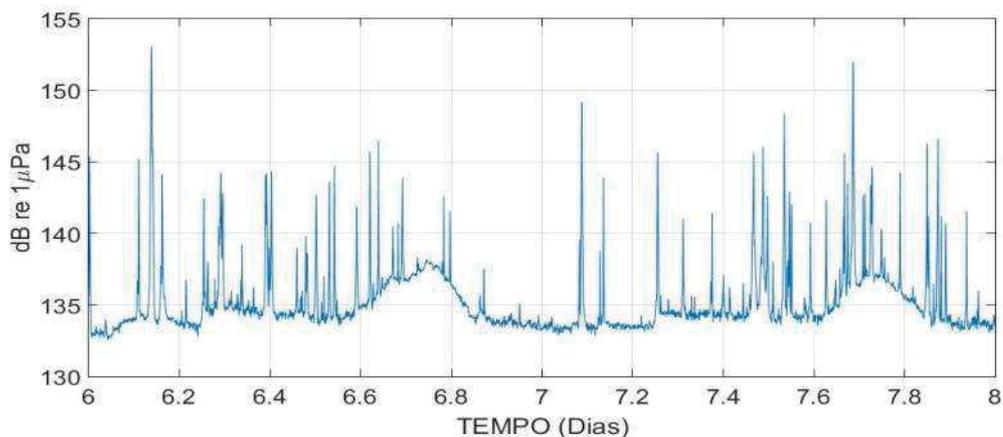


Figura A.7.6.7-1: Exemplo de apresentação do SPL em função do tempo, com resolução temporal de um minuto.

A.7.6.8 Espectros de 1/3 de Oitava

Esta apresentação consiste dos espectros de 1/3 de oitava do SPL RMS entre 10 Hz a 10 kHz, médio, e de percentis de 5%, 50% e 95% de uma janela de medição. A Figura A.7.6.8-1 mostra um exemplo de espectro de 1/3 de oitava de um sinal gravado num OS.

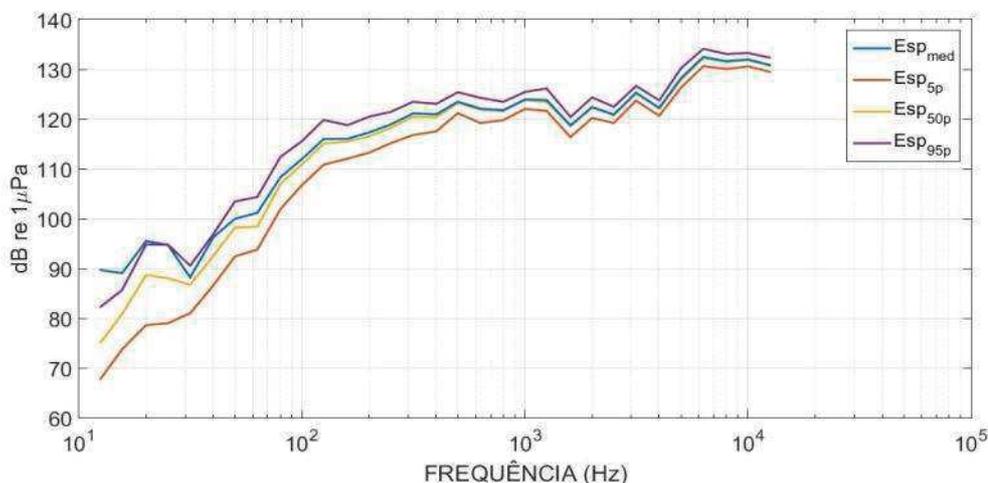


Figura A.7.6.8-1: Exemplo de espectro de 1/3 de oitava médio e nos percentis de 5%, 50% e 95% do ruído gravado num OS.

A.7.6.9 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 A.7.6.9-1 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.

