

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

6º Relatório Técnico - Novembro/2015 a dezembro/2021

Volume Único

**Revisão 00
Agosto / 2022**



E&P

ÍNDICE GERAL

I	Apresentação.....	1
I.1	Apresentação do Projeto	1
I.2	Paisagem Acústica Submarina.....	2
I.3	Estrutura do Relatório.....	4
II	Materiais e Métodos	7
II.1	Área de Estudo.....	7
II.1.1	Região Costeira	8
II.1.2	Região Oceânica	13
II.2	Dados Acústicos.....	18
II.2.1	Processamento dos Dados	18
II.2.2	Caracterização dos Dados	19
III	Paisagem Acústica Submarina na Bacia de Santos – Resultados e Discussão	21
III.1	Região Oceânica.....	21
III.1.1	Monitoramento Móvel – Gliders e Perfiladores	21
III.1.1.1	Comparação entre as Regiões R1, R2, R3 e R4	27
III.1.1.2	Comparação da Bacia de Santos com Outras Regiões do Mundo.....	46
III.1.2	Monitoramento Fixo – Linhas de Fundeio Instrumentadas	50
III.1.2.1	Comparação entre as LFIs.....	50
III.2	Região Costeira – Monitoramento Fixo – Observatórios Submarinos	65
III.2.1	Níveis de Ruído Medidos nos Observatórios Submarinos	65
III.2.2	Comparação da Bacia de Santos com Outras Regiões do Mundo	80



III.2.3	Variabilidade Temporal do Ruído nos Observatórios Submarinos	84
III.2.4	Ruídos Observados nos Observatórios Submarinos	91
III.2.4.1	Elevações de ruído provocado pelo fluxo das correntes de maré	96
III.2.4.2	Elevações de ruído de baixas frequências até frequências altas, provocadas pela passagem de embarcações.....	98
III.2.4.3	Elevações de ruído ocorrendo acima de 2 kHz, com sons de estalos/cliques, com provável associação a invertebrados	99
III.2.4.4	Elevações de ruído em regiões de tempo x frequência, com sons de chiado	100
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.....	104
III.3	Detecção de Embarcações	106
III.3.1	Detecção de Embarcações nos Gliders	106
III.3.2	Detecção de Embarcações nas LFIs	109
III.3.3	Detecção de Embarcações nos OSs	110
III.4	Detecção de Vocalização de Cetáceos	116
III.4.1	Detecção de Vocalizações nos Gliders	116
III.4.2	Detecção de Vocalizações nas LFIs	121
III.4.4	Detecção de Vocalizações nos OSs	131
III.4.4.1	OS1 e OS1A – Baía de Guanabara	131
III.4.4.2	OS2 – Baía de Ilha Grande	133
III.4.4.3	OS2R – Oeste de Ilha Grande	139
III.4.4.4	OS3 – Canal de São Sebastião.....	144
III.4.4.5	OS3R, OS3R1 e OS3R2– Ilhas Cagarras	151
III.4.4.6	Comparação entre OSs.....	159



IV	Sistema de Modelagem Acústica Submarina - SIMAS	166
IV.1	Validação com Dados Medidos	167
IV.2	Resultados Obtidos	177
IV.2.1	Sazonalidade	179
IV.2.2	Ruídos Médios de cada Região	187
IV.2.3	Diferenças Espaço-Temporais	188
IV.3	Avaliação sobre os Resultados da Modelagem.....	191
V	Considerações Finais	193
V.1	Monitoramento Móvel	193
V.2	Linhas de Fundeio Instrumentadas	194
V.3	Observatórios Submarinos	194
V.4	Detecção de Embarcações.....	196
V.5	Biofonia	197
V.6	Modelagem do Ruído Acústico na Bacia de Santos.....	198
V.7	Paisagem Acústica	199
VI	Referências Bibliográficas	205
VII	Equipe Técnica.....	215
VII.1	Petrobras.....	215
VII.2	Instituto de Pesquisas da Marinha (IPqM).....	216
APÊNDICE A	Metodologia de Aquisição e Processamento dos Dados.....	217
A.1	Monitoramento Móvel	217
A.1.1	Aquisição dos Dados Acústicos com Perfiladores	217
A.1.2	Aquisição dos Dados Acústicos com Gliders.....	217
A.2	Monitoramento Fixo.....	219



A.2.1	Aquisição dos Dados Acústicos com Observatórios Submarinos (OSs).....	219
A.2.2	Aquisição dos Dados Acústicos com Linhas de Fundeio Instrumentadas (LFIs)	219
A.2.3	Dados Ambientais	220
A.3	Densidade de Embarcações	221
A.4	Georeferenciamento dos Dados Acústicos.....	221
A.5	Sincronização Temporal dos Dados Acústicos e dos Parâmetros espectrais	221
A.6	Sistema de Informações	222
A.7	Processamento e Arquivamento dos Dados	222
A.7.1	Consistência e Qualificação dos Dados	222
A.7.2	CrITÉrios de Detecção de Embarcações	223
A.7.3	CrITÉrios de Detecção de Biofonia.....	225
A.7.4	Definição dos Parâmetros Processados	225
A.7.5	Outros Processamentos.....	226
A.7.5.1	Perfiladores Acústicos.....	227
A.7.5.2	Gliders.....	228
A.7.5.3	Observatórios Submarinos.....	229
A.7.5.4	Linhas de Fundeio Instrumentadas	230
A.7.5.5	Dados Ambientais	231
A.7.5.6	Densidade de Embarcações	231
A.7.6	Apresentação dos Dados e Resultados	232
A.7.6.1	Resolução Espacial Plana	232
A.7.6.2	Resolução Espacial Vertical.....	232
A.7.6.3	Resolução Espectral	233



A.7.6.4	Resolução Temporal.....	233
A.7.6.5	Densidade Amostral Espacial.....	234
A.7.6.6	Nível de Pressão Sonora Espacial	235
A.7.6.7	Nível da Pressão Sonora Temporal.....	235
A.7.6.8	Espectros de 1/3 de Oitava.....	236
A.7.6.9	Espectrogramas.....	236
A.7.6.10	Nível de Exposição Sonora – SEL _{24H}	237
A.7.6.11	Testes Estatísticos.....	241



FIGURAS

- Figura II.1-1: Região da Bacia de Santos, mostrando os limites geográficos da bacia e a localização atual das unidades de produção da PETROBRAS. 7
- Figura II.1.1-1: Observatórios Submarinos na Baía da Guanabara (OS1 e OS1A) e nas imediações das Ilhas Cagarras (OS3R, OS3R1 e OS3R2). Os retângulos marcados como (A) e (B) no gráfico de cima são apresentados como gráficos destacados na parte de baixo, mostrando uma ampliação das regiões onde se encontram os OS1 e OS1A (A) e os OS3R, OS3R1 e OS3R2 (B). 10
- 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. 11
- Figura II.1.1-3: Observatório Submarino no Canal de São Sebastião (OS3). 12
- Figura II.1.2-1: Posição das oito linhas de fundeio instrumentadas usadas na região oceânica da Bacia de Santos 14
- 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)) 16
- Figura II.1.2-3: - 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 2020. (Fonte: PMTE 2016, 2017, 2018, 2019 e 2020) 17
- Figura III.1.1-1: Mapa do SPL para o filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz, com os quadrados vermelhos delimitando as regiões R1, R2, R3 e R4 e a linha diagonal tracejada vermelha mostrando os pontos usados para a comparação espacial dos níveis de ruído na Bacia de Santos. Os círculos preto e magenta indicam as posições sobre a linha diagonal e dentro dos limites da Bacia de Santos (linha tracejada azul) com valores de SPL mínimo e máximo,



- respectivamente. A cruzes pretas indicam a posição de algumas plataformas..... 21
- 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..... 23
- 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 (-25,91°, -43,75°), permitindo ver como esses valores aparecem no histograma (acima de 103 dB re 1 μ Pa²)..... 24
- 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..... 25
- 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..... 26
- Figura III.1.1.1-1: Comparação entre as regiões R1, R2, R3 e R4, usando todos os dados qualificados dos gliders e perfiladores nestas regiões, para o filtro de 1/3 de oitava centrado em 63 Hz. As quatro regiões são estatisticamente diferentes (ANOVA, $F=27.169,4$, $p=0$)..... 27
- Figura III.1.1.1-2: Comparação entre as regiões R1, R2, R3 e R4, usando todos os dados qualificados dos gliders e perfiladores nestas regiões, para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz e para os filtros de 1/3 de oitava centrados em 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz. As linhas verticais



ligam os percentis de 25%, 50% (mediana) e 75% para cada distribuição.....	28
Figura III.1.1.1-3: Comparação entre as regiões R1, R2, R3 e R4, em cada ano, de 2016 a 2021, usando todos os dados qualificados dos gliders e perfiladores nestas regiões, para o filtro de 1/3 de oitava centrado em 63 Hz.....	30
Figura III.1.1.1-4: Comparação entre as regiões R1, R2, R3 e R4, em cada ano, de 2016 a 2021, usando todos os dados qualificados dos gliders e perfiladores nestas regiões, para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz e para os filtros de 1/3 de oitava centrados em 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz. As linhas verticais ligam os percentis de 25%, 50% (mediana) e 75% para cada distribuição. Cada conjunto de seis marcas corresponde, da esquerda para a direita, aos anos de 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020 e 2021, respectivamente.	33
Figura III.1.1.1-5: Comparação entre as regiões R1, R2, R3 e R4, para quatro faixas de profundidade, usando todos os dados qualificados dos gliders e perfiladores nestas regiões, para o filtro de 1/3 de oitava centrado em 63 Hz.....	35
Figura III.1.1.1-6: Comparação entre as regiões R1, R2, R3 e R4 e em cada região, da esquerda para a direita para as faixas de profundidades em torno de 50 m, 200 m, 500 m e 950 m, usando todos os dados qualificados dos gliders e perfiladores nestas regiões, para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz e para os filtros de 1/3 de oitava centrados em 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz. As linhas verticais ligam os percentis de 25%, 50% (mediana) e 75% para cada distribuição.....	37
Figura III.1.1.1-7: Coeficiente de correlação de Spearman entre os valores de intensidade do vento e o SPL (dB ref 1 μ 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%. 39

Figura III.1.1.1-8: 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. 41

Figura III.1.1.1-9: 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 $y = a + bxc$ 42

Figura III.1.1.1-10: 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%. 45

Figura III.1.1.2-1: 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. 47

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. 51



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.....	52
Figura III.1.2.1-3: Comparação entre as LFIs para os anos de 2017 a 2021 no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz.	53
Figura III.1.2.1-4: Comparação entre as LFIs para os anos de 2017 a 2021 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, 2020 e 2021, respectivamente. A linha FA06 não tem dados para o ano de 2020; a linha FA03 não tem dados para 2021; e as linhas FA03R e FA04R só têm dados em 2020.	54
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.	58
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. A linha FA04R não teve dados coletados na profundidade de 50 m.	59
Figura III.1.2.1-7: Comparação entre o SEL _{24h-LF} para as oito linhas. A linha preta tracejada corresponde ao TTS.....	61
Figura III.1.2.1-8: Comparação entre o SEL _{24h-MF} para as oito linhas. A linha preta tracejada corresponde ao TTS.....	62
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 2021.	63
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 2021.	64



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. ...	66
Figura III.2.1-2: Mediana dos espectros de 1/3 de oitava para as posições de instalação próximo à Baía de Guanabara: OS1, OS1A, OS3R, OS3R1 e OS3R2. As linhas verticais representam os percentis de 25% e 75% para os níveis em cada banda do espectro.....	67
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.....	68
Figura III.2.1-4: Medianas do SPL _{63Hz} em cada mês desde março de 2017 até dezembro de 2021, para as oito posições analisadas dos observatórios submarinos.....	70
Figura III.2.1-5: Medianas do SPL _{125Hz} em cada mês desde março de 2017 até dezembro de 2021, para as oito posições analisadas dos observatórios submarinos.....	71
Figura III.2.1-6: Medianas do SPL _{500Hz} em cada mês desde março de 2017 até dezembro de 2021, para as oito posições analisadas dos observatórios submarinos.....	72
Figura III.2.1-7: Medianas do SPL _{1000Hz} em cada mês desde março de 2017 até dezembro de 2021, para as oito posições analisadas dos observatórios submarinos.....	73
Figura III.2.1-8: Boxplots do SPL _{63Hz} , para as oito posições analisadas.....	74
Figura III.2.1-9: Boxplots do SPL _{125Hz} para as oito posições analisadas.....	75
Figura III.2.1-10: Boxplots do SPL _{500Hz} para as oito posições analisadas.....	76
Figura III.2.1-11: Boxplots do SPL _{1000Hz} para as oito posições analisadas.....	77
Figura III.2.1-12: SEL _{24h} para os OS1+OS1A, OS2, OS2R, OS3 e OS3R+OS3R1+OS3R2 usando os dados sem ponderação, com	



- ponderação para a faixa LF e com ponderação para a faixa MF. As linhas tracejadas verticais pretas indicam a separação entre as gravações dos OS1 e OS1A no gráfico de cima e entre os OS3R, OS3R1 e OS3R2 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. 78
- Figura III.2.1-13: Boxplots do SEL_{24h}, SEL_{24h-MF} e SEL_{24h-LF}, para as oito 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..... 80
- Figura III.2.2-1: SPL_{63Hz} (linhas horizontais azuis) e SPL_{125Hz} (linhas horizontais vermelhas) nos observatórios submarinos comparados com o SPL_{63Hz} (linha azul tracejada) e SPL_{125Hz} (linha vermelha tracejada) 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)..... 82
- 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..... 85
- Figura III.2.3-2: Evolução temporal dos níveis de SPL_{63Hz}, SPL_{125Hz}, SPL_{500Hz} e SPL_{1000Hz} na região do arquipélago das Ilhas Cagarras a partir dos dados dos OS3R, OS3R1 e OS3R2. Os dados cobrem o período de 18/03/2020 a 23/11/2021. 85
- Figura III.2.3-3: 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. 86



- Figura III.2.3-4: 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 31/12/2021. 87
- Figura III.2.3-5: 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. 88
- Figura III.2.3-6: Variabilidade mensal do SPL no OS1 e OS1A e OS3R, OS3R1 e OS3R2. A linha indica o valor mediano e a envoltória é delimitada pelos percentis 25% e 75%. 89
- Figura III.2.3-7: Variabilidade mensal do SPL no OS2 e OS2R. A linha indica o valor mediano e a envoltória é delimitada pelos percentis 25% e 75%. .. 90
- Figura III.2.3-8: Variabilidade mensal do SPL no OS3. A linha indica o valor mediano e a envoltória é delimitada pelos percentis 25% e 75%. 90
- 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). .. 92
- 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). 92
- 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). 93
- 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).....	94
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).....	94
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).	95
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).	96
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).....	98
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).....	99
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).....	100
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).....	104
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).....	105
Figura III.3.1-1: Número de detecções de embarcações por dia para os dados gravados pelo glider.	107
Figura III.3.1-2: Distribuições do número de detecções de embarcações por dia para as regiões R1, R2, R3 e R4.....	107
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 pretos mostram a posição das regiões R1, R2, R3 e R4. ...	108
Figura III.3.2-1: Distribuição do número de detecções de embarcações por dia, para cada uma das linhas de fundeio instrumentadas.	110
Figura III.3.3-1: Número de navios detectados por dia, nos OS1, OS1A, OS2, OS2R, OS3 e OS3R, OS3R1 e OS3R2.	112
Figura III.3.3-2: Distribuição anual do número de navios detectados por dia, nos OS1+OS1A, OS2, OS2R, OS3 e OS3R+OS3R1+OS3R2. Cada linha vertical representa os percentis de 25% embaixo, 50% onde sai a linha tracejada conectando os anos e 75% em cima.	112



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+OS3R2.....	114
Figura III.4.1-1 – Recortes por estação do ano.....	116
Figura III.4.1-2 - Minutos de assobios por dia de esforço, em cada estação do ano.....	117
Figura III.4.1-3 - Minutos de gemidos por dia de esforço, em cada estação do ano.....	117
Figura III.4.1-4 - Minutos de grunhidos por dia de esforço, em cada estação do ano.....	118
Figura III.4.1-5 – Número de trechos de detecções por hora para cada hora do dia para assobios, gemidos e grunhidos.....	118
Figura III.4.1-6 - Número de trechos de detecções por hora para cada mês do ano para de assobios, gemidos e grunhidos.....	119
Figura III.4.1-7 – Número de trechos de detecções de assobios por hora para uma grade de 1/6 graus.....	120
Figura III.4.1-8 – Número de trechos de detecções de gemidos por hora para uma grade de 1/6 graus.....	120
Figura III.4.1-9 – Número de trechos de detecções de grunhidos por hora para uma grade de 1/6 graus.....	121
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 950 m.....	122
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 950 m.....	123
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 950 m.....	123



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 95 0m.....	124
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.	125
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.	125
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.	126
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.	127
Figura III.4.2-9: Espectrograma de um sinal com vocalizações do tipo “Gemidos” na banda LF, obtido na linha FA04, na profundidade de 950 m.	128
Figura III.4.2-10: Espectrograma de um sinal com vocalizações do tipo “Grunhidos” na banda LF, obtido na linha FA06, na profundidade de 950 m.	128
Figura III.4.2-11: Espectrograma de um sinal com uma vocalização do tipo “Assobios” na banda MF, obtido na linha FA04, na profundidade de 950 m.	129
Figura III.4.2-12: Espectrograma de um sinal do próprio sistema, identificado como sendo do tipo “Gemidos” na banda MF, obtido na linha FA05 na profundidade de 950 m.....	129
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 linha vertical magenta tracejada indica quando o OS1 foi reposicionado para a posição OS1A.	131
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.	132
Figura III.4.4.1-3: Espectrograma de banda estreita mostrando 20 segundos de sinal num dos trechos de maior densidade de detecções para o padrão “Grunhidos” na banda MF	133
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.	134
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.	135
Figura III.4.4.2-3: Espectrograma de banda estreita mostrando 20 segundos de sinal num dos trechos de maior densidade de detecções de “Grunhidos” na banda LF no OS2.	136
Figura III.4.4.2-4: 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.	137
Figura III.4.4.2-5: Espectrograma de banda estreita mostrando 15 segundos de sinal num dos trechos de maior densidade de detecções da Figura III.4.4.2-4.	137
Figura III.4.4.2-6: 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.....	138
Figura III.4.4.2-7: Espectrograma de banda estreita mostrando 15 segundos de sinal num dos trechos de maior densidade de detecções da Figura III.4.4.2-6.	139
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.....	140
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.	140
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.	141
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.	142
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.	143
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.	144



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.	145
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.	145
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.	146
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.	147
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.	148
Figura III.4.4.4-6: Número de detecções de vocalizações classificadas como “Assobios” 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.	149
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.	149
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.	150
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.	151
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.....	152
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.	152
Figura III.4.4.5-3: Número de detecções de vocalizações classificadas como “Gemidos” (B) para os OS3R, OS3R1 e OS3R2, 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.	153
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.	154
Figura III.4.4.5-5: Número de detecções de vocalizações classificadas como “Grunhidos” para os OS3R, OS3R1 e OS3R2, 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.4.4.5-6: Espectrograma de banda estreita mostrando 20 segundos de sinal num dos trechos de maior densidade de detecções da Figura III.4.4.5-5.	156



- Figura III.4.4.5-7: Número de detecções de vocalizações classificadas como “Assobios” para os OS3R, OS3R1 e OS3R2, 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..... 157
- 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. 157
- Figura III.4.4.5-9: Número de detecções de vocalizações classificadas como “Grunhidos” para os OS3R, OS3R1 e OS3R2, 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. 158
- 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. 159
- 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 OS3R-OS3R1-OS3R2. 160
- 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..... 161
- 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..... 162
- 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.	163
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.	164
Figura IV.1-1: Mapa ilustrativo mostrando quadrados delimitando as regiões R1, R2, R3 e R4 e as cinco linhas usadas para a comparação espacial dos níveis de ruído na Bacia de Santos.	168
Figura IV.1-2: Comparação dos níveis de ruído medido e modelado ao longo da Linha 1, passando pela entrada da Baía de Guanabara e pela região R1, considerando os mapas modelados na profundidade de 50 m e todos os dados medidos na faixa de profundidade de 0 a 100 m, para os anos de 2016 a 2021, na frequência de 63 Hz.	169
Figura IV.1-3: Comparação dos níveis de ruído medido e modelado ao longo da Linha 1, passando pela entrada da Baía de Guanabara e pela região R1, considerando os mapas modelados na profundidade de 50 m e todos os dados medidos na faixa de profundidade de 0 a 100 m, para os anos de 2016 a 2021, na frequência de 125 Hz.	170
Figura IV.1-4: Comparação dos níveis de ruído medido e modelado ao longo da Linha 2, passando pelas regiões R1, R3 e R4, considerando os mapas modelados na profundidade de 50 m e todos os dados medidos na faixa de profundidade de 0 a 100 m, para os anos de 2016 a 2021, na frequência de 63 Hz.	171
Figura IV.1-5: Comparação dos níveis de ruído medido e modelado ao longo da Linha 2, passando pelas regiões R1, R3 e R4, considerando os mapas modelados na profundidade de 50 m e todos os dados medidos na faixa de profundidade de 0 a 100 m, para os anos de 2016 a 2021, na frequência de 125 Hz.	172



Figura IV.1-6: Comparação dos níveis de ruído medido e modelado ao longo da Linha 3, passando pelos vértices da região R1, considerando os mapas modelados na profundidade de 50 m e todos os dados medidos na faixa de profundidade de 0 a 100 m, para os anos de 2016 a 2021, na frequência de 63 Hz.	173
Figura IV.1-7: Comparação dos níveis de ruído medido e modelado ao longo da Linha 3, passando pelos vértices da região R1, considerando os mapas modelados na profundidade de 50 m e todos os dados medidos na faixa de profundidade de 0 a 100 m, para os anos de 2016 a 2021, na frequência de 125 Hz.	173
Figura IV.1-8: Comparação dos níveis de ruído medido e modelado ao longo da Linha 4, paralela à Linha 3 e mais ao norte, considerando os mapas modelados na profundidade de 50 m e todos os dados medidos na faixa de profundidade de 0 a 100 m, para os anos de 2016 a 2021, na frequência de 63 Hz.	174
Figura IV.1-9: Comparação dos níveis de ruído medido e modelado ao longo da Linha 4, paralela à Linha 3 e mais ao norte, considerando os mapas modelados na profundidade de 50 m e todos os dados medidos na faixa de profundidade de 0 a 100 m, para os anos de 2016 a 2021, na frequência de 125 Hz.	175
Figura IV.1-10: Comparação dos níveis de ruído medido e modelado ao longo da Linha 5, pela região R1 e ao norte da região R4, considerando os mapas modelados na profundidade de 50 m e todos os dados medidos na faixa de profundidade de 0 a 100 m, para os anos de 2016 a 2021, na frequência de 63 Hz.	176
Figura IV.1-11: Comparação dos níveis de ruído medido e modelado ao longo da Linha 5, pela região R1 e ao norte da região R4, considerando os mapas modelados na profundidade de 50 m e todos os dados medidos na faixa de profundidade de 0 a 100 m, para os anos de 2016 a 2021, na frequência de 63 Hz.	176



- 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 e 2020). 179
- Figura IV.2.1-1: Mapa do SPL médio (dB re $1\mu\text{Pa}^2$) de cada uma das estações do ano (verão, outono, inverno e primavera) durante os anos 2016 a 2021 para a frequência de 63 Hz, na profundidade de 50 m. 180
- Figura IV.2.1-2: Mapa do SPL médio (dB re $1\mu\text{Pa}$) de cada uma das estações do ano (verão, outono, inverno e primavera) durante os anos 2016 a 2021 para a frequência de 125 Hz, na profundidade de 50 m. 181
- Figura IV.2.1-3: Distribuição do ruído modelado nas estações do ano, para cada ano de 2016 a 2021, na região R1, para a frequência de 63 Hz. As linhas azuis representam a mediana e os percentis de 25% e 75% para os dados medidos no mesmo período na região R1. 182
- Figura IV.2.1-4: Distribuição do ruído modelado nas estações do ano, para cada ano de 2016 a 2021, na região R2, para a frequência de 63 Hz. As linhas azuis representam a mediana e os percentis de 25% e 75% para os dados medidos no mesmo período na região R2. 183
- Figura IV.2.1-5: Distribuição do ruído modelado nas estações do ano, para cada ano de 2016 a 2021, na região R3, para a frequência de 63 Hz. As linhas azuis representam a mediana e os percentis de 25% e 75% para os dados medidos no mesmo período na região R3. 183
- Figura IV.2.1-6: Distribuição do ruído modelado nas estações do ano, para cada ano de 2016 a 2021, na região R4, para a frequência de 63 Hz. As linhas azuis representam a mediana e os percentis de 25% e 75% para os dados medidos no mesmo período na região R4. 184
- Figura IV.2.1-7: Distribuição do ruído modelado nas estações do ano, para cada ano de 2016 a 2021, na região R1, para a frequência de 125 Hz. As linhas azuis representam a mediana e os percentis de 25% e 75% para os dados medidos no mesmo período na região R1. 185



Figura IV.2.1-8: Distribuição do ruído modelado nas estações do ano, para cada ano de 2016 a 2021, na região R2, para a frequência de 125 Hz. As linhas azuis representam a mediana e os percentis de 25% e 75% para os dados medidos no mesmo período na região R2.....	185
Figura IV.2.1-9: Distribuição do ruído modelado nas estações do ano, para cada ano de 2016 a 2021, na região R2, para a frequência de 125 Hz. As linhas azuis representam a mediana e os percentis de 25% e 75% para os dados medidos no mesmo período na região R2.....	186
Figura IV.2.1-10: Distribuição do ruído modelado nas estações do ano, para cada ano de 2016 a 2021, na região R2, para a frequência de 125 Hz. As linhas azuis representam a mediana e os percentis de 25% e 75% para os dados medidos no mesmo período na região R2.....	186
Figura IV.2.2-1: Comparação de valores do SPL médios (dB re 1 μ Pa ²) das regiões R1, R2, R3 e R4, usando resultados modelados de 2016 a 2021, para 63 Hz.....	187
Figura IV.2.2-2: Comparação de valores do SPL médios (dB re 1 μ Pa ²) das regiões R1, R2, R3 e R4, usando resultados modelados de 2016 a 2021, para 125 Hz.....	188
Figura IV.2.3-1: Diferenças dos valores médios do SPL entre os anos de 2021 e o ano de 2016 para a frequência de 63 Hz na profundidade de 50 m.	189
Figura IV.2.3-2: Diferenças dos valores médios do SPL entre os anos de 2021 e o ano de 2016. para a frequência de 125 Hz na profundidade de 50 m.	190
Figura A.7.2-1: Exemplo do sinal acústico durante a passagem de uma embarcação por um OS.	224
Figura A.7.2-2: Espectros obtidos antes e durante a passagem da embarcação.	224



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.....	228
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.....	229
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.....	230
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.....	231
Figura A.7.6.5-1: Exemplo da distribuição espacial da Densidade Amostral para as profundidades entre 0 e 100 m.	234
Figura A.7.6.6-1: Exemplo da distribuição espacial de SPL para as profundidades entre 0 e 100 m.....	235
Figura A.7.6.7-1: Exemplo de apresentação do SPL em função do tempo, com resolução temporal de um minuto.	236
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.....	236
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.	237
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)).....	239
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. 242





Coordenador da Equipe





Técnico Responsável

6º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2022

TABELAS

Tabela II.1.1-1: Posição e profundidade local de instalação dos Observatórios Submarinos.	8
Tabela II.1.2-1: Posição e profundidade local de instalação das linhas de fundeio instrumentadas	14
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.....	20
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.	26
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.	29
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 2021.....	34
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.....	38
Tabela III.1.1.1-4: 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)	49



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.	52
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, 2020 e 2021. O teste estatístico ANOVA aplicado por frequência teve os seguintes resultados, todos com $p=0,0000$: 63 Hz – $F=26.033,2$, 125Hz – $F=48.490,8$, 500 Hz – $F=45.336,9$, 1.000 Hz – $F=29.187,4$. A linha FA06 não teve dados coletados no ano de 2017 e as linhas FA03R e FA04R só começaram a coletar dados em 2020. A linha FA03 não coletou dados em 2021. ...	56
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 – $F=38.421,7$, 125 Hz – $F=78.279,7$, 500 Hz – $F=68.726,1$, 1.000 Hz – $F=41.130,4$. A linha FA04R não teve dados coletados na profundidade de 50 m.	60
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, $p=0$).	77
Tabela III.2.2-1: SPL_{63Hz} e SPL_{125Hz} nos observatórios submarinos e em 16 locais no mar Báltico.	83
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.	103
Tabela III.3.3-1: Número de embarcações detectadas em cada posição.	111
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.	233
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 $1\mu\text{Pa}^2$. 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))..... 238

Tabela A.7.6.10-2: Grupos de espécies para as funções de peso baseado no audiograma (Fonte: Finneran (2016))..... 240




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

6º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2022

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).

O Projeto foi elaborado considerando ciclos de implantação, sendo que cada ciclo tem duração de quatro anos. Isso permite uma constante avaliação do projeto e a proposição de eventuais melhorias e ajustes do seu escopo. Como 1º ciclo do PMPAS-BS, foi considerado o período de novembro de 2015 (início do



monitoramento móvel) a dezembro de 2021 (o monitoramento fixo oceânico iniciou, efetivamente, em setembro de 2017).

Nesse sentido, o escopo de levantamento de dados do PMPAS-BS do 1º ciclo compreendeu:

- **Monitoramento Móvel:** realizado através de equipamento de navegação autônoma do tipo *glider* e perfiladores acústicos de livre deriva;
- **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 2021 para o monitoramento móvel, de março de 2017 a dezembro de 2021 para o monitoramento fixo costeiro e de setembro de 2017 a dezembro de 2021 para o monitoramento fixo oceânico, relativos ao primeiro ciclo de implantação do PMPAS-BS. O objetivo principal deste ciclo foi iniciar a caracterização da paisagem acústica na Bacia de Santos, permitindo entender a distribuição dos níveis acústicos tanto nas regiões oceânicas, de águas profundas, como em alguns pontos em regiões costeiras, de águas rasas. Juntamente com a coleta, processamento e análise dos dados acústicos, foi desenvolvida uma ferramenta para a geração de um mapa modelado do ruído, baseado em informações da presença de embarcações e do meio ambiente. Esta ferramenta possibilita entender melhor a distribuição do ruído em toda a bacia, mesmo em locais onde nenhum dado acústico foi coletado.

1.2 PAISAGEM ACÚSTICA SUBMARINA

Nas últimas décadas, os estudos na área de Acústica Submarina têm crescido significativamente e se tornado mais difundidos. 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. Mais tarde, 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 tem sido utilizado para descrever a relação entre determinada paisagem e sua composição sonora, incluindo a biofonia, geofonia e antropofonia (Pijanowski *et al.*, 2011).

Nos últimos dez a vinte anos, as ações e pesquisas relacionadas à Paisagem Acústica Submarina têm atraído a atenção de diversos pesquisadores e instituições ao redor do mundo. Grande parte dessas pesquisas têm como objetivo monitorar o ruído submarino de origem antropogênica. Tais ruídos são gerados na maioria das vezes por navios (*offshore* e *nearshore* – mercantes, recreacionais e 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).

A NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*, agência dos Estados Unidos) e a Comunidade Europeia possuem grandes ações/pesquisas nessa área com avanços significativos. A NOAA, por meio da *NOAA Fisheries*, possui um Programa de Acústica Submarina (2011- atual), com diversos projetos na área de paisagem acústica submarina, desde sua modelagem e estudos sobre a diversidade de mamíferos marinhos, ao monitoramento acústico passivo contínuo e controle do ruído submarino. Além disso, como fruto desses projetos, a NOAA publicou o “*Ocean Noise Strategy Roadmap*”, um documento que reúne



informações significativas sobre os efeitos do ruído antropogênico na vida marinha (Gedamke *et al.*, 2016).

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

Em 2014, foi publicado um guia de monitoramento para ruído submarino nos mares europeus (*Monitoring Guidance for Underwater Noise in European Seas*). Apesar de o MSFD estabelecer que o “bom *status* ambiental” (*Good Environmental Status – GES*) 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 (European Commission, 2020).

1.3 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.

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, mostrando a comparação dos seus resultados com informações obtidos de dados medidos e apresentando 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.



Coordenador da Equipe



Técnico Responsável

6º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2022

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).

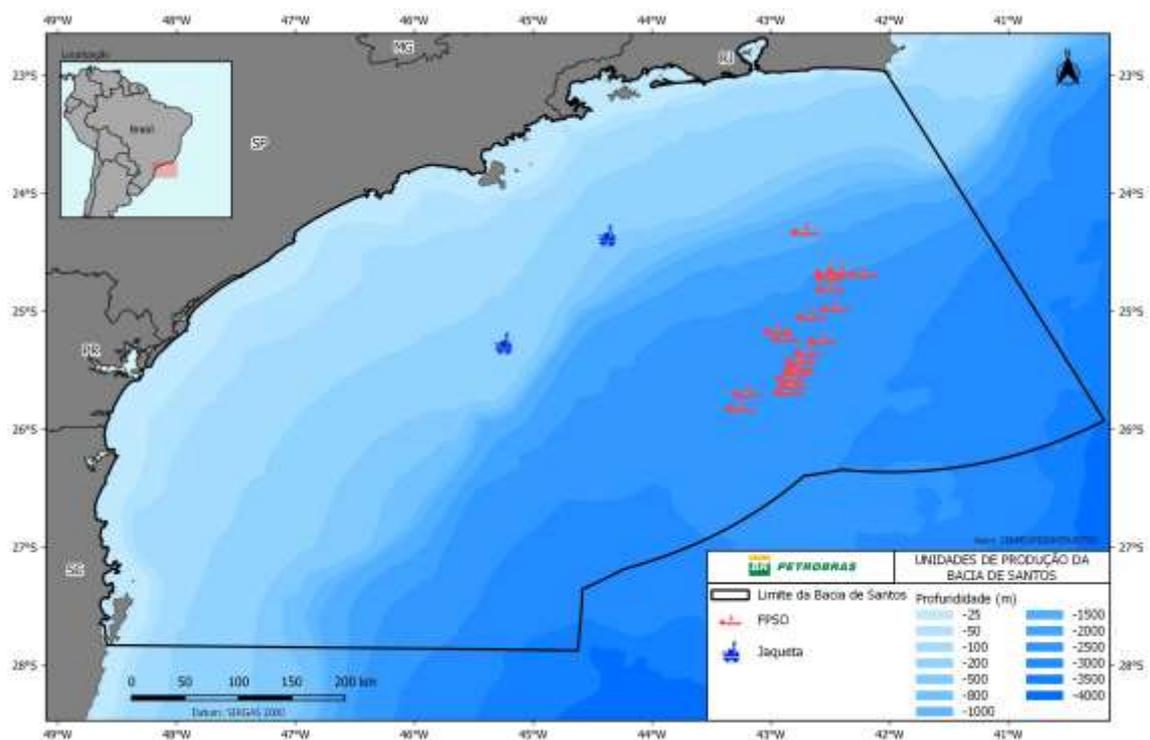


Figura II.1-1: Região da Bacia de Santos, mostrando os limites geográficos da bacia e a localização atual das unidades de produção da PETROBRAS.



Coordenador da Equipe



Técnico Responsável

6º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2022

II.1.1 Região Costeira

O monitoramento fixo da região costeira da Bacia 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, OS3R1 e OS3R2), 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	Lado Leste da Baía de Ilha Grande	23° 03,991' S	44° 05,160' W	23
OS2R	Lado Oeste da Baía de Ilha Grande	23° 07,460' S	44° 22,650' W	23
OS3	Canal de São Sebastião	23° 52,377' S	45° 27,420' W	24
OS3R	Ilhas Cagarras	23° 00,941' S	43° 11,205' W	24
OS3R1	Ilhas Cagarras	23° 00,631' S	43° 09,420' W	28
OS3R2	Ilhas Cagarras	23° 00,613' S	43° 08,785' W	24

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 do 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 OS2R (canal oeste da Baía de Ilha Grande), e do OS3 (Canal de São Sebastião) para os pontos OS3R, OS3R1 e OS3R2 (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 e posteriormente para OS3R2 foi feita para avaliar condições contrastantes de intensidade de tráfego de embarcações no entorno do MoNa Cagarras: área de menor intensidade de tráfego (OS3R) e área de maior intensidade de tráfego (OS3R1 e OS3R2). A alteração da posição OS3R1 para OS3R2 ocorreu por questões de segurança aos mergulhadores que realizam as atividades de manutenção dos OS. A distância entre o OS3R e OS3R1 é de cerca de 3.100 m e entre o OS3R1 e OS3R2 é de cerca de 1.100 m.

Os OS1, OS1A, OS3R, OS3R1 e OS3R2 estão numa mesma região, a Baía de Guanabara, com os OS1 e OS1A mais para dentro da baía e os OS3R, OS3R1 e OS3R2 mais para fora. A distância entre o OS1 e o OS3R1 é de quase 9 km.



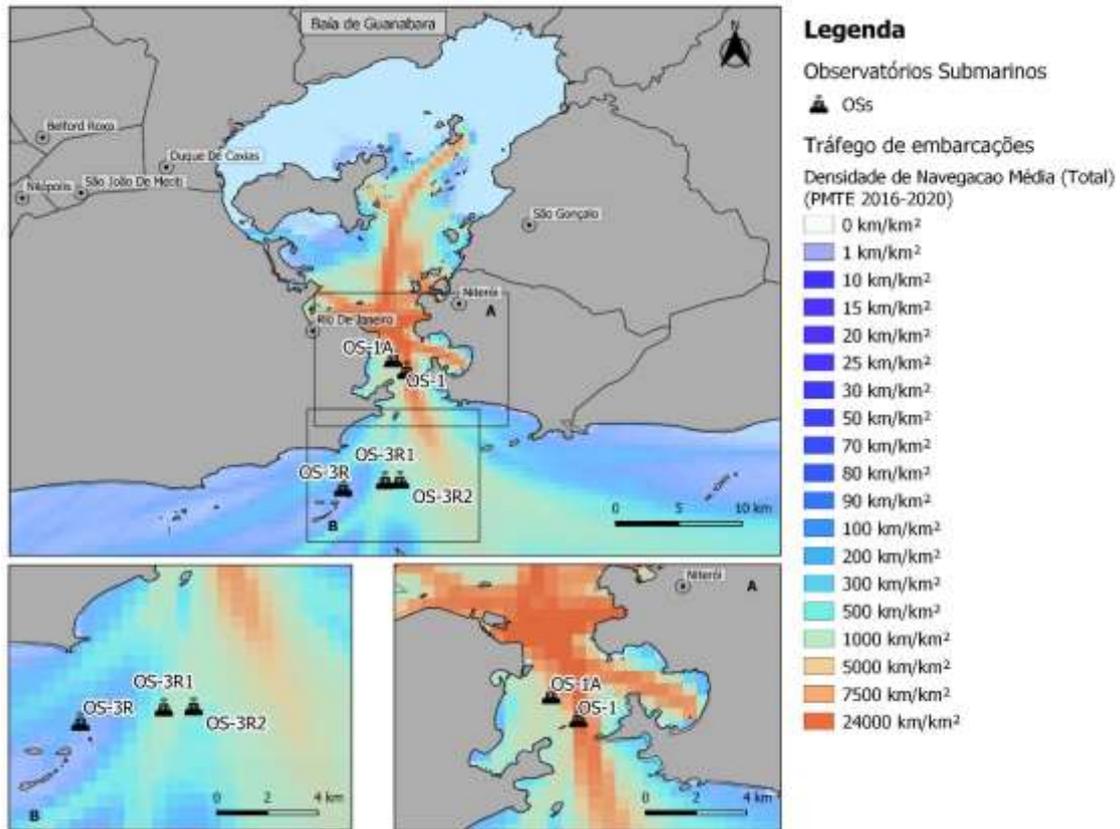


Figura II.1.1-1: Observatórios Submarinos na Baía da Guanabara (OS1 e OS1A) e nas imediações das Ilhas Cagarras (OS3R, OS3R1 e OS3R2). Os retângulos marcados como (A) e (B) no gráfico de cima são apresentados como gráficos destacados na parte de baixo, mostrando uma ampliação das regiões onde se encontram os OS1 e OS1A (A) e os OS3R, OS3R1 e OS3R2 (B).

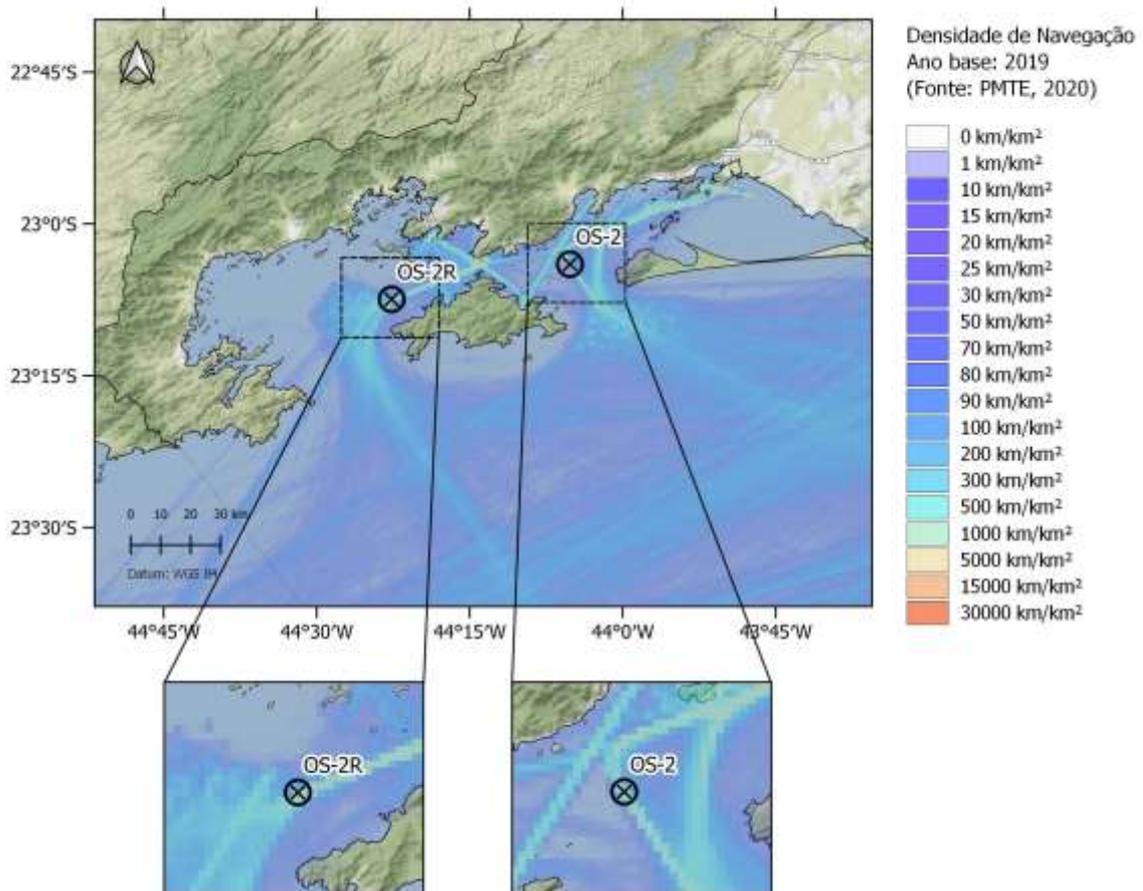


Figura II.1.1-2: Observatórios Submarinos na Baía da Ilha Grande (OS2 no lado leste e OS2R no lado oeste da Ilha Grande). A distância entre os OSs é de 32 km.



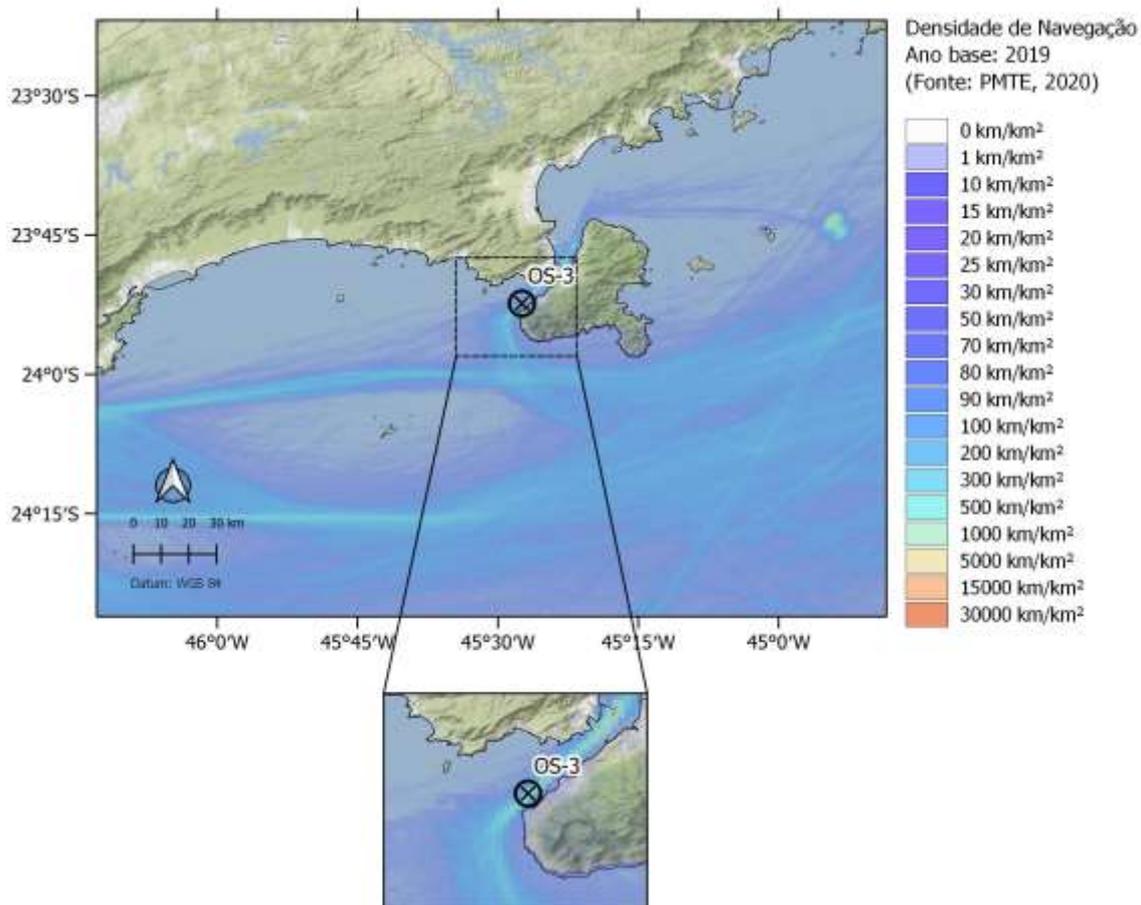


Figura II.1.1-3: Observatório Submarino no Canal de São Sebastião (OS3).