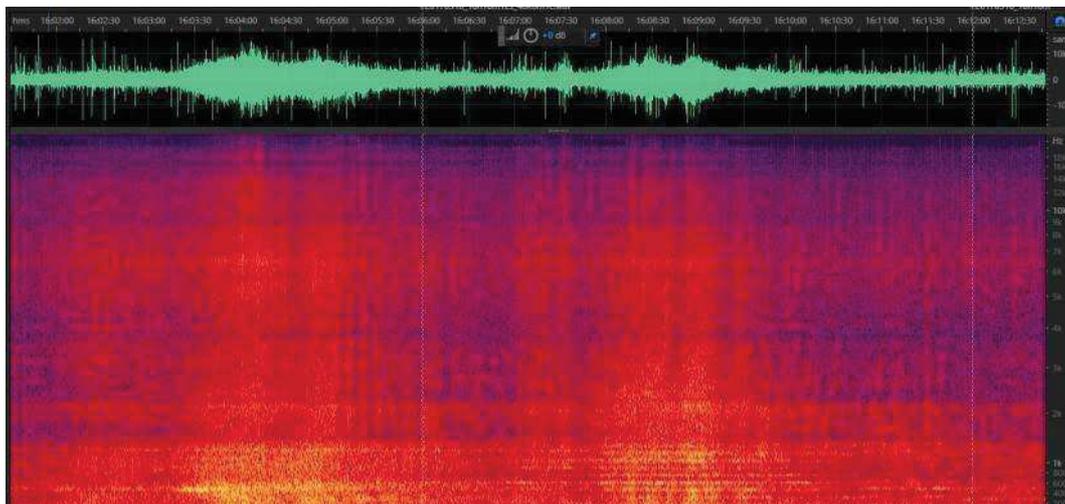


Figura A.7.6.9-1: Exemplo de um espectrograma correspondente a doze minutos de gravação num trecho em que se pode observar a passagem de duas embarcações.

A.7.6.10 **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):




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

$$W(f) = C + 10 \log_{10} \left\{ \frac{(f/f_1)^{2a}}{\left[1 + (f/f_1)^2\right]^a \left[1 + (f/f_2)^2\right]^b} \right\} \quad (\text{A.7.6.10-1})$$

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 , f_1 , f_2 , a e b apresentados nas duas primeiras linhas da Tabela A.7.6.10-1. Nesta tabela são apresentados, também, os limiares para o TTS e o PTS para os diversos grupos de mamíferos marinhos.

Tabela A.7.6.10-1: 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 Equação (A.7.6.10-1). 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 A.7.6.10-1 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.



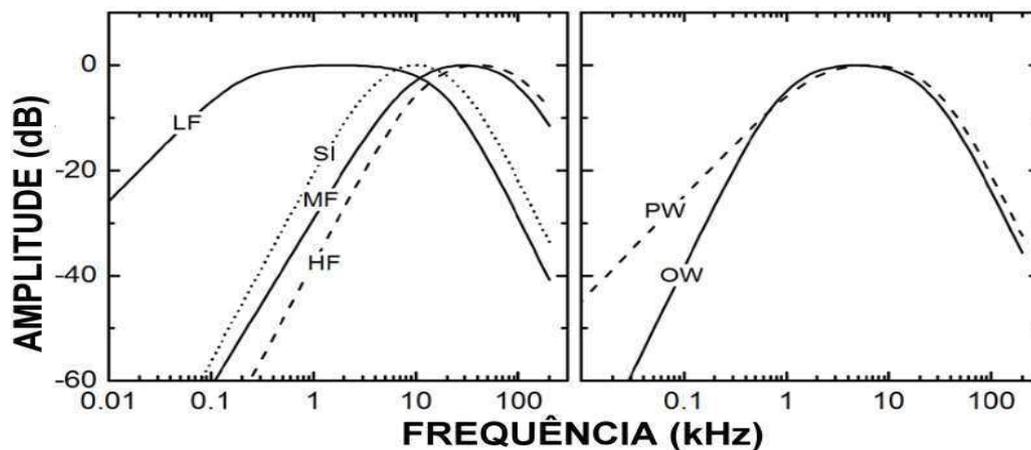


Figura A.7.6.10-1: Função de pesos para os grupos de espécies de mamíferos marinhos expostos ao ruído acústico submarino. Os parâmetros necessários para gerar as funções são fornecidos na Tabela A.7.6.10-1 (Fonte: Finneran (2016)).

A Tabela A.7.6.10-2 apresenta, para cada curva de pesos, os membros dos grupos de espécies de mamíferos marinhos correspondentes.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

Tabela A.7.6.10-2: 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 obliquoidens</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 (Bajji/ 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.

A.7.6.11 Testes Estatísticos

Nos resultados apresentados neste relatório, são feitas comparações das diferentes distribuições de dados obtidos em condições diversas usando uma representação conhecida como *boxplot*, onde diversas informações estatísticas das distribuições são mostradas graficamente, facilitando a comparação (VELLEMAN; HOAGLIN, 1981). A Figura A.7.6.11-1 mostra um exemplo de utilização do *boxplot* para comparar três conjuntos de dados. Para cada conjunto de dados, o retângulo marca a posição dos 25° e 75° percentis (distância interquartil - IQR) e a linha vermelha no centro representa a mediana (50° percentil). As barras acima e abaixo do quadrado correspondem a uma distância de uma vez e meia a altura do quadrado (1,5 IQR) a partir da parte superior e inferior do quadrado, respectivamente. Os pontos acima da barra superior ou abaixo da barra inferior são representados por cruces vermelhas. O uso do valor de 1,5 IQR corresponde a uma cobertura de 99,3% dos dados, se eles tiverem uma distribuição normal.

Antes da análise estatística, os dados são submetidos a um processo de qualificação onde valores espúrios são detectados e excluídos das análises seguintes, conforme descrito com detalhes no segundo relatório técnico do PMPAS-BS (IPQM/PETROBRAS, 2019). Os valores representados pelas cruces vermelhas citados acima podem corresponder a sinais de nível mais alto e que ocorram com pouca frequência nos dados, como ocorre no caso da passagem de uma embarcação próximo ao sensor. Estes dados não contribuem efetivamente para o entendimento do ruído ambiente, porque representam mais uma indicação local do que regional, já que os níveis decaem rapidamente com a distância.

A comparação entre as distribuições é feita usando-se a Análise de Variância (ANOVA) e do teste pos-hoc Tukey, testando a hipótese nula de que as distribuições são iguais. Para estas análises, os dados fora da distância de 1,5 IQR abaixo do 25° percentil e acima do 75° percentil são removidos para reduzir sua interferência na comparação das distribuições. No exemplo dos dados da Figura A.7.6.11-1, a análise ANOVA mostrou que os três grupos são significativamente diferentes entre eles ($F = 25228$, $p=0,0000$).




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

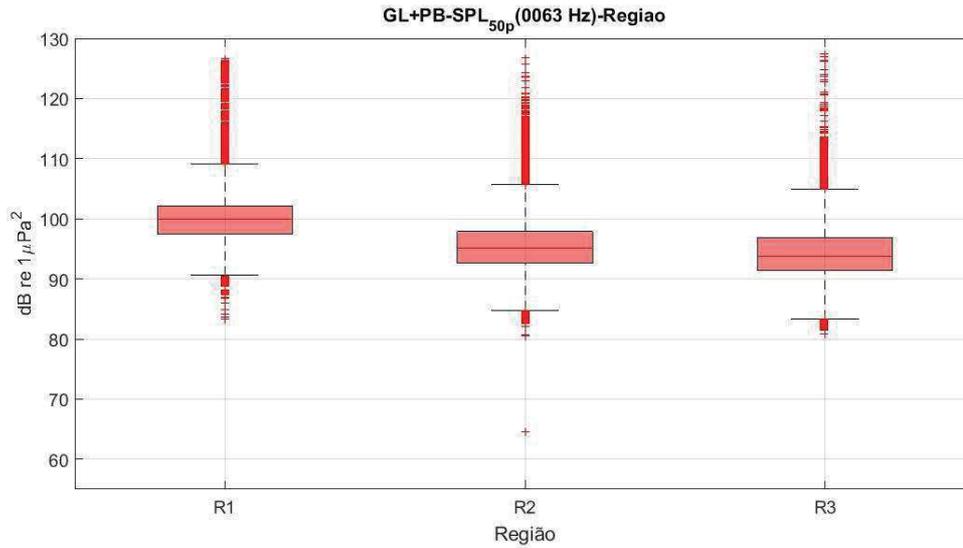


Figura A.7.6.11-1: Exemplo de comparação entre dados utilizando o boxplot. Neste caso, são comparados os níveis sonoros obtidos por gliders e perfiladores nas regiões R1, R2 e R3, no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz.

APÊNDICE B QUALIFICAÇÃO DOS DADOS DAS LFIs

B.1 Descrição das 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. Nas profundidades de 50 m, 200 m e 950 m, estão instalados equipamentos de monitoração acústica capazes de realizar gravações no modo pulsado, sendo programados para a gravação de 84 segundos de sinal a cada 10 minutos. O equipamento usado para a gravação dos sinais acústicos é o gravador autônomo AMAR-G3, da JASCO.

A Figura B.1-1 mostra o esquema da instalação destes equipamentos nas linhas de fundeio.