Coordenador da Equipe



Técnico Responsável

6º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2022

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 oito campanhas com o lançamento das linhas FA01, FA02, FA05 e FA06 nas posições indicadas. As linhas FA03 e FA04 foram lançadas nas cinco primeiras campanhas. A partir da sexta campanha, elas foram reposicionadas e renomeadas para FA03R e FA04R, respectivamente, pois a FA03 estava posicionada numa área que foi adquirida por outra operadora em 2018 e a FA04 foi realocada para suprir demandas específicas do escopo de modelagem, numa região fora de qualquer campo de produção ou bloco exploratório. Estas alterações também foram autorizadas pelo IBAMA por meio do ofício nº 71/2020/COPROD/CGMAC/DILIC, de 10/02/2020. Na oitava campanha, a linha FA04R voltou a ser instalada em sua posição inicial, atendendo a pedido do IBAMA para monitoramento na região sul da Bacia de Santos, sendo chamada, novamente, de FA04. A Tabela II.1.2-1 apresenta as posições e profundidades locais para as LFIs.



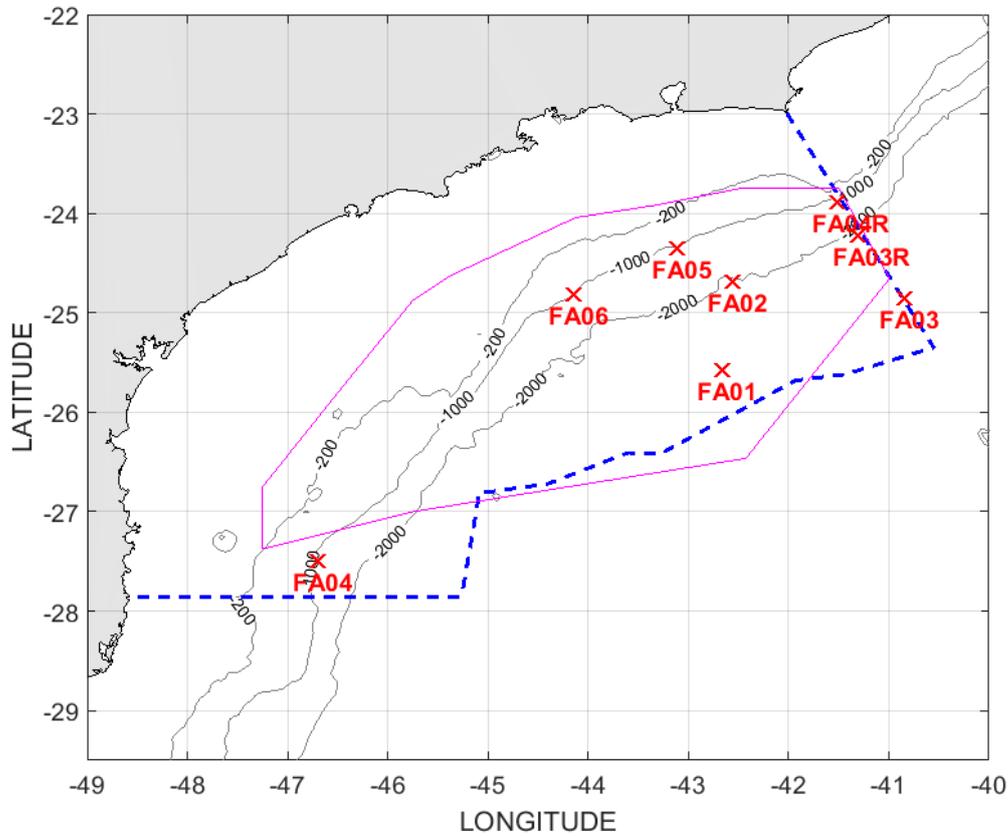


Figura II.1.2-1: Posição das oito linhas de fundeio instrumentadas usadas na região oceânica da Bacia de Santos

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. As informações mais recentes, relacionadas ao ano de 2021, ainda estão sendo consolidadas pelo PMTE-BS.



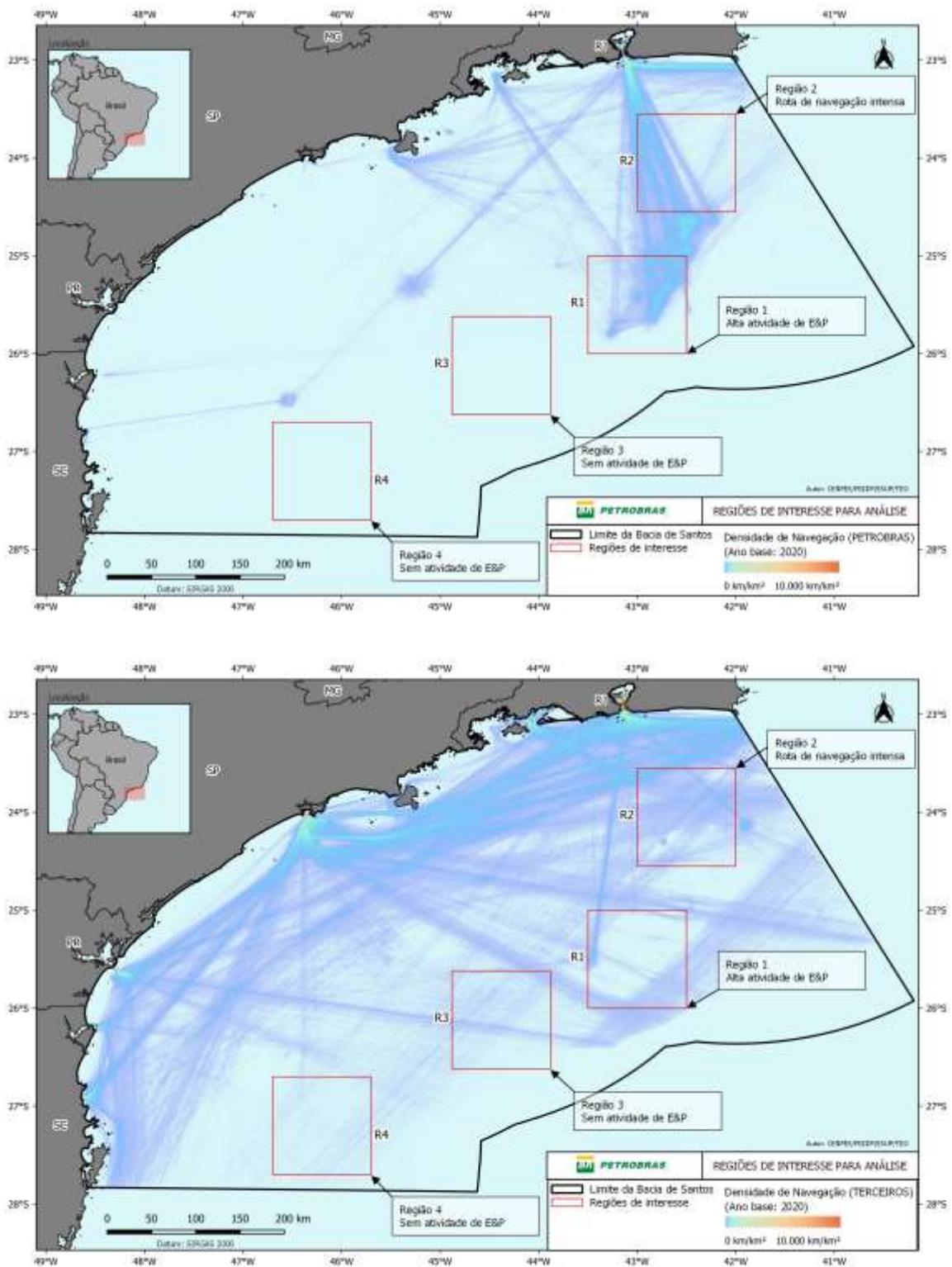


Figura II.1.2-2: Regiões de Interesse e densidade de navegação referente a embarcações a serviço da PETROBRAS (janela superior) e de terceiros (janela inferior). (Fonte: Petrobras, (2020))



Na preparação dos mapas de ruído modelado para a Bacia de Santos, feito com o Sistema de Modelagem Acústica Submarina (SIMAS), apresentado na Seção IV, os dados do AIS são uma das entradas para o sistema. A Figura II.1.2-3 mostra os *boxplots* da densidade de registros AIS nas Regiões R1, R2, R3 e R4, para os anos de 2016 a 2020. Observa-se que a região R1 apresenta maior densidade de fontes AIS seguida pela região R2, sendo as regiões R3 e R4 aquelas com as menores densidades. Observa-se também um crescimento do número de registros de AIS entre os anos de 2019 e 2020 e que pode ser verificado nas quatro regiões monitoradas.

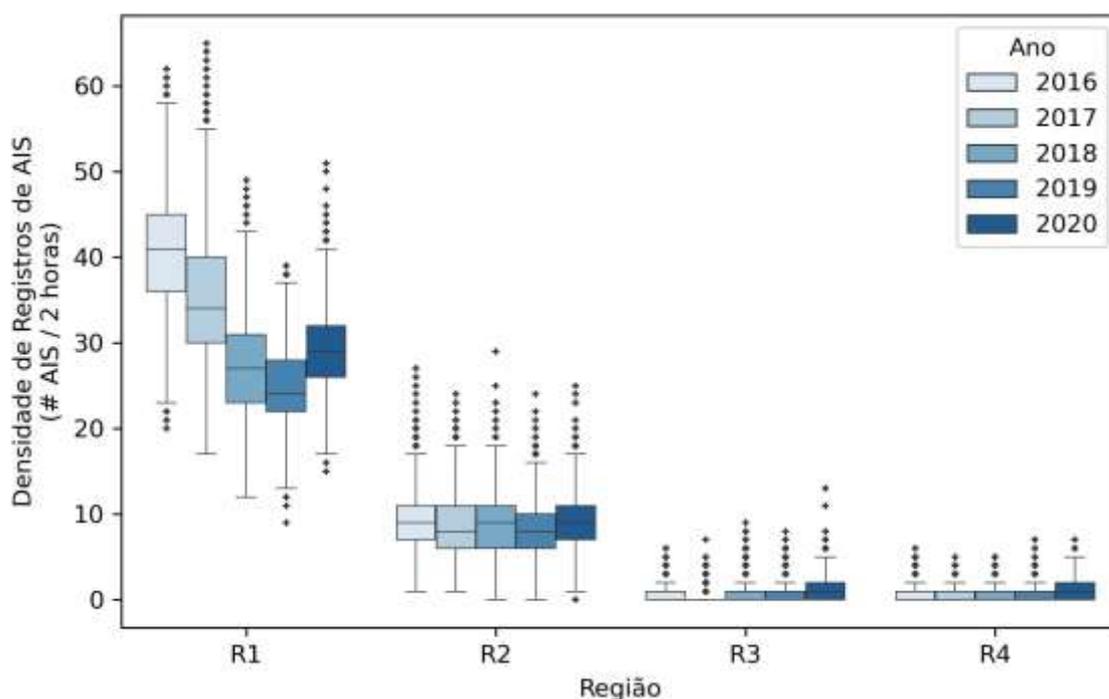


Figura II.1.2-3: - Variação anual do número de registros de AIS em janelas de 2 horas, para as regiões R1, R2, R3 e R4 nos anos de 2017 a 2020. (Fonte: PMTE 2016, 2017, 2018, 2019 e 2020)



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

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



II.2.2 Caracterização dos Dados

No período de novembro de 2015 a dezembro de 2021, referente ao 1º Ciclo do PMPAS-BS, foram recebidos e processados os seguintes conjuntos de dados:

- **Perfiladores:** no período entre novembro de 2015 e dezembro de 2021, 226 de 234 perfiladores, lançados em 23 ciclos de lançamento, adquiriram um total de 328.781 janelas acústicas de um minuto (5.479,7 horas), das quais 310.317 (5.172,0 horas) foram aceitas no processo de qualificação. Destas janelas acústicas qualificadas, 130.065 (41,9%) foram realizadas dentro da Bacia de Santos e 180.252 fora dela;
- **Gliders:** no período entre novembro de 2015 e dezembro de 2021, foram realizadas 52 campanhas de lançamento e recolhimento de *gliders*, com gravação e processamento de 547.936 janelas acústicas de um minuto (9.132,3 horas), sendo que 247.425 destes minutos (4.123,8 horas) foram aceitos no processo de qualificação. Dos minutos aceitos, 242.246 (97,9%) foram medidos dentro da Bacia de Santos e 5.179 fora dela;
- **Linhas de Fundeio Instrumentadas (LFIs):** no período entre setembro de 2017 e dezembro de 2021, foram realizadas 8 campanhas de lançamento e recolhimento das LFIs, com gravação e processamento em 3.019.692 janelas acústicas de um minuto (50.328,2 horas). Foram aceitos no processo de qualificação 1.136.565 minutos (18.942,74 horas).
- **Observatórios Submarinos (OSs):** no período entre março de 2017 e dezembro de 2021, foram realizadas 105 campanhas de lançamento e recolhimento dos OSs, com gravação e processamento de 4.945.447 janelas acústicas de um minuto (82.424,1 horas), sendo aceitas no processo de qualificação 4.004.727 janelas (66.745,5 horas).

A Tabela II.2.2-1 mostra os dados apresentados acima, incluindo o percentual de dados aceitos no processo de qualificação em relação ao total de dados coletados por cada uma das estratégias de amostragem utilizadas no PMPAS-BS.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

6º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2022

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)	50.328,2	5.479,7	9.132,3	82.424,1
Período da coleta (dias)	1.541	2.241	2.183	1.791
Percentual aceito na qualificação	37,6%	94,4%	45,2%	81,0%

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



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

III.1 REGIÃO OCEÂNICA

III.1.1 Monitoramento Móvel – Gliders e Perfiladores

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.

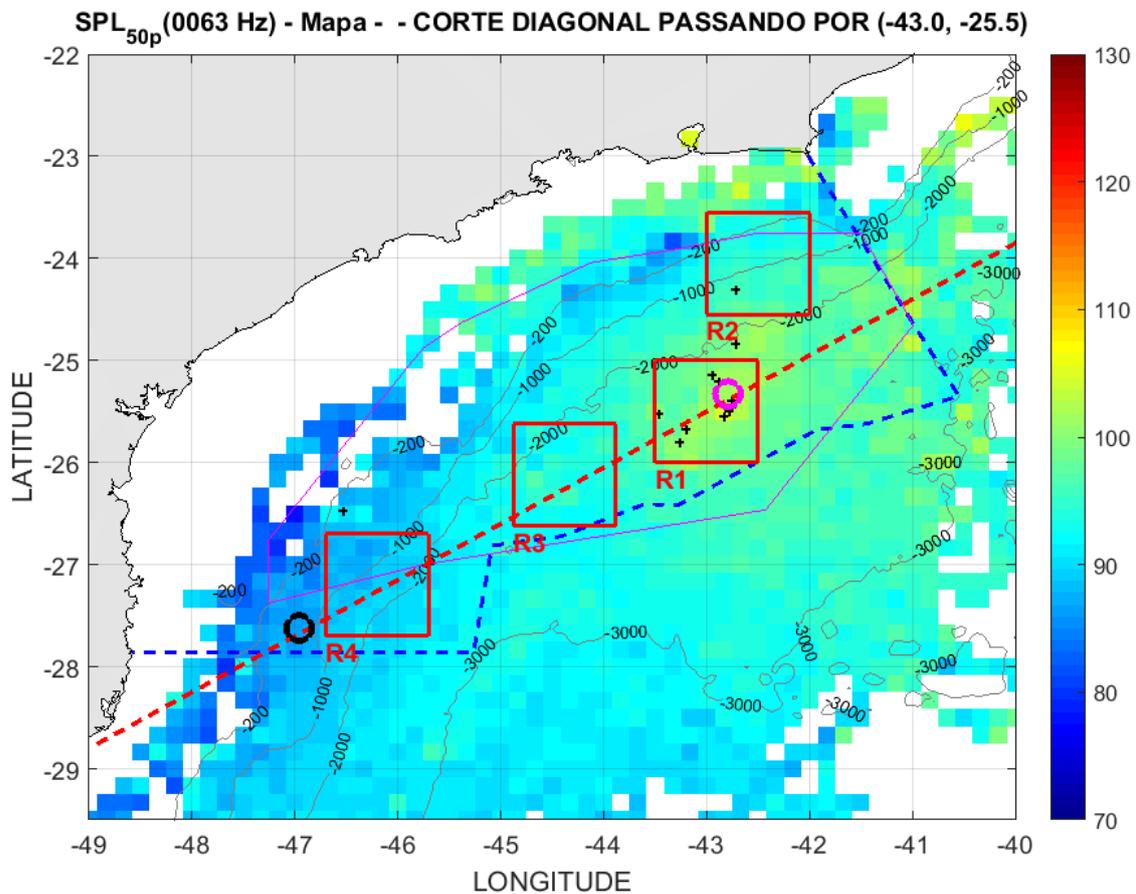


Figura III.1.1-1: Mapa do SPL para o filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz, com os quadrados vermelhos delimitando as regiões R1, R2, R3 e R4 e a linha diagonal tracejada vermelha mostrando os pontos usados para a comparação espacial dos níveis de ruído na Bacia de Santos. Os círculos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

Os quatro quadrados vermelhos representam as regiões selecionadas para comparações, R1, R2, R3 e R4 descritas na Seção II.1.2. A linha vermelha



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

Os níveis para as posições nesta linha são mostrados nos gráficos da Figura III.1.1-2, em função da longitude. No gráfico de cima, são apresentados os 5°, 25°, 50° (mediana), 75° e 95° percentis. No gráfico de baixo, as distribuições das medições em cada posição da linha são apresentadas por meio de *boxplots* (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 104,8 dB re 1 μ Pa² na posição (-25,45°, -42,92°), correspondendo à extremidade nordeste da região R1 e um mínimo de 86,7 dB re 1 μ Pa², na posição (-27,75°, -47,08°), no extremo sudoeste da região R4. Mais abaixo do limite sul da Bacia de Santos, ocorrem valores de SPL ainda menores, embora o número de medições nesta região seja menor do que dentro dos limites da Bacia de Santos, tornando estes valores menos precisos. Observa-se que 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 SPL_{63Hz} para uma posição na linha diagonal (-25,91°, -43,75°) 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 4.000 medições na região R1, diminuindo até valores em torno de 15 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.

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.

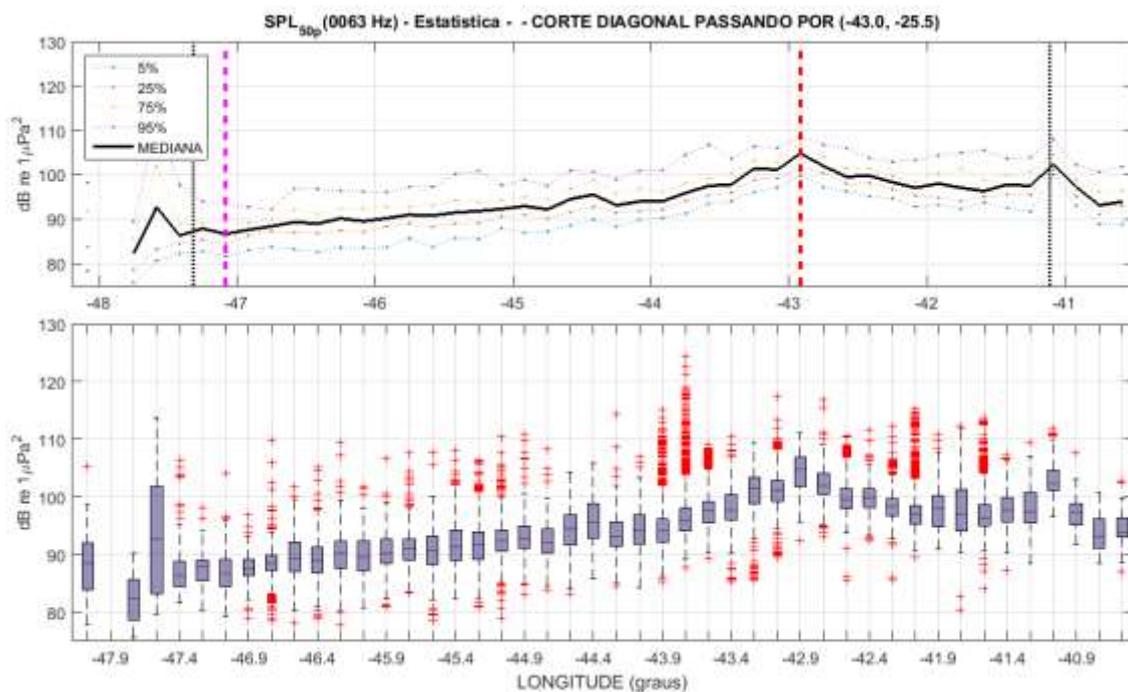


Figura III.1.1-2: SPL para o filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz em função da longitude ao longo da linha diagonal apresentada no mapa da III.1.1-1 (gráfico de cima); e boxplot para as medições feitas em cada posição da linha (gráfico de baixo). A linha tracejada vermelha no gráfico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



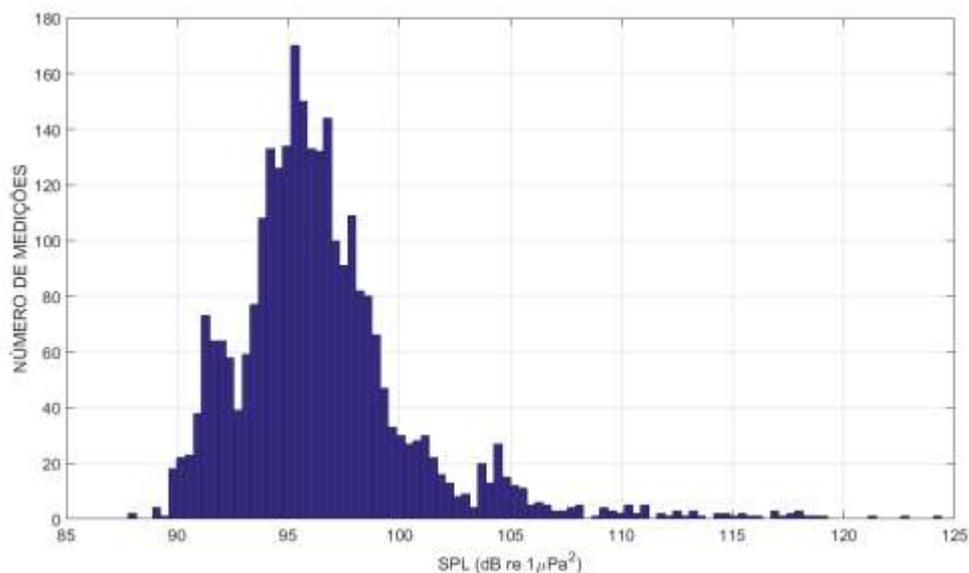


Figura III.1.1-3: Histograma dos valores de SPL_{63Hz} para as medições realizadas na linha diagonal, numa posição onde aparecem muitos valores extremos ($-25,91^\circ$, $-43,75^\circ$), permitindo ver como esses valores aparecem no histograma (acima de $103 \text{ dB re } 1\mu\text{Pa}^2$).

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.



Como exemplo, se os níveis espectrais (energia por unidade de frequência) fossem iguais em todas as bandas, as diferenças esperadas, tomando a banda de 63 Hz como referência, seriam de 3 dB para 125 Hz, 9 dB para 500 Hz, 12 dB para 1.000 Hz e 22 dB para a faixa de 10 Hz a 10 kHz. No entanto, é interessante observar que os níveis para 500 Hz e 1.000 Hz são praticamente iguais e o nível para 63 Hz é maior do que os níveis para os filtros centrados em 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz, mesmo tendo uma largura de banda menor.

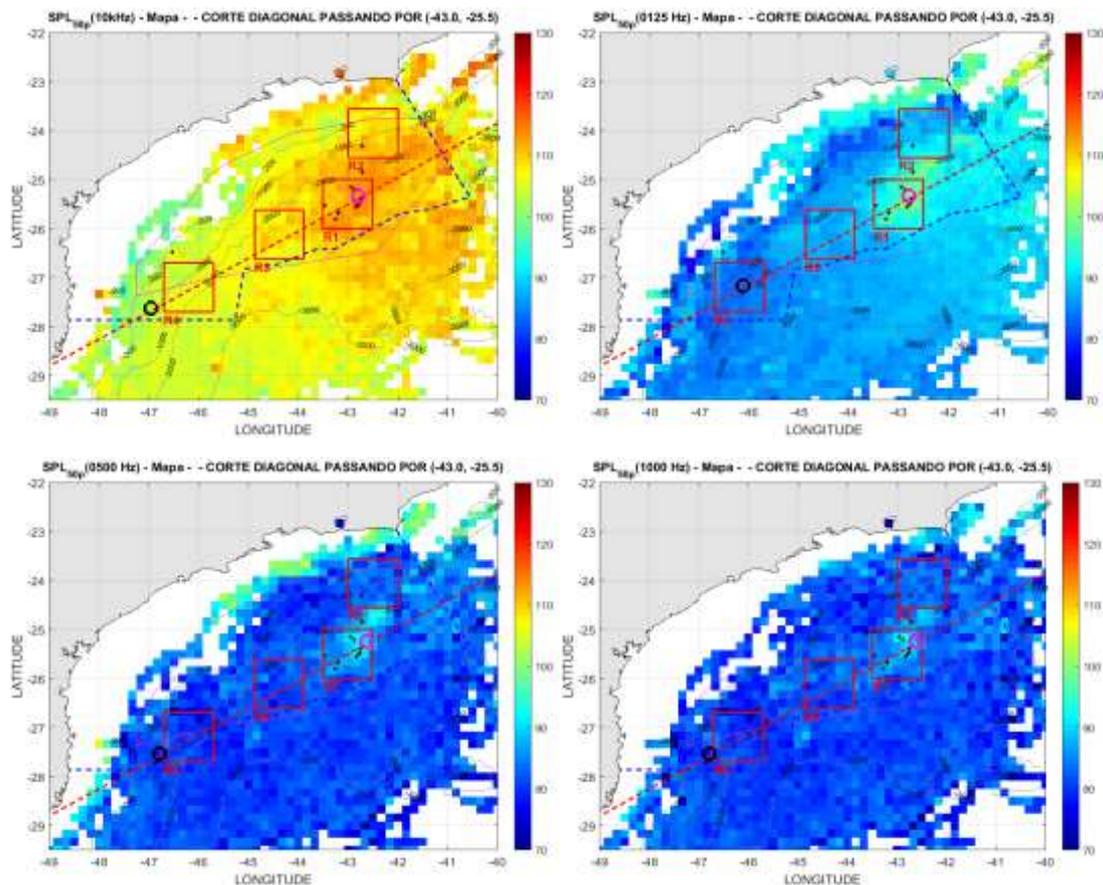


Figura III.1.1-4: Mapas do SPL para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz e para os filtros de 1/3 de oitava de 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz.



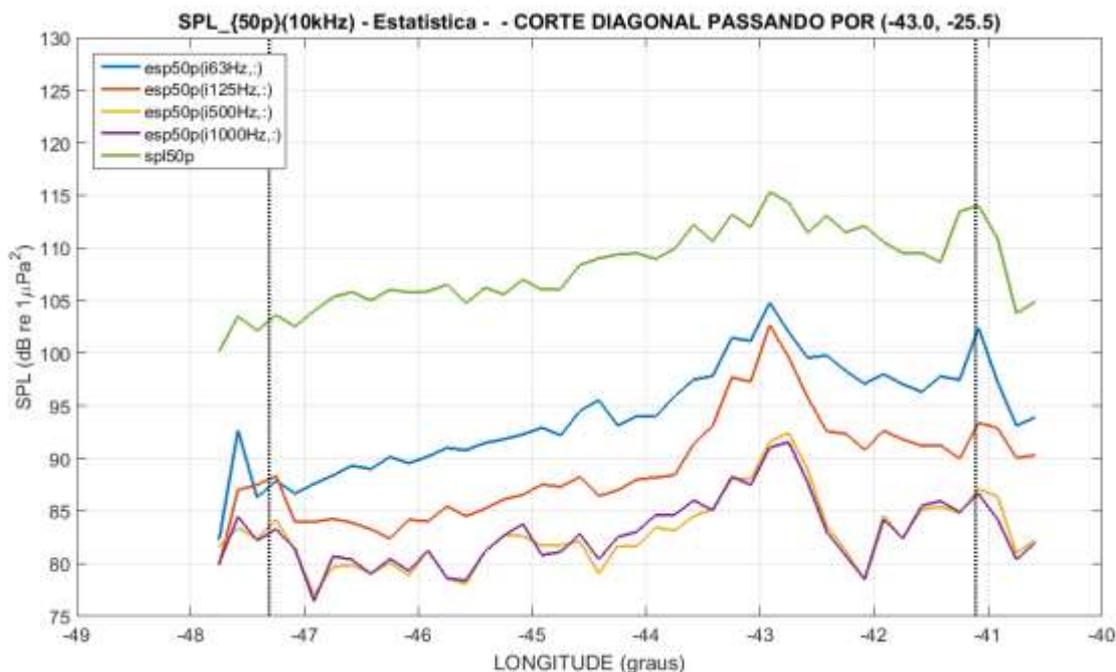


Figura III.1.1-5: SPL ao longo da linha mostrada nos mapas, em função da longitude, para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz e para os filtros de 1/3 de oitava centrados em 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz. As linhas pontilhadas pretas marcam as longitudes da linha diagonal para os limites sul e 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 1µPa²)	Lat/Long (graus)	SPL Máximo (dB re 1µPa²)	Lat/Long (graus)	Diferença (dB)
63 Hz	86,7	(-47,08,-27,75)	104,8	(-42,92,-25,45)	18,1
125 Hz	82,4	(-46,25,-27,29)	102,7	(-42,92,-25,45)	20,3
500 Hz	77,1	(-46,92,-27,65)	92,4	(-42,75,-25,36)	15,3
1,000 Hz	76,4	(-46,92,-27,65)	91,6	(-42,75,-25,36)	15,2
10 Hz a 10 kHz	102,5	(-47,08,-27,75)	115,3	(-42,92,-25,45)	12,8

III.1.1.1 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 de *gliders* e perfiladores, 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, $F=27.169,4$, $p=0$. Veja o item A.7.6.11, no APÊNDICE A, para uma descrição dos testes estatísticos apresentados neste relatório).

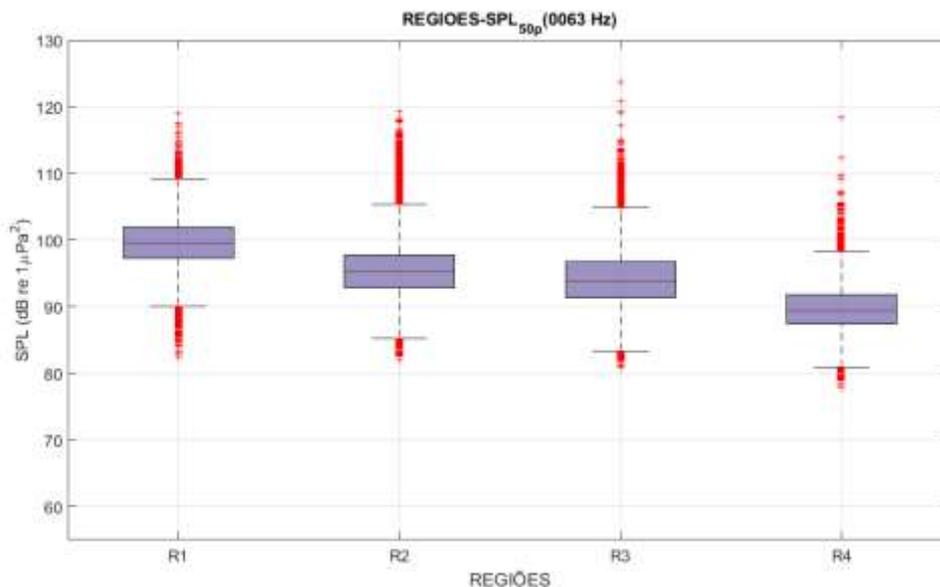


Figura III.1.1.1-1: Comparação entre as regiões R1, R2, R3 e R4, usando todos os dados qualificados dos *gliders* e perfiladores nestas regiões, para o filtro de 1/3 de oitava centrado em 63 Hz. As quatro regiões são estatisticamente diferentes (ANOVA, $F=27.169,4$, $p=0$).

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

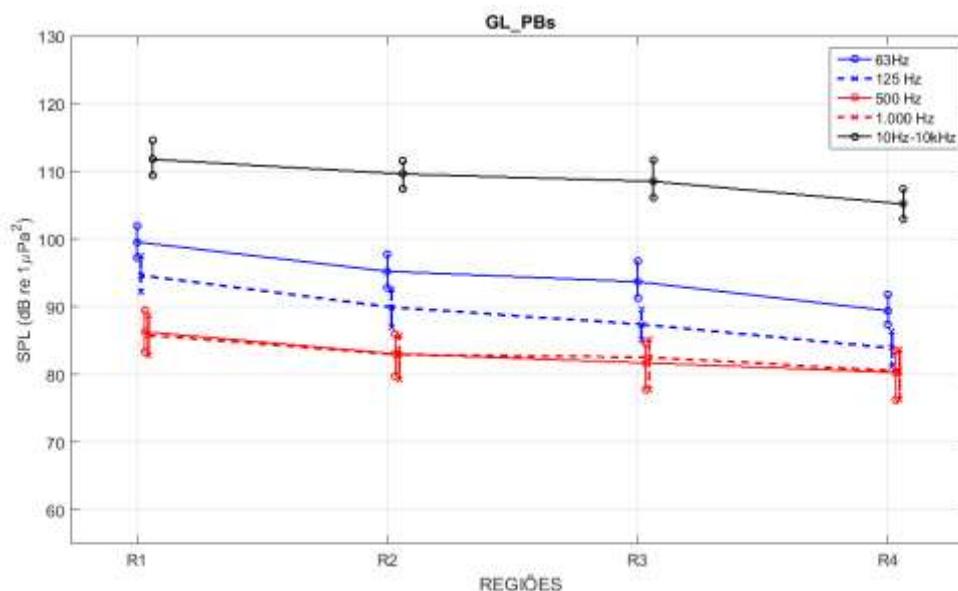


Figura III.1.1.1-2: Comparação entre as regiões R1, R2, R3 e R4, usando todos os dados qualificados dos gliders e perfiladores nestas regiões, para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz e para os filtros de 1/3 de oitava centrados em 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz. As linhas verticais ligam os percentis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

As regiões R1, R2 e R3 foram mais bem amostradas, com um número de medições de três a sete 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.

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=27.169,4, p=0)	R1	59.192	97,19	99,56	101,95	104,11	101,1
	R2	40.873	92,78	95,24	97,81	100,77	98,4
	R3	33.567	91,35	93,70	96,74	99,68	96,9
	R4	8.739	87,42	89,42	91,77	94,14	92,0
125 Hz (F=39.922,3, p=0)	R1	59.192	92,14	94,65	97,48	100,48	97,0
	R2	40.873	86,99	89,94	92,61	95,30	92,8
	R3	33.567	85,06	87,40	89,60	91,53	89,1
	R4	8.739	81,13	83,89	86,31	88,43	86,0
500Hz (F=11.545,2, p=0)	R1	59.192	83,33	86,30	89,58	92,76	90,1
	R2	40.873	79,76	83,04	85,97	88,45	86,4
	R3	33.567	77,70	81,70	84,52	87,35	83,7
	R4	8.739	76,23	80,29	83,52	85,78	82,3
1.000Hz (F=7.283,0, p=0)	R1	59.192	82,78	85,80	88,72	91,91	89,1
	R2	40.873	79,20	82,91	85,78	88,10	85,5
	R3	33.567	77,80	82,55	85,25	87,96	84,3
	R4	8.739	76,38	80,48	83,67	85,95	82,4
10Hz a 10kHz (F=12.167,2, p=0)	R1	59.192	109,41	111,78	114,55	116,85	113,5
	R2	40.873	107,35	109,61	111,63	113,73	111,5
	R3	33.567	106,08	108,52	111,69	115,40	111,2
	R4	8.739	102,95	105,19	107,39	109,13	106,5

A Figura III.1.1.1-3 apresenta a comparação entre as regiões R1, R2, R3 e R4 para a frequência de 63 Hz usando *boxplots*, mas separando os dados obtidos em cada ano, de 2016 a 2021. O teste estatístico indicou que não é possível afirmar que há diferenças entre os anos de 2016, 2019, 2020 e 2021, nem entre os anos de 2017 e 2018 para a região R1; entre os anos de 2016 e 2019, entre 2018 e 2019 e entre 2020 e 2021, para a região R2; entre os anos de 2016 e 2021,



2017 e 2018, entre 2017 e 2019 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, $F=3.652,1$, $p=0$). 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 1,9 dB, com o ano de 2021 pelo menos 0,3 dB acima dos anos anteriores. Na região R3, a diferença entre as medianas ficou menor que 2,1 dB, com o ano de 2016 sendo o mais ruidoso e o ano de 2020 o mais silencioso. Na região R4, a diferença entre as medianas ficou acima de 3,6 dB, sendo 2021 o ano mais ruidoso e 2016 o mais silencioso.

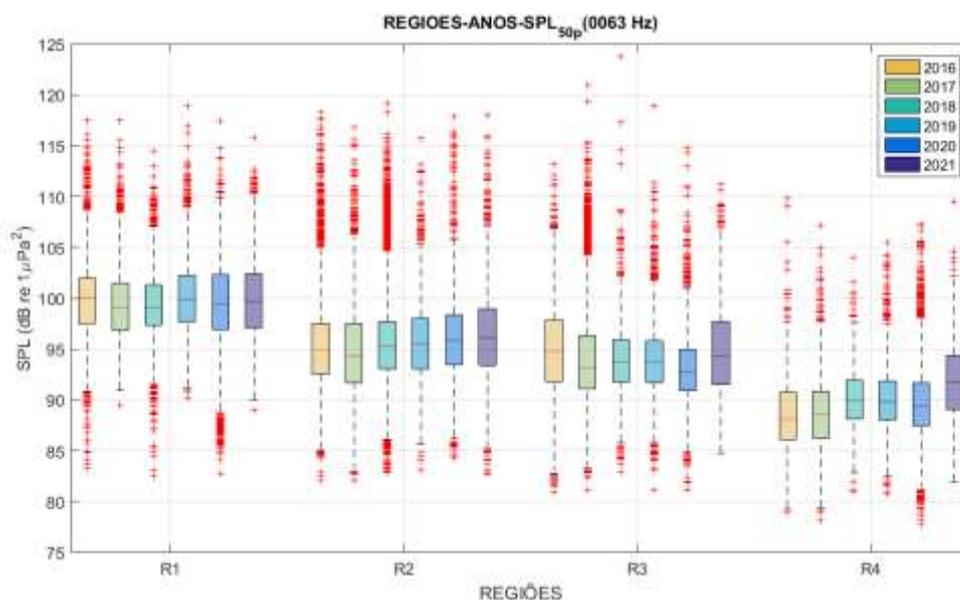


Figura III.1.1.1-3: Comparação entre as regiões R1, R2, R3 e R4, em cada ano, de 2016 a 2021, usando todos os dados qualificados dos gliders e perfiladores nestas regiões, para o filtro de 1/3 de oitava centrado em 63 Hz.

Na Figura III.1.1.1-4 são apresentados os percentis de 25%, 50% (mediana) e 75% para as regiões R1, R2, R3 e R4 para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz e para os filtros de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz. A Tabela III.1.1.2-2 apresenta a mediana de cada região, nos anos de 2016 a 2021, 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 2016 e 2020, entre 2017 e 2020, entre 2018 e 2019 e entre 2018 e 2021 para a região R1; entre os anos de 2016 e 2018, entre 2016 e 2019 e entre 2018 e 2019 para a região R2; entre os anos de 2016, 2017, 2020 e 2021 para a região R3; e entre os anos de 2016 e 2017, entre 2018 e 2019, entre 2019 e 2021 e entre 2020 e 2021, para a região R4. Entretanto, as outras diferenças entre as distribuições dentro de cada região são estatisticamente significativas (ANOVA, $F=5.454,0$, $p=0$). Na região R1, a diferença entre os anos ficou em no máximo 2,2 dB, com o ano de 2016 mais ruidoso e o ano de 2021 mais silencioso. Na região R2, a diferença máxima ficou em 3,2 dB, com o ano de 2020 mais ruidoso e o ano de 2017 mais silencioso. Na região R3, a diferença máxima ficou em 2,2 dB, sendo o ano de 2018 mais ruidoso e o ano de 2016 mais silencioso. Na região R4, a maior diferença ficou em 5,5 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 2017 e 2020 para a região R1; entre os anos de 2016, 2019, 2020 e 2021, e entre 2017 e 2018 para a região R2; entre 2017 e 2020, entre 2018 e 2019 e entre 2019 e 2020 para a região R3; e entre os anos de 2016 e 2018, e entre 2017, 2019 e 2021 para a região R4. Entretanto, as diferenças entre as outras distribuições dentro de cada região são estatisticamente significativas (ANOVA, $F=1.756,4$, $p=0$). 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 1,8 dB, entre os anos de 2017, mais ruidoso e os anos de 2016 e 2020, mais silenciosos. Na região R3, a diferença máxima ficou em 3,9 dB, com o ano de 2020 mais ruidoso e o ano de 2021 mais silencioso. Na região R4, a diferença máxima ficou em 3,6 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 2019 e 2021 para a região R1; entre os anos de 2019 e 2021 para a região R2; entre os anos de 2016 e 2018 para a região R3; e entre os anos de 2016 e 2017, entre 2016 e 2018, entre 2019 e 2021, e entre 2020 e 2021 para a região R4. As diferenças entre as outras distribuições dentro



de cada região são estatisticamente diferentes (ANOVA, $F=1.247,7$, $p=0$). 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 2,1 dB (diferença de $0,24 \pm 0,82$ 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 os anos de 2016 e 2018 para a região R1; entre os anos de 2017, 2018 e 2019, para a região R2; entre os anos de 2017 e 2018, e entre 2018, 2019 e 2021 para a região R3; e entre os anos de 2018 e 2019, e entre 2018 e 2020 para a região R4. Entretanto, as diferenças entre as outras distribuições dentro de cada região são estatisticamente significativas (ANOVA, $F=1.864,1$, $p=0$). Na região R1, a diferença máxima foi de 3,2 dB, com o ano de 2019 mais ruidoso e 2017 mais silencioso. Na região R2, a diferença máxima ficou em menos de 1 dB entre os anos de 2018, mais ruidoso, e 2021, mais silencioso, sugerindo uma estabilidade nos níveis de ruído. Na região R3, a diferença máxima ficou em 3,7 dB, sendo o ano de 2016 mais ruidoso e o ano de 2020 mais silencioso. Na região R4, a diferença máxima ficou em 5 dB, sendo o ano de 2021 mais ruidoso e o ano de 2016 mais silencioso.



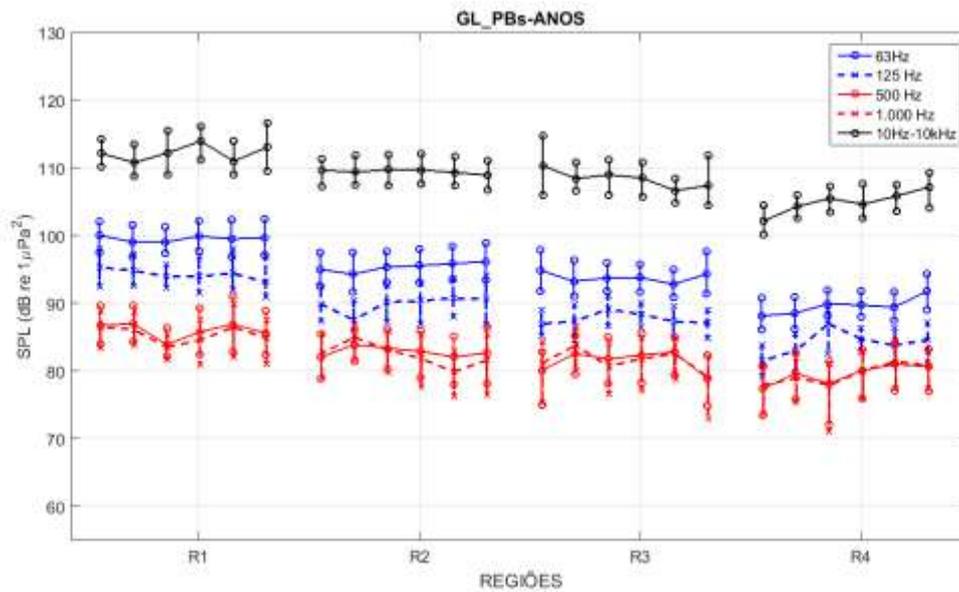


Figura III.1.1.1-4: Comparação entre as regiões R1, R2, R3 e R4, em cada ano, de 2016 a 2021, usando todos os dados qualificados dos gliders e perfiladores nestas regiões, para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz e para os filtros de 1/3 de oitava centrados em 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz. As linhas verticais ligam os percentis de 25%, 50% (mediana) e 75% para cada distribuição. Cada conjunto de seis marcas corresponde, da esquerda para a direita, aos anos de 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020 e 2021, respectivamente.



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 2021.

Região	Ano	Nº de Medições	63 Hz	125 Hz	500 Hz	1,000 Hz	10Hz-10kHz
R1	2016	18.396	100,02	95,32	86,73	86,50	112,16
	2017	13.099	99,08	94,83	86,97	86,10	110,76
	2018	5.226	99,03	93,99	83,88	83,50	112,24
	2019	4.736	99,91	93,97	85,73	84,56	113,95
	2020	12.598	99,49	94,43	86,92	86,46	110,97
	2021	5.137	99,68	93,14	85,56	84,85	113,07
R2	2016	10.695	95,00	89,92	82,06	82,62	109,67
	2017	3.831	94,29	87,53	83,88	84,95	109,36
	2018	18.924	95,35	90,17	83,38	83,12	109,76
	2019	3.158	95,56	90,35	82,89	81,82	109,68
	2020	1.004	95,82	90,73	82,06	79,88	109,33
	2021	3.261	96,15	90,64	82,66	81,61	108,94
R3	2016	8.780	94,84	86,97	80,07	81,18	110,33
	2017	15.081	93,24	87,31	82,54	83,80	108,41
	2018	1.805	93,73	89,13	81,75	80,69	108,99
	2019	3.304	93,78	88,35	82,35	81,81	108,49
	2020	2.138	92,81	87,33	82,79	82,56	106,64
	2021	2.459	94,29	87,08	78,85	79,06	107,41
R4	2016	439	88,15	81,49	77,33	77,89	102,16
	2017	1.107	88,52	82,95	79,67	78,98	104,29
	2018	300	89,90	86,96	78,10	77,90	105,51
	2019	1.764	89,72	84,71	80,05	80,02	104,61
	2020	4.707	89,41	83,76	80,98	81,39	105,83
	2021	422	91,79	84,60	80,65	80,78	107,16

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 (2016-2021). Segundo Merchant *et al.* (2016), tendências podem demorar até décadas para serem detectadas, sendo possível, entretanto, definir a situação atual do ruído para permitir as atividades de planejamento e a verificação futura da evolução destes ruídos.