A evolução temporal do nível de ruído na LFI-FA04, na profundidade de 50 m é mostrada na Figura B.1-2. Nesta figura, no painel superior são apresentados os gráficos temporais do SPL na faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz e, dos SEL_{24h_LF} e SEL_{24h_MF}, obtidos integrando-se o espectro de 1/3 de oitava na faixa de 10 Hz a 10 kHz a cada dia após filtragem usando os pesos correspondentes aos audiogramas dos grupos de baixa frequência (LF, do inglês *low-frequency*) e de média frequência (MF) de mamíferos marinhos (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 de cetáceos, valendo 179 dB re 1 μ Pa².s. Para o grupo MF de cetáceos, o valor de TTS é de 178 dB re 1 μ Pa².s, não sendo apresentado na figura. No painel inferior é apresentado o espectrograma com os espectros de 1/3 de oitava e a intensidade da corrente oceânica. Para a corrente oceânica, a escala vertical é definida pelas linhas tracejadas pretas, indicando as velocidades de 20, 40 e 60 cm/s. A intensidade da corrente foi suavizada por uma média móvel de 6 horas, de forma a evitar que suas variações prejudicassem a visualização do espectrograma, de forma que os picos de corrente não podem ser vistos neste gráfico.

No gráfico é possível avaliar, de forma subjetiva, o impacto que a intensidade de corrente tem na qualificação dos dados. Pode-se observar que as



maiores intensidades dos ruídos na faixa de baixa frequência do espectrograma ocorrem nos trechos com maiores intensidades de corrente.

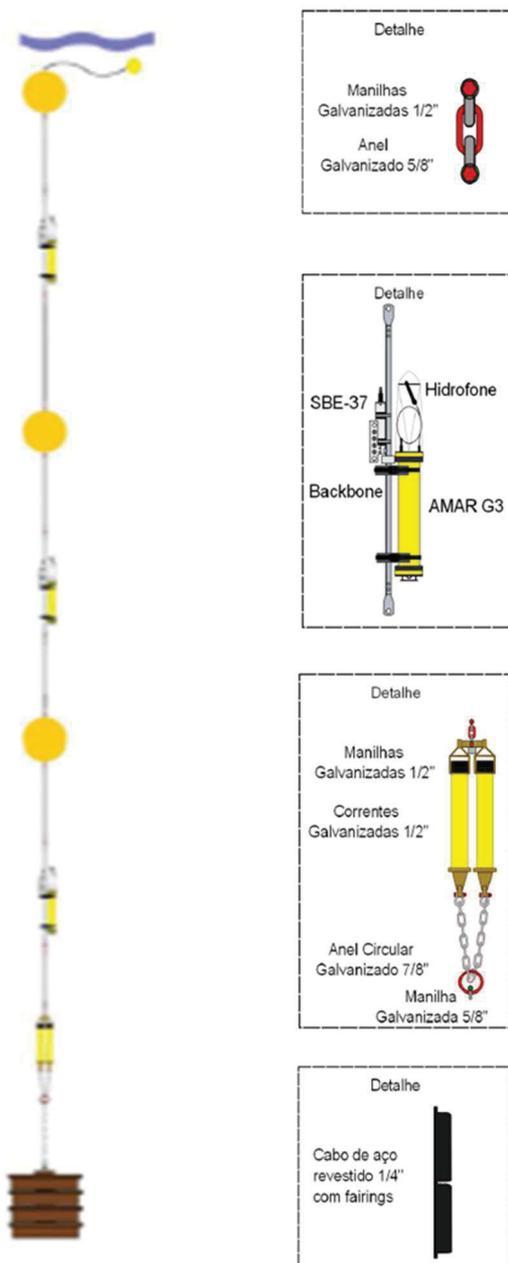


Figura B.1-1 – Esquema da instalação de equipamentos na linha de fundeio (Fonte: OCEANPACT, 2020).

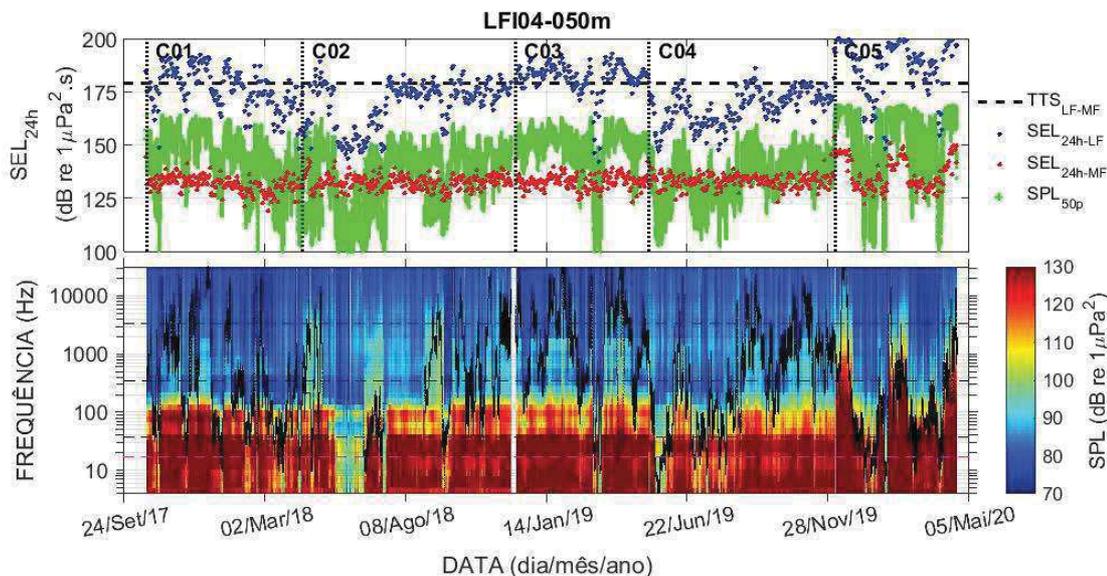


Figura B.1-2 - LFI-FA04 nas campanhas C01, C02, C03, C04 e C05, para a profundidade de 50 m. Em cima, SPL na faixa de frequência de 10 Hz a 10kHz, SEL24h_LF e SEL24h_MF. A linha preta tracejada representa o limiar para o TTS. Embaixo, espectrograma para todos os dados, sendo que a linha preta indica a velocidade da corrente (a escala vertical é definida pelas linhas tracejadas pretas, indicando as velocidades de 20, 40 e 60 cm/s). A linha tracejada em vermelho indica a velocidade de 13 cm/s).

Os elevados níveis de ruído acústico observados nas LFI's levaram à suposição de que eles pudessem estar sendo provocados pela corrente oceânica passando por estas linhas. Uma inspeção detalhada nos sinais, inclusive com avaliação do áudio, mostrou que o aumento é originado do ruído da própria linha de fundeio, com sons semelhantes ao choque e/ou fricção entre partes componentes da linha, além de sons associados à vibração da linha ou dos componentes instalados nela.

Foram usadas medições de corrente oceânica nas profundidades dos gravadores acústicos, feitas por equipamentos instalados nas linhas com este objetivo, para verificar se elas tiveram alguma influência no ruído medido. Na Figura B.1-3 são mostrados os *boxplots* para a intensidade de corrente nos equipamentos nas diversas profundidades de cada linha de fundeio. As menores correntes ocorrem na profundidade de 950 m, aumentando à medida em que a profundidade diminui. As menores correntes ocorreram na linha FA03, seguidas pelas linhas FA01 e FA06. As maiores correntes ocorreram nas linhas FA02 e FA04.

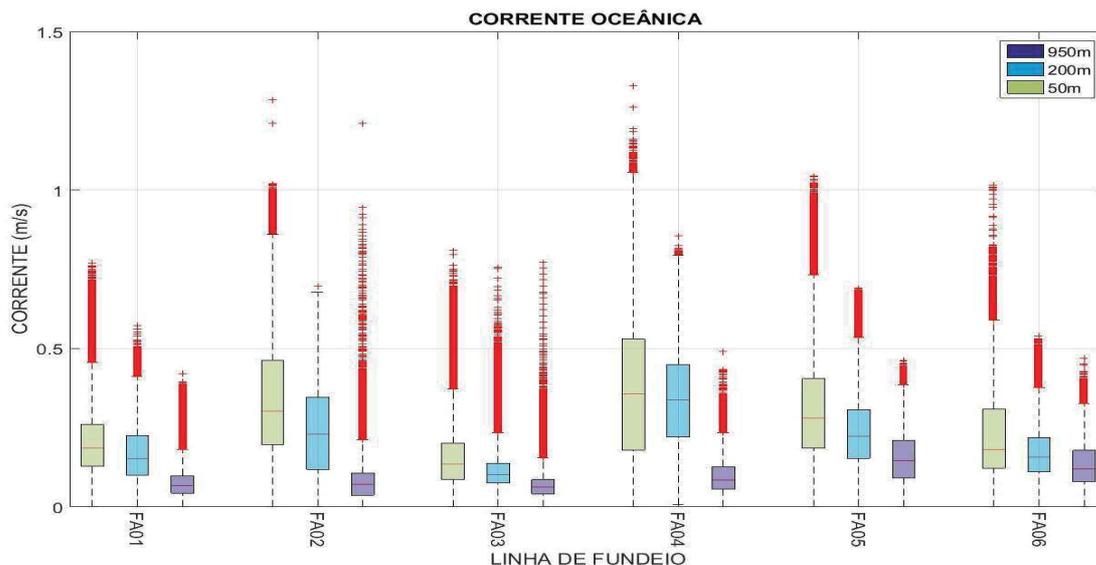


Figura B.1-3 - Boxplots das intensidades de corrente para as profundidades dos equipamentos em cada linha.