A Figura III.1.1.1-5 apresenta comparações entre as regiões R1, R2, R3 e R4 para quatro faixas de profundidade em torno de 50 m (0-150 m), 200 m (150-350 m), 500 m (400-600 m) e 950 m (850-1.100 m), para a frequência de 63 Hz. Não é possível afirmar que há diferenças entre as distribuições para as profundidades de 50 m, 200 m e 500 m para a região R1. Entretanto, as demais diferenças entre as distribuições em cada região são estatisticamente significativas (ANOVA, 4.320,5, $p=0$). Na região R1, a diferença entre as medianas para as faixas de profundidade é de no máximo 0,2 dB, sendo mais silenciosa em 500 m e mais ruidosa em 200 m. Para as outras regiões, a profundidade de 50 m é mais silenciosa e a de 950 m mais ruidosa, com a variação máxima entre estas profundidades sendo de 1,9 dB na região R3 e de 3,5 dB na região R4.

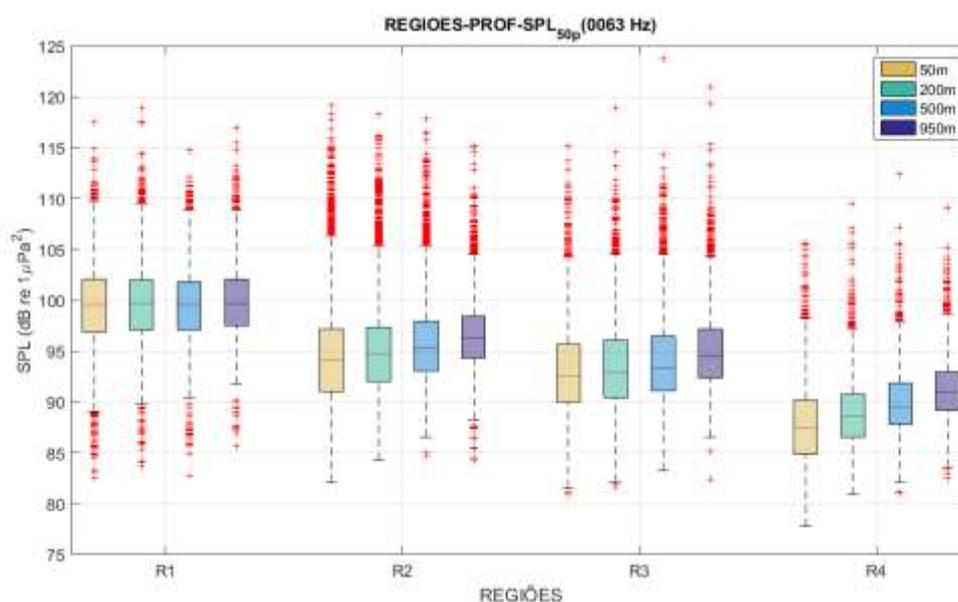


Figura III.1.1.1-5: Comparação entre as regiões R1, R2, R3 e R4, para quatro faixas de profundidade, usando todos os dados qualificados dos gliders e perfiladores nestas regiões, para o filtro de 1/3 de oitava centrado em 63 Hz.

Na Figura III.1.1.1-6 são apresentados os percentis de 25%, 50% (mediana) e 75% para as regiões R1, R2, R3 e R4 para os filtros de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz e para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz. 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 200 m e entre 500 m e 950 m para a região R1; e entre 50 m e 200 m na região R3. Entretanto, as demais distribuições em cada região são estatisticamente diferentes (ANOVA, $F=6.170,7$, $p=0$). Na região R1, a diferença máxima entre as medianas do ruído para as profundidades foi de 0,6 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 1,8 dB, chegando a 3,6 dB na região R4.

Para a frequência de 500 Hz, não é possível afirmar que há diferenças entre as profundidades de 200 m e 500 m para a região R1; entre 50 m e 500 m e entre 200 m e 500 m para a região R2; entre 200 m e 500 m e entre 500 m e 950 m para a região R3; e entre todas as profundidades na região R4. Entretanto, as demais distribuições em cada região são diferentes (ANOVA, $F=1630,5$, $p=0$). A profundidade de 50 m é a mais ruidosa, com exceção na região R4, onde a profundidade de 950 m é a mais ruidosa. A maior diferença entre as medianas dos dados, no entanto, ficou em torno de 1,3 dB.

Para a frequência de 1.000 Hz, o teste estatístico indicou que não é possível afirmar que há diferenças entre as profundidades de 200 m, 500 m e 950 m na região R1; entre 50 m, 200 m e 500 m para a região R2; entre 50 m e 200 m, entre 50 m e 500 m, e entre 200 m, 500 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, $F=1.015,1$, $p=0$). A mediana dos dados para a profundidade de 50 m é a mais alta das quatro profundidades nas regiões R1 e R2, enquanto a profundidade de 200 m é mais ruidosa para as regiões R3 e R4. A maior diferença entre as medianas das profundidades foi de 1,1 dB, na região R3.

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, 200 m e 500 m para a região R1. Todas as outras distribuições em cada região são diferentes (ANOVA, $F=2.078,6$, $p=0$). Em todas as regiões o ruído aumenta com o aumento da profundidade, com a diferença entre as profundidades de 50 m e 950 m indo de 0,6 dB na região R1 a 3,3 dB na região R4.



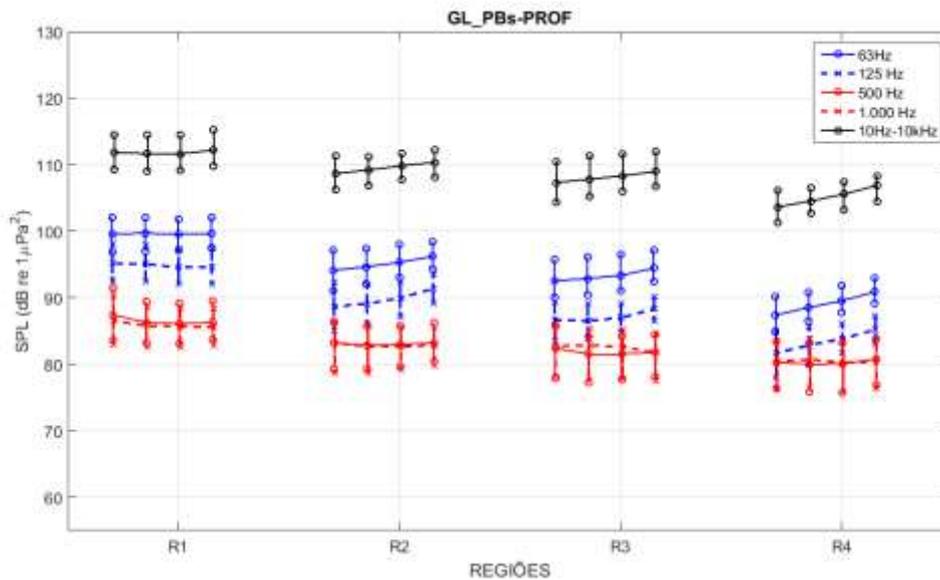


Figura III.1.1.1-6: Comparação entre as regiões R1, R2, R3 e R4 e em cada região, da esquerda para a direita para as faixas de profundidades em torno de 50 m, 200 m, 500 m e 950 m, usando todos os dados qualificados dos gliders e perfiladores nestas regiões, para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz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

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	7.096	99,56	95,18	87,40	86,52	111,86
	200m	11.564	99,71	95,04	86,26	85,77	111,64
	500m	12.566	99,50	94,55	86,07	85,71	111,61
	950m	8.611	99,67	94,57	86,30	85,55	112,21
R2	50m	7.892	94,10	88,66	83,25	83,18	108,66
	200m	9.607	94,65	89,08	82,79	82,68	109,20
	500m	8.750	95,30	89,95	82,97	82,67	109,83
	950m	4.355	96,21	91,35	83,22	82,80	110,34
R3	50m	4.497	92,54	86,59	82,38	82,71	107,32
	200m	6.563	92,87	86,53	81,54	82,83	107,82
	500m	7.038	93,32	86,97	81,54	82,61	108,32
	950m	5.063	94,43	88,33	81,75	81,77	108,98
R4	50m	1.730	87,38	81,63	80,26	80,37	103,63
	200m	2.106	88,52	82,87	79,98	80,69	104,53
	500m	1.690	89,51	83,78	80,06	80,21	105,55
	950m	1.368	90,88	85,22	80,76	80,40	106,89

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 relacionada ao próprio vento.

A Figura III.1.1.1-7 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*).

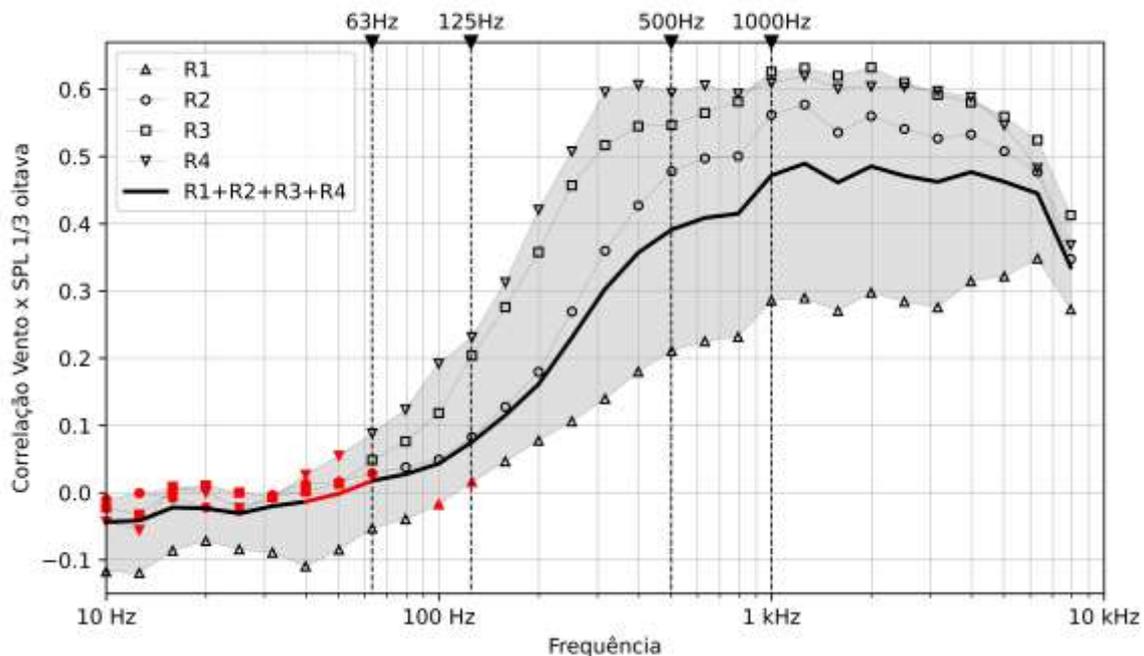


Figura III.1.1.1-7: Coeficiente de correlação de Spearman entre os valores de intensidade do vento e o SPL (dB ref 1µPa²) medido em distintas regiões da Bacia de Santos para diferentes frequências do filtro de 1/3 de oitava. As linhas verticais tracejadas indicam as frequências centrais de 63, 125, 500 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 0,63. Para a região R2, os valores máximos de correlação são da ordem de 0,57 e para a região R1, de até 0,34. 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.1.1.1-8, 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.

Comparando-se os valores de correlação ora obtidos com aqueles estimados no último Relatório Técnico, observa-se uma pequena redução entre a correlação do vento e o SPL, o que pode estar relacionado tanto a variações nos níveis de ruído antropogênico e que interferem nas bandas de frequência em que o vento é mais influente, quanto à precisão dos campos modelados de vento utilizados nesta análise. O comportamento das curvas de correlação e a relação desta variável entre as diferentes regiões, no entanto, permanecem idênticos, reforçando os resultados que já vinham sendo obtidos.

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.



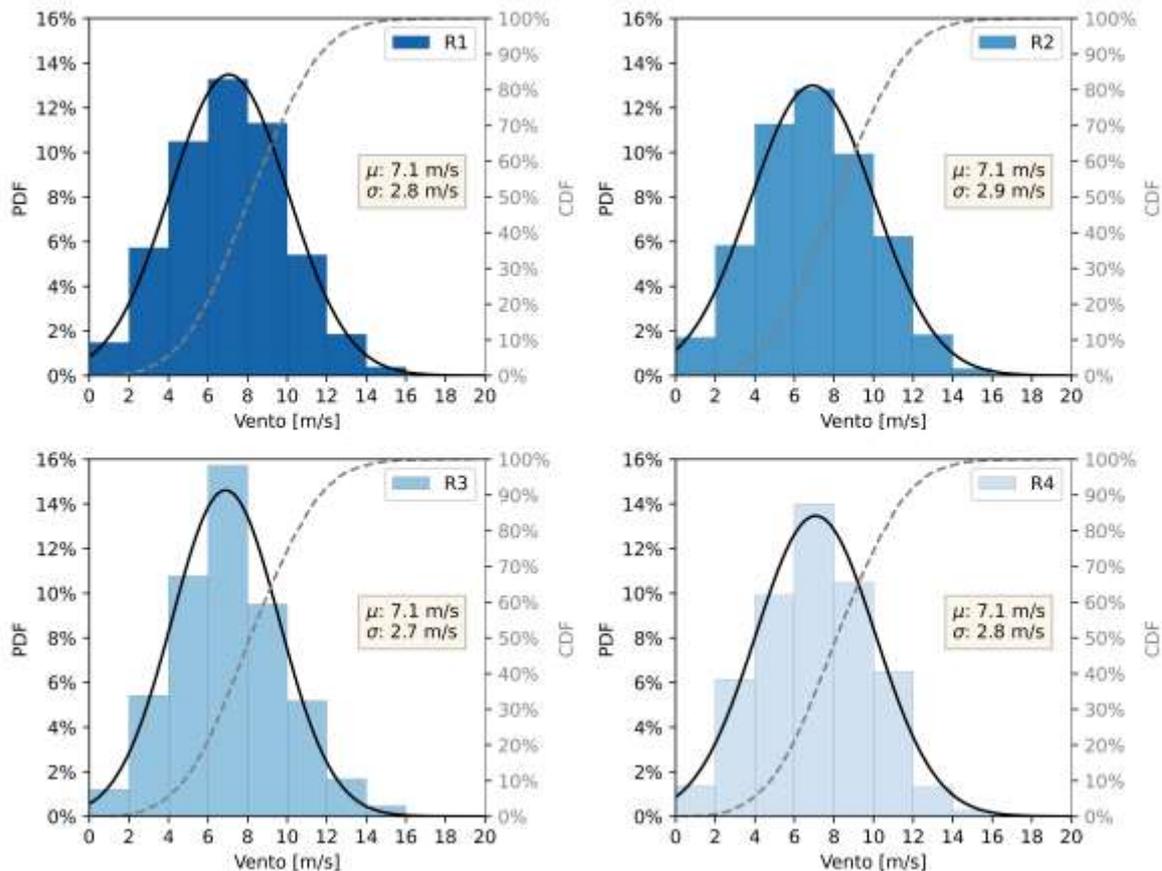


Figura III.1.1.1-8: Distribuições da intensidade do vento para as regiões R1, R2, R3 e R4 e respectivas média (μ) e desvio padrão (σ). A curva preta em cada histograma indica o ajuste de uma distribuição normal aos dados de cada região e a curva cinza tracejada a respectiva distribuição acumulada estimada a partir dos dados.

Este aspecto também é observado nos valores de SPL medidos na Bacia de Santos. A Figura III.1.1.1-9 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.

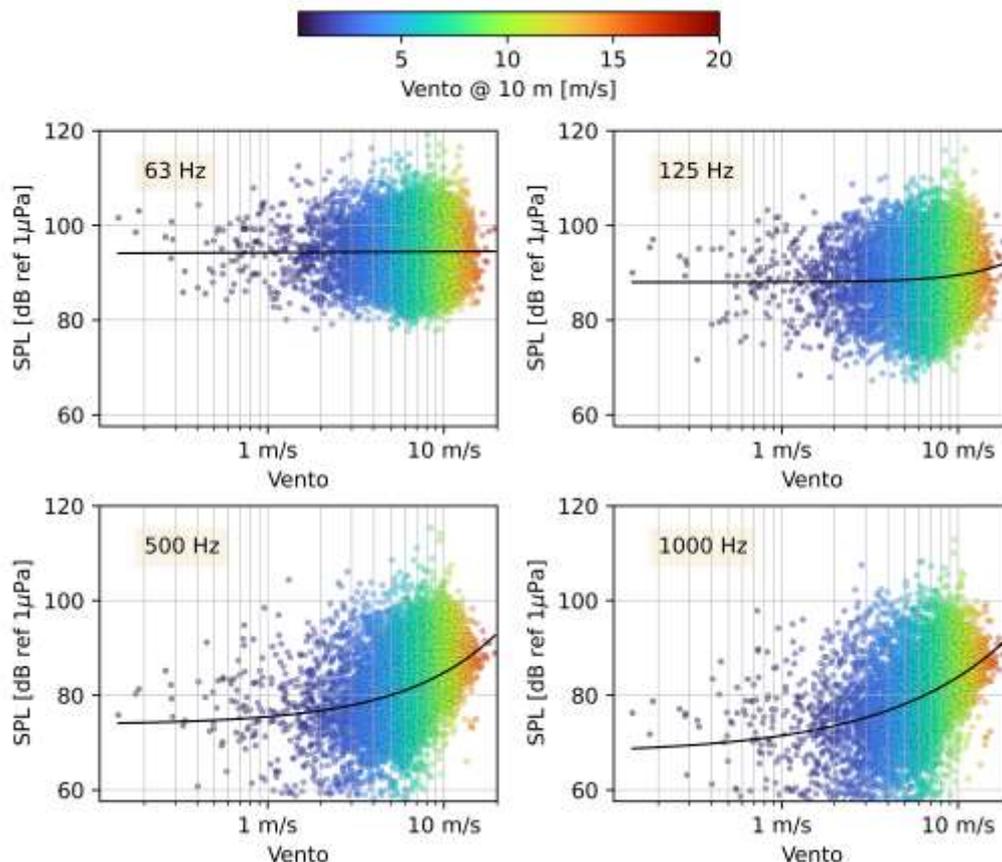


Figura III.1.1.1-9: Variação do SPL para as frequências de 63, 125, 500 e 1.000 Hz do espectro de 1/3 de oitava para medições acústicas na Bacia de Santos (R1+R2+R3+R4) em função da velocidade do vento. As cores indicam a intensidade do vento e a linha preta indica uma curva de tendência ajustada aos 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.1.1.1-8. 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.1.1.1-10 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.1.1.1-10(a) consideram apenas medições com vento inferior a 1,5 m/s e os espectros da Figura III.1.1.1-10(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.1.1.1-10 (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.1.1.1-10 (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 3 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 500 Hz e 3 kHz, estes valores variam entre 8 e 16 dB, com os maiores aportes se dando entre 1 e 3 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.



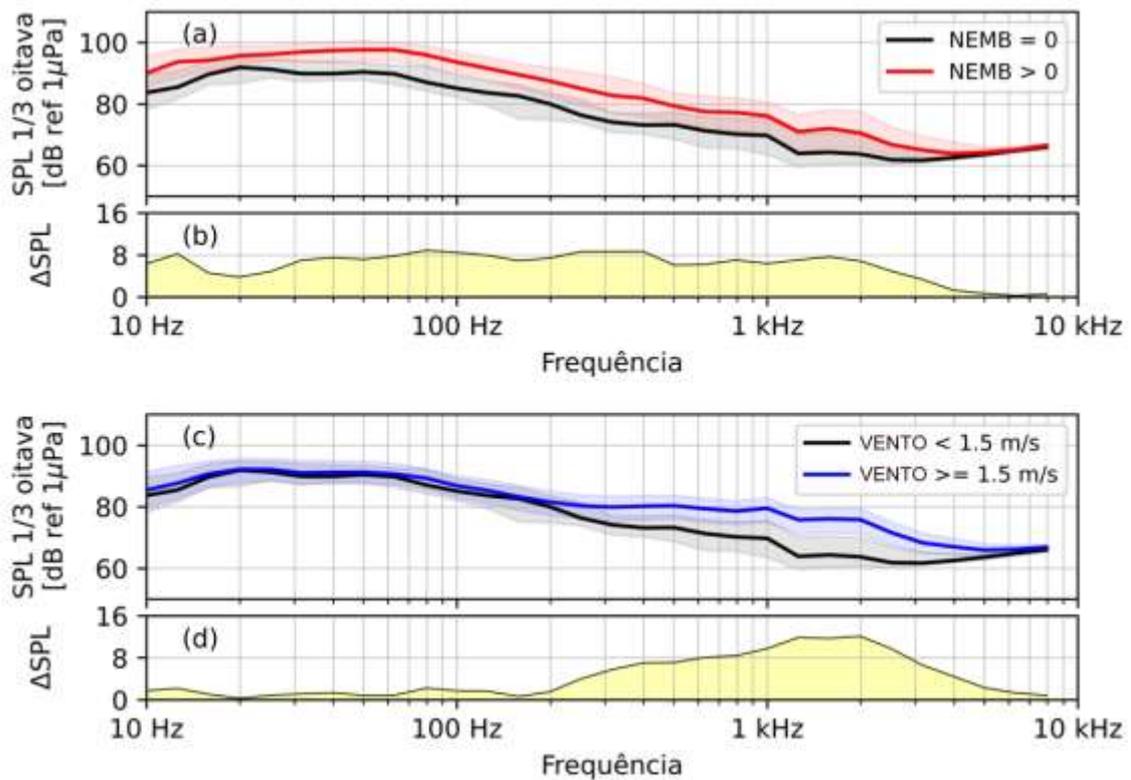


Figura III.1.1.1-10: Painel superior: (a) mediana dos espectros de 1/3 de oitava do SPL para as medições com e sem a presença de embarcações em um raio de 40 km e vento inferior a 1,5 m/s; (b) diferença em dB entre as duas situações. Painel inferior: (c) espectros de 1/3 de oitava do SPL para as medições 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.1.1.2 Comparação da Bacia de Santos com Outras Regiões do Mundo

Em diversas partes do mundo, estão sendo feitos estudos para a caracterização da paisagem acústica submarina. Estes estudos envolvem projetos com diferentes magnitudes, cobrindo desde curtos períodos de tempo em alguns pontos do litoral de um país (Duc *et al.*, 2021; La Manna *et al.*, 2021; Merchant *et al.*, 2016; Schoeman *et al.*, 2022) a projetos com grande cobertura temporal e espacial (Erbe *et al.*, 2016; Gervaise, C., Lossent, J., Di Iorio, L., Boissery, 2018; Haver *et al.*, 2018, 2019; J. A. M. Lima *et al.*, 2022).

O 5º Relatório Técnico do PMPAS apresentou um levantamento abrangente dos principais projetos na área de monitoramento da paisagem acústica submarina, mostrando que as atividades do PMPAS-BS estão avançadas e alinhadas com o cenário mundial (IPqM/PETROBRAS, 2021). Naquele relatório, foram apresentadas comparações dos dados obtidos no PMPAS-BS com outros obtidos no Golfo do México e na região do Reino Unido. Embora novos dados estejam sendo coletados em algumas destas regiões (NOAA/NCEI, 2017), não foram encontradas publicações com novos resultados. Por este motivo e para facilitar o acesso, estas comparações foram repetidas neste relatório.

É interessante 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. Novos dados continuam sendo coletados nesta região, mas ainda não foram publicados trabalhos sobre eles.



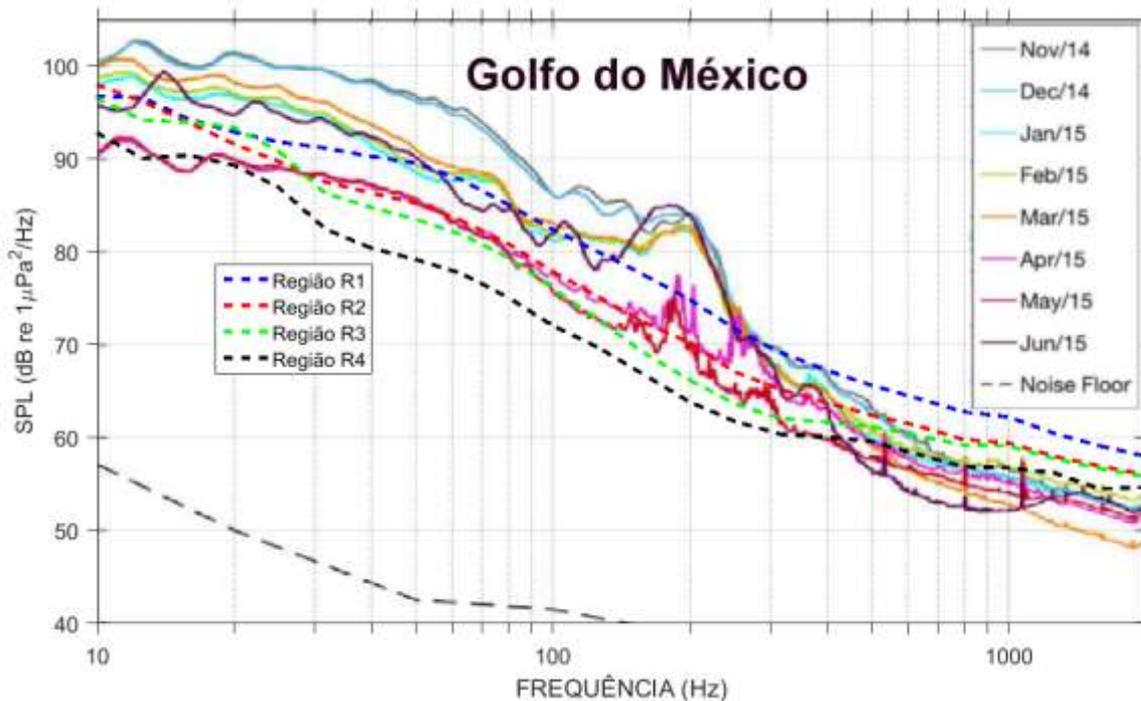


Figura III.1.1.2-1: Comparação da densidade espectral de potência de 1/3 de oitava medianos obtidos a partir das medições realizadas nas regiões R1, R2, R3 e R4 na Bacia de Santos com medições realizadas por HAVER *et al.* (2018) na região do Golfo do México.

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.

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.



Tabela III.1.1.1-4: 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.1.2 **Monitoramento Fixo – Linhas de Fundeio Instrumentadas**

III.1.2.1 **Comparação entre as LFIs**

A qualificação dos dados das LFIs foi feita usando-se um limiar para a velocidade de corrente medida próximo à posição dos equipamentos de gravação do áudio para a qual a correlação do SPL para as bandas de frequência de 63, 125, 500 e 1.000 Hz fosse menor ou igual a 10% (IPqM, 2021). Este limiar foi variável para cada linha em cada campanha, ao invés de ser um limiar fixo de 13 cm/s, como vinha sendo usado nos relatórios anteriores. Embora o número total de dados qualificados usando cada um destes critérios não altere muito, o critério atualmente adotado garante uma quantidade maior de dados livres da contaminação do ruído próprio das linhas. Mesmo assim, nenhum dos dois critérios garante que os dados aceitos estejam livres da interferência dos ruídos provocados pela corrente, podendo, estas interferências, influenciar, de alguma forma, as estatísticas apresentadas. Os valores apresentados neste relatório podem ser diferentes dos apresentados nos relatórios anteriores, devido ao uso deste novo critério de qualificação.

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.



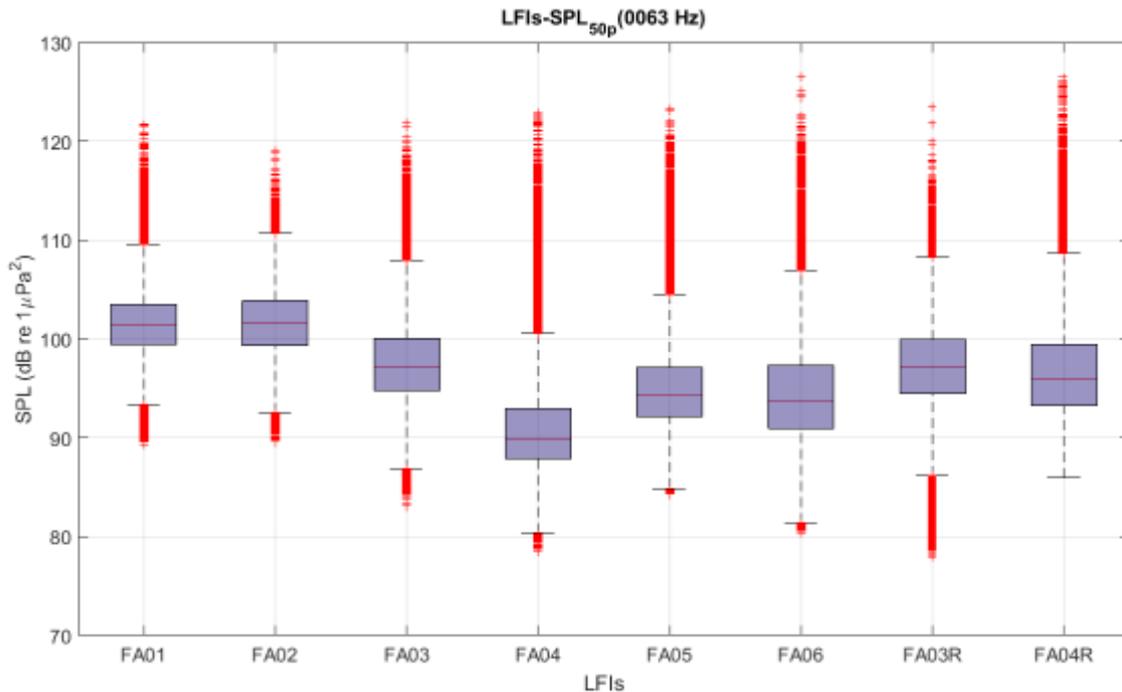


Figura III.1.2.1-1: Comparação entre as LFIs para todos os dados no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz.

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. Não é possível afirmar que há diferenças entre as distribuições para as linhas FA05 e FA06, na banda de 1.000 Hz. As demais 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 justifica pelo fato de elas estarem localizadas nas regiões com maior atividade de E&P e com alto tráfego de navegação.



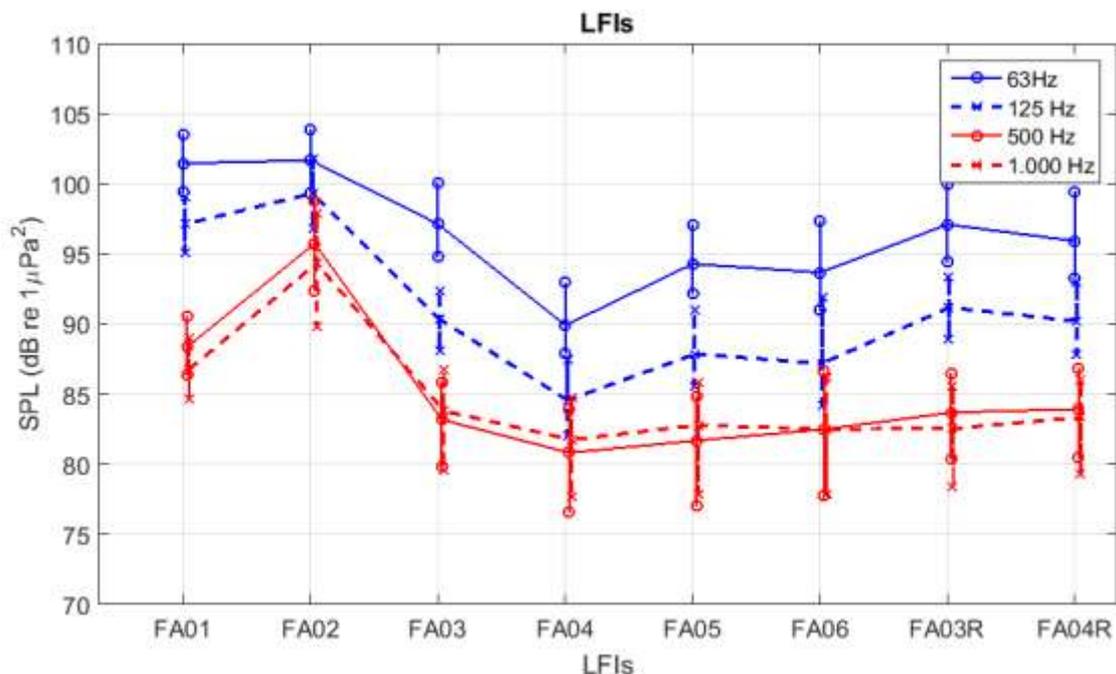


Figura III.1.2.1-2: Comparação entre as LFIs para todos os dados nos filtros de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz.

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.

LFI	Frequências / (teste ANOVA)			
	63 Hz (F=99.633,8, p=0)	125 Hz (F=203.609,9, p=0)	500 Hz (F=187.328,7, p=0)	1,000 Hz (F=115.420, p=0)
FA01	101,46	97,12	88,36	86,77
FA02	101,69	99,32	95,74	94,33
FA03	97,12	90,32	83,17	83,80
FA04	89,91	84,57	80,81	81,75
FA05	94,29	87,84	81,69	82,78
FA06	93,67	87,20	82,48	82,50
FA03R	97,10	91,18	83,68	82,55
FA04R	95,93	90,20	83,94	83,34

A Figura III.1.2.1-3 apresenta *boxplots* para os dados das LFIs nos anos de 2017 a 2021, 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 2021. Na tabela, são apresentados, também, os resultados do teste ANOVA realizado para cada frequência. A linha FA06 não coletou dados no ano de 2017; as linhas

FA03R e FA04R não coletaram dados antes de 2020; e a linha FA03 não coletou dados em 2021, por isso, não aparecem nestes anos nos gráficos e na tabela.

Na frequência de 63 Hz, não é possível dizer que há diferenças entre os anos 2018 e 2021 para a linha FA01; entre 2020 e 2021 para a linha FA02; entre 2017 e 2019, e entre 2017 e 2021 para a linha FA04; e entre 2018 e 2019 para a linha FA05. As maiores diferenças encontradas foram entre os anos de 2017 e 2020 para a linha FA04, com um aumento do ruído de 4,5 dB; entre os anos de 2018 e 2020 para a linha FA03, com aumento em torno de 4 dB; e entre os anos de 2017 para 2021 para a linha FA02, com um aumento de 3,9 dB. Os maiores níveis observados na linha FA04 no ano de 2020 podem ser devidos à presença de ruído da própria linha, que não tenham sido removidos pelo critério de qualificação usado. Além disso, vale lembrar que a linha FA04 foi movimentada para a posição FA04R em maio de 2020, o que reduz a quantidade total de dados disponíveis para este ano na linha.

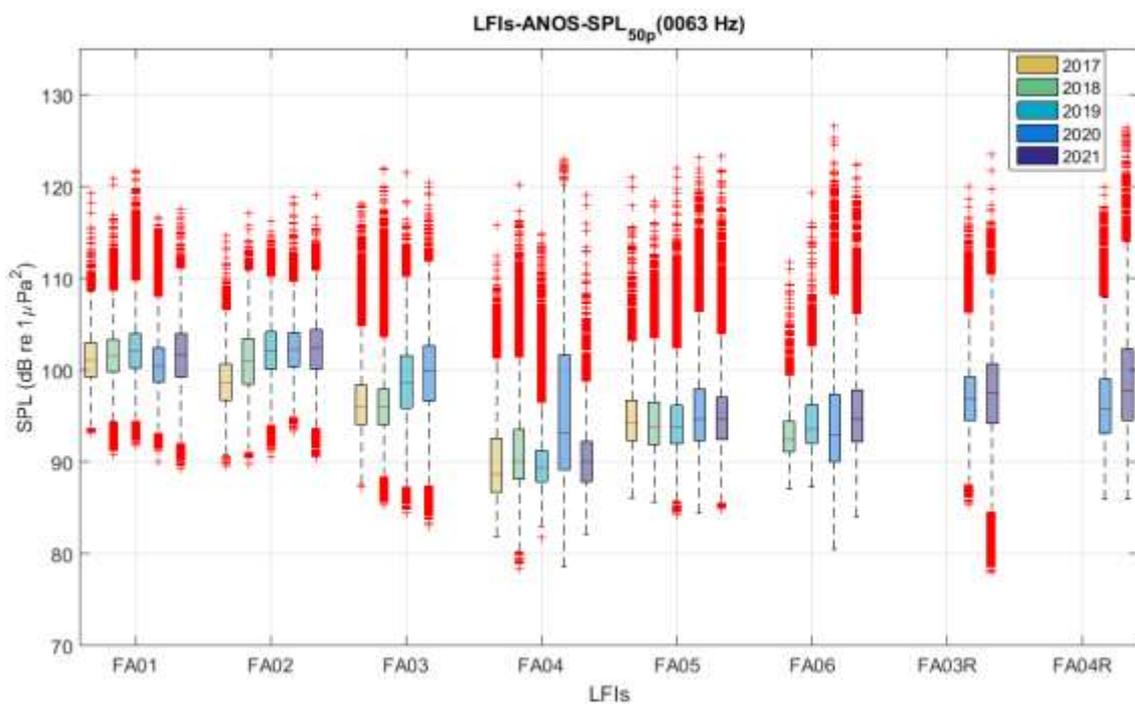


Figura III.1.2.1-3: Comparação entre as LFIs para os anos de 2017 a 2021 no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz.



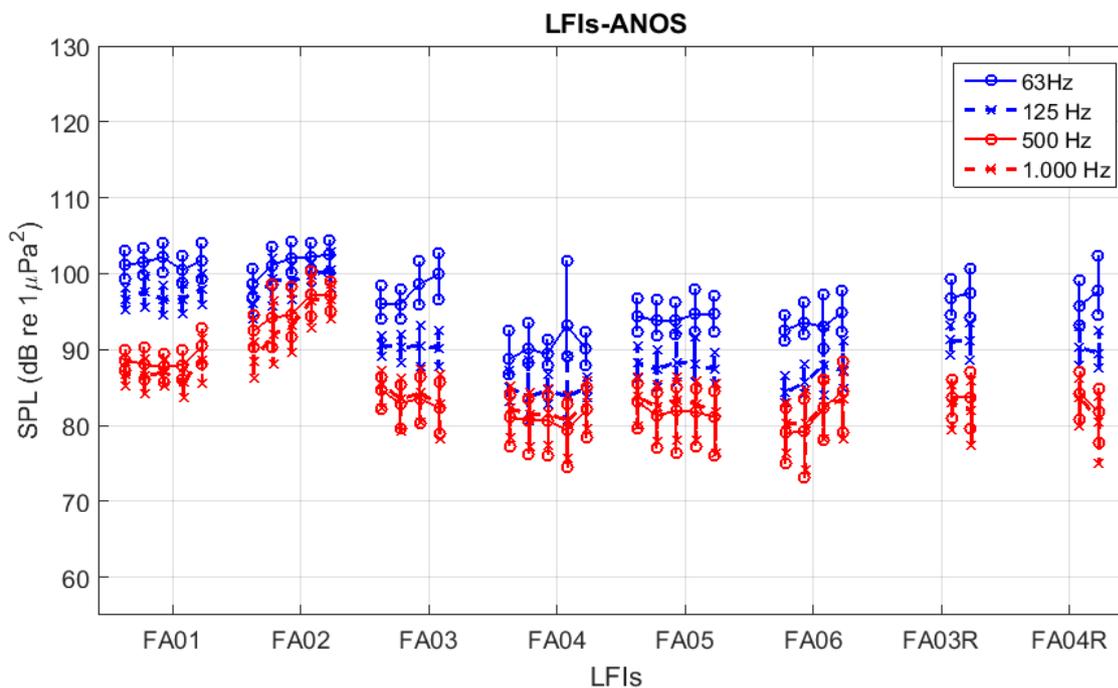


Figura III.1.2.1-4: Comparação entre as LFI's para os anos de 2017 a 2021 nos filtros de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz. Cada conjunto de quatro marcas corresponde, da esquerda para a direita, aos anos de 2017, 2018, 2019, 2020 e 2021, respectivamente. A linha FA06 não tem dados para o ano de 2020; a linha FA03 não tem dados para 2021; e as linhas FA03R e FA04R só têm dados em 2020.

Na frequência de 125 Hz, o teste indicou que não é possível dizer que há diferenças entre os anos de 2017 e 2020 para a linha FA01; entre os anos de 2018 e 2019 para a linha FA02; entre os anos de 2017 e 2020 para a linha FA04; entre os anos de 2018 e 2021 e entre 2019 e 2020 para a linha FA05; entre 2020 e 2021 para a linha FA06; e entre 2020 e 2021 para a linha FA04R. As maiores diferenças encontradas foram de cerca de 4,5 dB para a linha FA02, entre os anos de 2017 e 2021 e de 3,6 dB 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 2018 e 2020 para a linha FA03; entre os anos de 2018 e 2019 para a linha FA04; e entre os anos de 2018 e 2019 para a linha FA06. As maiores diferenças encontradas foram entre os anos de 2018 e 2021 para a linha FA06, com um aumento de 5,5 dB; e entre os anos de 2017 e 2020 para a linha FA02, com um aumento de 4,7 dB.



Na frequência de 1.000 Hz, não é possível afirmar que houve diferenças entre os anos de 2018 e 2019 para a linha FA01; entre os anos de 2020 e 2021 na linha FA02; entre 2018 e 2019 na linha FA04; e entre os anos de 2018 e 2019; e entre 2020 e 2021 para a linha FA06. As maiores diferenças encontradas foram entre os anos de 2017 e 2021 para a linha FA02, com um aumento de 8,2 dB; entre 2019 e 2021 para a linha FA06, com aumento de 3,3 dB; e entre 2020 e 2021, na linha FA04R, com uma redução de 3,2 dB.

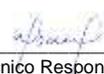
Os maiores aumentos dos níveis de ruído ao longo dos anos de 2017 a 2021 ocorreram na linha FA02, com aumentos de mais de 4 dB nas frequências mais baixas e de até 8 dB nas frequências maiores, na linha FA06, com aumentos de perto de 6 dB na frequência de 500 Hz e acima de 2 dB nas outras frequências e na linha FA04, na frequência de 63 Hz, com aumento de 4,5 dB. 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 2020 e 2021, as maiores variações ocorreram na linha FA04R, com redução do ruído nas frequências de 500 Hz e 1.000 Hz de até 3,2 dB e aumento na frequência de 63 Hz de 2 dB; na linha FA04, com redução na frequência de 63 Hz de 3,1 dB e aumento nas frequências de 500 Hz e 1.000 Hz de até 2,8 dB; na linha FA01, com aumento nas frequências de 500 Hz e 1.000 Hz de até 2,9 dB; e na linha FA01, com aumentos nas frequências de 500 Hz e 1.000 Hz de até 2,9 dB. Em todas as outras linhas e frequências, a variação foi de no máximo 2 dB. A linha FA03 não foi lançada no ano de 2021, não entrando nesta análise.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

6º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2022

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, 2020 e 2021. O teste estatístico ANOVA aplicado por frequência teve os seguintes resultados, todos com $p=0,0000$: 63 Hz – $F=26.033,2$, 125Hz – $F=48.490,8$, 500 Hz – $F=45.336,9$, 1.000 Hz – $F=29.187,4$. A linha FA06 não teve dados coletados no ano de 2017 e as linhas FA03R e FA04R só começaram a coletar dados em 2020. A linha FA03 não coletou dados em 2021.

	63Hz					125Hz				
	2017	2018	2019	2020	2021	2017	2018	2019	2020	2021
FA01	101,1	101,5	102,2	100,5	101,7	96,6	97,6	96,5	96,7	98,0
FA02	98,6	101,1	102,1	102,2	102,5	96,0	99,2	99,0	99,8	100,5
FA03	96,1	95,9	98,6	99,9	NaN	90,6	90,2	90,5	90,1	NaN
FA04	88,7	90,1	89,4	93,2	90,1	85,0	83,7	84,7	83,8	84,9
FA05	94,3	93,8	93,8	94,7	94,7	88,2	87,3	88,3	88,1	87,4
FA06	NaN	92,5	93,6	93,0	94,8	NaN	84,3	85,6	87,8	87,3
FA03R	NaN	NaN	NaN	96,8	97,5	NaN	NaN	NaN	91,2	91,1
FA04R	NaN	NaN	NaN	95,7	97,7	NaN	NaN	NaN	90,3	89,5

	500Hz					1000Hz				
	2017	2018	2019	2020	2021	2017	2018	2019	2020	2021
FA01	88,6	88,0	87,7	88,0	90,4	86,7	86,5	87,0	85,7	88,6
FA02	92,5	94,2	94,6	97,2	97,1	88,4	92,0	93,1	96,5	96,6
FA03	84,6	82,9	83,6	82,3	NaN	85,4	83,5	84,3	82,7	NaN
FA04	81,1	80,6	80,6	79,3	82,1	82,3	81,4	81,6	80,6	83,0
FA05	83,1	81,3	81,9	81,8	81,1	83,8	82,4	83,4	82,8	81,9
FA06	NaN	79,0	79,2	82,3	84,4	NaN	80,3	80,2	82,4	83,5
FA03R	NaN	NaN	NaN	83,7	83,7	NaN	NaN	NaN	82,9	82,0
FA04R	NaN	NaN	NaN	84,2	81,8	NaN	NaN	NaN	83,7	80,5

NaN: valores ausentes.

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 de pouca ou nenhuma atividade 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.

Na frequência de 63 Hz, todas as diferenças entre as distribuições de cada linha nas diferentes profundidades foram consideradas estatisticamente significativas. As maiores diferenças foram encontradas entre as profundidades de 50 m e 950 m na linha FA03R com um aumento de 8 dB; entre 50 e 200 m na linha FA04, com uma redução de 6,8 dB; e entre as profundidades de 50 e 200 m na linha FA06, com uma redução de 4 dB.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

6º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2022

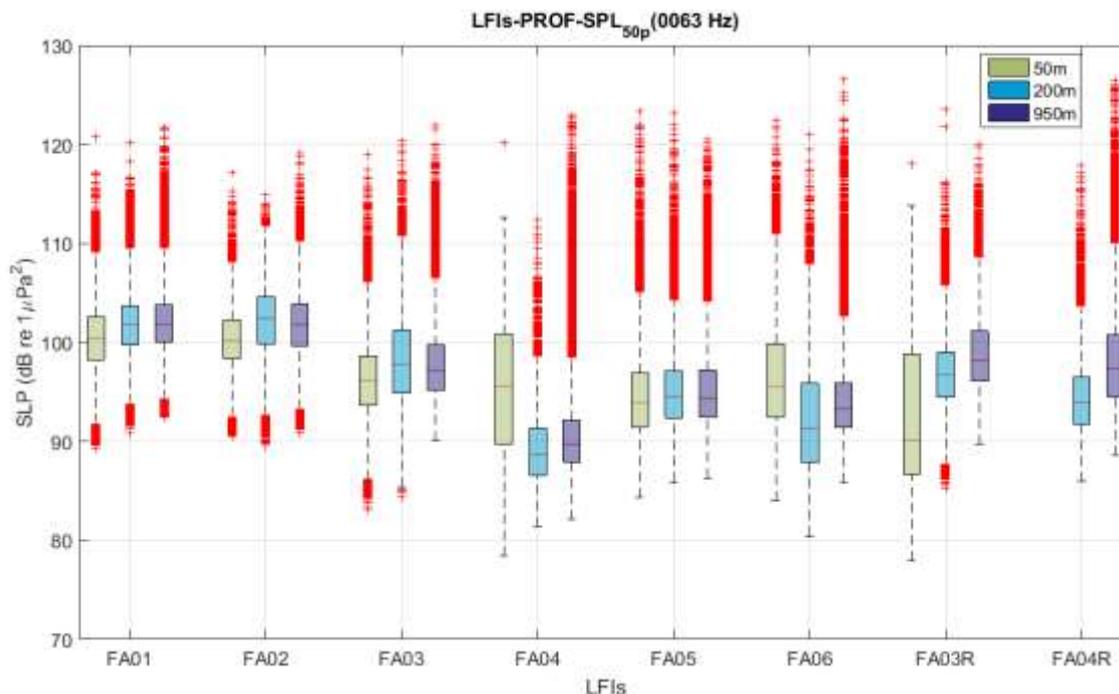


Figura III.1.2.1-5: Comparação entre as LFIs do SPL no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz, para as profundidades de 50 m, 200 m e 950 m.

Na frequência de 125 Hz, o teste estatístico mostrou que não é possível afirmar que existe diferença entre as profundidades de 50 m e 950 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 9 dB; entre 50 m e 950 m na linha FA03R, com um aumento de 8 dB; e entre 50m e 200 m na linha FA06, com uma redução de 6,3 dB.

Na frequência de 500 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 FA05. As maiores diferenças encontradas foram entre as profundidades de 50 m e 950 m da linha FA03R, com um aumento de 7,3 dB; e entre 50 m e 200 m na linha FA06, com uma redução de 6,8 dB.

Na frequência de 1.000 Hz, todas as diferenças entre as distribuições de cada linha nas diferentes profundidades foram consideradas estatisticamente significativas. As maiores diferenças encontradas foram entre as profundidades de 50 m e 950 m na linha FA03R, com um aumento de 6,1 dB; e entre as profundidades de 50 m e 200 m na linha FA06, com uma redução de 4,6 dB.



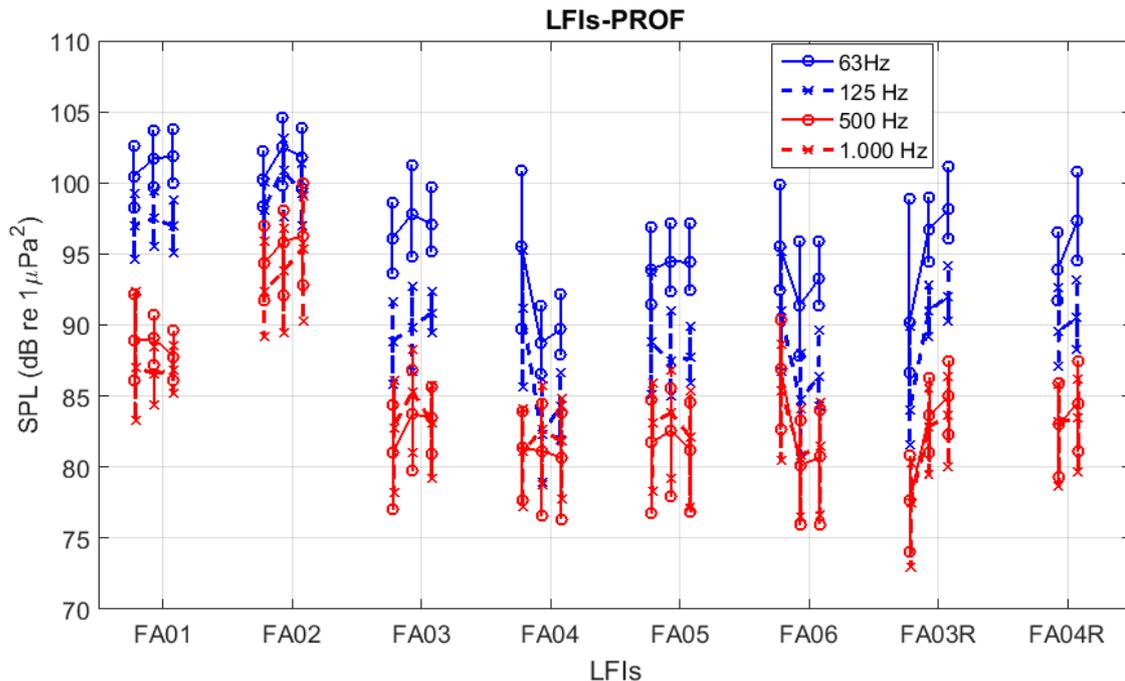


Figura III.1.2.1-6: Comparação entre as LFIs para as profundidades de 50 m, 200 m e 950 m, nos filtros de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz. Cada conjunto de três marcas ligadas por uma linha tracejada corresponde, da esquerda para a direita, às profundidades de 50 m, 200 m e 950 m, respectivamente. A linha FA04R não teve dados coletados na profundidade de 50 m.

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, quando não houver motivo para o uso de 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 – $F=38.421,7$, 125 Hz – $F=78.279,7$, 500 Hz – $F=68.726,1$, 1.000 Hz – $F=41.130,4$. A linha FA04R não teve dados coletados na profundidade de 50 m.

	63Hz			125Hz		
	50m	200m	950m	50m	200m	950m
FA01	100,4	101,7	101,8	97,0	97,5	97,0
FA02	100,2	102,5	101,8	98,1	100,9	99,3
FA03	96,1	97,8	97,1	88,8	89,8	90,9
FA04	95,5	88,7	89,7	91,2	82,3	84,3
FA05	93,9	94,5	94,4	88,8	87,4	87,7
FA06	95,5	91,4	93,2	91,0	84,8	86,3
FA03R	90,1	96,7	98,1	84,0	91,0	92,0
FA04R	NaN	93,9	97,3	NaN	89,6	90,5
	500Hz			1000Hz		
	50m	200m	950m	50m	200m	950m
FA01	88,9	89,0	87,8	87,0	86,6	86,8
FA02	94,3	95,8	96,3	92,4	93,8	95,4
FA03	81,1	83,8	83,5	82,8	85,3	83,1
FA04	81,3	81,1	80,7	81,1	82,7	81,8
FA05	81,7	82,5	81,2	83,1	83,8	82,1
FA06	86,9	80,1	80,7	85,4	80,8	81,4
FA03R	77,7	83,7	85,0	77,5	82,9	83,7
FA04R	NaN	83,0	84,5	NaN	83,2	83,5

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, com exceção de alguns poucos valores extremos na linha FA06.

Para o $\text{SEL}_{24\text{h-LF}}$, os maiores níveis foram obtidos para a linha FA02 e os menores para a linha FA04. Para o $\text{SEL}_{24\text{h-MF}}$, os maiores níveis foram obtidos, também, para a linha FA02, enquanto as outras linhas ficaram com níveis muito próximos.

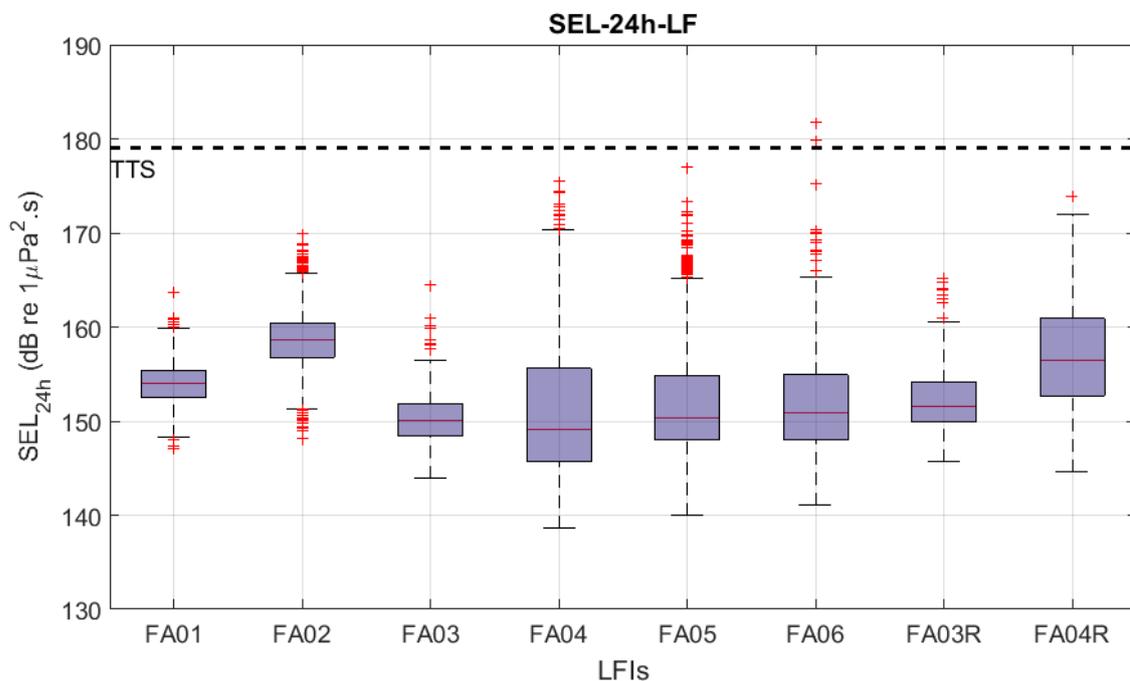


Figura III.1.2.1-7: Comparação entre o $\text{SEL}_{24\text{h-LF}}$ para as oito linhas. A linha preta tracejada corresponde ao TTS.

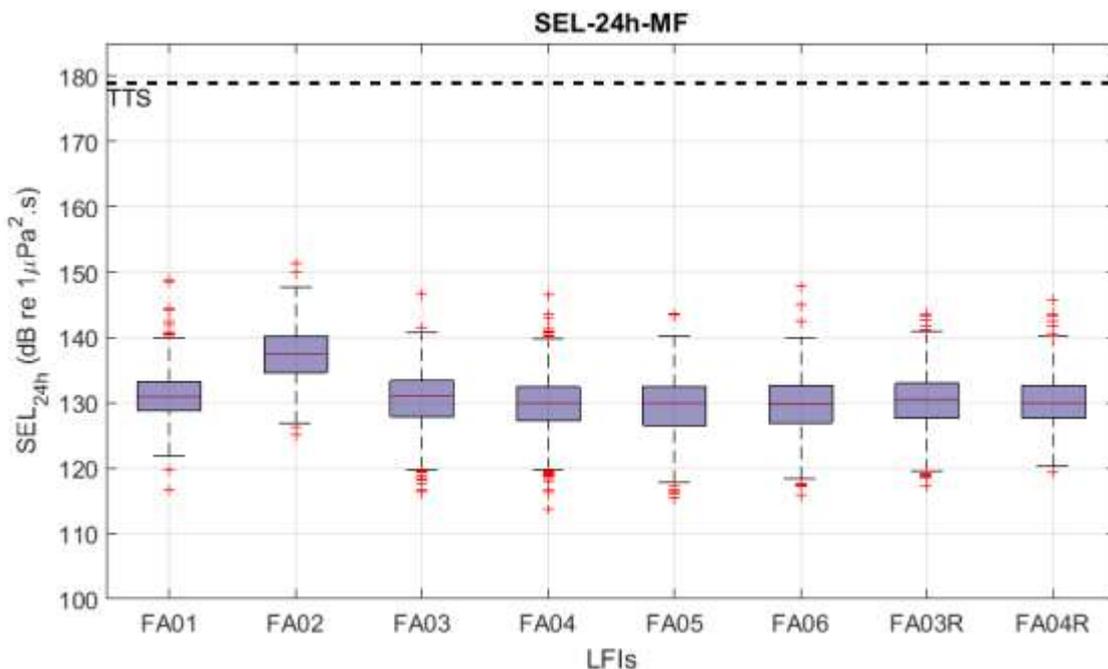


Figura III.1.2.1-8: Comparação entre o SEL_{24h-MF} para as oito linhas. A linha preta tracejada corresponde ao TTS.

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 oito primeiras campanhas das LFIs, indo de setembro de 2017 a dezembro de 2021. 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 (Urlick, 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.



Em algumas linhas observa-se uma maior variação dos valores do que nas demais, podendo ser devido à presença de ruídos próprios provocados pela passagem da corrente oceânica e que não tenham sido removidos pelos critérios de qualificação utilizados nestes dados.

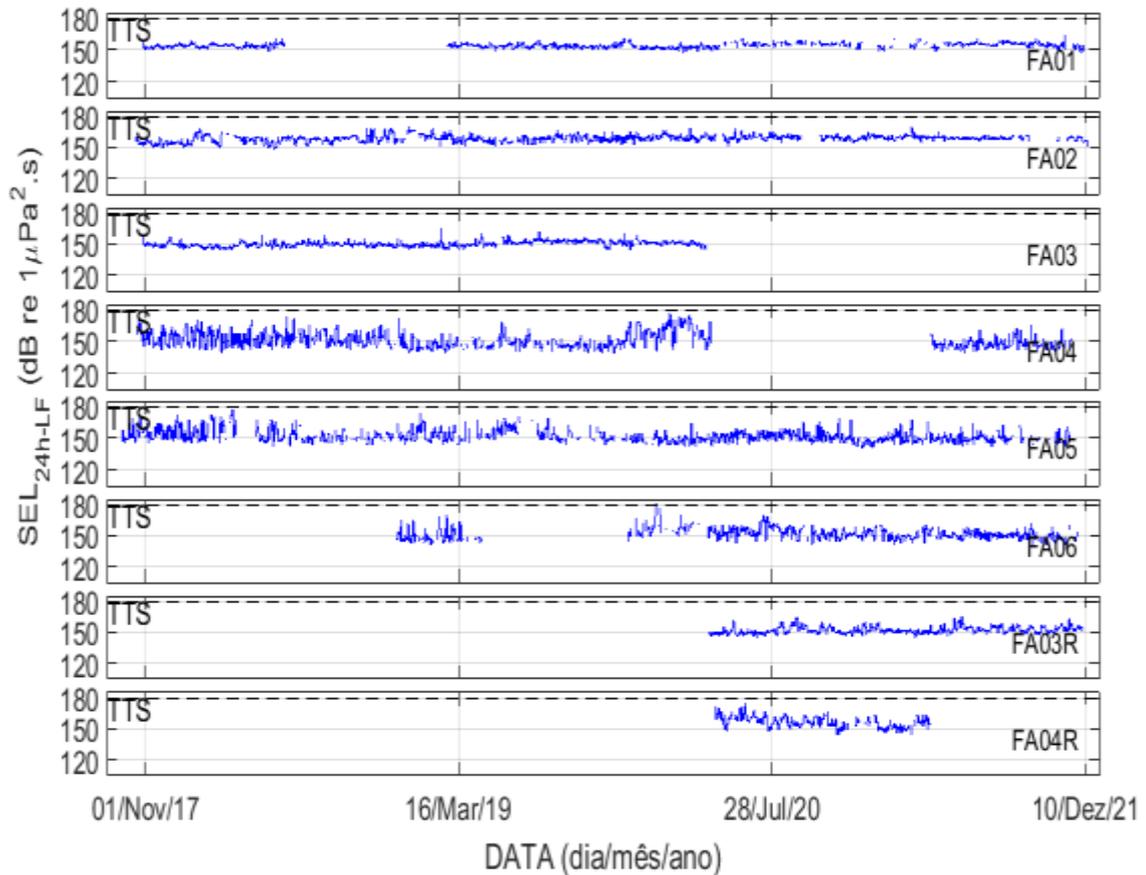


Figura III.1.2.1-9: Evolução temporal do SEL_{24h-LF} para as oito LFI's, para o período de setembro de 2017 a dezembro de 2021.



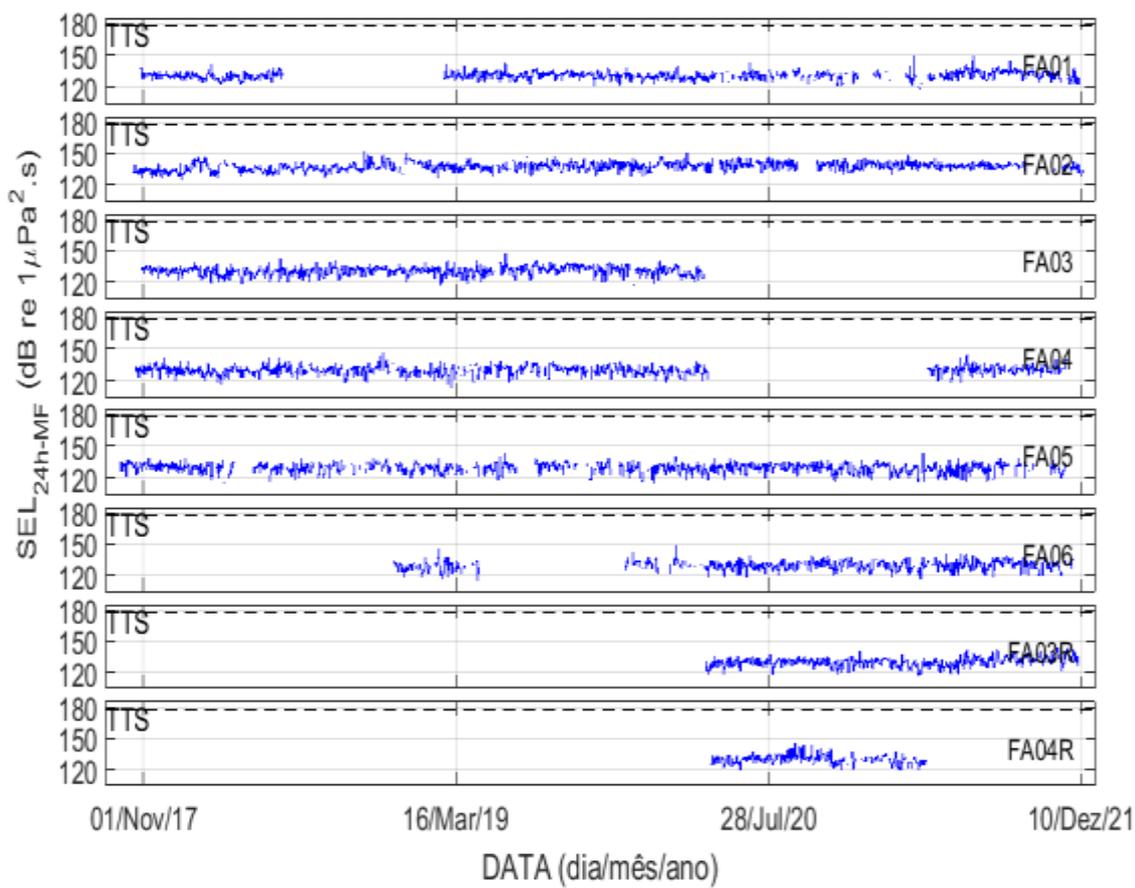


Figura III.1.2.1-10: Evolução temporal do SEL_{24h_MF} para as oito LFIs, para o período de setembro de 2017 a dezembro de 2021.



III.2 REGIÃO COSTEIRA – MONITORAMENTO FIXO – OBSERVATÓRIOS SUBMARINOS

III.2.1 Níveis de Ruído Medidos nos Observatórios Submarinos

A Figura III.2.1-1 mostra os espectros medianos dos SPL nas diferentes localidades monitoradas. 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, nesta mesma seção.

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 lesta da Ilha Grande) e OS3R1 (Ilhas Cagarras) acima de 10kHz. Na faixa de frequência entre 300 e 1.000 Hz, o OS2 seguido do OS1A são os mais ruidosos.



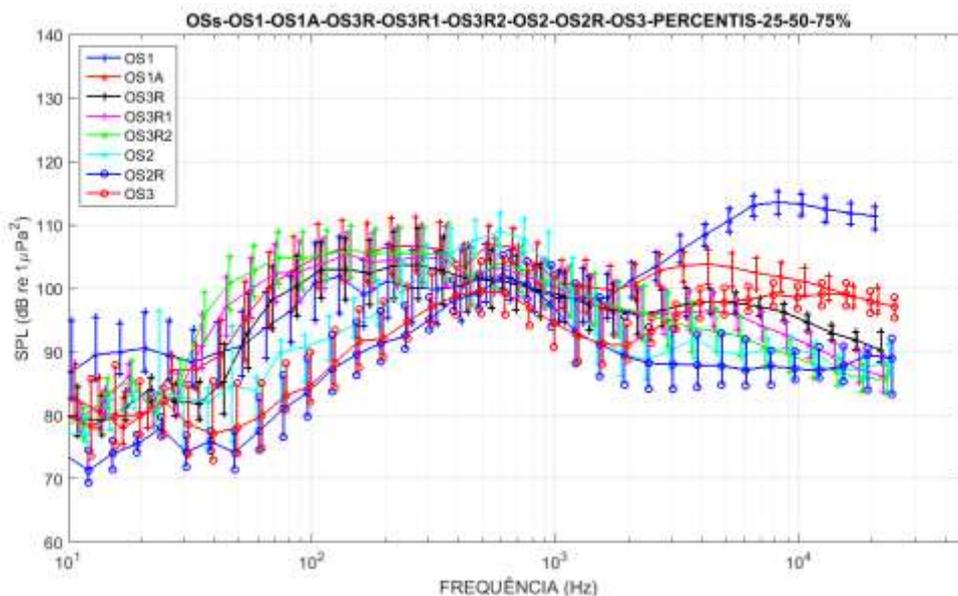


Figura III.2.1-1: Mediana dos espectros de 1/3 de oitava para as diferentes posições de instalação dos OSs. As linhas verticais representam os percentis de 25% e 75% para os níveis em cada banda do espectro.

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, OS3R1 e OS3R2). Destaca-se nestes espectros o aumento de níveis no OS1 na faixa de baixa frequência, abaixo de 30 Hz e na faixa de alta frequência, acima de 2 kHz.

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



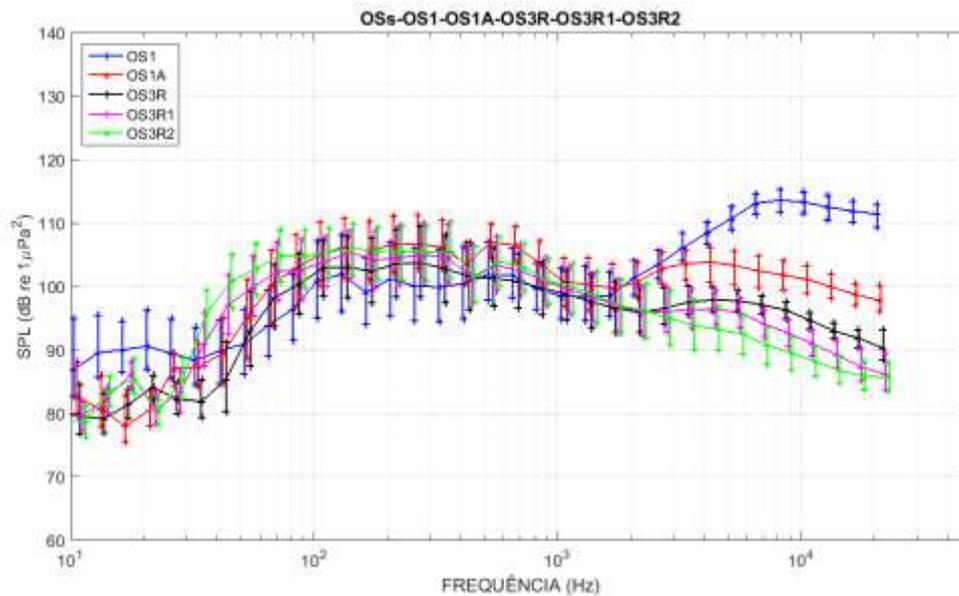


Figura III.2.1-2: Mediana dos espectros de 1/3 de oitava para as posições de instalação próximo à Baía de Guanabara: OS1, OS1A, OS3R, OS3R1 e OS3R2. As linhas verticais representam os percentis de 25% e 75% para os níveis em cada banda do espectro.

A Figura III.2.1-3 mostra os espectros medianos dos dados obtidos nos OS instalados na Baía de Ilha Grande (OS2, do lado leste da Ilha Grande e OS2R do lado oeste) e no Canal de São Sebastião (OS3). 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.



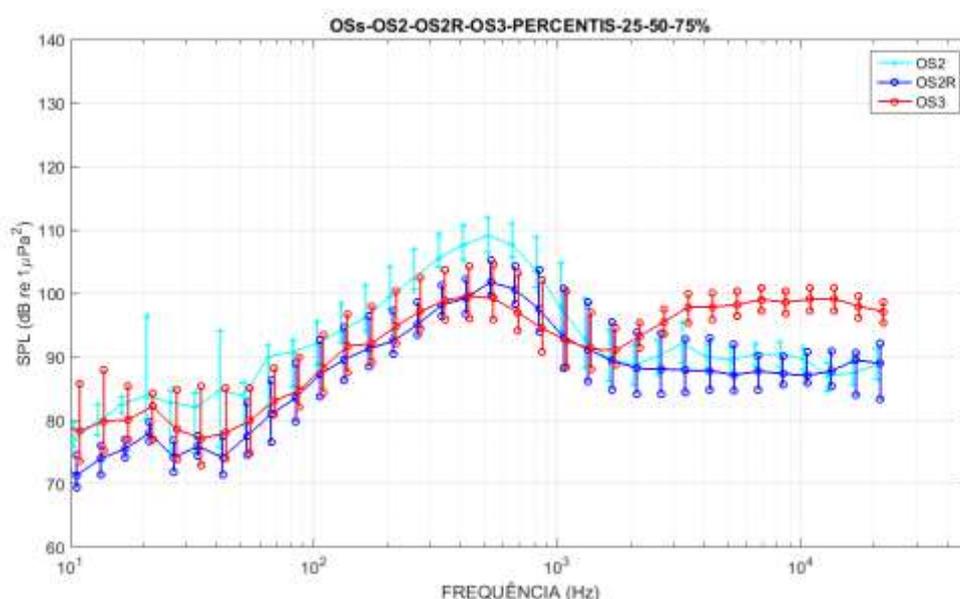


Figura III.2.1-3: Mediana dos espectros de 1/3 de oitava para as posições de instalação na Baía de Ilha Grande e no Canal de São Sebastião: OS2, OS2R e OS3. As linhas verticais representam os percentis de 25% e 75% para os níveis em cada banda do espectro.

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

Assim, cada região, ou seja, cada *habitat* possui sua assinatura acústica (C. A. Radford *et al.*, 2014), que desempenha um papel crucial no desenvolvimento da vida marinha local. Os espectros apresentados, também permitem observar que, apesar de diferentes, as assinaturas acústica possuem características semelhantes e que remetem às principais fontes acústicas que influenciam cada faixa de frequência (Andrade, 2018; Wenz, 1962; Xavier, 2021).

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



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

Além de cada local possuir uma assinatura acústica própria, as variações temporais e sazonais dos fatores bióticos e abióticos podem alterar as principais características dessas assinaturas (Buscaino *et al.*, 2016; Xavier, 2021). Por exemplo, Bohnenstiehl, Lillis 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 dezembro 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 foi estudada e verificou-se que as medições em situações com menores níveis de energia ficaram comprometidas, de forma que estes dados não devem ser usados em análises com comparações estatísticas. Podem ser usados, no entanto, para estudos de características de fontes de ruído e outras análises em que não se necessita de precisão nas amplitudes dos valores medidos. Para a obtenção dos 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.

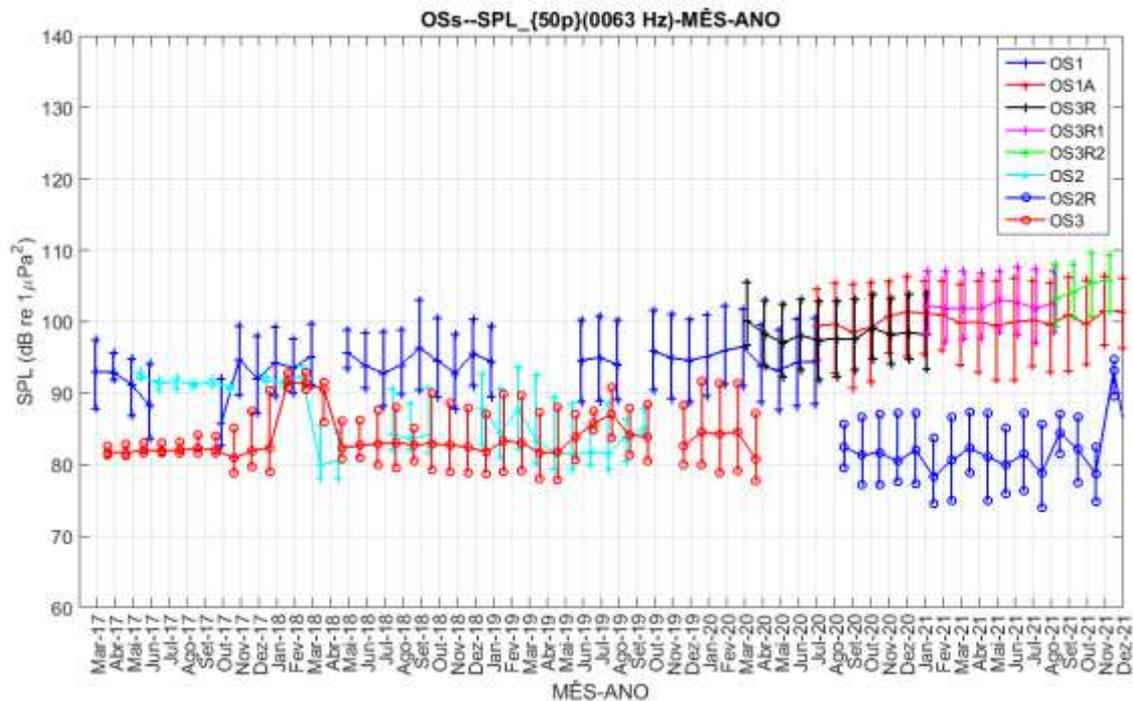


Figura III.2.1-4: Medianas do SPL_{63Hz} em cada mês desde março de 2017 até dezembro de 2021, para as oito posições analisadas dos observatórios submarinos.

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.



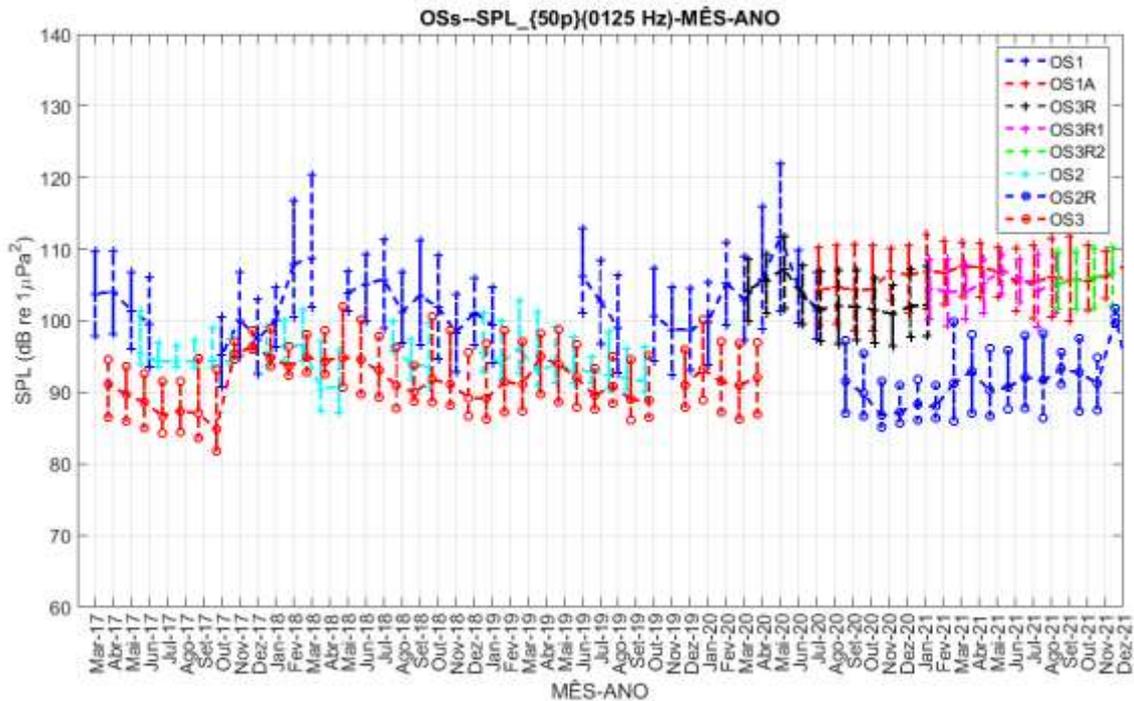


Figura III.2.1-5: Medianas do $\text{SPL}_{125\text{Hz}}$ em cada mês desde março de 2017 até dezembro de 2021, para as oito posições analisadas dos observatórios submarinos.

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.



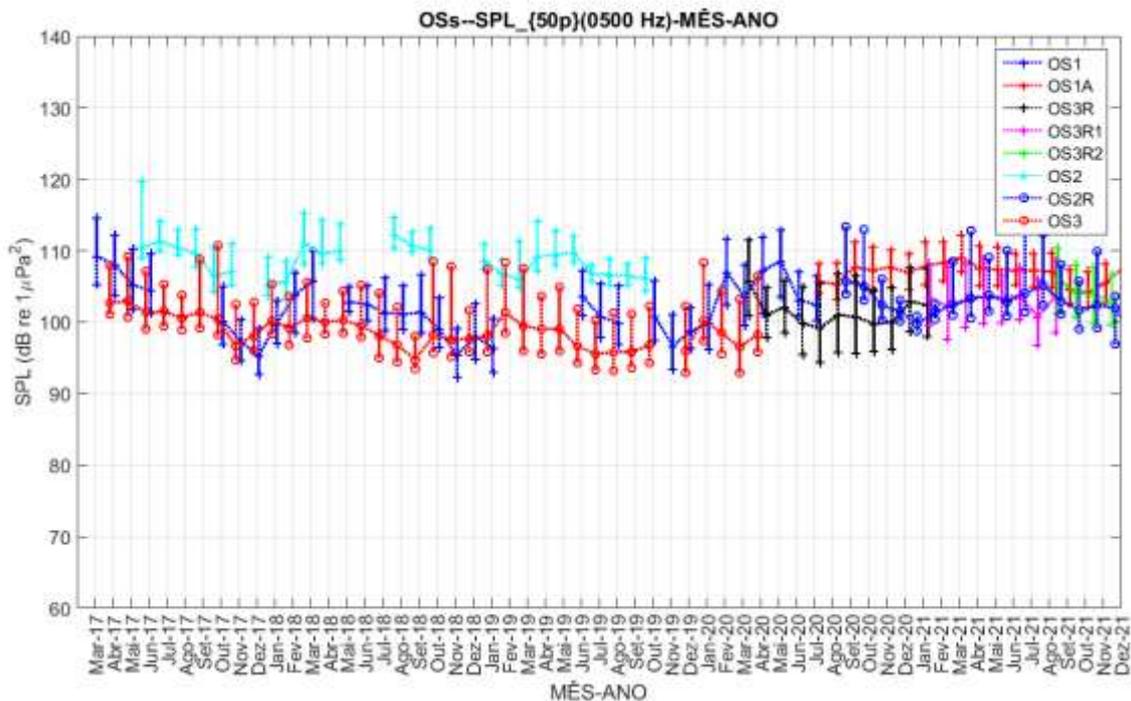


Figura III.2.1-6: Medianas do $SPL_{500\text{Hz}}$ em cada mês desde março de 2017 até dezembro de 2021, para as oito posições analisadas dos observatórios submarinos.

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.



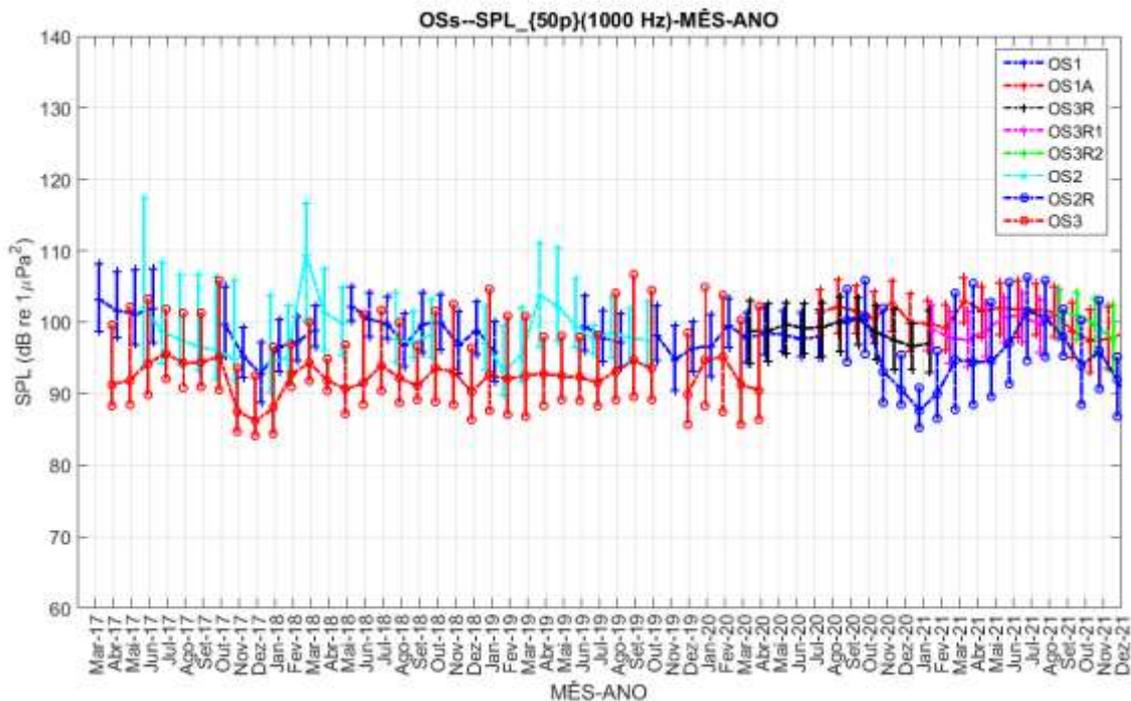


Figura III.2.1-7: Medianas do SPL_{1000Hz} em cada mês desde março de 2017 até dezembro de 2021, para as oito posições analisadas dos observatórios submarinos.

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, OS3R1 e OS3R2 são mais ruidosos, com o OS1A e OS3R2 sendo os de maior nível medido. Nesta faixa de frequência, o OS2R é o mais silencioso, seguido pelo OS3 e depois o OS2. O teste estatístico indicou que as distribuições apresentam diferenças significativas (ANOVA, $F=476.328,3$, $p=0$). 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.



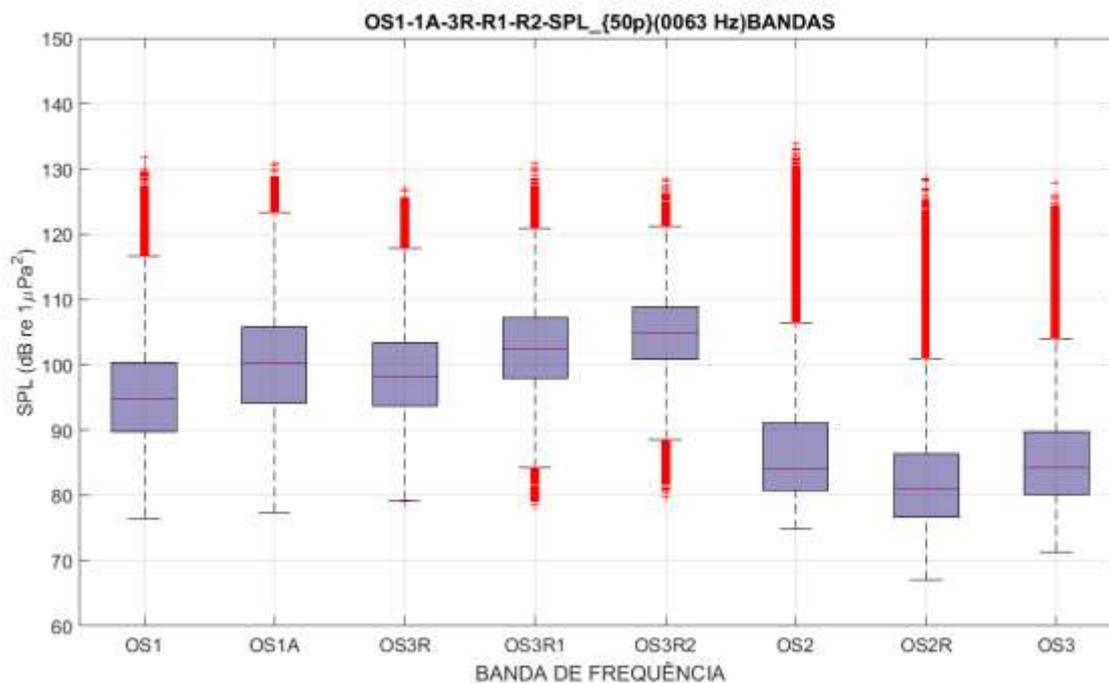


Figura III.2.1-8: Boxplots do SPL_{63Hz} , para as oito posições analisadas.

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, OS3R1 e OS3R2. Os menores níveis ocorreram no OS2R, seguidos pelo OS3 e depois o OS2. Todas as diferenças foram consideradas estatisticamente significativas (ANOVA, $F=329.605,6$, $p=0$).

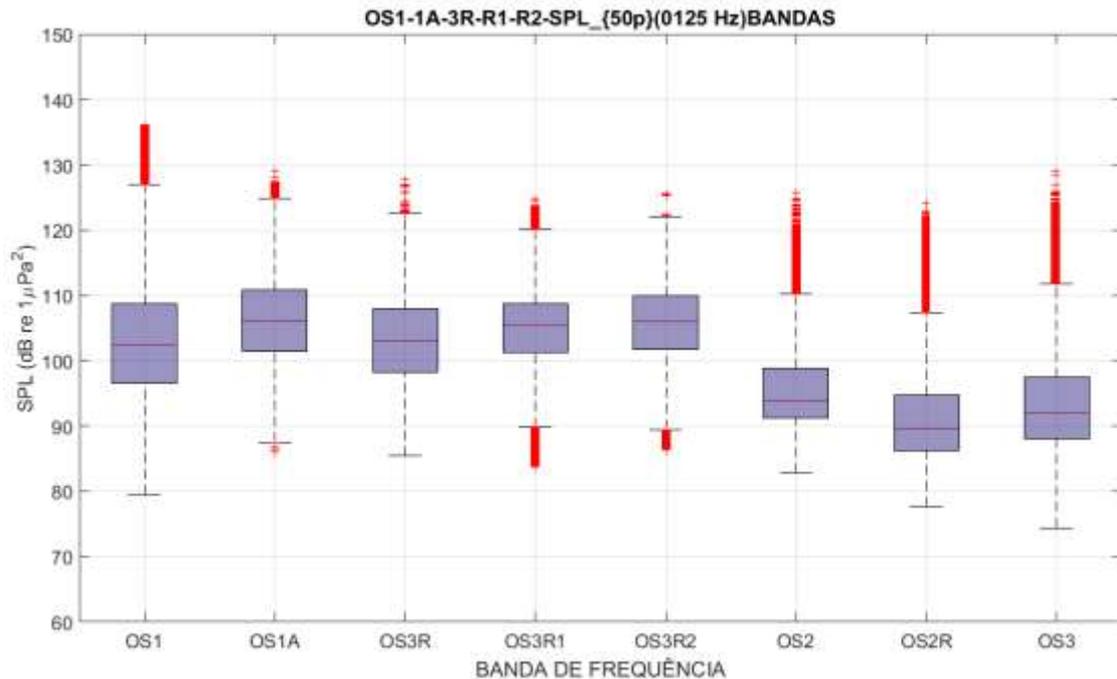


Figura III.2.1-9: Boxplots do SPL_{125Hz} para as oito posições analisadas.

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 (ANOVA, $F=120.158,5$, $p=0$).



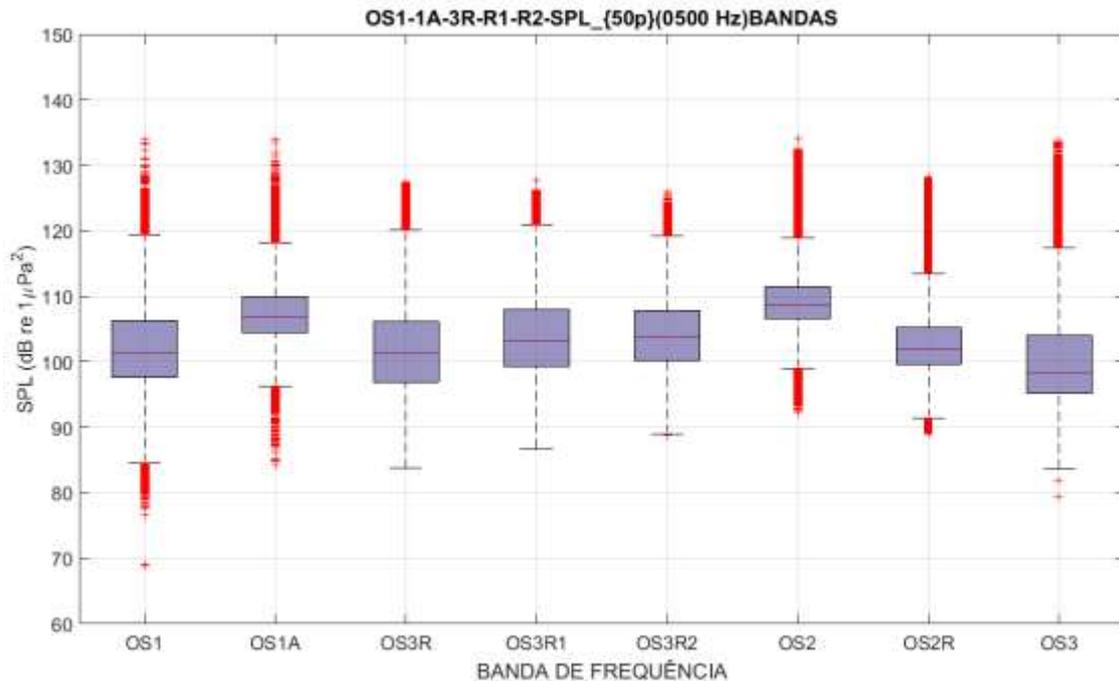


Figura III.2.1-10: Boxplots do SPL_{500Hz} para as oito posições analisadas.