Observou-se que os níveis do ruído têm forte correlação com as intensidades da corrente oceânica, principalmente em frequências mais baixas, abaixo de 200 Hz, mas esta frequência se estende até acima de 1 kHz em algumas situações em que se comprovou que a corrente provocou ruídos com sons de batidas e raspagem entre partes da linha e do sistema de gravação.

Algumas tentativas foram feitas para reduzir esta influência da corrente no ruído, incluindo a instalação de carenagens, para reduzir a vibração da linha, o envelopamento de manilhas, para evitar ruídos metálicos gerados pela fricção entre peças e a instalação de telas de tecido, para afastar a camada de turbulência da face do hidrofone. Os resultados obtidos tiveram um efeito diverso, com situações em que o ruído foi reduzido em algumas linhas, mas não em outras e, em casos em que o ruído foi reduzido numa campanha, mas retornou na campanha seguinte, para uma mesma linha.

Uma avaliação dos sinais em vários trechos onde ocorreu uma elevação nos níveis acústicos, em especial onde também houve uma correlação alta com a intensidade da corrente oceânica, encontrou-se evidência de ruídos causados pela própria linha, sendo observados os seguintes tipos de ruídos:

1. Ruído de turbulência em frequências abaixo de 40 Hz;
2. Ruído de vibração da linha ou de sua estrutura e componentes, em frequências abaixo de 100 Hz;

3. Ruído de fricção da linha ou componentes com partes da linha ou componentes, em frequências que podem chegar até a mais de 2 kHz;
4. Ruído de choque entre os componentes da linha com partes da linha ou com outros componentes, em frequências que podem chegar até a mais de 2 kHz.

B.2 Qualificação dos Dados das LFIs

Logo que foi verificada a interferência do ruído próprio das linhas provocada pelas correntes oceânicas no ruído medido pelas LFIs, procurou-se uma forma de qualificar os dados, possibilitando retirar os dados que pudessem estar contaminados.

Numa primeira abordagem apresentada no 3º Relatório Técnico (IPQM/PETROBRAS, 2019), foi usado um limiar de corrente de 13 cm/s, que é o mesmo limiar usado para filtrar os dados dos *gliders* usando sua velocidade vertical de descida, que de uma certa forma dá uma indicação da velocidade do fluxo de água passando pelo seu hidrofone (IPQM, 2017; PROOCEANO, 2017).

Uma segunda abordagem baseou-se na correlação entre o ruído e a corrente para diferentes faixas de intensidade da corrente. Para isso, foram calculados os percentis (p1 a p100) dos valores de velocidade da corrente para cada LFI e seus respectivos sensores (50 m, 200 m e 950 m). Em seguida, para cada conjunto de dados dentro de um percentil (p1 a p100), foram calculados os coeficientes de correlação (usando o método de Pearson) entre os parâmetros espectrais e as velocidades da corrente oceânica correspondentes. Assim, foi possível qualificar os dados acústicos baseado nos coeficientes de correlação calculados para cada percentil, aceitando apenas os dados que possuem menores coeficientes de correlação com a corrente. O parâmetro espectral usado nesta correlação foi o SPL das bandas do espectro de 1/3 de oitava, centradas nas frequências de 63, 125, 500 e 1.000 Hz.

Na comparação entre estes dois critérios, observou-se que foram selecionados 6 limiares iguais a 13 cm/s, 32 limiares acima e 34 abaixo desse valor. Embora as quantidades totais de medições aceitas usando cada critério tenham sido próximas, é importante observar que o limiar fixo pode não ser a




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

melhor estratégia, já que irá aceitar dados ruidosos quando o limiar para a correlação 0.1 for menor que 13 cm/s e irá rejeitar dados menos ruidosos quando o limiar for maior. Por outro lado, o uso da correlação não é garantia que todos os dados usados para se obter a correlação 0.1 não sejam influenciados pela corrente, já que a correlação utiliza uma estatística dos dados e não os dados individualmente.

Em ambos os casos, observa-se a presença de valores extremos que podem ser associados a ruídos do próprio sistema, o que indica que estes critérios não são infalíveis.

Outras possibilidades foram estudadas para serem usadas como critérios para a validação. Um deles foi o uso do parâmetro espectral SPL_{95p} no lugar do SPL.

Tentou-se, também, usar um critério que não dependesse da velocidade da corrente, baseado na própria energia do espectro. Como o ruído provocado pelo fluxo tende a se concentrar nas frequências mais baixas do espectro, usou-se a média das energias para a faixa de frequência de 10 a 32 Hz.