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 dos OS3R, OS3R1, OS3R2 e OS1. Os menores níveis ocorrem nos OS3 e OS2R. Os níveis do OS2 ficaram próximos aos níveis dos OS localizados na região da Baía de Guanabara. As demais posições apresentam diferenças significativas (ANOVA, $F=86,4$, $p=0$)



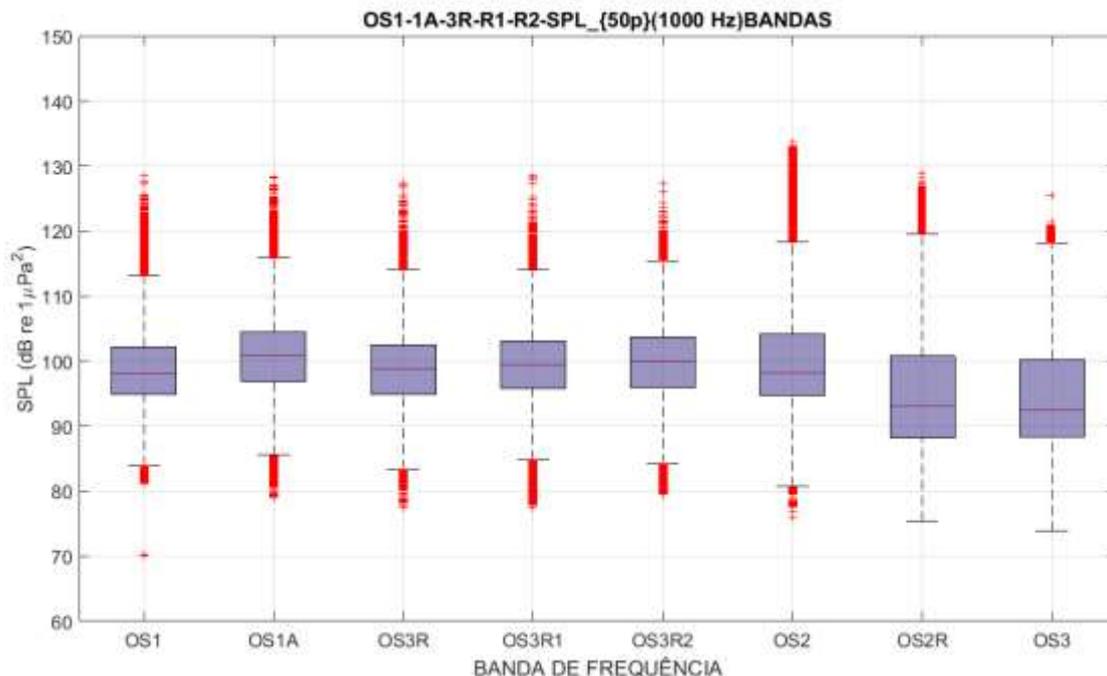


Figura III.2.1-11: Boxplots do SPL_{1000Hz} para as oito posições analisadas.

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, $p=0$).

OS	N. Med.	63 Hz (F=476.328,3)	125 Hz (F=329.605,6)	500 Hz (F=120.158,5)	1,000 Hz (F=57.119,4)
OS1	645.851	94,79	102,30	101,23	98,15
OS1A	539.502	100,26	106,17	106,94	100,74
OS3R	365.090	98,19	103,01	101,25	98,78
OS3R1	237.100	102,32	105,35	103,28	99,50
OS3R2	100.585	104,84	105,99	103,92	99,93
OS2	419.979	84,11	93,84	108,79	98,21
OS2R	432.392	80,98	89,58	101,81	93,06
OS3	665.948	84,22	91,97	98,32	92,46

Na Figura III.2.1-12 são apresentados os valores de SEL_{24h} para as posições OS1+OS1A, OS2, OS2R, OS3 e OS3R+OS3R1+OS3R2 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 e os dados do OS3R1 daqueles do OS3R2. A linha tracejada horizontal marca o TTS para o grupo LF de cetáceos, no valor de 179 dB re $1\mu\text{Pa}^2\cdot\text{s}$ (Finneran, 2016). 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.

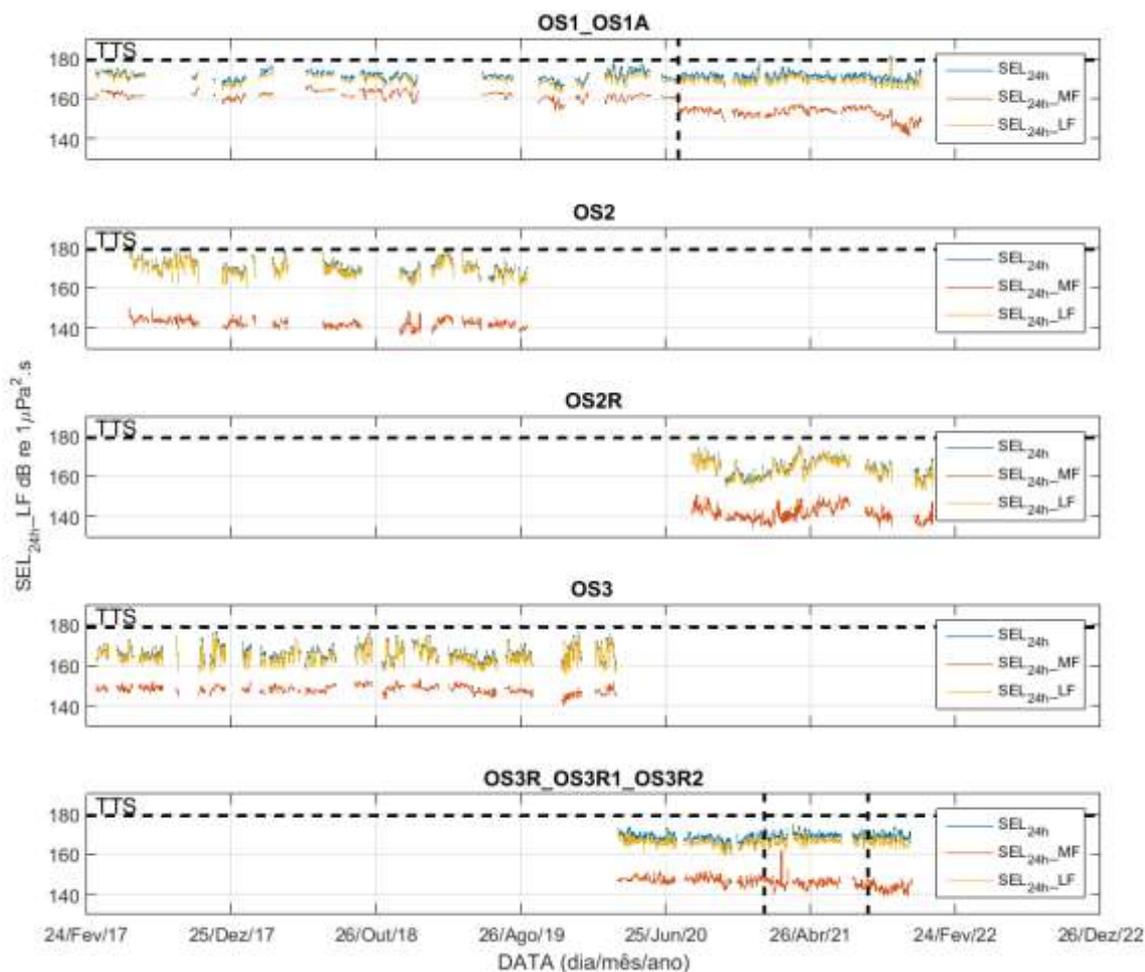


Figura III.2.1-12: $\text{SEL}_{24\text{h}}$ para os OS1+OS1A, OS2, OS2R, OS3 e OS3R+OS3R1+OS3R2 usando os dados sem ponderação, com ponderação para a faixa LF e com ponderação para a faixa MF. As linhas tracejadas verticais pretas indicam a separação entre as gravações dos OS1 e OS1A no gráfico de cima e entre os OS3R, OS3R1 e OS3R2 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 SEL_{24h} calculado para as oito posições analisadas, sem usar pesos na frequência (SEL_{24h}) e usando pesos para considerar a resposta auditiva de cetáceos de média frequência (SEL_{24h-MF}) e cetáceos de baixa frequência (SEL_{24h-LF}). A linha preta tracejada horizontal marca o valor do TTS para o grupo de baixa frequência.

Quando se usou toda a faixa de frequência, a maior mediana foi obtida para o OS1 e a menor para o OS2R, mas não é possível dizer que houve diferença significativa entre o OS1 e o OS1A, nem entre os OS3R1 e o OS3R2 (ANOVA, $F=5.021,3$, $p=0$).

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 OS3R2 e o OS2 (ANOVA, $F=5.021,3$, $p=0$).

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, OS1A e OS2; entre o OS3R, o OS3R1 e o OS3R2; e entre o OS2R e o OS3. Nas demais comparações as diferenças entre as distribuições são significativas (ANOVA, $F=5.021,3$, $p=0$).

Nas três situações, os menores SEL_{24h} foram obtidos no OS2R. Já os maiores níveis ficaram com o OS1.



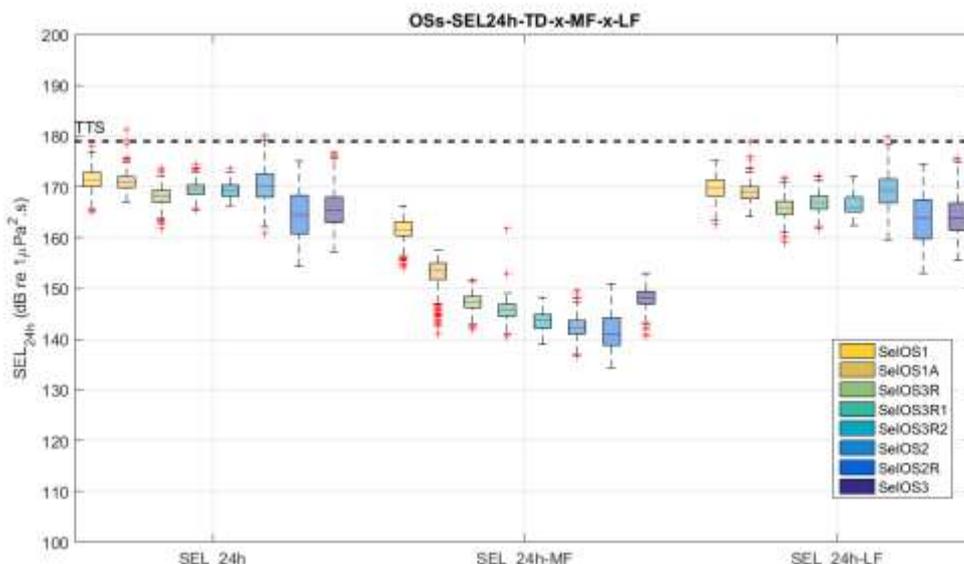


Figura III.2.1-13: Boxplots do SEL_{24h} , SEL_{24h-MF} e SEL_{24h-LF} , para as oito posições analisadas. A linha tracejada horizontal preta indica o limiar de TTS para o SEL_{24h} para o grupo de cetáceos LF. Para o grupo MF, o limiar é 1 dB abaixo.

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

III.2.2 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. 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 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.



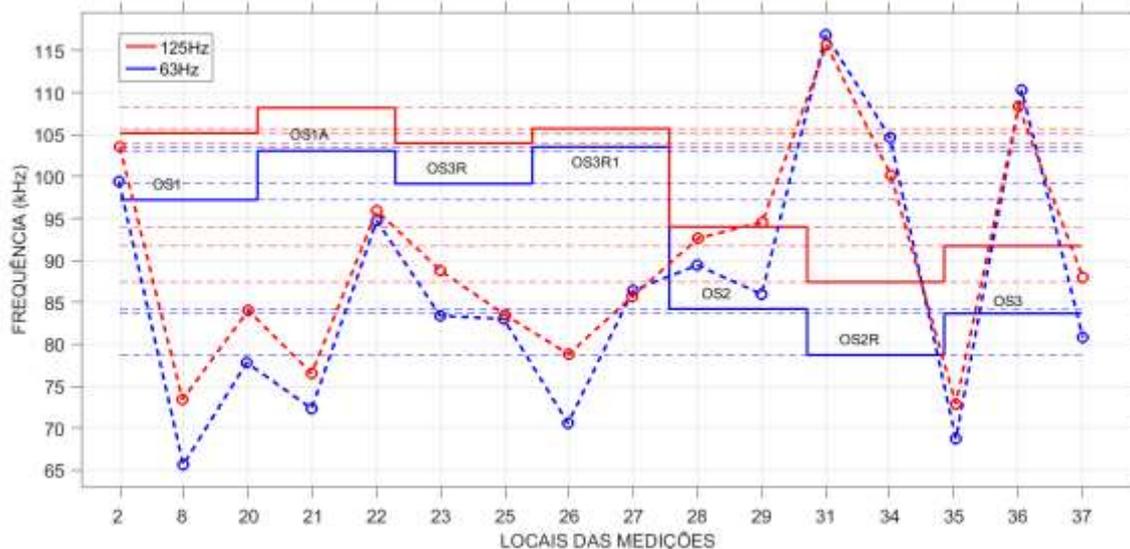


Figura III.2.2-1: SPL_{63Hz} (linhas horizontais azuis) e SPL_{125Hz} (linhas horizontais vermelhas) nos observatórios submarinos comparados com o SPL_{63Hz} (linha azul tracejada) e SPL_{125Hz} (linha vermelha tracejada) obtidos em 16 locais no mar Báltico. Os números no eixo horizontal correspondem 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 (destacados em cinza) e em 16 locais no mar Báltico.

Local	Descrição dos locais	Prof.	SPL_{63Hz}	SPL_{125Hz}
OS1	Entrada da Baía de Guanabara	27	97,2	105,2
OS1A	Entrada da Baía de Guanabara	19	103,1	108,2
OS3R	Próximo às Ilhas Cagarras	24	99,1	104,0
OS3R1	Próximo às Ilhas Cagarras	28	103,5	105,7
OS2	Lado leste da Ilha Grande	23	84,2	94,0
OS2R	Lado oeste da Ilha Grande	23	78,7	87,4
OS3	Canal de São Sebastião	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



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/OS3R2 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 densidade de navegação das embarcações com registros de AIS (Figura II.1.2-2).

Na região do arquipélago das Ilhas Cagarras (Figura III.2.3-2, para OS3R, OS3R1 e OS3R2), que agora conta com cerca de 1 ano e 8 meses de séries temporais medidas, o comportamento é semelhante, sendo possível identificar um ligeiro aumento nos níveis de ruído e que é mais evidente para as frequências de 63 e 125 Hz. Já para a frequência de 1000 Hz os dados indicam uma clara estabilidade entre nos valores medidos entre os anos de 2020 e 2021.



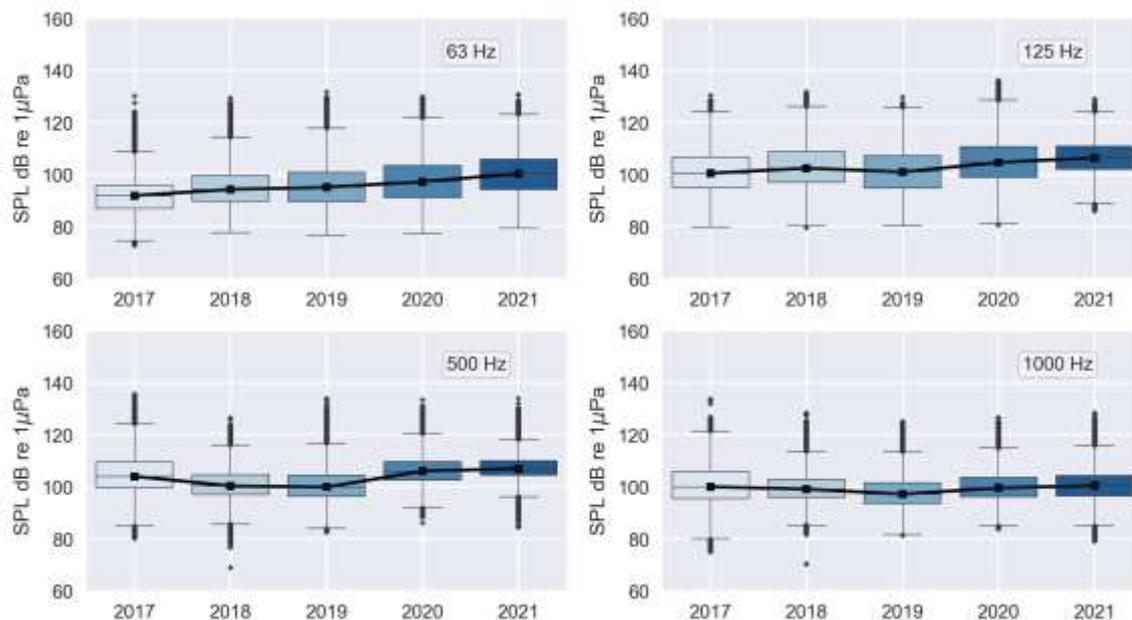


Figura III.2.3-1: Evolução temporal dos níveis de SPL_{63Hz} , SPL_{125Hz} , SPL_{500Hz} e SPL_{1000Hz} no interior da Baía de Guanabara a partir dos dados do OS1 e OS1A. Os dados cobrem o período de 14/03/2017 a 05/05/2021.

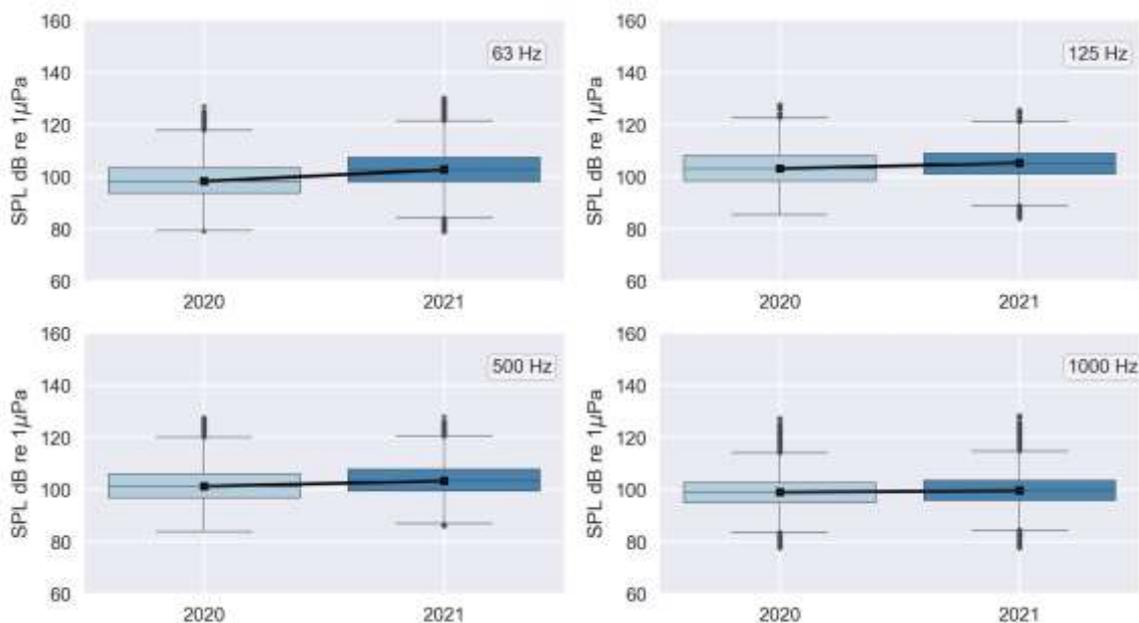


Figura III.2.3-2: Evolução temporal dos níveis de SPL_{63Hz} , SPL_{125Hz} , SPL_{500Hz} e SPL_{1000Hz} na região do arquipélago das Ilhas Cagarras a partir dos dados dos OS3R, OS3R1 e OS3R2. Os dados cobrem o período de 18/03/2020 a 23/11/2021.

Os níveis de SPL no entorno da Ilha Grande, tanto para o OS2 a leste (Figura III.2.3-3) quanto para o OS2R a oeste (Figura III.2.3-4), 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.

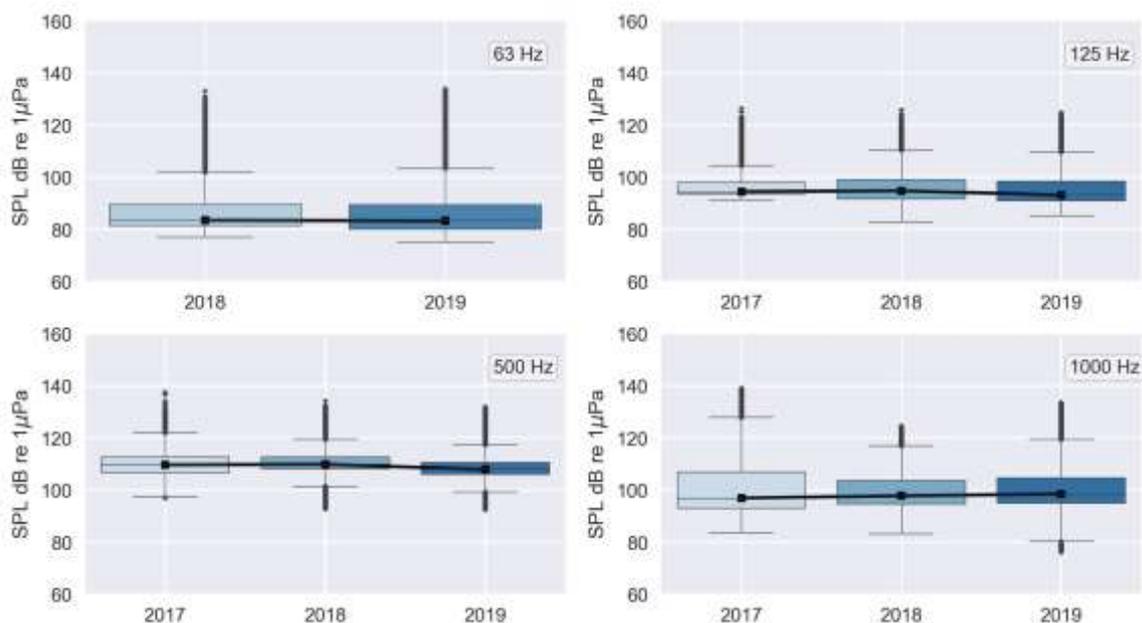


Figura III.2.3-3: Evolução temporal dos níveis de SPL_{63Hz} , SPL_{125Hz} , SPL_{500Hz} e SPL_{1000Hz} a leste da Ilha Grande a partir dos dados do OS2. Os dados cobrem o período 21/03/2018 a 07/09/2019, para a frequência de 63 Hz, e de 24/05/2017 a 07/09/2019 para as demais frequências.



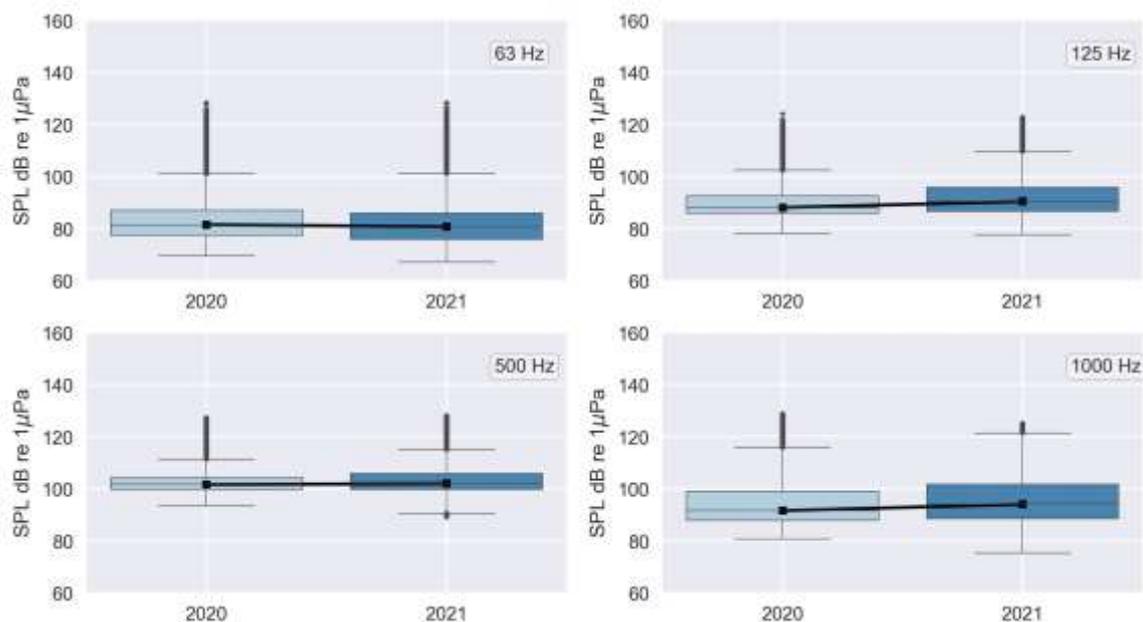


Figura III.2.3-4: Evolução temporal dos níveis de $SPL_{63\text{Hz}}$, $SPL_{125\text{Hz}}$, $SPL_{500\text{Hz}}$ e $SPL_{1000\text{Hz}}$ a oeste da Ilha Grande a partir dos dados do OS2R. Os dados cobrem o período de 19/08/2020 a 31/12/2021.

De forma análoga, a variabilidade interanual dos níveis de SPL observado no Canal de São Sebastião (OS3) (Figura III.2.3-5), 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.

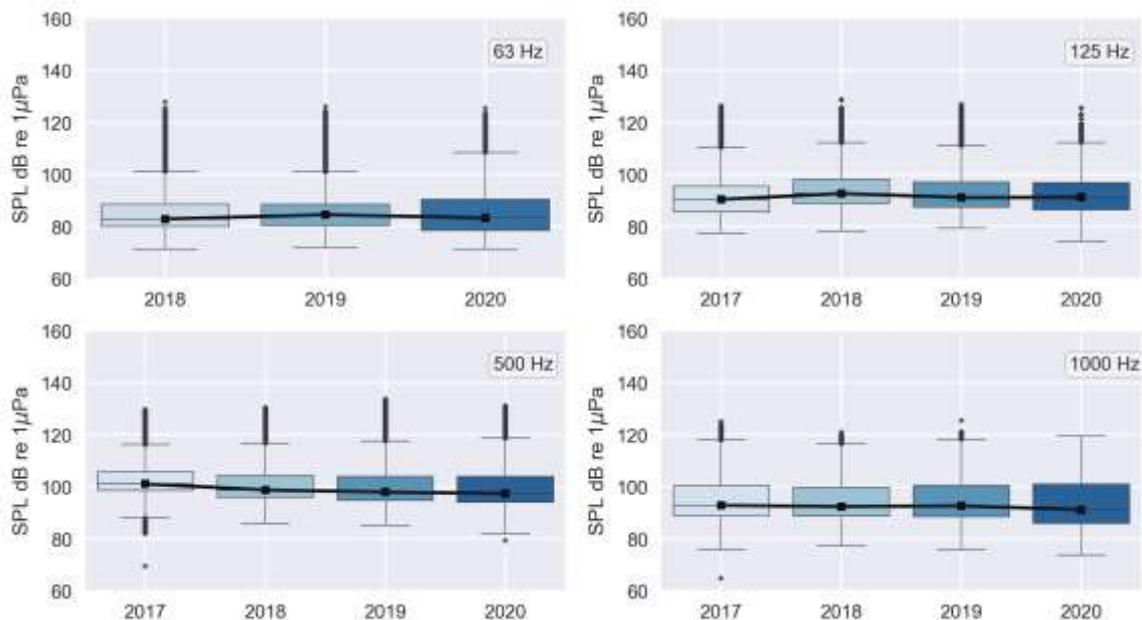


Figura III.2.3-5: Evolução temporal dos níveis de SPL_{63Hz} , SPL_{125Hz} , SPL_{500Hz} e SPL_{1000Hz} no Canal de São Sebastião a partir dos dados do OS3. Os dados cobrem o período de 01/03/2018 a 14/03/2020, para a frequência de 63 Hz, e de 16/03/2017 a 14/03/2020 para as demais frequências.

As Figuras III.2.3-6 a III.2.3-8 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.

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, e para a frequência de 1000 Hz no OS2R, onde ocorrem picos de ruído entre os meses de junho e agosto, o que coincide com o período de inverno. Um comportamento semelhante é observado no OS2, mas com picos no valor do SPL 63 Hz no mês de março. À exceção do OS2R para a banda de 1000 Hz, 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.



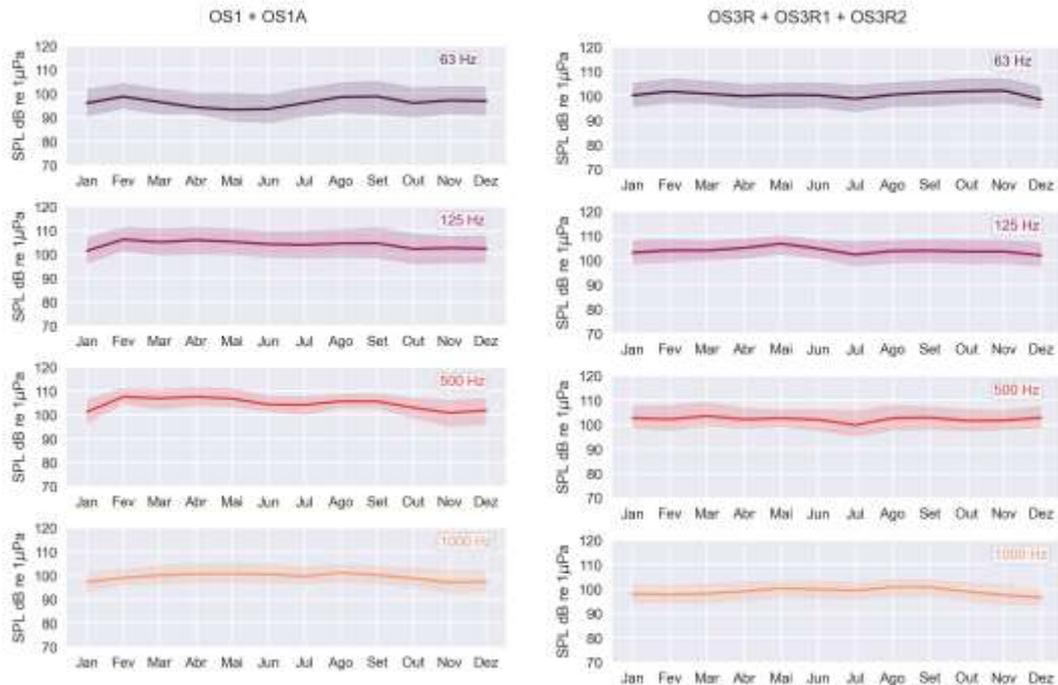


Figura III.2.3-6: Variabilidade mensal do SPL no OS1 e OS1A e OS3R, OS3R1 e OS3R2. A linha indica o valor mediano e a envoltória é delimitada pelos percentis 25% e 75%.

Desta forma, a maior parte das localidades não 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 em alguns destes locais 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.



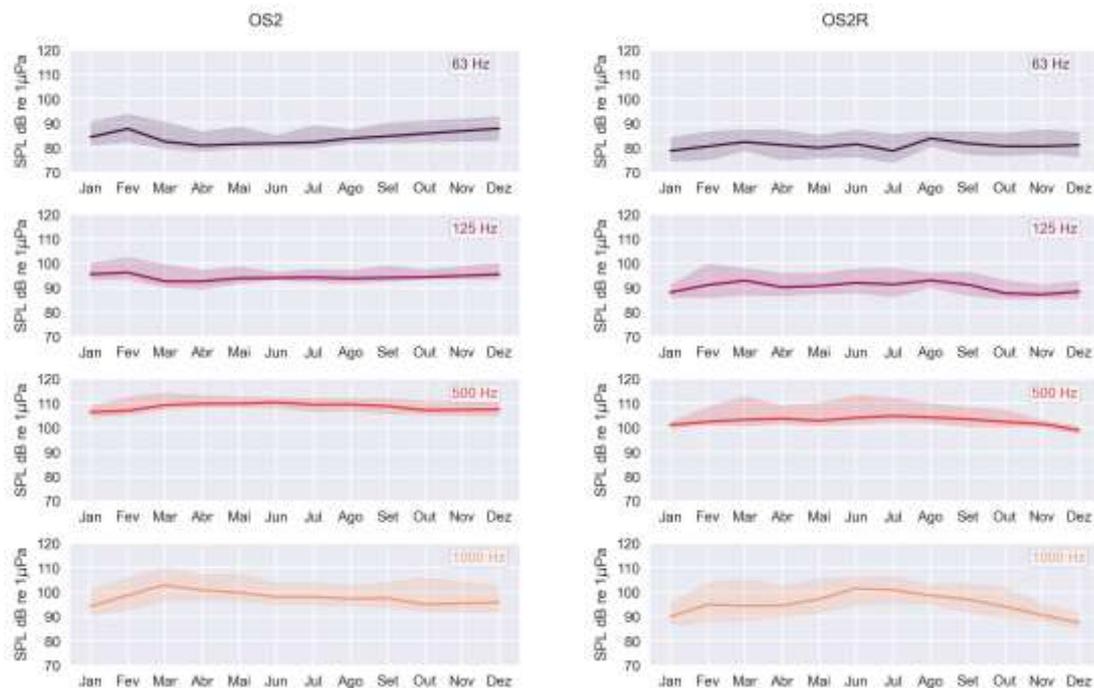


Figura III.2.3-7: Variabilidade mensal do SPL no OS2 e OS2R. A linha indica o valor mediano e a envoltória é delimitada pelos percentis 25% e 75%.

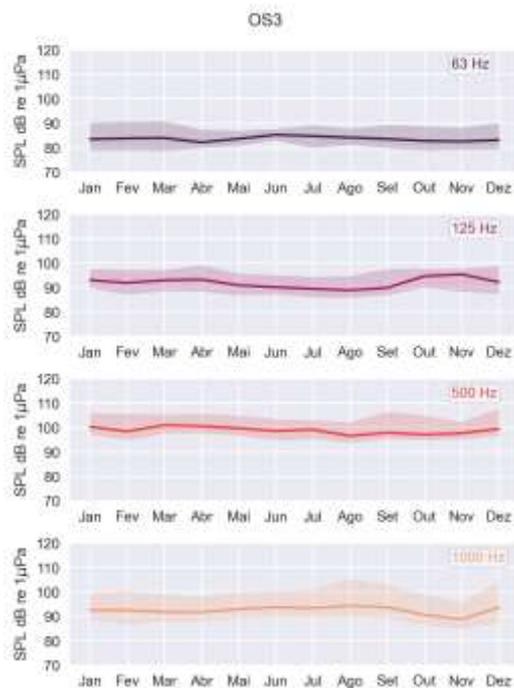


Figura III.2.3-8: Variabilidade mensal do SPL no OS3. A linha indica o valor mediano e a envoltória é delimitada pelos percentis 25% e 75%.



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 *et al.*, 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.

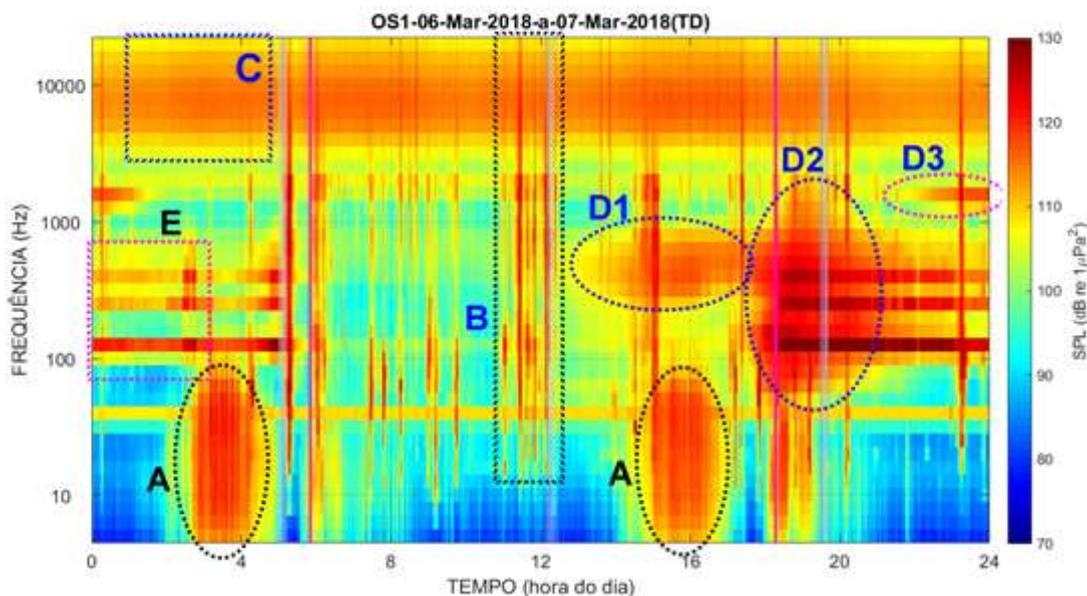


Figura III.2.4-1: Espectrograma de 1/3 de oitava para os dados gravados no dia 06 de março de 2018, no OS1, na Baía de Guanabara. As letras correspondem aos tipos de ruído observados (A = Fluxo de maré; B = Embarcações; C = Estalos/cliques; D = Coros; E = Tons 100/125Hz).

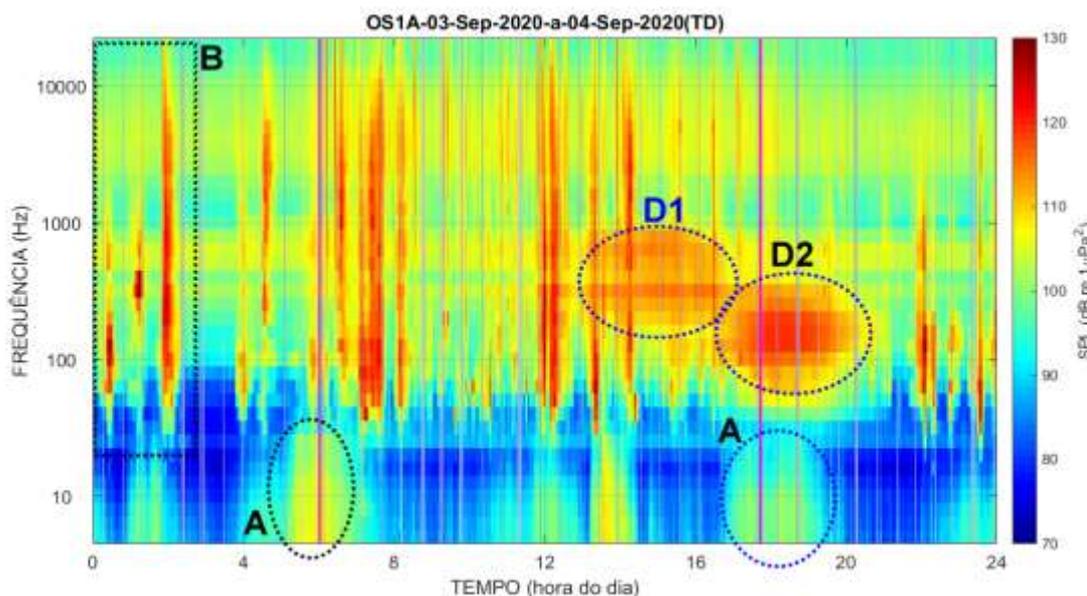


Figura III.2.4-2: Espectrograma de 1/3 de oitava para os dados gravados no dia 03 de setembro de 2020 no OS1A, na Baía de Guanabara. As letras correspondem aos tipos de ruído observados (A = Fluxo de maré; B = Embarcações; D = Coros).



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).

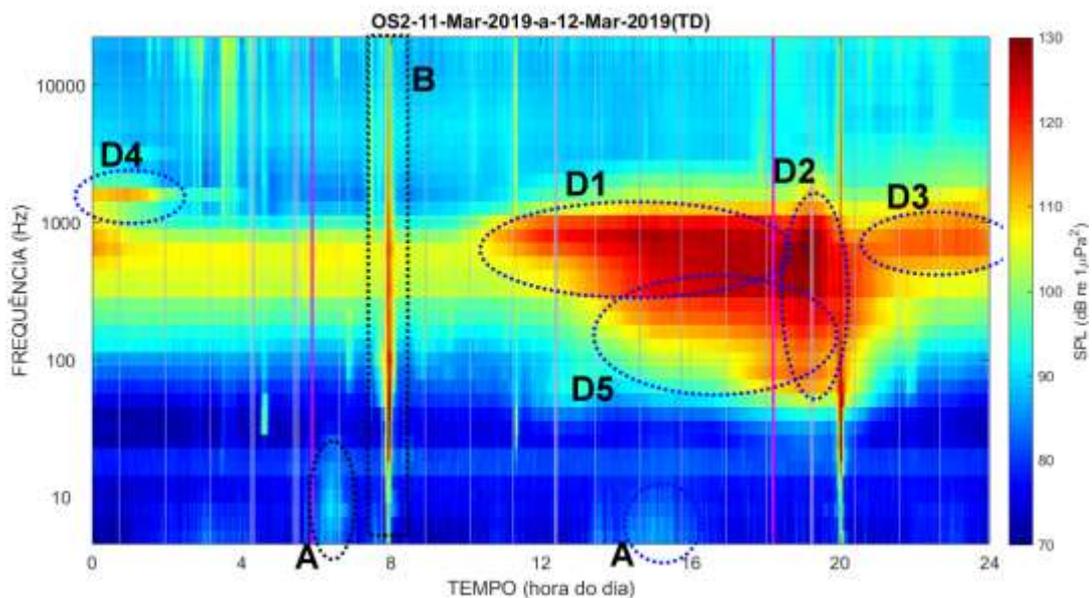


Figura III.2.4-3: Espectrograma de 1/3 de oitava para os dados gravados no dia 11 de março de 2019, no OS2, na Baía de Ilha Grande. As letras correspondem aos tipos de ruído observados (A = Fluxo de maré; B = Embarcações; D = Coros).

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).



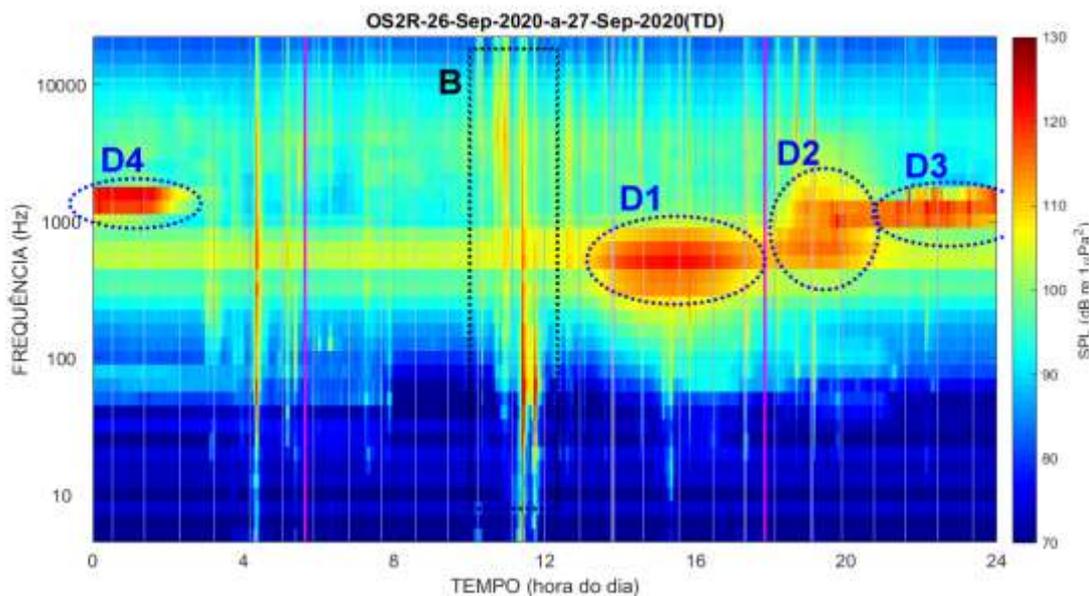


Figura III.2.4-4: Espectrograma de 1/3 de oitava para os dados gravados no dia 26 de setembro de 2020, no OS2R, no lado oeste de Ilha Grande. As letras correspondem aos tipos de ruído observados (B = Embarcações; D = Coros).

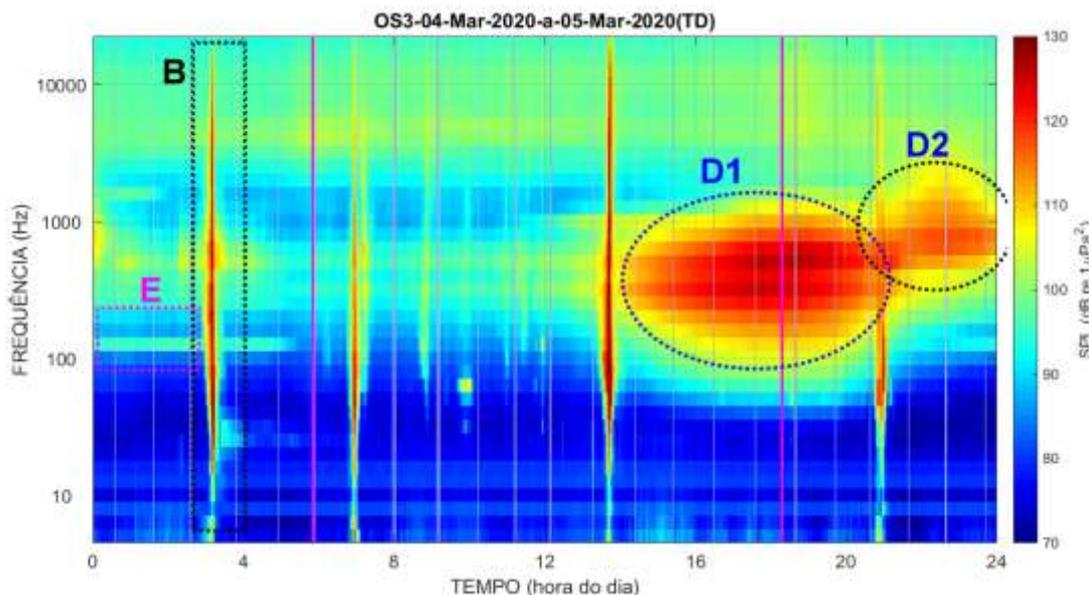


Figura III.2.4-5: Espectrograma de 1/3 de oitava para os dados gravados no dia 04 de março de 2020, no OS3, no Canal de São Sebastião. As letras correspondem aos tipos de ruído observados (B = Embarcações; D = Coros; E = Tons 100/125 Hz).

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



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).