A forma mais objetiva de comparar estes critérios é verificar a correlação dos dados aceitos em cada processo de qualificação com a intensidade da corrente oceânica. Esta correlação é feita entre a corrente e os dados que são usados para a criação dos gráficos usados no relatório, ou seja, o SPL nas bandas de frequência centradas em 63, 125, 500 e 1.000 Hz. A Figura B.2-1 mostra esta correlação para cada critério usado, considerando todos os dados de cada linha. Um bom critério é aquele que leva a um menor valor de correlação. A mediana do critério usando o SPL não ultrapassa a correlação de 10%, enquanto o critério usando o SPL_{95p} faz isto na FA06. O critério usando a energia média na banda de 10 a 32 Hz é a que atinge maior correlação para os dados.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

5º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2021

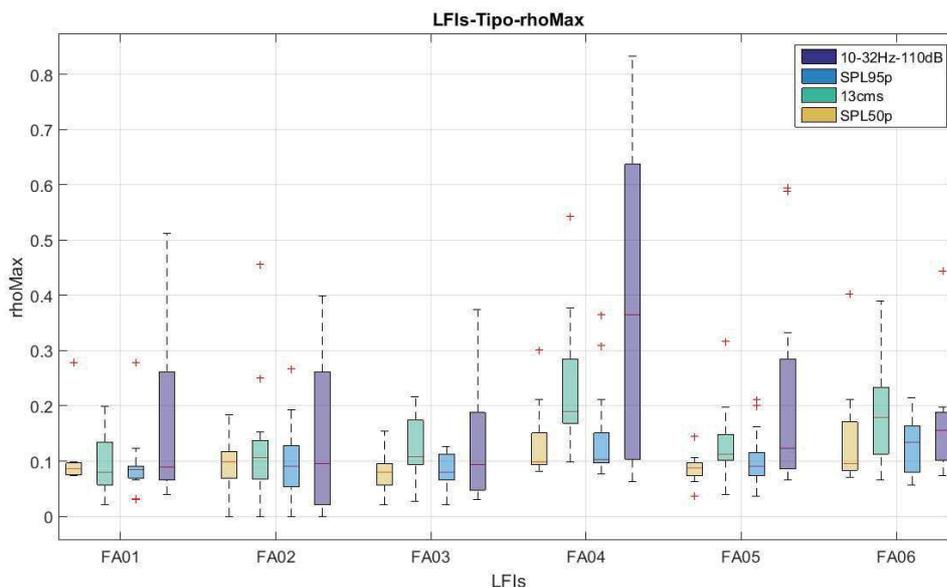


Figura B.2-1 – Correlação máxima do SPL nas bandas de 63, 125, 500 e 1.000 Hz com a corrente, para cada tipo de qualificação usado, usando todos os dados de cada linha.

A Figura B.2-2 mostra a correlação máxima para cada critério, considerando separadamente os dados de cada profundidade, juntando todas as linhas. Em todos os critérios, a profundidade de 50 m é a que leva a uma maior correlação com a corrente, seguida da profundidade de 200 m e com a profundidade de 950 m com menor correlação, para todos os critérios de qualificação usados. O critério usando o SPL é o que leva a menores valores de correlação para os dados aceitos na qualificação e o critério usando a energia na banda de 10 a 32 Hz é o que leva aos maiores valores.