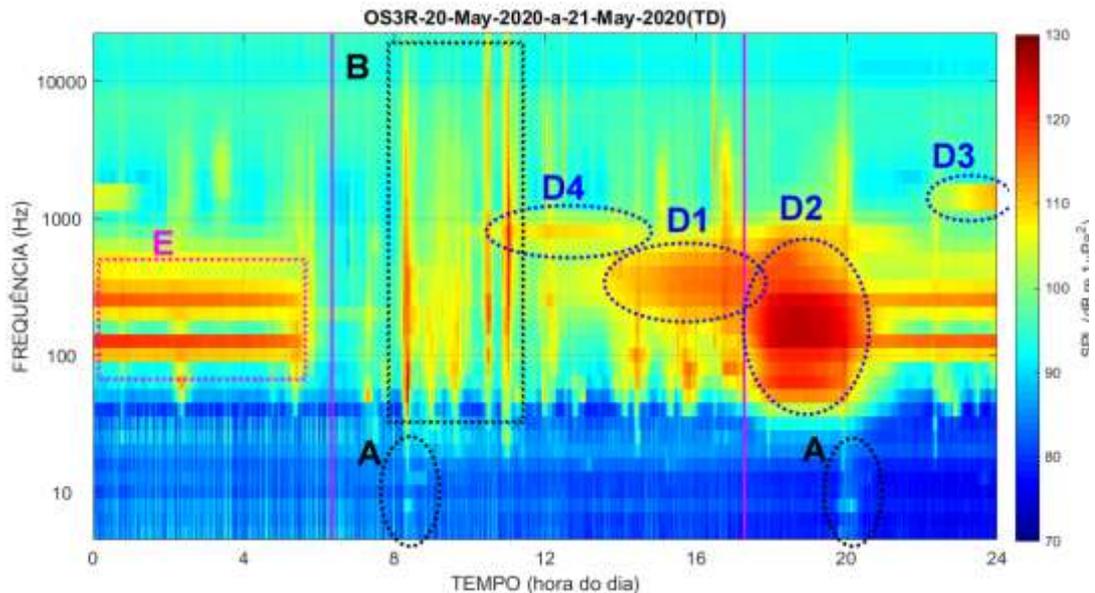


Figura III.2.4-6: Espectrograma de 1/3 de oitava para os dados gravados no dia 20 de maio de 2020, no OS3R, nas Ilhas Cagarras. As letras correspondem aos tipos de ruído observados (A = Fluxo de maré; B = Embarcações; D = Coros; E = Tons 100/125Hz).

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).




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

6º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2022

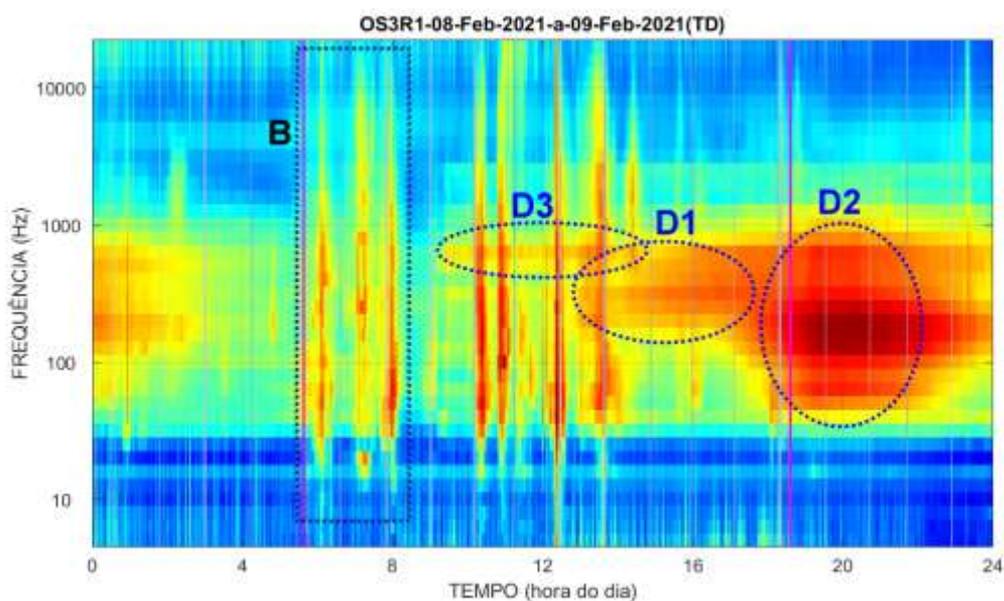


Figura III.2.4-7: Espectrograma de 1/3 de oitava para os dados gravados no dia 08 de fevereiro de 2021, no OS3R1, nas Ilhas Cagarras. As letras correspondem aos tipos de ruído observados (B = Embarcações; D = Coros).

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.



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).



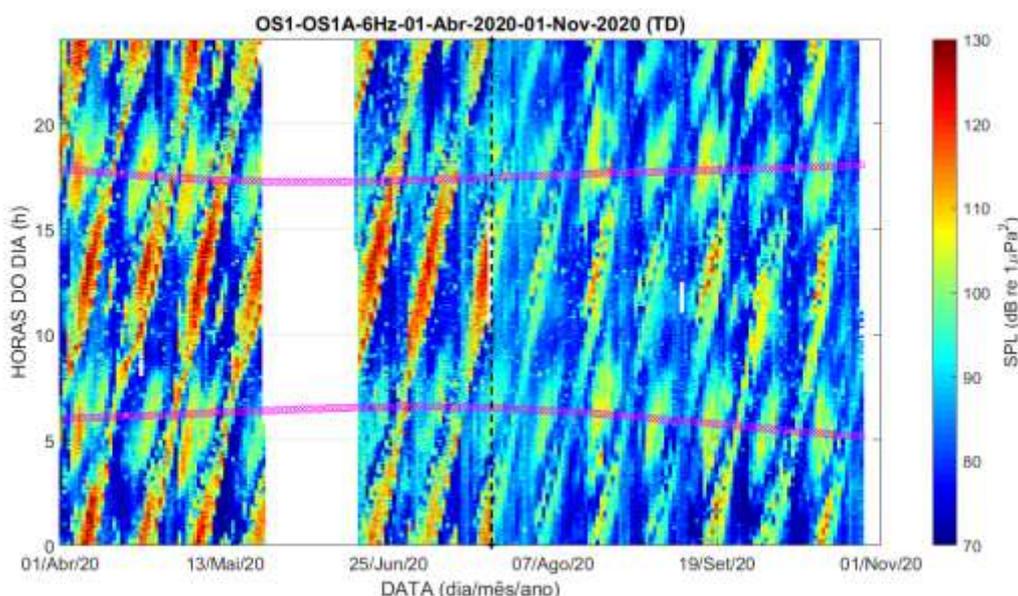


Figura III.2.4.1-1: SPL no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 6 Hz, em função do dia e da hora do dia, para o período de 01 de abril de 2019 a 01 de julho de 2021. As linhas magentas representam os instantes do nascer do sol (linha de baixo), e do pôr do sol (linha de cima). A linha vertical preta tracejada corresponde ao tempo que a posição do OS foi alterada de OS1 (à esquerda da linha) para OS1A (à direita)

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.

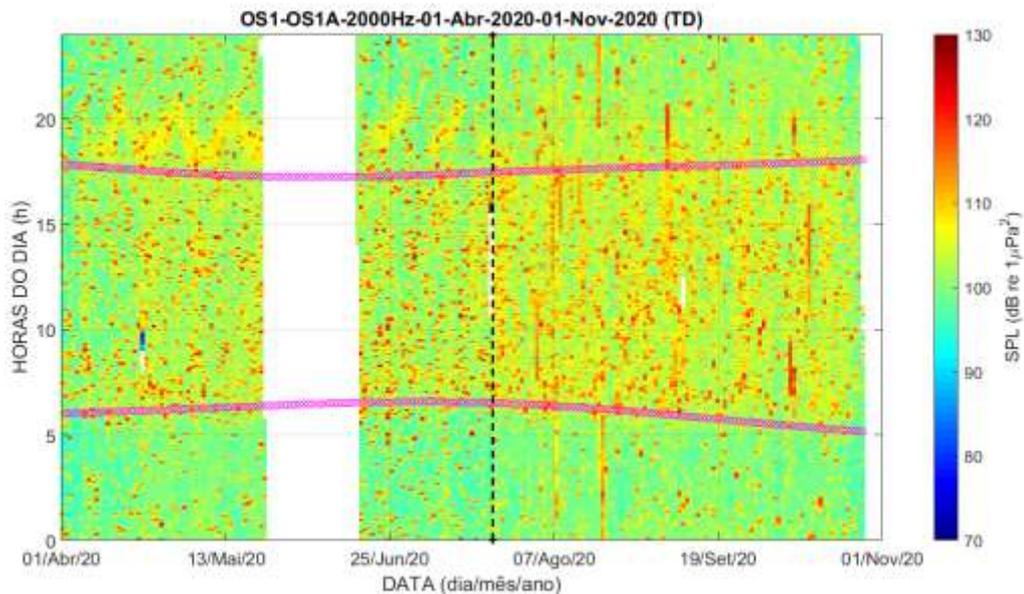


Figura III.2.4.2-1: SPL no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 2.000 Hz, em função do dia e da hora do dia, no período de 01 de abril a 01 de novembro de 2020. As linhas magentas representam os instantes do nascer do sol (linha de baixo), e do pôr do sol (linha de cima). A linha vertical 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.



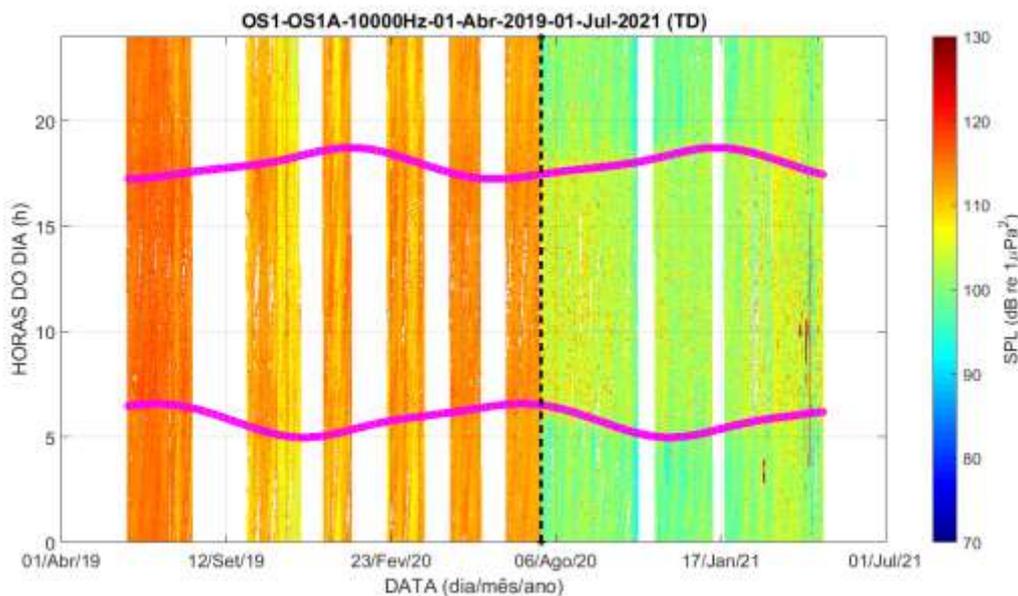


Figura III.2.4.3-1: SPL no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 10 kHz, em função do dia e da hora do dia. As linhas magentas representam os instantes do nascer do sol (linha de baixo), e do pôr do sol (linha de cima). A linha vertical preta tracejada corresponde ao tempo que a posição do 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 (C. Radford *et al.*, 2008; C. A. Radford *et al.*, 2010). 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 (C. 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, começando 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 21h. 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 22h. 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



de frequência de 50 a 2.000 Hz, iniciando depois do pôr do sol e prosseguindo até próximo das 20h. 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 5h. A área marcada como D5 ocupa a banda de frequência entre 50 e 800 Hz, iniciando em torno das 15h e indo até em torno de 21h, 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, começando 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 21h. 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 23h. 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 2h.

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 21h. A área marcada como D2 ocupa a faixa de frequência de 300 Hz até 2.000 Hz, ocorrendo entre as 21 e as 24h.

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, começando 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 21h. 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, começando 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 21h. 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 (Hz)	Freq. Fim (Hz)	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



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.

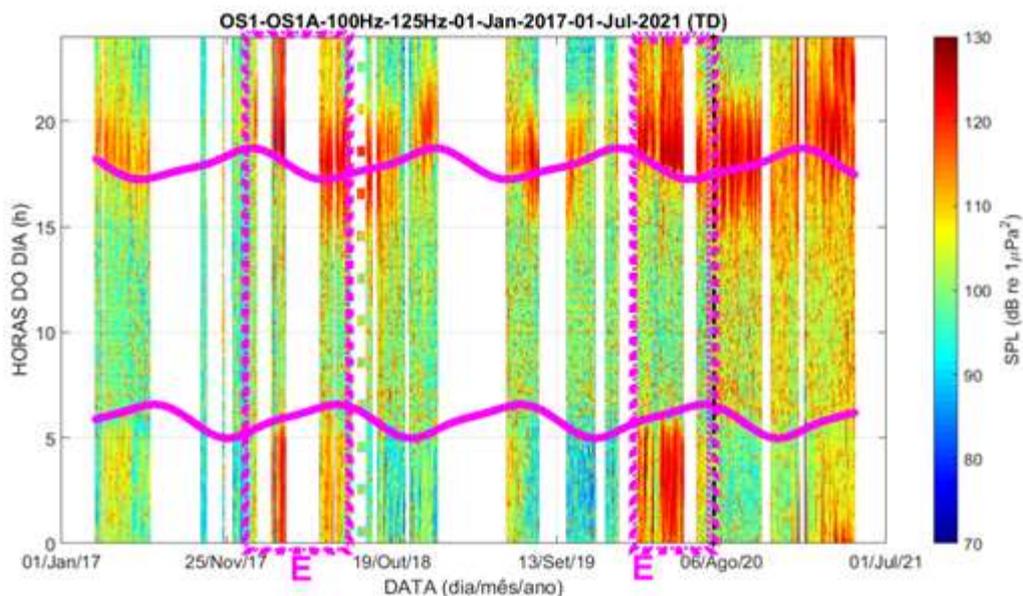


Figura III.2.4.5-1: SPL no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 100 Hz para os OS1 e OS1A, em função do dia e da hora do dia, no período de 01 de janeiro de 2017 a 01 de julho de 2021. As linhas magentas representam os instantes do nascer do sol (linha de baixo), e do pôr do sol (linha de 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.

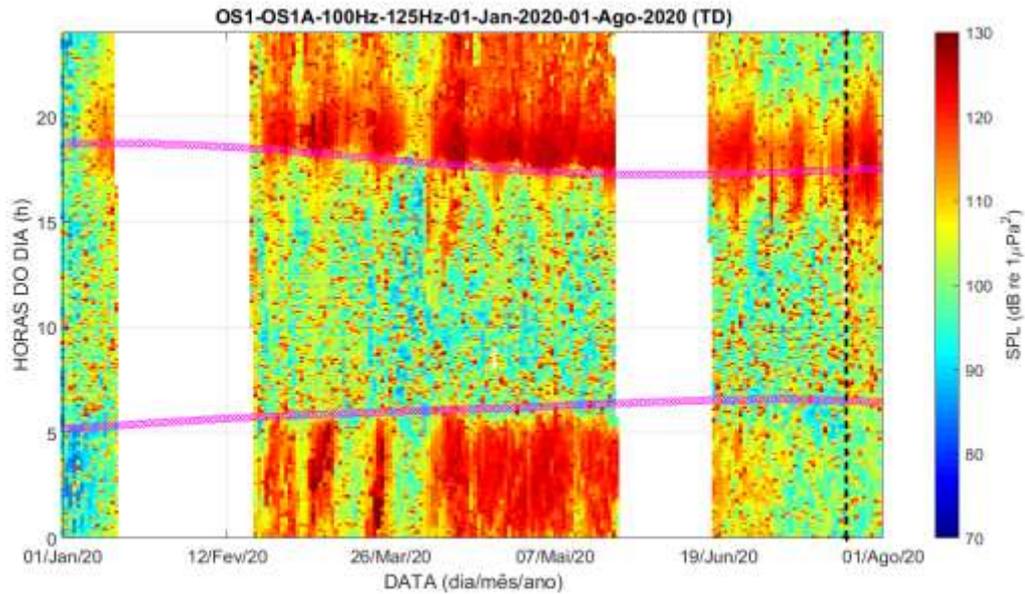


Figura III.2.4.5-2: Ampliação da Figura III.2.4.5-1 mostrando o SPL no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 100 Hz para os OS1 e OS1A, em função do dia e da hora do dia, no período de 01 de janeiro a 01 de agosto de 2020. As linhas magentas representam os instantes do nascer do sol (linha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



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 2021. 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 (ANOVA, $F=9,2$, $p=0$). A Figura III.3.1-3 mostra as posições das detecções do *glider*. O maior número de pontos nas regiões R1 e R2 reflete a estratégia de medição adotada, privilegiando a aquisição de dados nestas regiões. É interessante notar que na região R4 ocorreram detecções em apenas sete dias, mas em quatro deles com um número alto de detecções (40, 15, 15, 32 detecções por dia, respectivamente). Isto pode ser uma característica do trecho percorrido pelo *glider* nestes quatro dias (norte da região R4) e não, obrigatoriamente, de toda a região R4.



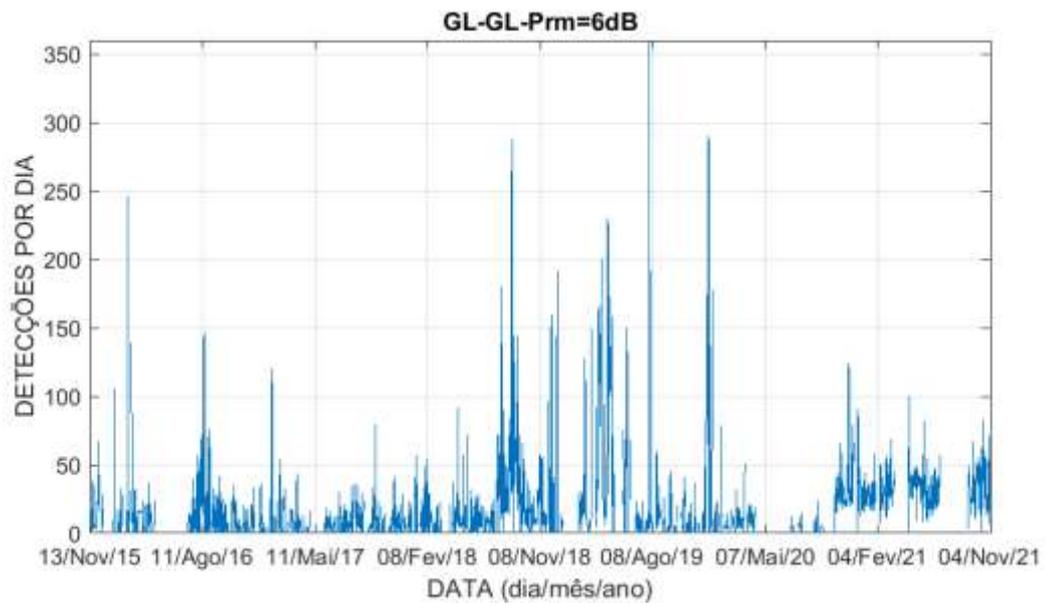


Figura III.3.1-1: Número de detecções de embarcações por dia para os dados gravados pelo glider.

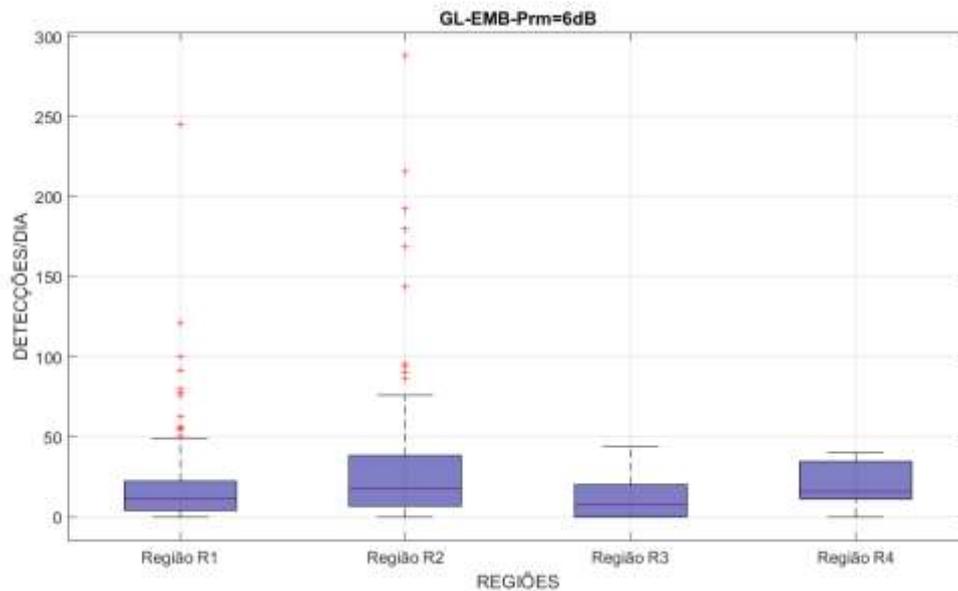


Figura III.3.1-2: Distribuições do número de detecções de embarcações por dia para as regiões R1, R2, R3 e R4.

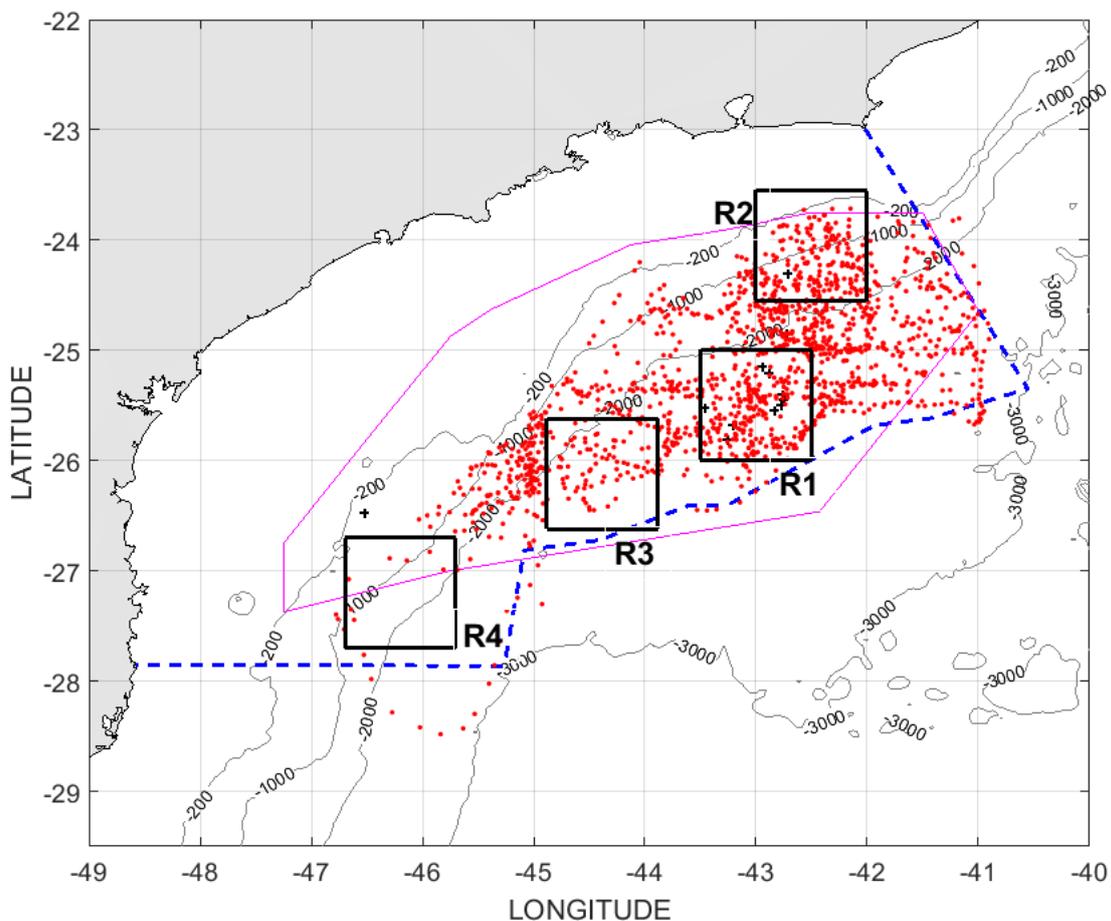


Figura III.3.1-3: Detecções de embarcações apresentadas no mapa da Bacia de Santos, para a posição média do glider no dia da medição. Os retângulos pretos mostram a posição das regiões R1, R2, R3 e R4.



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, FA05, FA03R e FA04R (ANOVA, $F=22,6$, $p=0$). A linha FA02 foi a que obteve a maior mediana, com 34 detecções por dia, seguida pela linha FA06, com 24,8 e FA04R, com 23. 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.



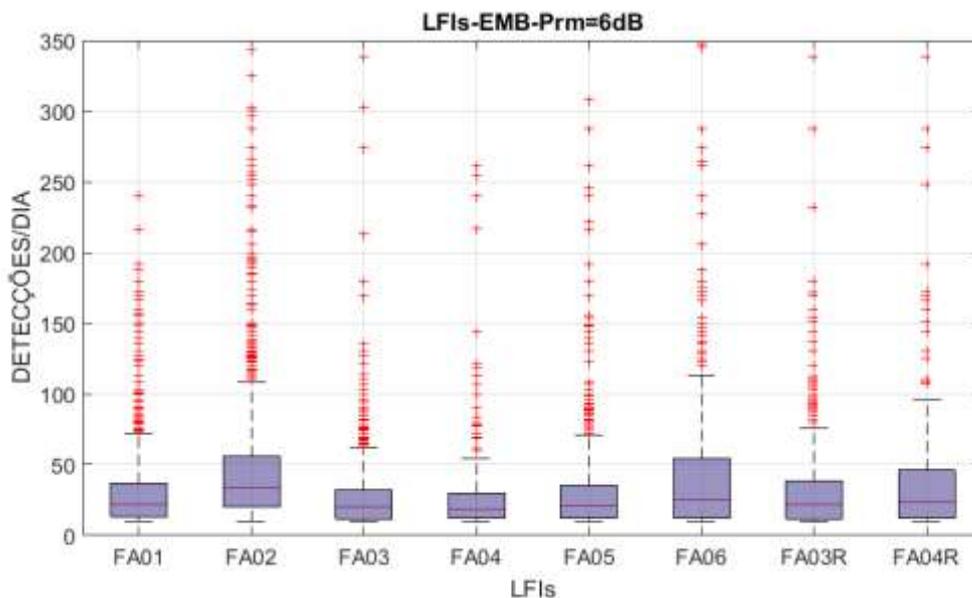


Figura III.3.2-1: Distribuição do número de detecções de embarcações por dia, para cada uma das linhas de fundeio instrumentadas.

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, de forma a aumentar a confiabilidade na estimativa dos níveis do ruído irradiado pelas embarcações. Para um navio de grande porte, esta distância pode chegar a mais de 2 km, quando então a perda na propagação reduzirá os níveis medidos a próximo do ruído ambiente local. 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 (IPqM/PETROBRAS, 2020), aumentando o raio de busca de 1 km, usado anteriormente, para 2 km, como foi feito no 5º Relatório Técnico Anual (IPqM/PETROBRAS, 2021). 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, OS3R1 e OS3R2, efetuadas no período de março de 2017 a dezembro de 2021.

No total, foram detectadas 88.247 passagens de embarcações nas 86.705,4 horas gravadas nas campanhas realizadas, sendo 34.527 detecções em 17.796,5 horas no OS1 e 20.411 detecções em 13.050,1 horas no OS1A, na Baía de Guanabara, 6.681 em 13.322,8 horas no OS2, na Baía de Ilha Grande, 5.915



em 10.852,6 horas no OS2R, no lado oeste da Ilha Grande, 12.082 em 16.886,7 horas no OS3, no Canal de São Sebastião, 4.512 em 7.046,0 horas no OS3R, 2.306 em 5.009,2 horas no OS3R1 e 1.813 em 2.241,5 horas no OS3R2, nas Ilhas Cagarras. A maior parte das embarcações, 62%, foi detectada pelos OS1 e OS1A (54.928 nestes OSs, e 33.319 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	20.543	9.789	17.796,5	46,6
OS2	6.681	1.180	1	13.822,8	11,6
OS3	12.082	747	411	16.886,7	17,2
OS1A	20.411	8.240	2.637	13.050,1	37,5
OS2R	5.915	705	398	10.852,6	13,1
OS3R	4.512	95	5	7.046,0	15,4
OS3R1	2.306	436	70	5.009,2	11,0
OS3R2	1.813	357	93	2.241,5	19,4
TOTAIS	88.247	32.303	13.404	86.705.4	24,4

Observa-se que a Baía de Guanabara é a área mais movimentada, com uma média de 46,6 detecções por dia no OS1 e 37,5 no OS1A. A segunda área é a região das Ilhas Cagarras, com média de 15,4 detecções por dia no OS3R, 11,0 no OS3R1 e 19,4 no OS3R2. A seguir vem o Canal de São Sebastião, com média de 17,2 detecções por dia, seguida pelo OS2R, no lado oeste de Ilha Grande, com 13,1 e o OS2, no lado leste de Ilha Grande, com média de 11,6 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, OS3R, OS3R1 e OS3R2, 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%).



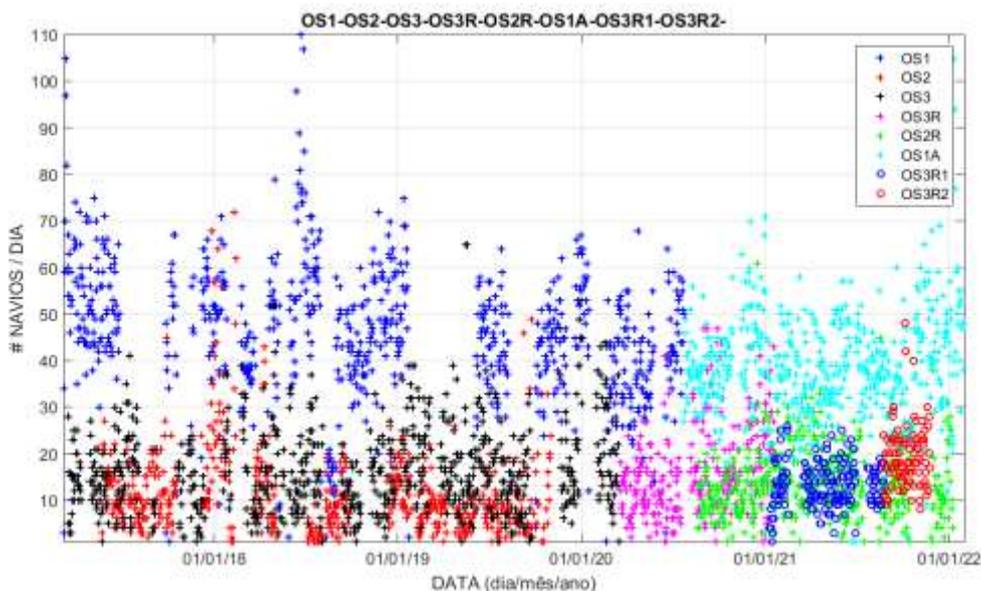


Figura III.3.3-1: Número de navios detectados por dia, nos OS1, OS1A, OS2, OS2R, OS3 e OS3R, OS3R1 e OS3R2.

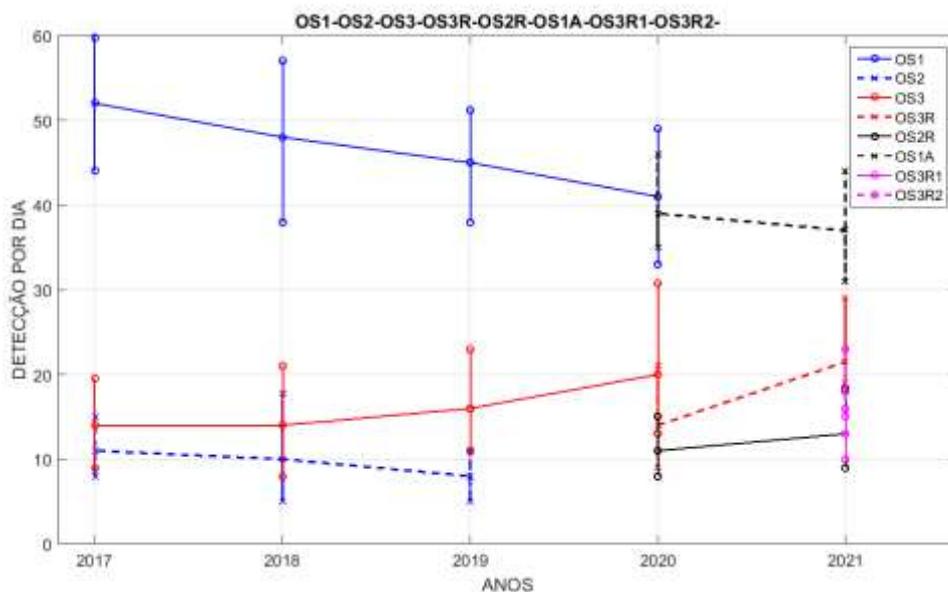


Figura III.3.3-2: Distribuição anual do número de navios detectados por dia, nos OS1+OS1A, OS2, OS2R, OS3 e OS3R+OS3R1+OS3R2. Cada linha vertical representa os percentis de 25% embaixo, 50% onde sai a linha tracejada conectando os anos e 75% em cima.

A maior parte das detecções ocorreu nos OS1 e OS1A, na Baía de Guanabara, com o número de detecções diminuindo no decorrer dos anos, de 2017 a 2021, com uma mediana iniciando acima de 50 detecções por dia no ano



de 2017 e chegando a menos de 40 em 2021. As diferenças entre 2017 e 2018; entre 2017 e 2019; entre 2017 e 2020; e entre 2018 e 2020 para o OS1 são estatisticamente significativas (ANOVA, $F=35,0$, $p=0$), mas o mesmo não pode ser dito para as diferenças entre 2018 e 2019 e entre 2019 e 2020 para o OS1; entre 2020 e 2021 para o OS1A; e entre o OS1 e o OS1A no ano de 2020.

No OS2, houve uma redução no número de embarcações por dia, de 11 em 2017 e 10 em 2018, para 8 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 (ANOVA, $F=13,0$, $p=0$).

No OS3, houve um aumento de 14 embarcações por dia em 2017 e 2018, para 16 em 2019 e para 20 em 2020. Não é possível dizer que as diferenças entre os anos de 2017 e 2018 para 2019 e de 2019 para 2020 são significativas, mas a diferença para de 2018 para 2020 é estatisticamente significativa (ANOVA, $F=10,3$, $p=0,0015$).

No OS2R houve um aumento de 11 para 13 embarcações por dia entre 2020 e 2021, sendo esta diferença considerada significativa (ANOVA, $F=10,2$, $p=0$).

No OS3R-OS3R1-OS3R2, o número de detecções em 2020 foi de 14, usando dados apenas do OS3R. Este número subiu para 21,5 detecções por dia em 2021, ainda usando o OS3R. O número de detecções por dia no OS3R1 em 2021 foi de 13 e no OS3R2, 18. Não se pode dizer que existe diferença estatística entre o OS3R e o OS3R2 no ano de 2021, enquanto as demais diferenças podem ser consideradas significativas estatisticamente (ANOVA, $F=17,3$, $p=0$).

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+OS3R2, considerando todas as detecções obtidas nestes observatórios.

Em geral, a maior parte das detecções ocorre durante o dia, no período das 6h às 18h, particularmente na área do OS1 e OS1A.



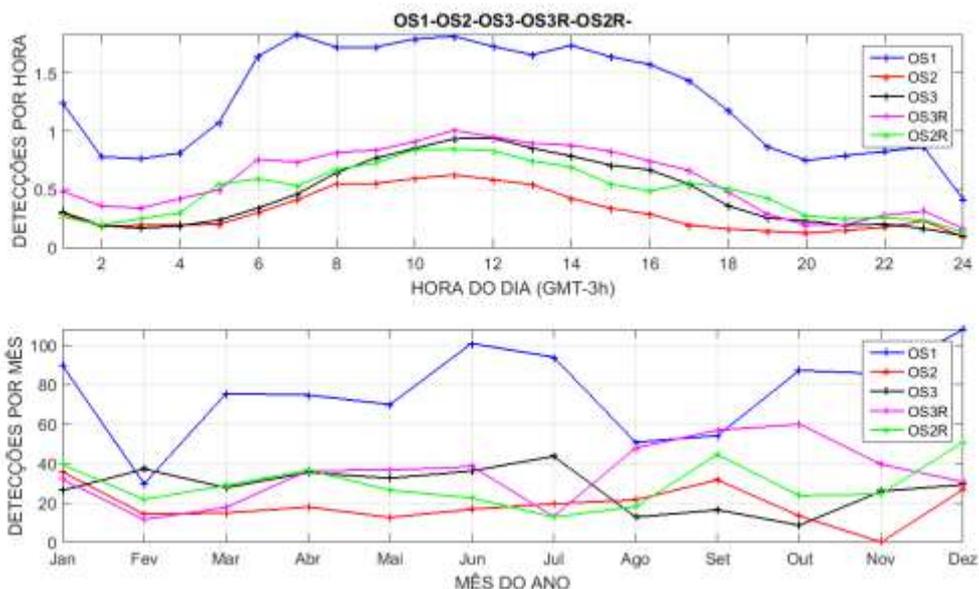


Figura III.3.3-3: Número de navios detectados por hora, para cada hora do dia e por mês, para cada mês do ano, nos OS1+OS1A, OS2, OS2R, OS3 e OS3R+OS3R1+OS3R2.

Em relação à variação sazonal, observou-se um aumento no número de detecções nos meses de agosto a outubro para o OS3R e uma redução nas detecções dos meses de fevereiro, agosto e setembro para os OS1+OS1A. 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 32.303 detecções com o AIS de embarcações, correspondendo a 3.468 diferentes embarcações. O maior número de detecções correlacionadas com o AIS ocorreu na Baía de Guanabara, com 20.543 detecções no OS1 e 8.240 no OS1A, seguido pela Baía de Ilha Grande, com 1.180 detecções no OS2 e 705 no OS2R e pelo Canal de São Sebastião, com 747 detecções. Nas Ilhas Cagarras, foram detectadas 95 embarcações correlacionadas com o AIS no OS3R, 436 no OS3R1 e 357 no OS3R2. Destas embarcações com AIS, foram detectadas 9.789 no OS1 e 2.637 no OS1A a serviço da PETROBRAS na Baía de Guanabara, uma no OS2 no lado leste da Baía de Ilha Grande e 398 no OS2R no lado oeste da Ilha Grande, 411 no OS3, no Canal de São Sebastião, 5 no OS3R,



70 no OS3R1 e 93 no OS3R2, 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 (12.426 nos OS1+OS1A e 978 nos demais OSs). A posição do OS1 ou sua nova localização, 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 dezembro de 2021 mostrou 27.075 navios nos dados de AIS na Bacia de Santos, dos quais 799 estavam a serviço da Petrobras e 26.276 eram navios de terceiros. Neste mesmo período, foram detectados, acusticamente, 32.303 passagens de embarcações que foram associadas a um AIS, sendo que estas detecções correspondem a 3.468 navios diferentes.

Dos 799 navios a serviço da PETROBRAS mostrados no AIS, 678 foram detectados acusticamente num dos OS, correspondendo a 87% do total. Se for analisado apenas o tipo dos navios, no AIS foram apresentados 221 tipos diferentes, sendo 92 tipos correspondendo a navios a serviço da PETROBRAS, dos quais 77 tipos foram detectados acusticamente nos OS (83,7%). Estes resultados são um indicativo da eficiência dos OS na obtenção de informações sobre os navios da PETROBRAS que atuam na Bacia 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 Responsável

6º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2022

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. (Gillespie *et al.*, 2008) Nestes mapas, foram recortados trechos com detecções, para a análise.

Foram analisados os dados referentes às gravações acústicas de 48 campanhas do *glider*. Estas gravações cobrem o período de novembro de 2015 a dezembro de 2021. 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 1.556 recortes oriundos das detecções automáticas. Ocorreram 775 recortes no inverno e 456 na primavera, ou seja, cerca de 79,1% dos recortes ocorreram no inverno ou na primavera, enquanto apenas 160 recortes (10,3% do total de recortes) ocorreram no outono e outros 165 recortes (10,6% do total de recortes) ocorreram no verão (Figura III.4.1-1).

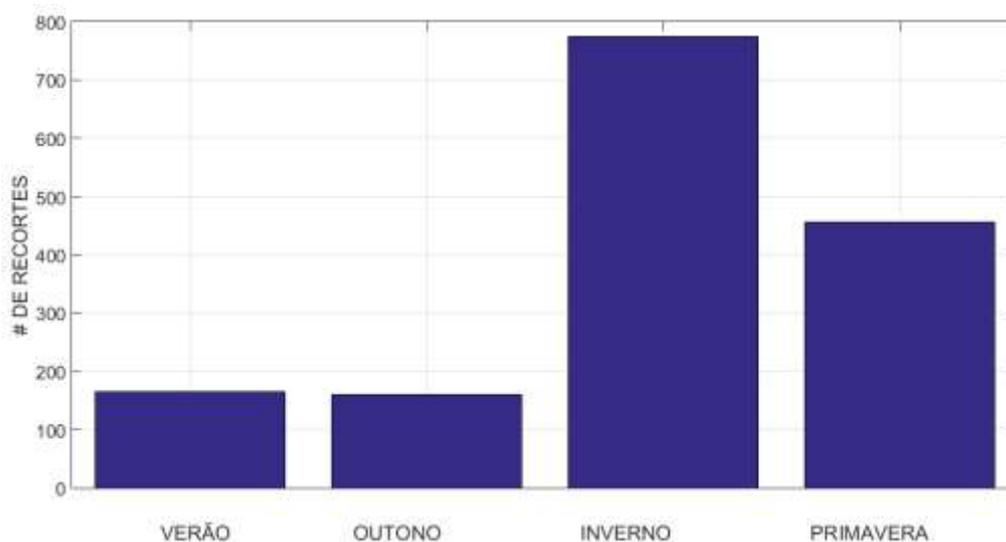


Figura III.4.1-1 – Recortes por estação do ano

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.

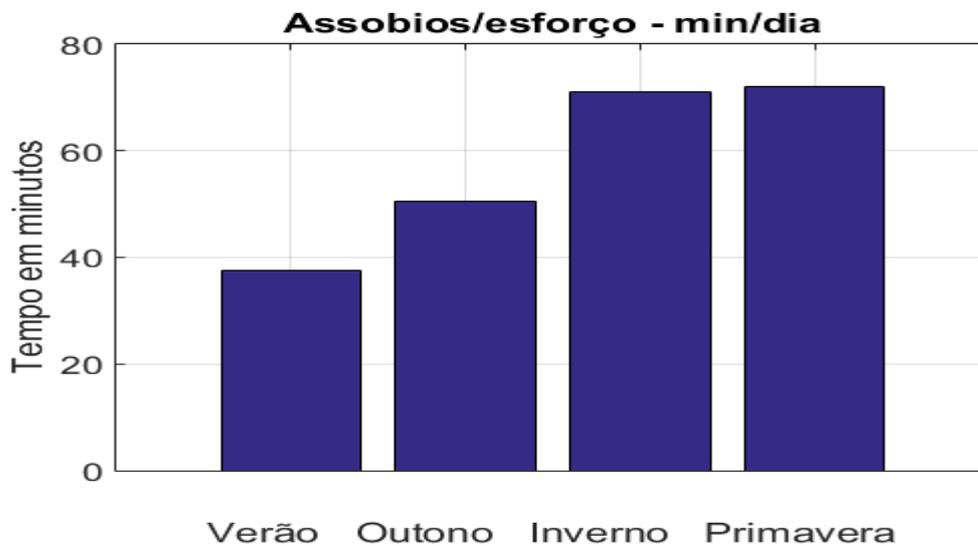


Figura III.4.1-2 - Minutos de assobios por dia de esforço, em cada estação do ano

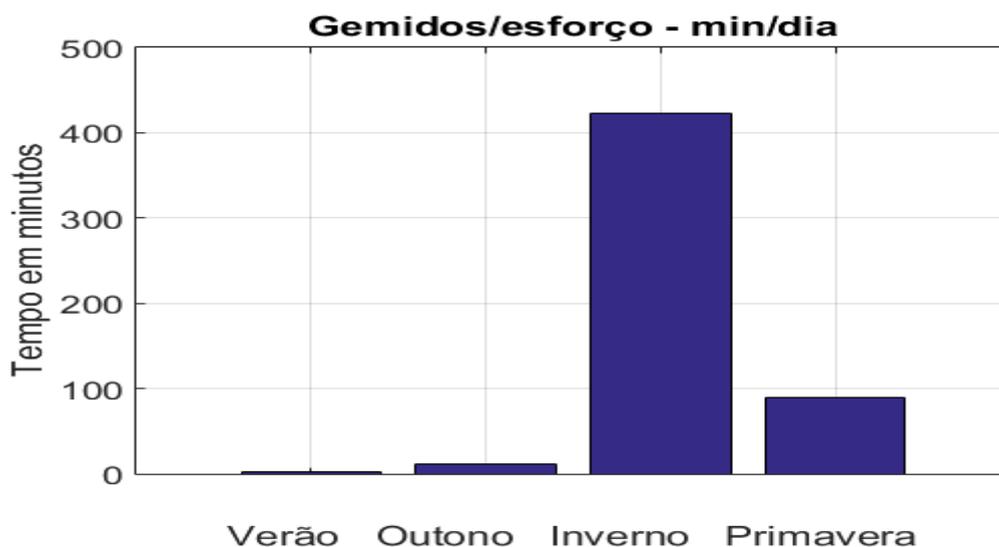


Figura III.4.1-3 - Minutos de gemidos por dia de esforço, em cada estação do ano





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 18h e 23h. As detecções de grunhidos foram maiores em torno de 6h. Para assobios, o maior número de detecções ocorreu em torno das 2h e de 16h.

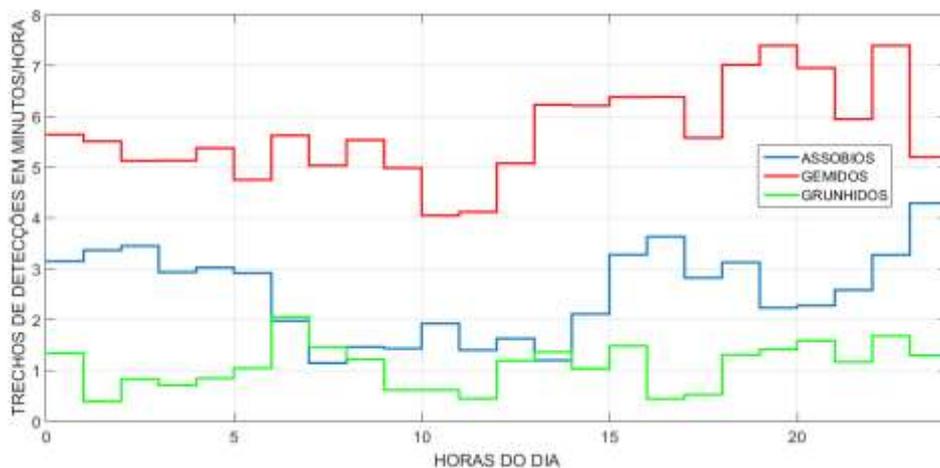


Figura III.4.1-5 – Número de trechos de detecções por hora para cada hora do dia para assobios, gemidos e grunhidos.

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 novembro, enquanto os assobios ficaram melhor distribuídos ao longo do ano.

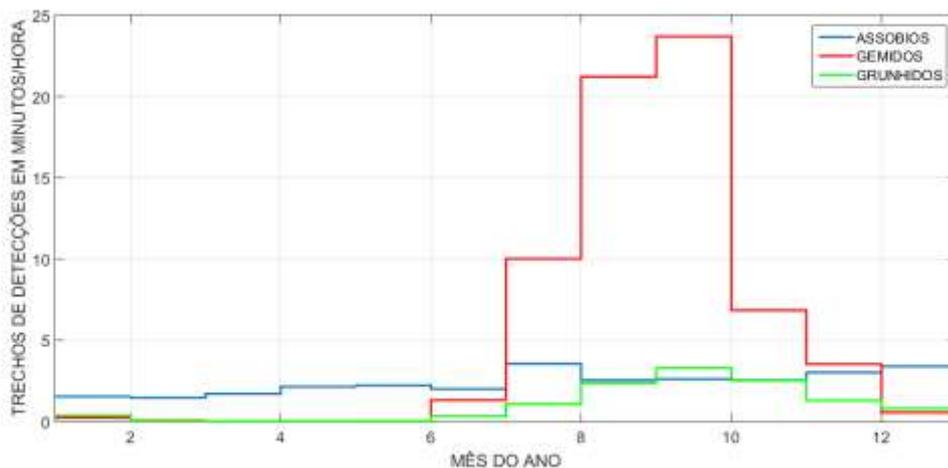


Figura III.4.1-6 - Número de trechos de detecções por hora para cada mês do ano para de assobios, gemidos e grunhidos.

Para avaliar a distribuição espacial das 48 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. Nestes mapas, os trechos apresentados na cor cinza correspondem a regiões onde foram adquiridos dados, mas não houve detecção de vocalizações

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.



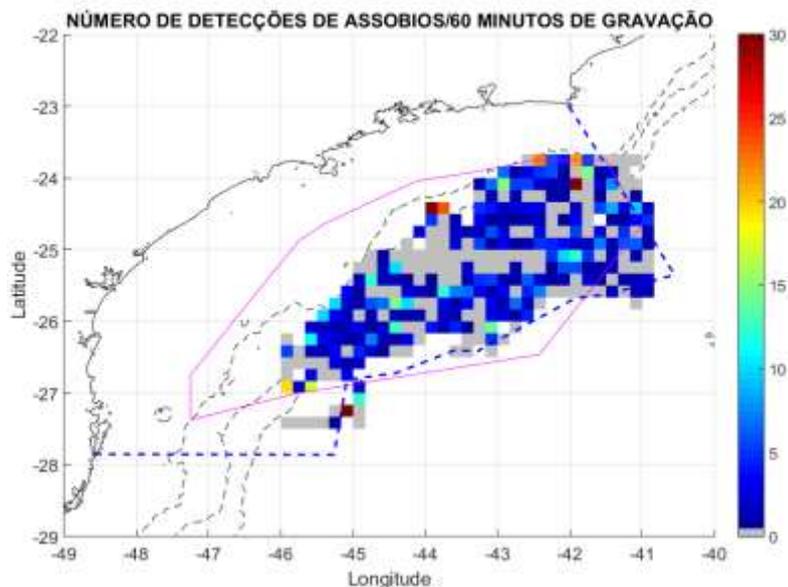


Figura III.4.1-7 – Número de trechos de detecções de assobios por hora para uma grade de 1/6 graus.

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.

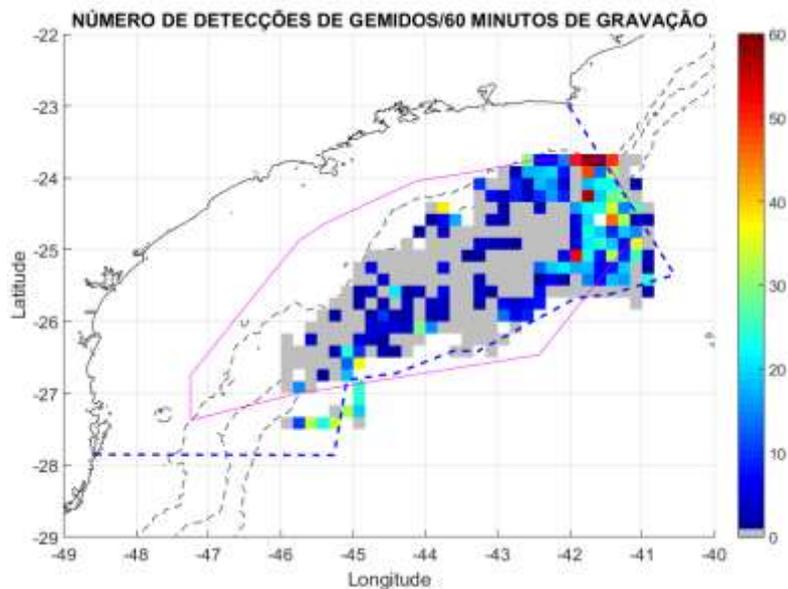


Figura III.4.1-8 – Número de trechos de detecções de gemidos por hora para uma grade de 1/6 graus.

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.



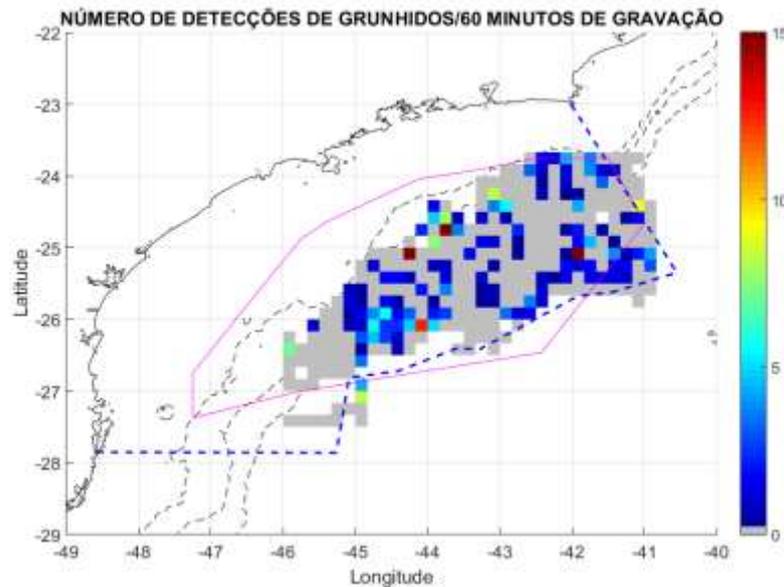


Figura III.4.1-9 – Número de trechos de detecções de grunhidos por hora para uma grade de 1/6 graus.

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 Projeto de Monitoramento de Cetáceos na Bacia de Santos (PMC-BS). Até o momento, já foram enviadas para o PMC-BS os trechos com detecções de vocalização recortados de 36 campanhas dos *gliders* (campanhas C01 a C38), cobrindo o período que vai de novembro de 2015 a dezembro de 2019.

III.4.2 Detecção de Vocalizações nas LFI

A detecção de vocalizações de cetáceos foi feita para todas as gravações realizadas nas LFIs, de setembro de 2017 a dezembro de 2021. 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, tendo sido enviados apenas amostras para análises iniciais sobre a qualidade dos dados e possibilidade de aproveitamento pelo 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.

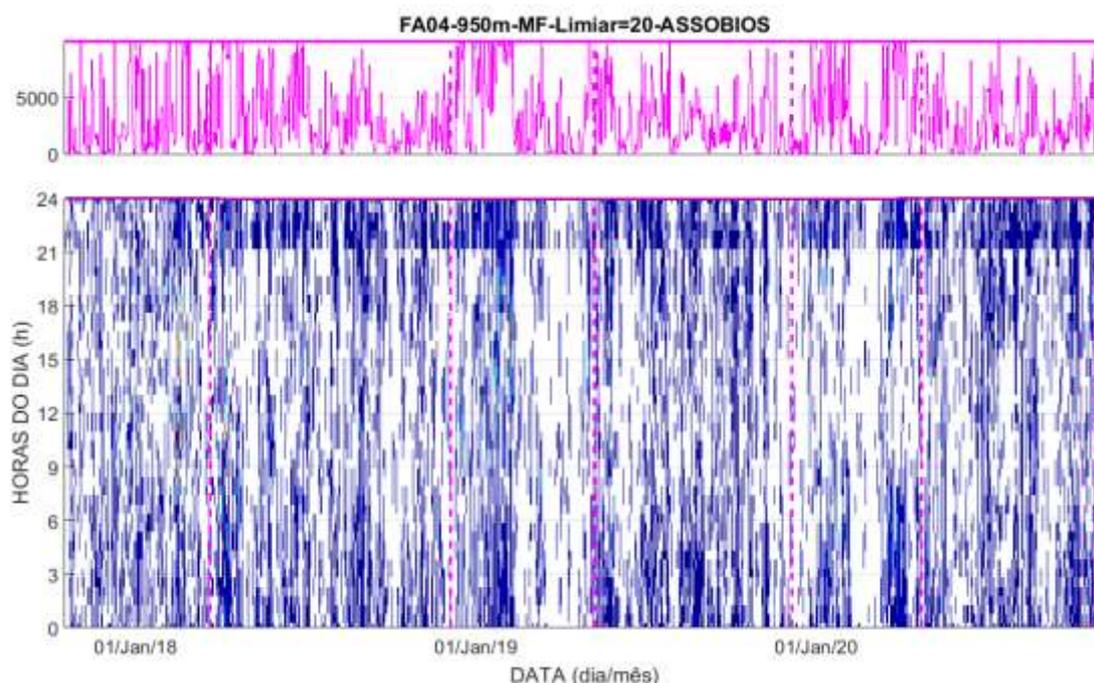


Figura III.4.2-1: Mapa de detecções em função da hora do dia, para cada dia de medição, para a classe “Assobios” na banda MF, para a linha FA04, na profundidade de 950 m.



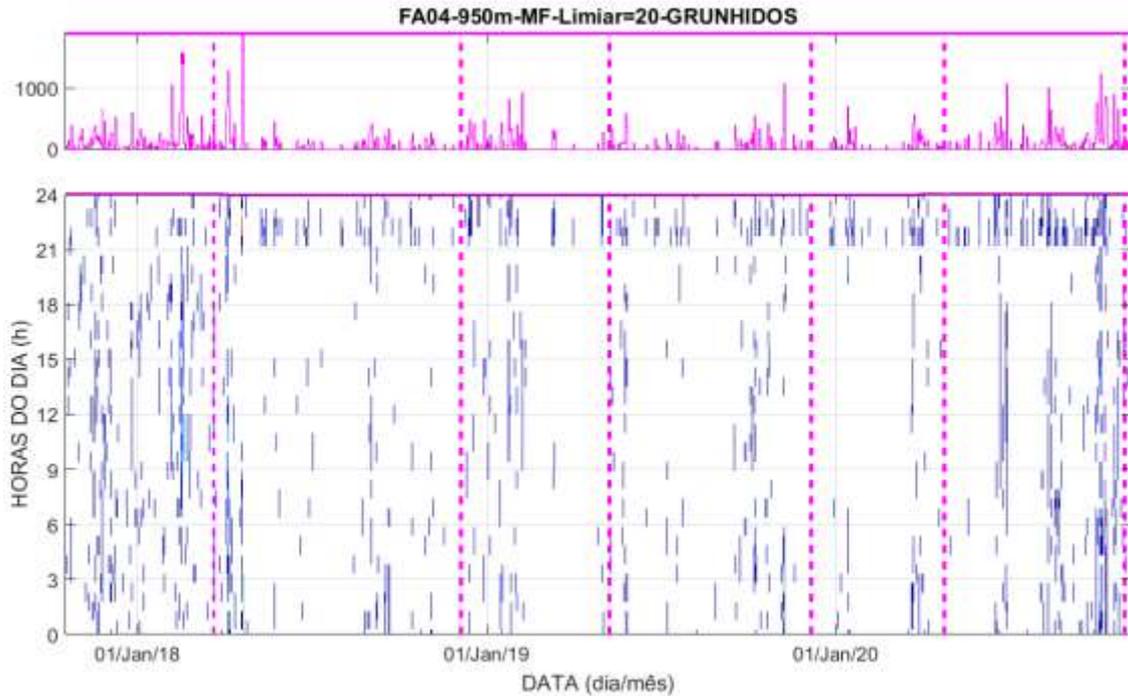


Figura III.4.2-2: Mapa de detecções em função da hora do dia, para cada dia de medição, para a classe “Grunhidos” na banda MF, para a linha FA05, na profundidade de 950 m.

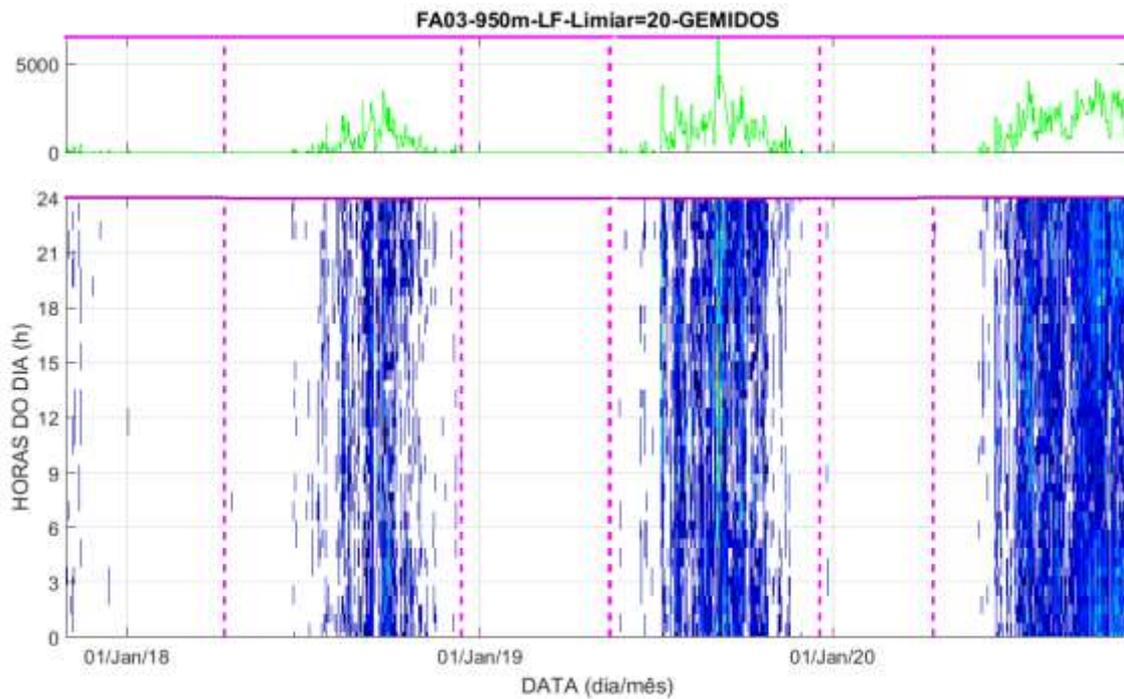


Figura III.4.2-3: Mapa de detecções em função da hora do dia, para cada dia de medição, para a classe “Gemidos” na banda LF, para a linha FA03, na profundidade de 950 m.

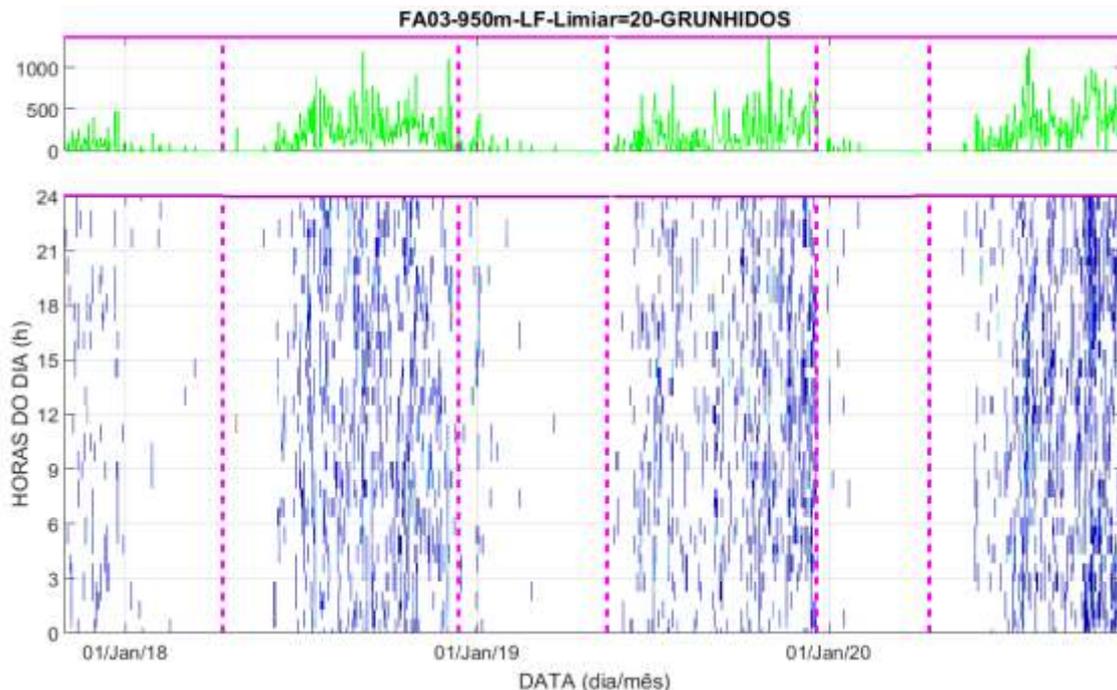


Figura III.4.2-4: Mapa de detecções em função da hora do dia, para cada dia de medição, para a classe “Grunhidos” na banda LF, para a linha FA04, na profundidade de 95 0m.

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.



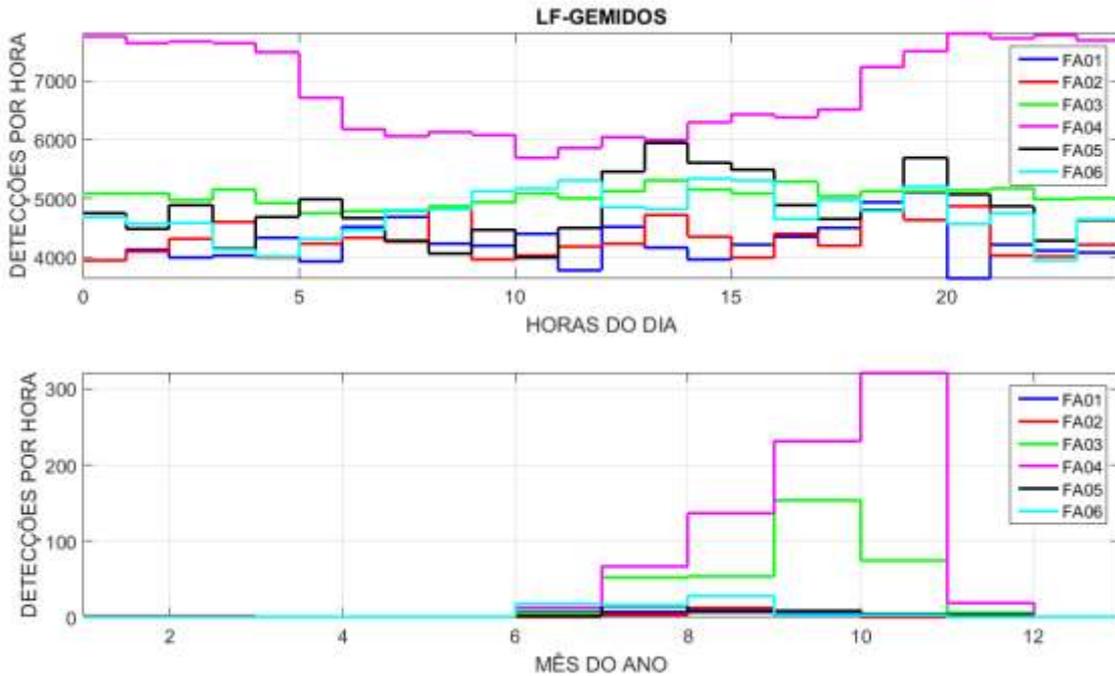


Figura III.4.2-5: Detecções por hora para cada hora do dia e para cada mês do ano, para as detecções do tipo “Gemidos” na banda LF, para as linhas FA01, FA02, FA03, FA04, FA05 e FA06.

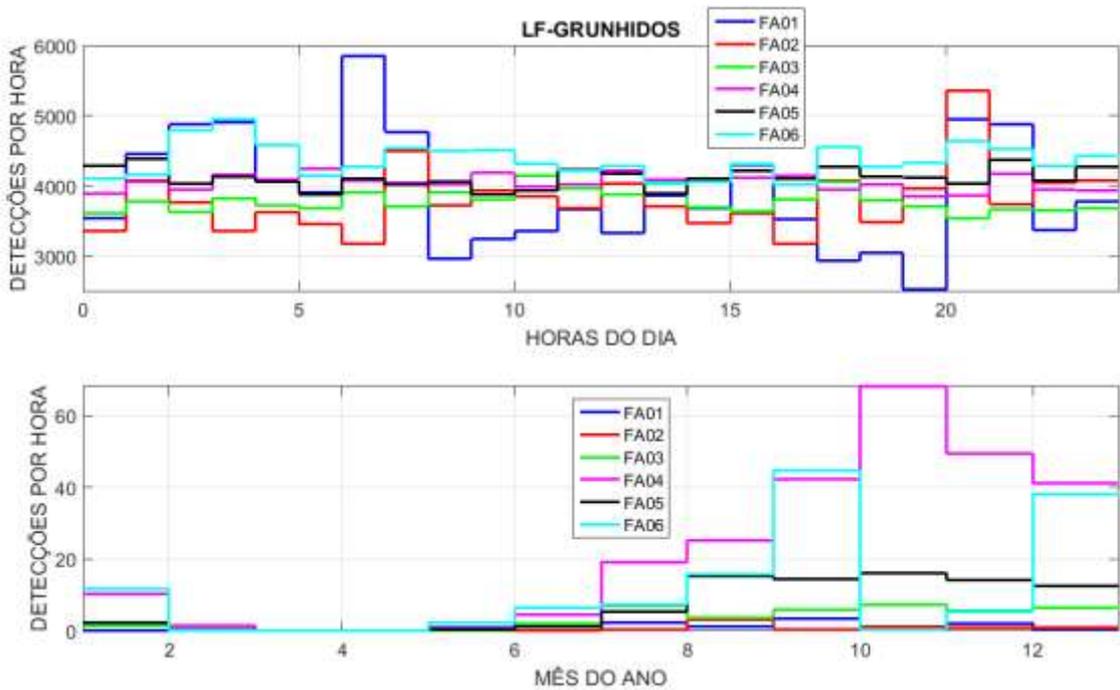


Figura III.4.2-6: Detecções por hora para cada hora do dia e para cada mês do ano, para as detecções do tipo “Grunhidos” na banda LF, para as linhas FA01, FA02, FA03, FA04, FA05 e FA06.

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.

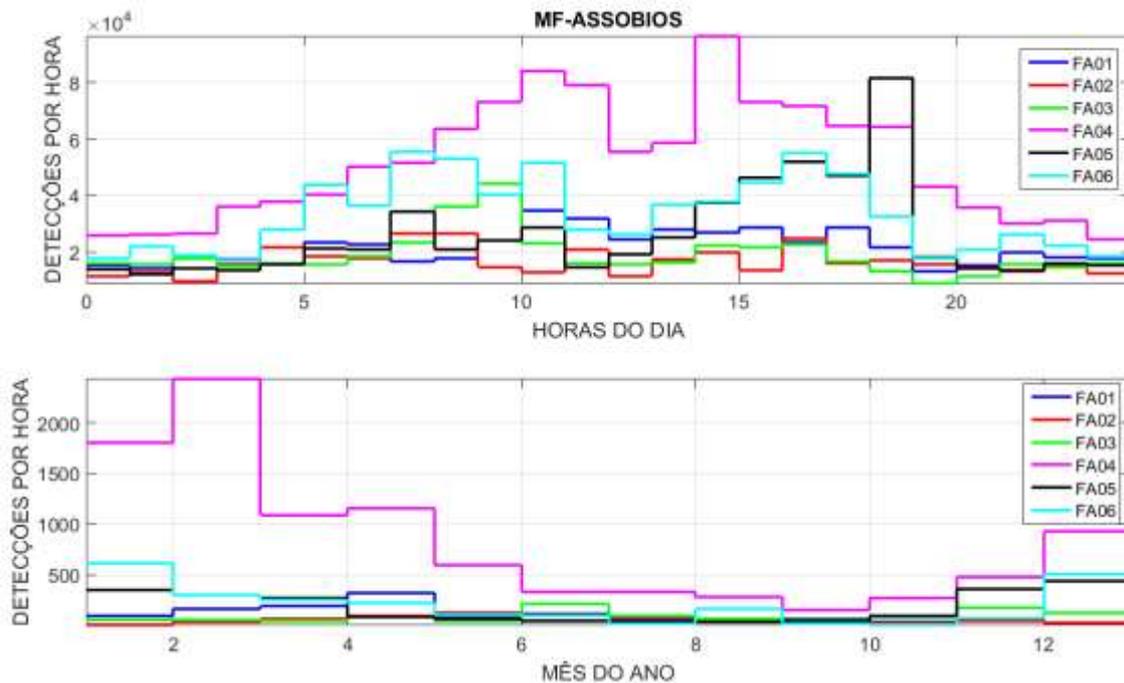


Figura III.4.2-7: Detecções por hora para cada hora do dia e para cada mês do ano, para as detecções do tipo “Assobios” na banda MF, para as linhas FA01, FA02, FA03, FA04, FA05 e FA06.

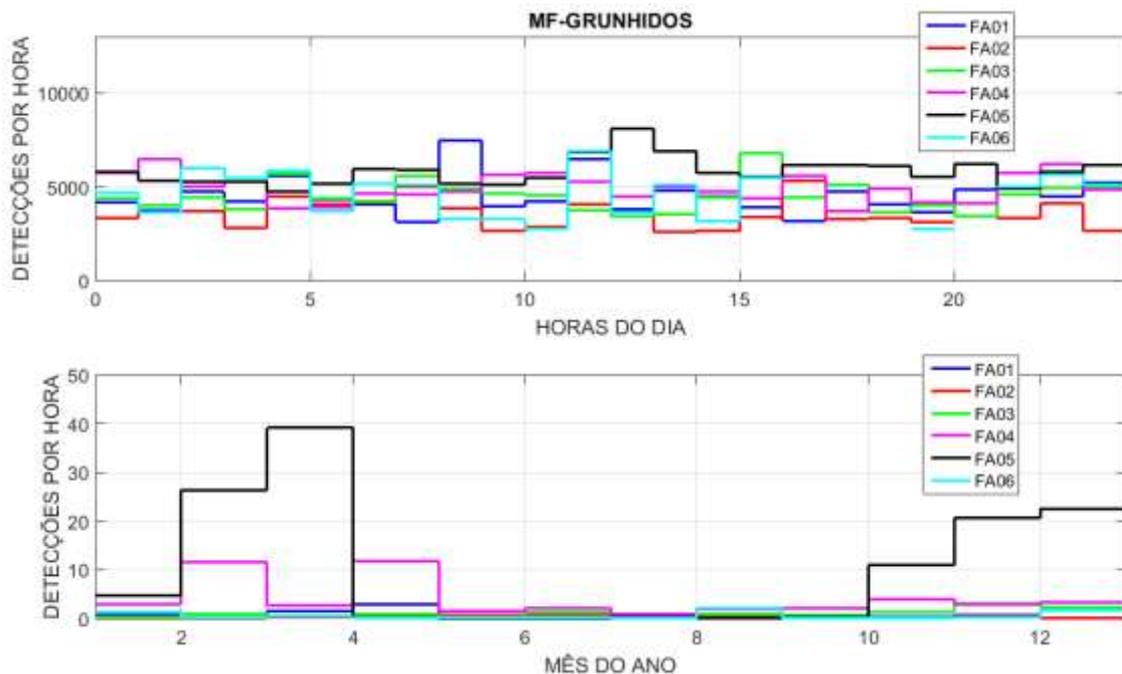


Figura III.4.2-8: Detecções por hora para cada hora do dia e para cada mês do ano, para as detecções do tipo “Grunhidos” na banda MF, para as linhas FA01, FA02, FA03, FA04, FA05 e FA06.

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).



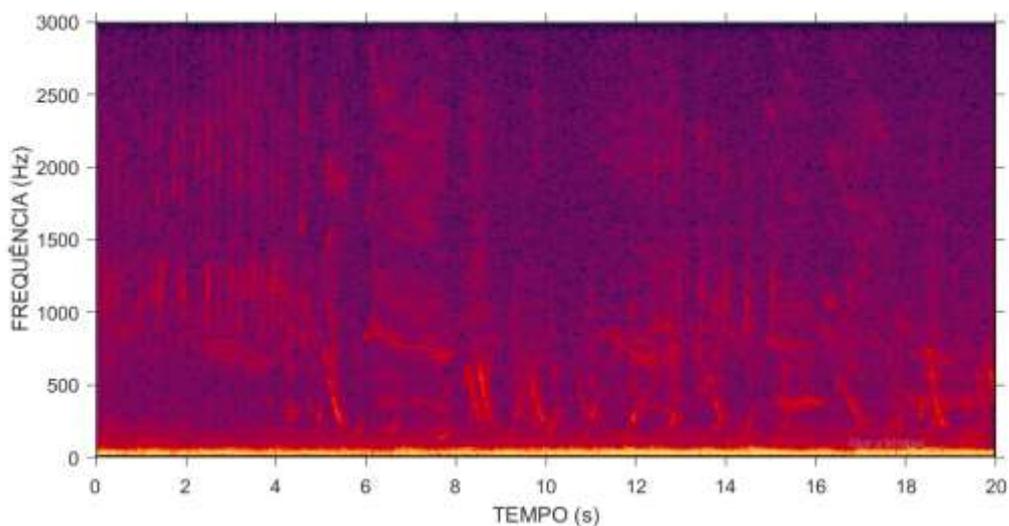


Figura III.4.2-9: Espectrograma de um sinal com vocalizações do tipo “Gemidos” na banda LF, obtido na linha FA04, na profundidade de 950 m.

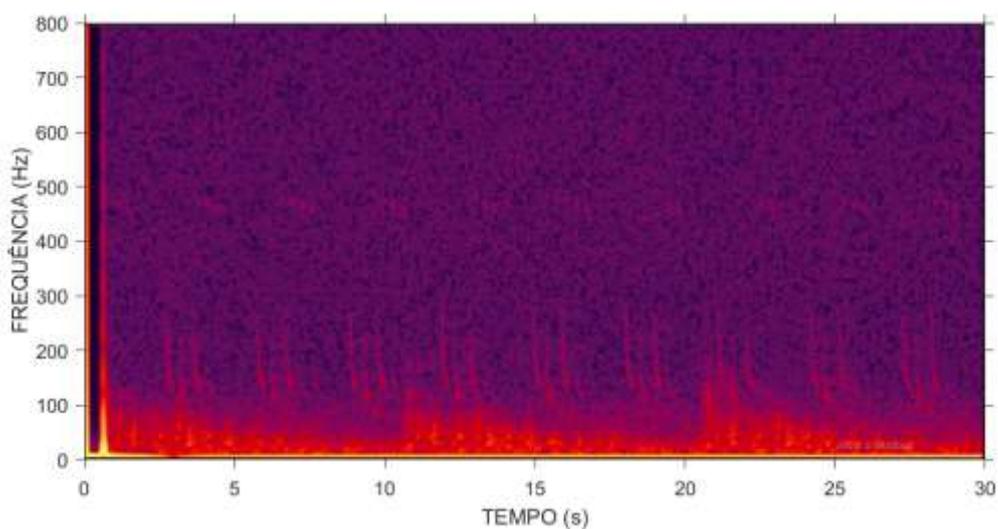


Figura III.4.2-10: Espectrograma de um sinal com vocalizações do tipo “Grunhidos” na banda LF, obtido na linha FA06, na profundidade de 950 m.



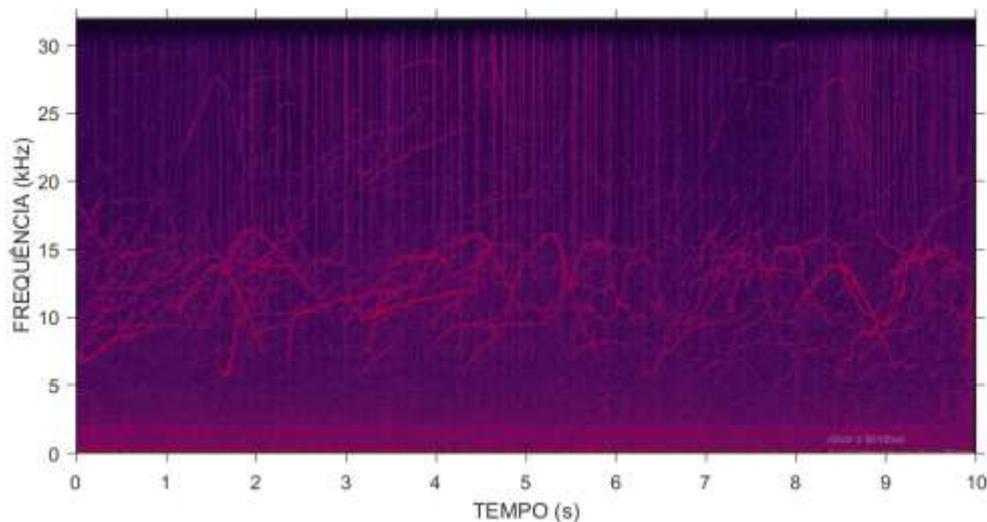


Figura III.4.2-11: Espectrograma de um sinal com uma vocalização do tipo “Assobios” na banda MF, obtido na linha FA04, na profundidade de 950 m.

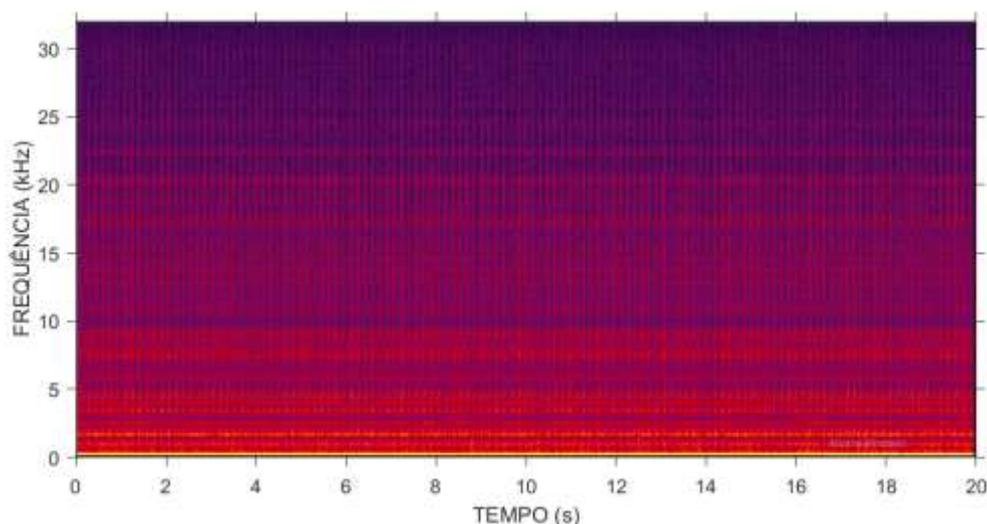


Figura III.4.2-12: Espectrograma de um sinal do próprio sistema, identificado como sendo do tipo “Gemidos” na banda MF, obtido na linha FA05 na profundidade de 950 m.

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

6º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2022

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





Coordenador da Equipe





Técnico Responsável

6º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2022

III.4.4 Detecção de Vocalizações nos OSs

A detecção de vocalizações de cetáceos foi feita para todas as gravações realizadas nos OSs até dezembro 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 15h. 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.

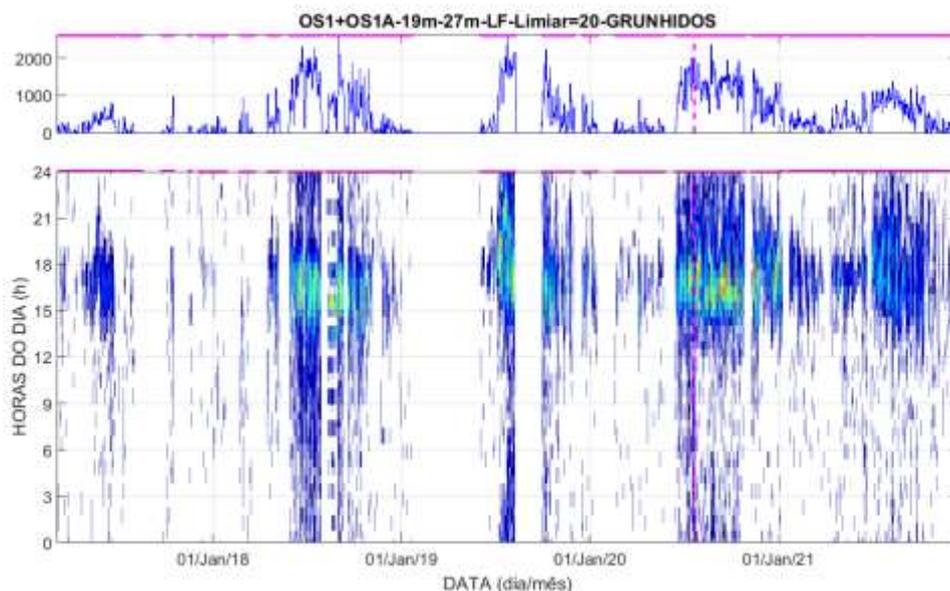


Figura III.4.4.1-1: Número de detecções de vocalizações classificadas como “Grunhidos” para os OS1 e OS1A, na Baía de Guanabara, na faixa de baixa frequência (LF). A parte de baixo mostra o número de detecções distribuído pelas horas do dia, para cada dia. A parte de cima mostra o total de detecções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



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.

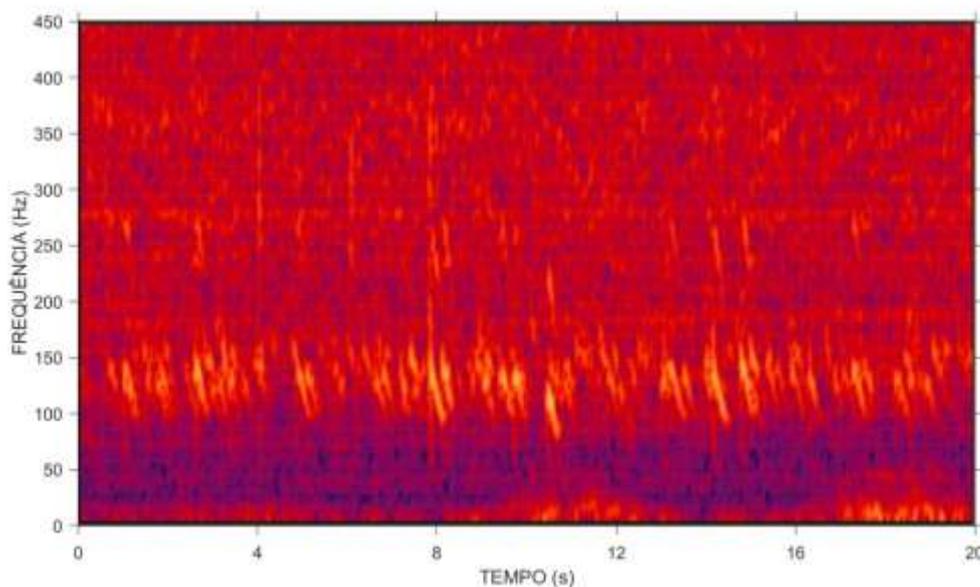


Figura III.4.4.1-2: Espectrograma de banda estreita mostrando 20 segundos de sinal num dos trechos de maior densidade de detecções da Figura III.4.4.1-1-C.

A detecção de “Grunhidos” na banda MF (gráfico não apresentado aqui) mostraram poucos trechos com detecção e nenhum padrão temporal definido. A Figura III.4.4.1-3 apresenta um espectrograma de 20 segundos de sinal, na faixa de frequência de 0 a 2.000 Hz, mostrando um sinal de grunhido na banda MF. 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.



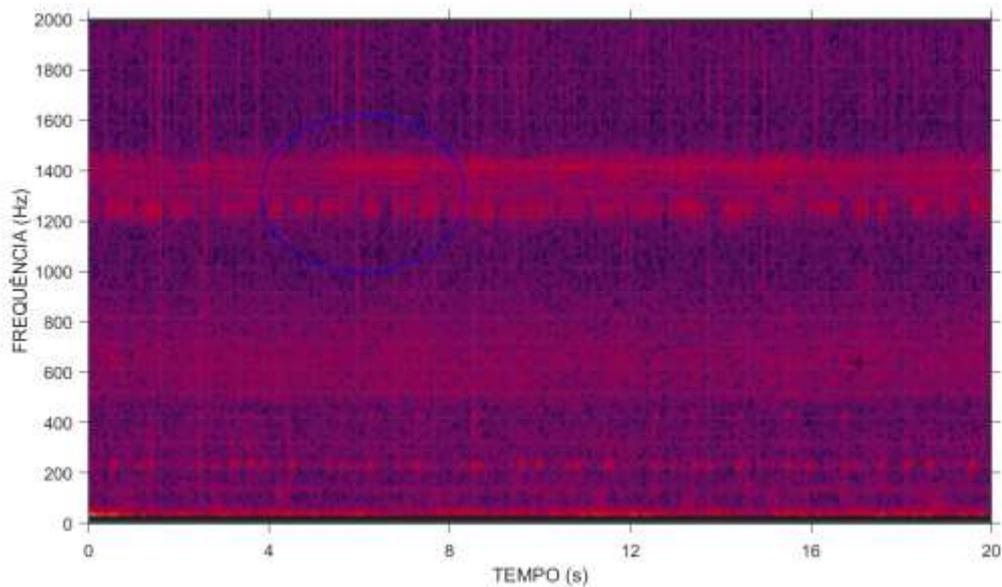


Figura III.4.4.1-3: Espectrograma de banda estreita mostrando 20 segundos de sinal num dos trechos de maior densidade de detecções para o padrão “Grunhidos” na banda MF

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.



Coordenador da Equipe



Técnico Responsável

6º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2022

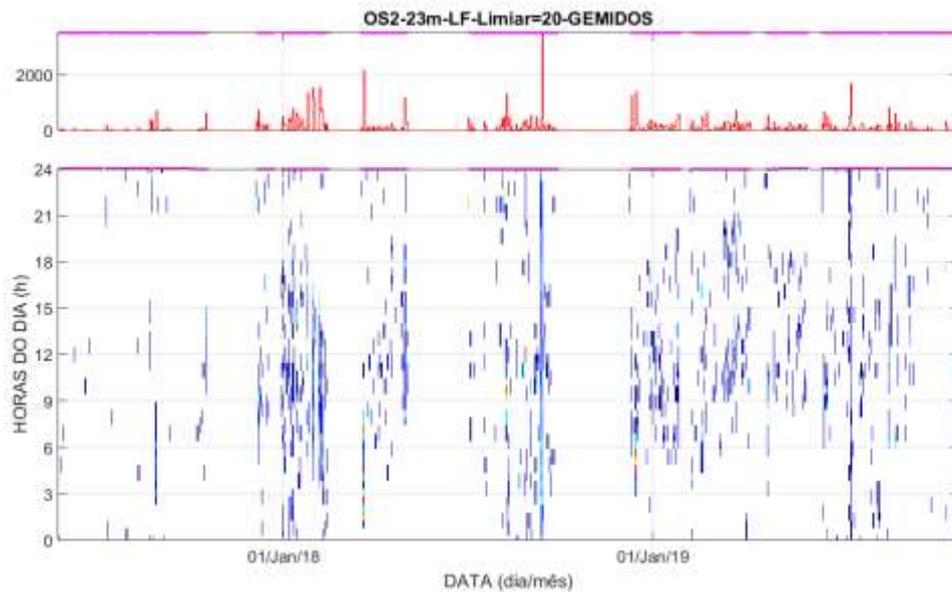


Figura III.4.4.2-1: Número de detecções de vocalizações classificadas como “Gemidos” para os OS2, na Baía de Ilha Grande, na faixa de baixa frequência (LF). A parte de baixo mostra o número de detecções distribuído pelas horas do dia, para cada dia. A parte de cima mostra o total de detecções por dia.

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.



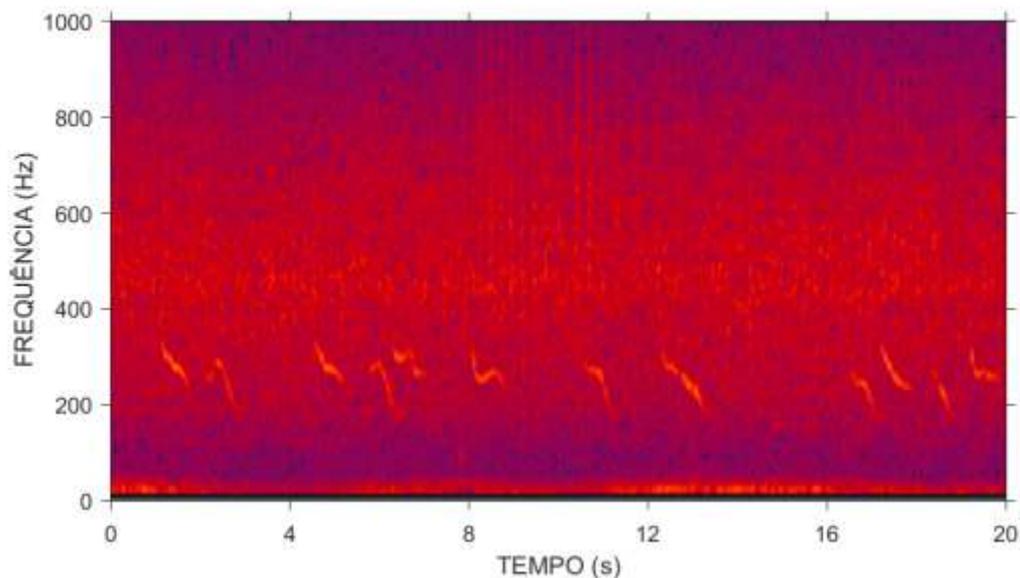


Figura III.4.4.2-2: Espectrograma de banda estreita mostrando 20 segundos de sinal num dos trechos de maior densidade de detecções da Figura III.4.4.2-1.