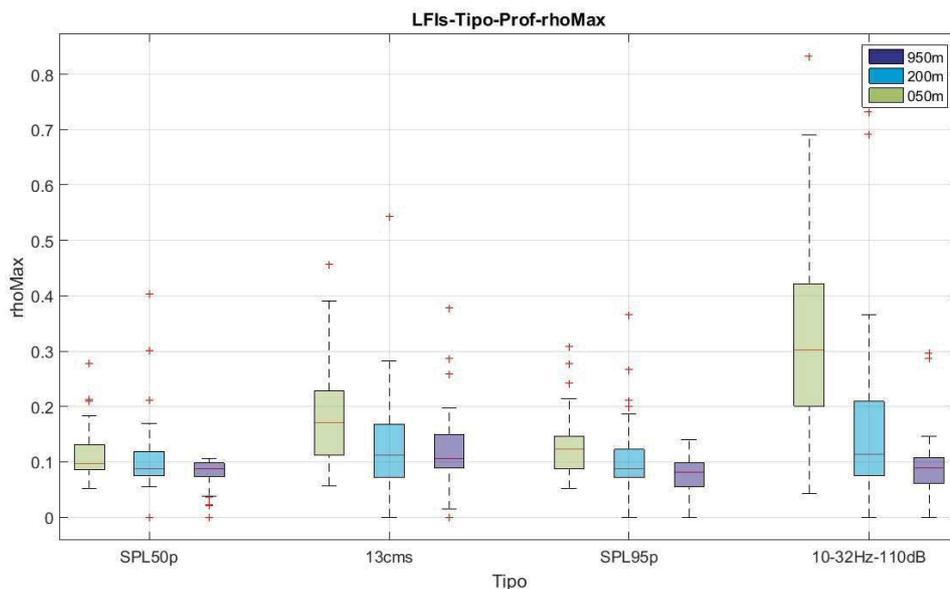


Figura B.2-2 - Correlação máxima do SPL nas bandas de 63, 125, 500 e 1.000 Hz com a corrente, para cada tipo de qualificação usado, para cada profundidade, usando dados de todas as linhas.

A Figura B.2-3 mostra o percentual de dados que foi aceito em cada processo de qualificação, para cada profundidade. O critério usando a energia na banda de 10 a 32 Hz é o que aceita o maior número de dados, seguido do critério de limiar de corrente fixo em 13 cm/s.

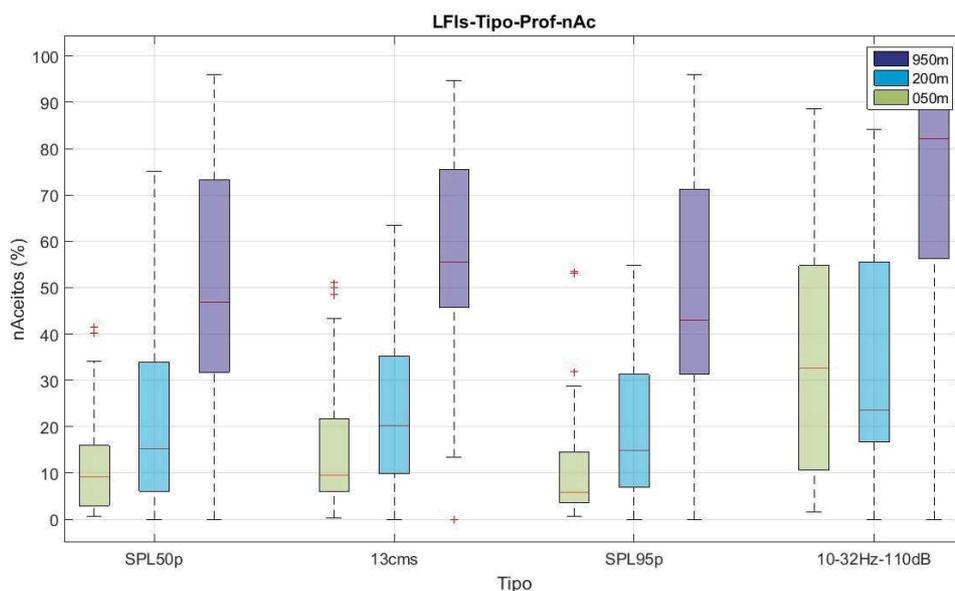


Figura B.2-3 – Percentual de dados aceitos para cada tipo de qualificação, para cada profundidade, usando dados de todas as linhas.



Os diferentes critérios de qualificação testados levaram à aceitação de diferentes quantidades dos dados e, para cada conjunto de dados aceitos, a correlação com a corrente também variou. Se considerarmos que se deseja uma baixa correlação dos dados com a corrente, o critério usando o SPL foi o que levou às menores correlações, seguido do critério usando o SPL_{95p}. O pior caso ocorreu com a qualificação usando a energia na banda de 10 a 32 Hz, com correlação da corrente com os dados aceitos no processo de qualificação ficando perto de 0,3, em alguns casos.

Neste relatório, foi usado o critério baseado no SPL para a qualificação dos dados. Outras formas de fazer esta qualificação continuarão sendo pesquisados, podendo levar, inclusive, ao uso combinado de critérios. De qualquer forma, o planejamento adequado do local de instalação das linhas e da profundidade dos equipamentos nestas linhas, é um passo importante para a garantia da qualidade dos dados gravados, já que é sabido que correntes mais fortes vão levar, invariavelmente, a maiores ruídos do próprio sistema. Um bom critério de qualificação pode permitir a seleção de dados para as análises, mas a um custo alto, já que em alguns casos menos de 10% dos dados serão aceitos, como pode ser visto na Figura B.2-3.



Coordenador da Equipe

Técnico Responsável5º Relatório
TécnicoRevisão 00
08/2021