A detecção de “Grunhidos” na banda LF (gráfico não apresentado aqui) mostrou alguns padrões parecidos com os padrões obtidos na detecção de “Gemidos” nesta banda, levando a crer que algumas vocalizações ou trechos delas tenham sido detectadas como se fossem “Grunhidos”.

A Figura III.4.4.2-3 mostra um sinal encontrado num trecho das detecções de “Grunhidos”, 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.



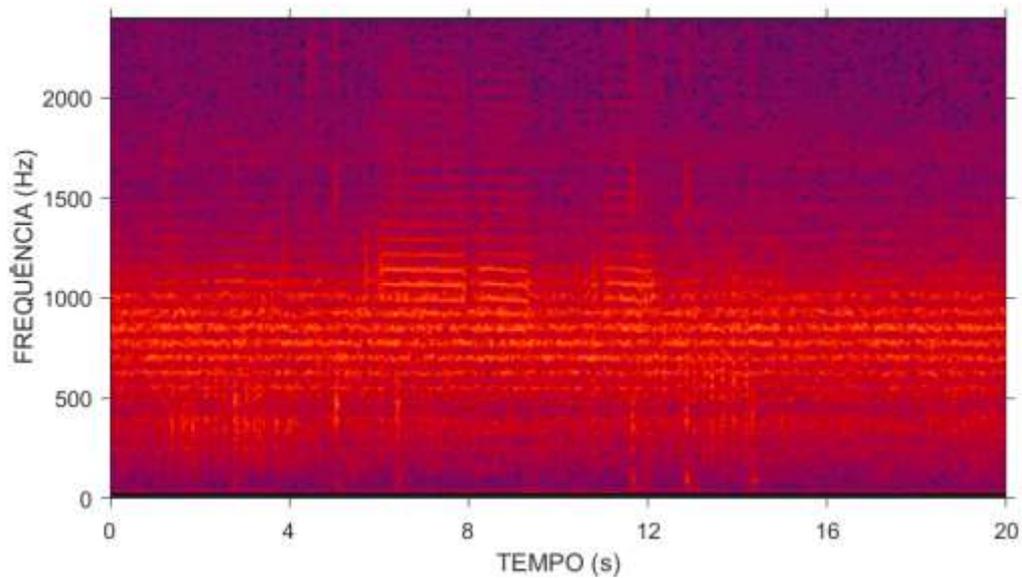


Figura III.4.4.2-3: Espectrograma de banda estreita mostrando 20 segundos de sinal num dos trechos de maior densidade de detecções de “Grunhidos” na banda LF no OS2.

A Figura III.4.4.2-4 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 “Assobios” para a banda MF no OS2. As detecções ocorrem praticamente durante todo o tempo, com predominância entre as 15h de um dia até antes das 10h do dia seguinte.



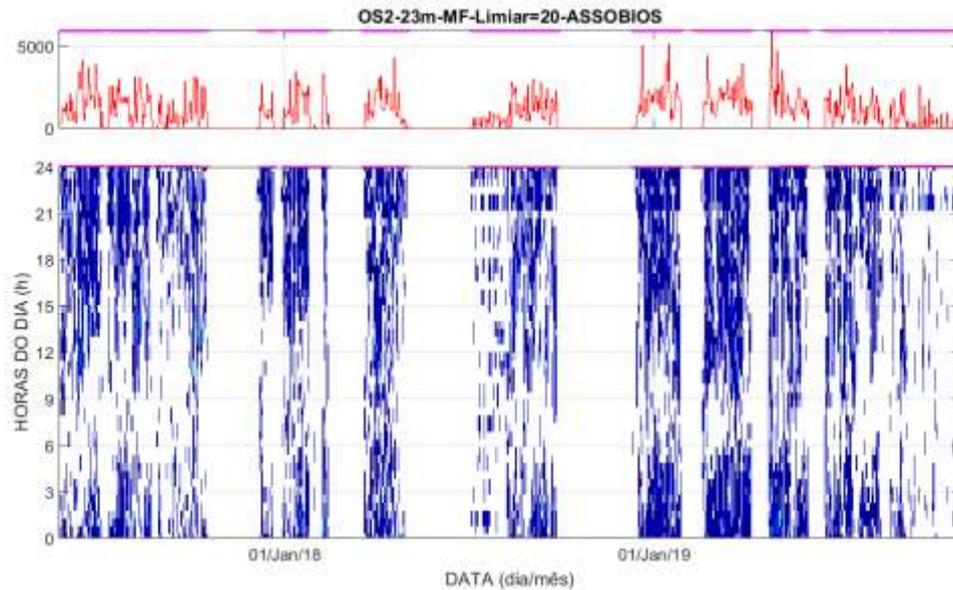


Figura III.4.4.2-4: Número de detecções de vocalizações classificadas como “Assobios” para os OS2, na Baía de Ilha Grande, na faixa de média frequência (MF). A parte de baixo mostra o número de detecções distribuído pelas horas do dia, para cada dia. A parte de cima mostra o total de detecções por dia.

A Figura III.4.4.2-5 mostra um sinal encontrado num trecho com maior densidade de detecções da Figura III.4.4.2-4. 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.

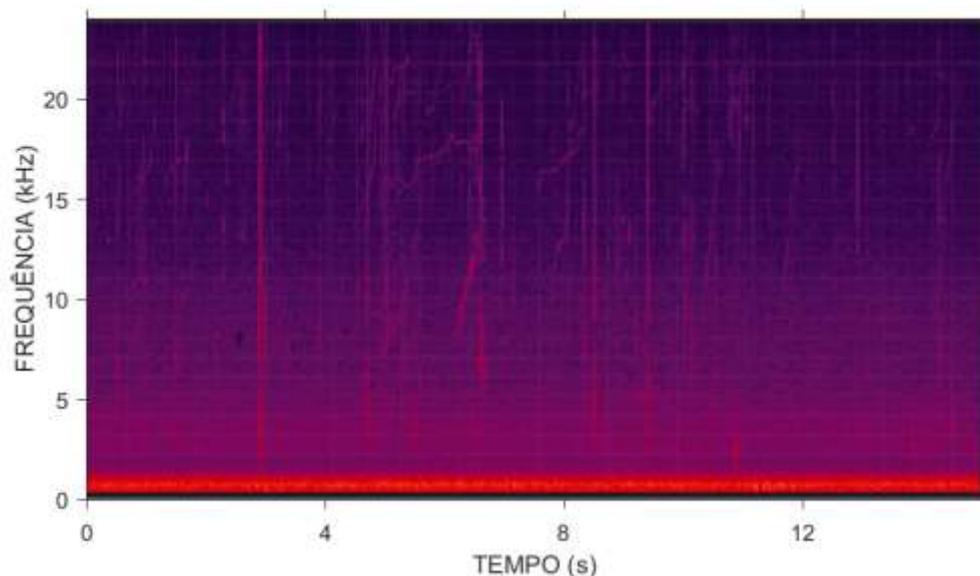


Figura III.4.4.2-5: Espectrograma de banda estreita mostrando 15 segundos de sinal num dos trechos de maior densidade de detecções da Figura III.4.4.2-4.



A Figura III.4.4.2-6 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 “Grunhidos” para a banda MF no OS2. As detecções ocorrem do final da noite até o início da manhã.

A Figura III.4.4.2-7 mostra um sinal encontrado num trecho com maior densidade de detecções da Figura III.4.4.2-6. 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.

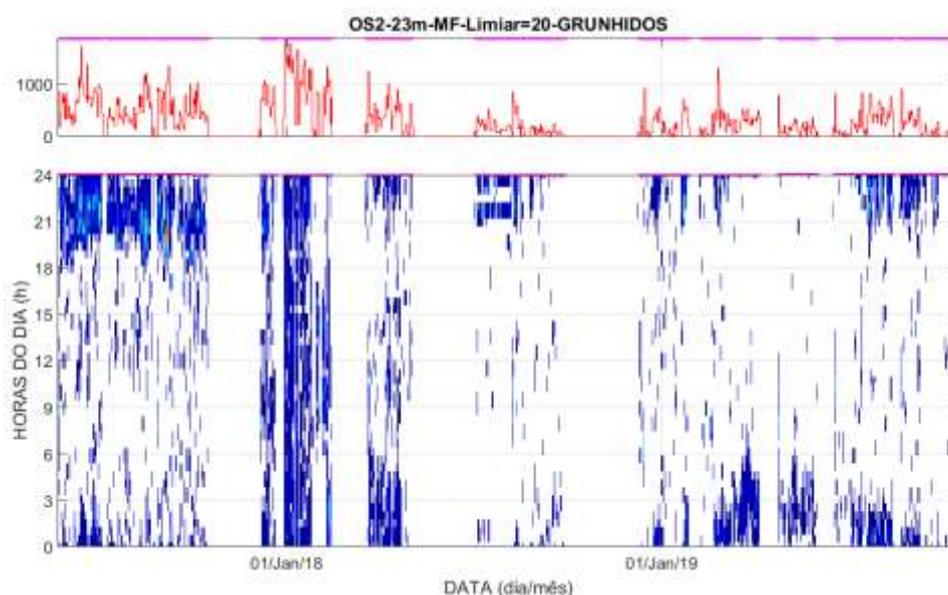


Figura III.4.4.2-6: Número de detecções de vocalizações classificadas como “Grunhidos” para os OS2, na Baía de Ilha Grande, na faixa de média frequência (MF). A parte de baixo mostra o número de detecções distribuído pelas horas do dia, para cada dia. A parte de cima mostra o total de detecções por dia.



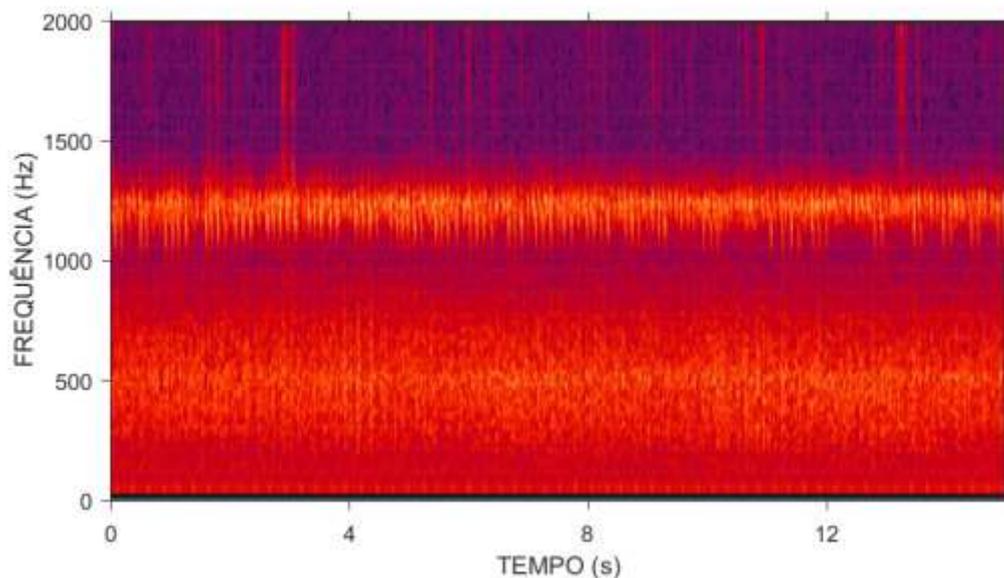


Figura III.4.4.2-7: Espectrograma de banda estreita mostrando 15 segundos de sinal num dos trechos de maior densidade de detecções da Figura III.4.4.2-6.

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.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

6º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2022

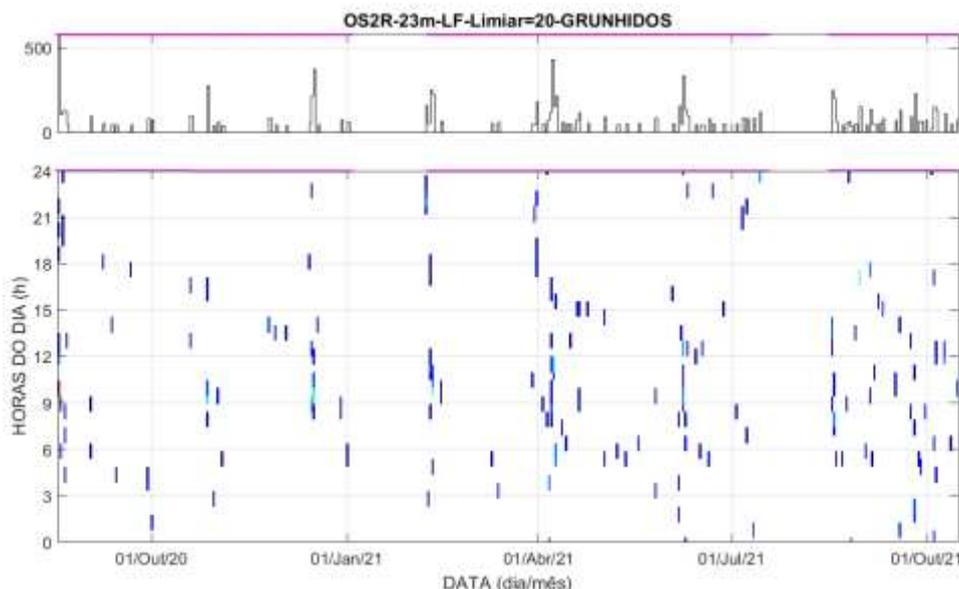


Figura III.4.4.3-1: Número de detecções de vocalizações classificadas como “Grunhidos” para o OS2R, no lado oeste de Ilha Grande, na faixa de baixa frequência (LF). A parte de baixo mostra o número de detecções distribuído pelas horas do dia, para cada dia. A parte de cima mostra o total de detecções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

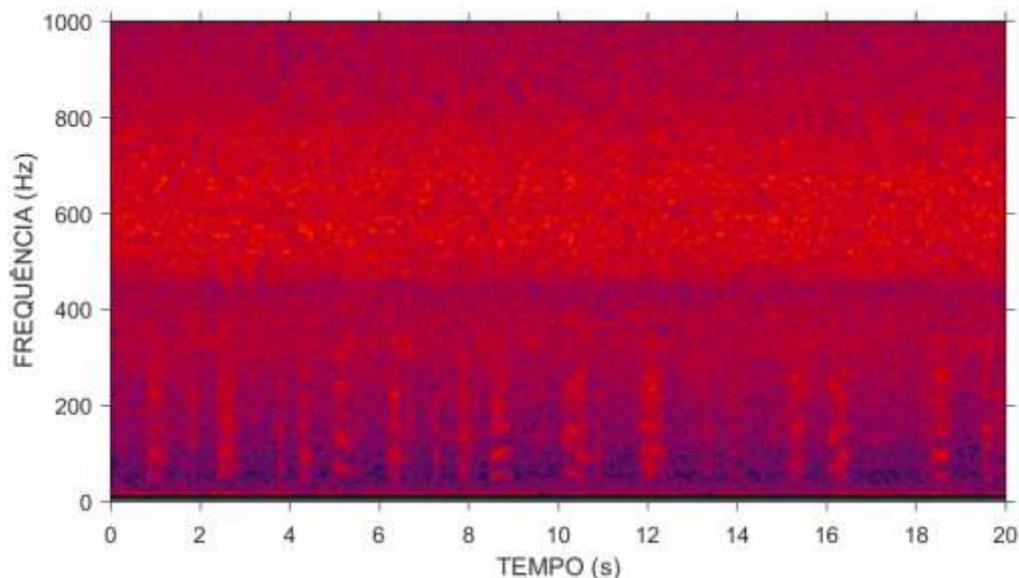


Figura III.4.4.3-2: Espectrograma de banda estreita mostrando 20 segundos de sinal num dos trechos de maior densidade de detecções da Figura III.4.4.3-1.



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.

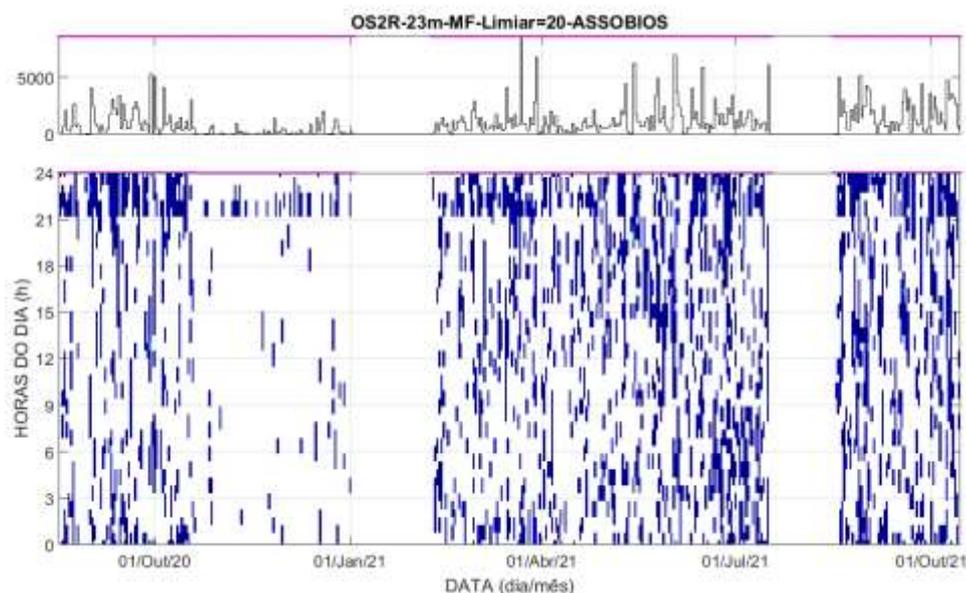


Figura III.4.4.3-3: Número de detecções de vocalizações classificadas como “Assobios” para o OS2R, no lado oeste de Ilha Grande, na faixa de média frequência (MF). A parte de baixo mostra o número de detecções distribuído pelas horas do dia, para cada dia. A parte de cima mostra o total de detecções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

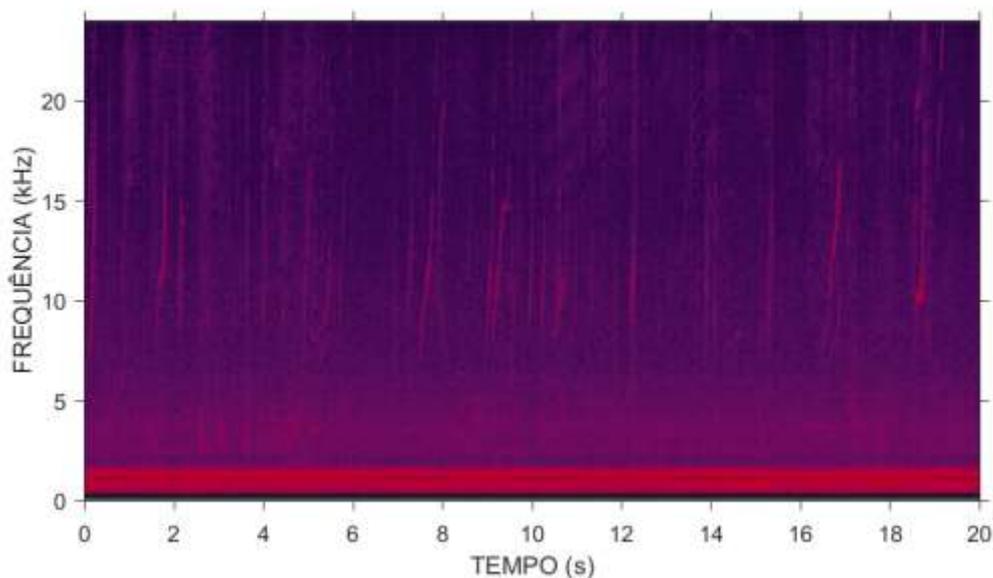


Figura III.4.4.3-4: Espectrograma de banda estreita mostrando 20 segundos de sinal num dos trechos de maior densidade de detecções da Figura III.4.4.3-3.

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



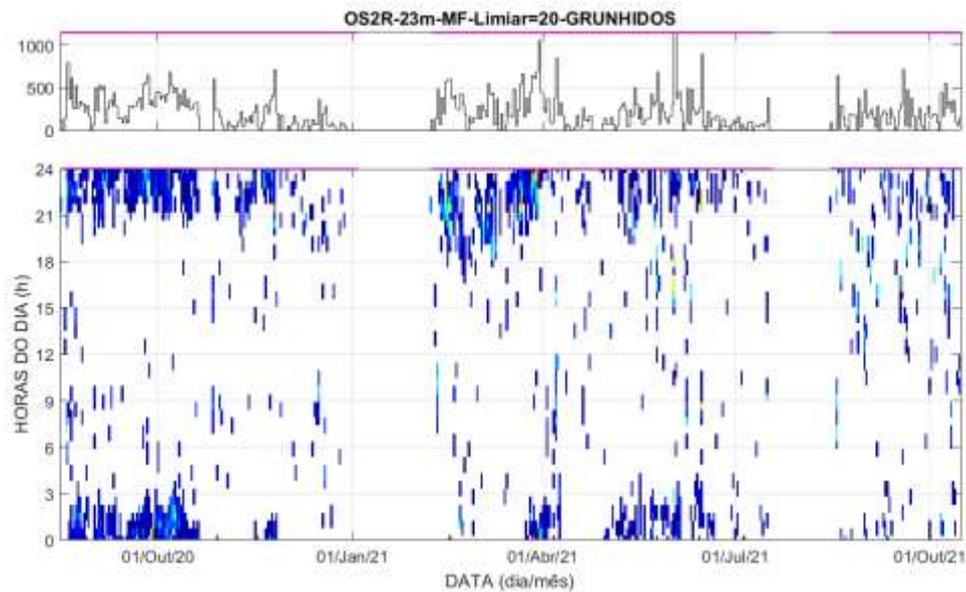


Figura III.4.4.3-5: Número de detecções de vocalizações classificadas como “Grunhidos” para o OS2R, no lado oeste de Ilha Grande, na faixa de média frequência (MF). A parte de baixo mostra o número de detecções distribuído pelas horas do dia, para cada dia. A parte de cima mostra o total de detecções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

A Figura III.4.4.3-6 mostra um sinal encontrado num trecho com maior densidade de detecções 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.



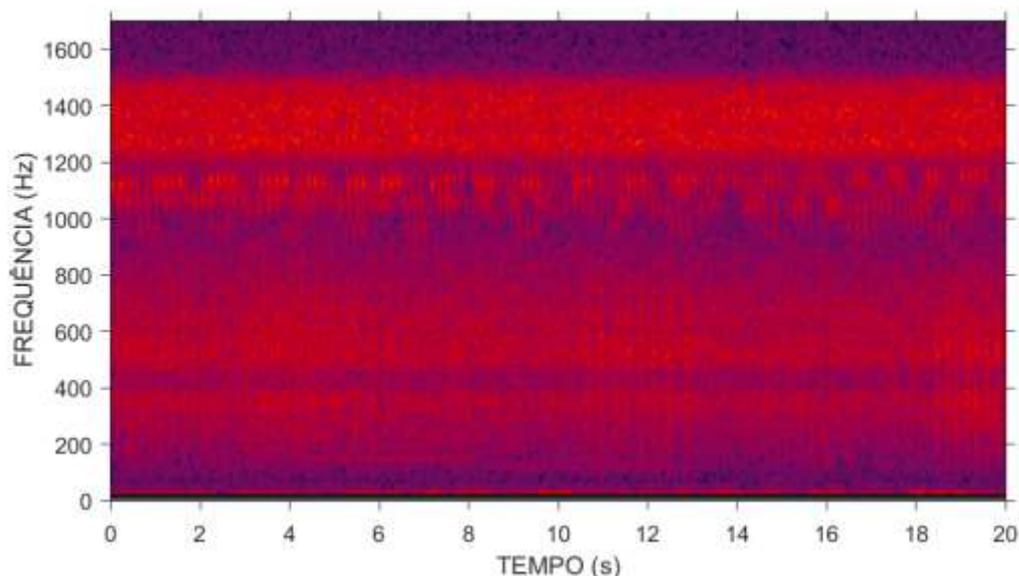


Figura III.4.4.3-6: Espectrograma de banda estreita mostrando 20 segundos de sinal num dos trechos de maior densidade de detecções da Figura III.4.4.3-5.

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.



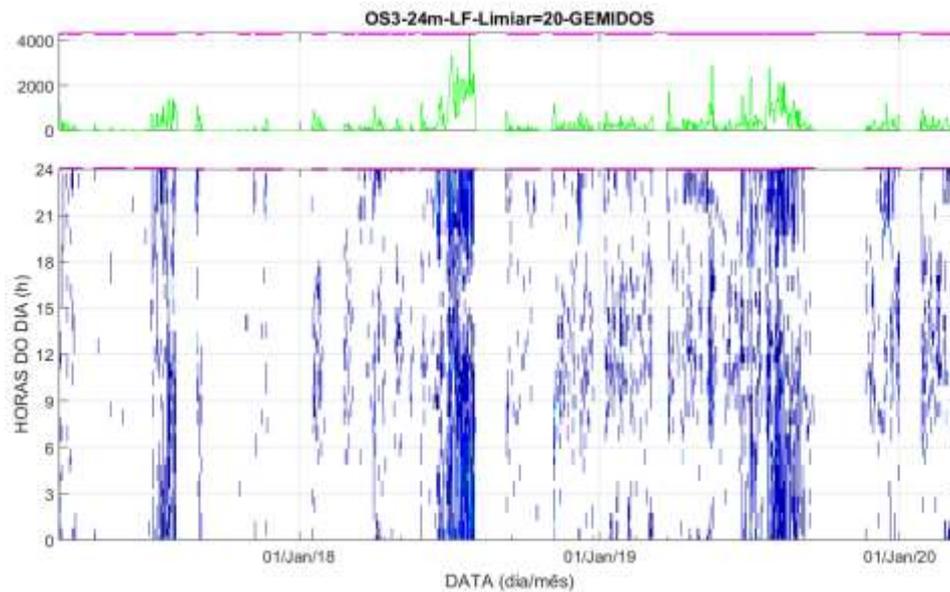


Figura III.4.4.4-1: Número de detecções de vocalizações classificadas como “Gemidos” para os OS3, no Canal de São Sebastião, na faixa de baixa frequência (LF). A parte de baixo mostra o número de detecções distribuído pelas horas do dia, para cada dia. A parte de cima mostra o total de detecções por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

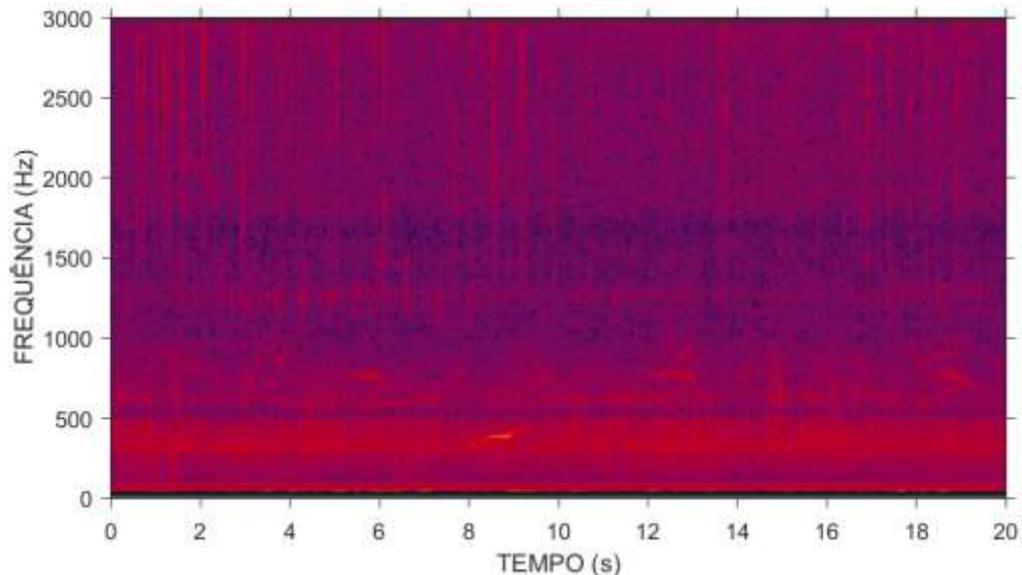


Figura III.4.4.4-2: Espectrograma de banda estreita mostrando 20 segundos de sinal num dos trechos de maior densidade de detecções da Figura III.4.4.4-1.



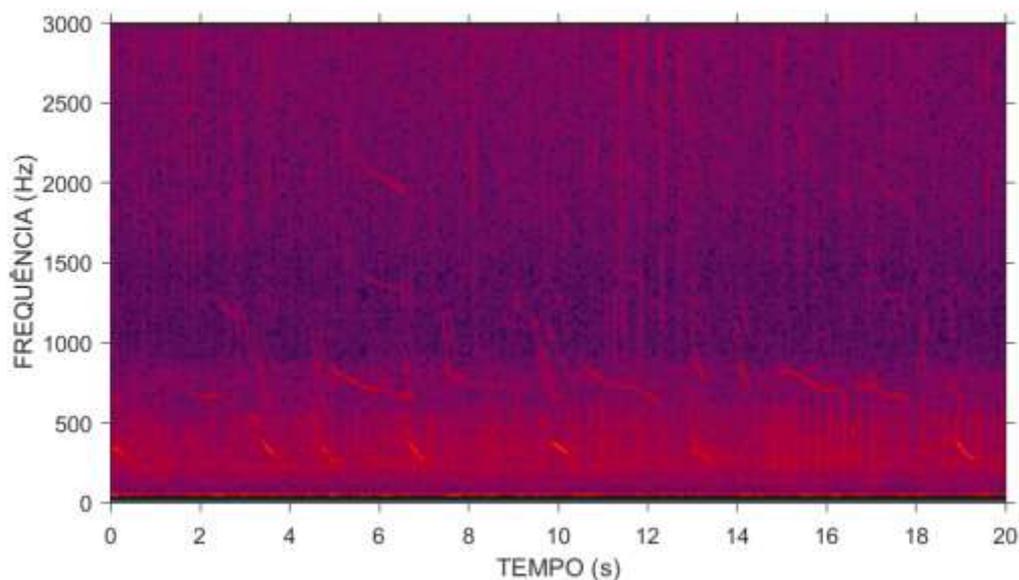


Figura III.4.4.4-3: Espectrograma de banda estreita mostrando 20 segundos de sinal num dos trechos de maior densidade de detecções da Figura III.4.4.4-1.

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.



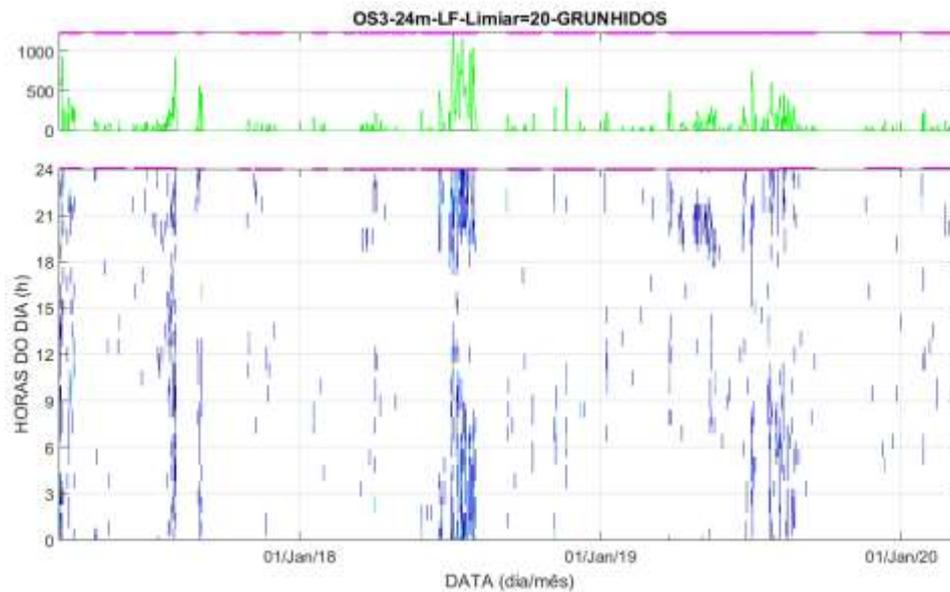


Figura III.4.4.4-4: Número de detecções de vocalizações classificadas como “Grunhidos” para os OS3, no Canal de São Sebastião, na faixa de baixa frequência (LF). A parte de baixo mostra o número de detecções distribuído pelas horas do dia, para cada dia. A parte de cima mostra o total de detecções por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



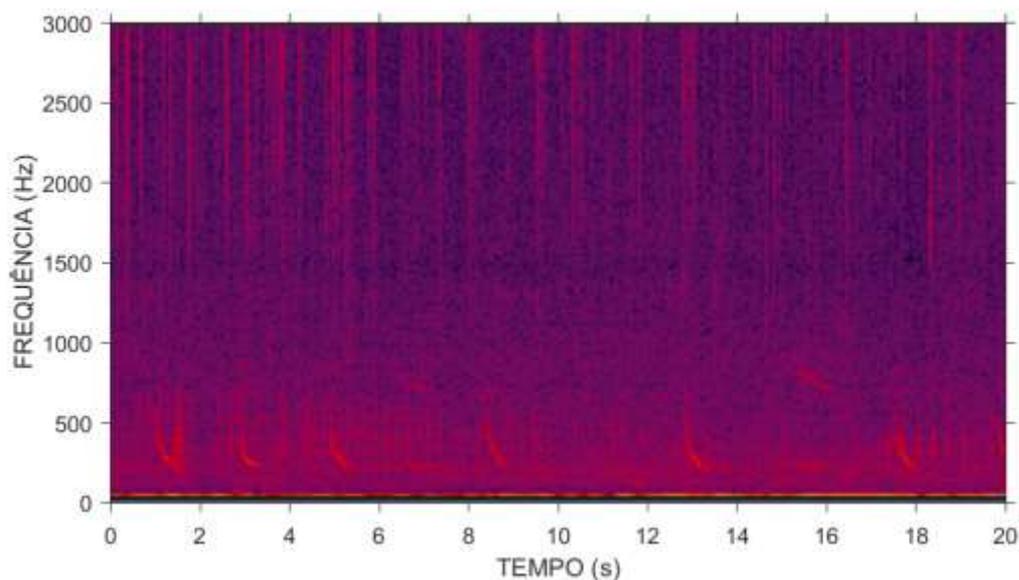


Figura III.4.4.4-5: Espectrograma de banda estreita mostrando 20 segundos de sinal num dos trechos de maior densidade de detecções da Figura III.4.4.4-4.

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.



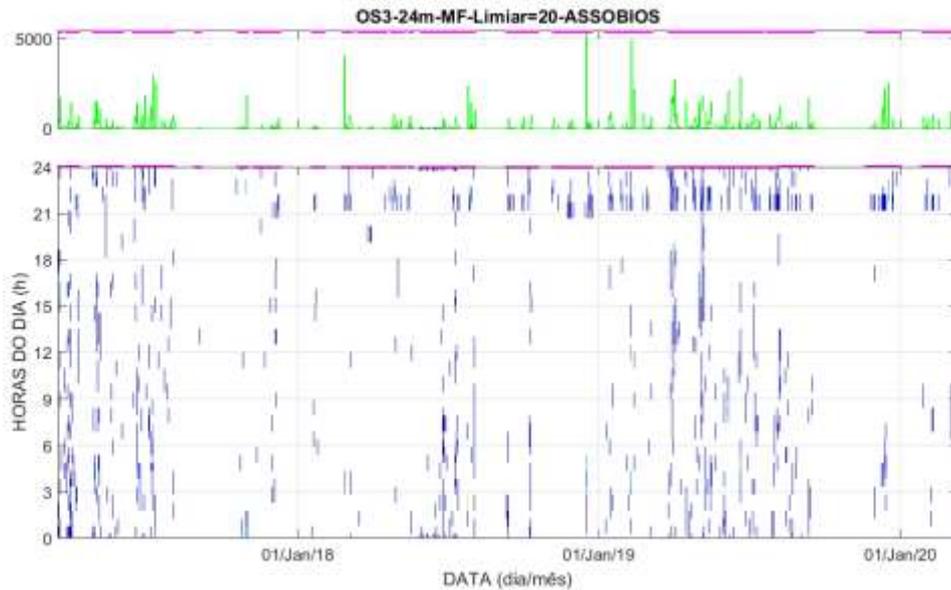


Figura III.4.4.4-6: Número de detecções de vocalizações classificadas como “Assobios” para os OS3, no Canal de São Sebastião, na faixa de média frequência (MF). A parte de baixo mostra o número de detecções distribuído pelas horas do dia, para cada dia. A parte de cima mostra o total de detecções por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

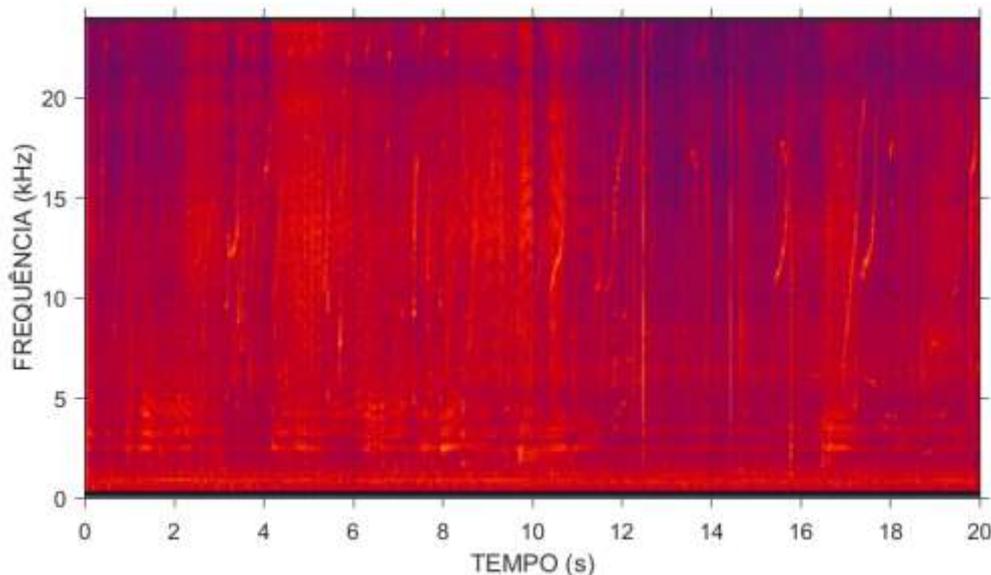


Figura III.4.4.4-7: Espectrograma de banda estreita mostrando 20 segundos de sinal num dos trechos de maior densidade de detecções da Figura III.4.4.4-6.

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.

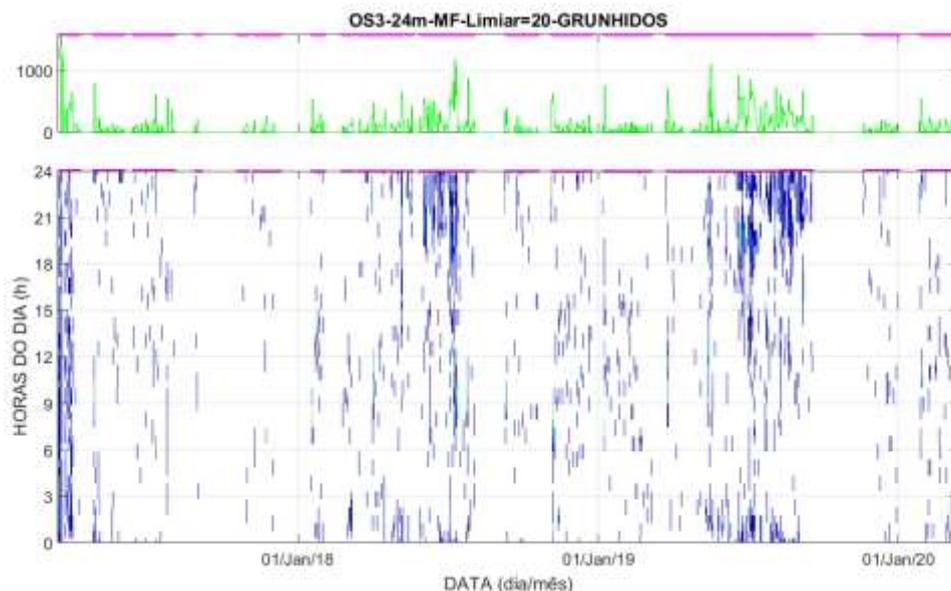


Figura III.4.4.4-8: Número de detecções de vocalizações classificadas como Grunhidos” para os OS3, no Canal de São Sebastião, na faixa de média frequência (MF). A parte de baixo mostra o número de detecções distribuído pelas horas do dia, para cada dia. A parte de cima mostra o total de detecções por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



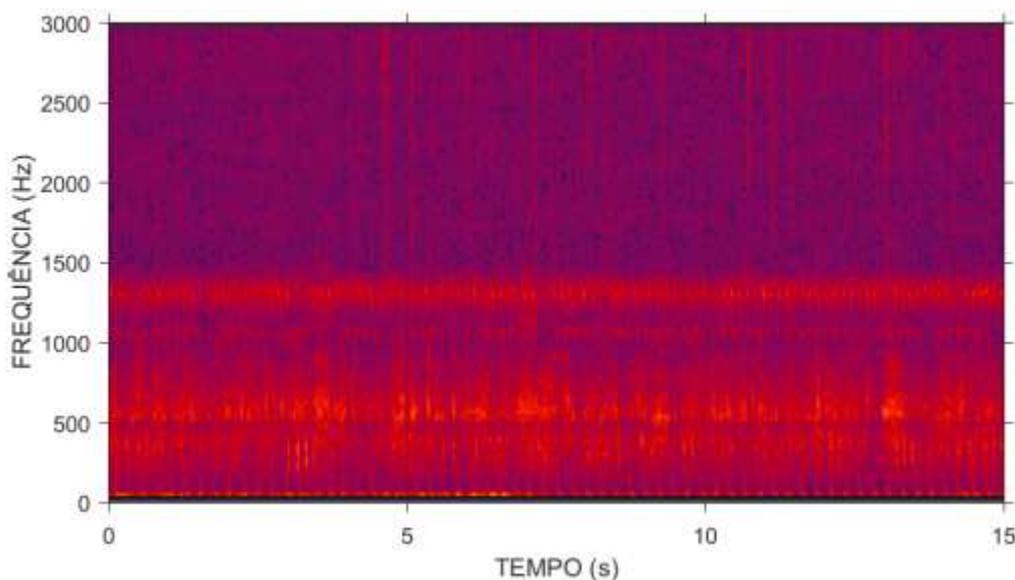


Figura III.4.4.4-9: Espectrograma de banda estreita mostrando 15 segundos de sinal num dos trechos de maior densidade de detecções da Figura III.4.4.4-8.

III.4.4.5 OS3R, OS3R1 e OS3R2– 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, OS3R1 e OS3R2. 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.



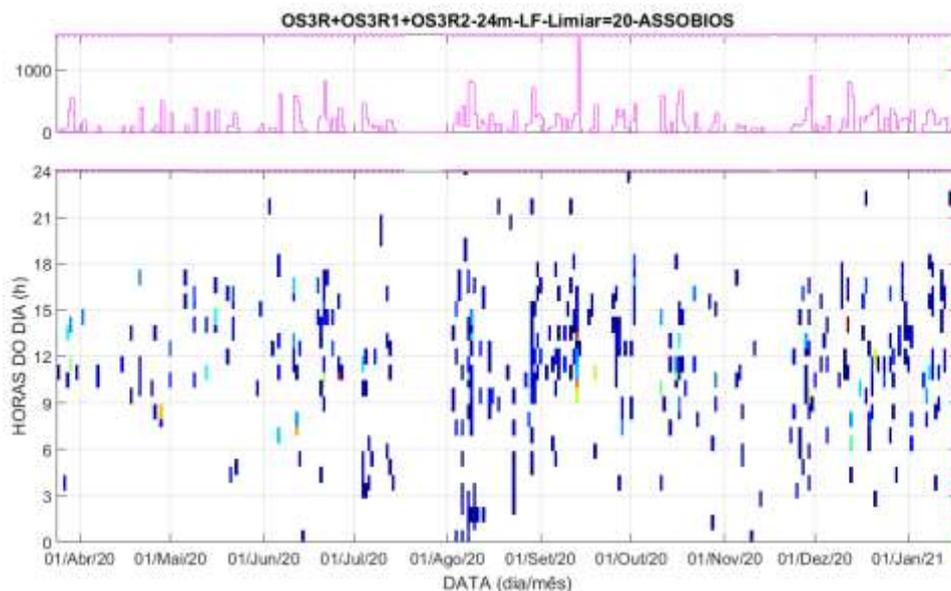


Figura III.4.4.5-1: Número de detecções de vocalizações classificadas como “Assobios” para os OS3R e OS3R1, nas Ilhas Cagarras, na faixa de baixa frequência (LF). A parte de baixo mostra o número de detecções distribuído pelas horas do dia, para cada dia. A parte de cima mostra o total de detecções por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

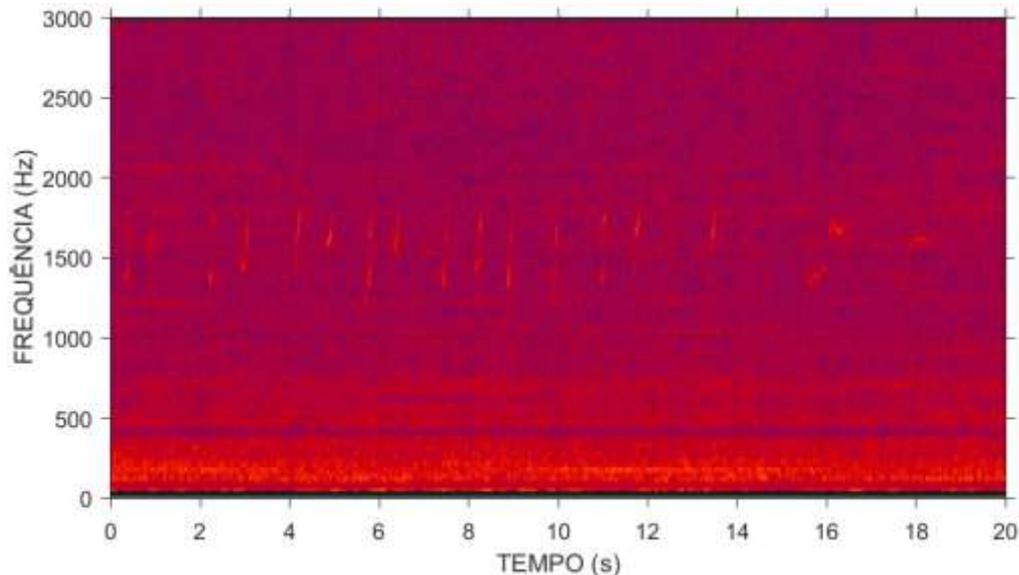


Figura III.4.4.5-2: Espectrograma de banda estreita mostrando 20 segundos de sinal num dos trechos de maior densidade de detecções da Figura III.4.4.5-1.



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, OS3R1 e OS3R2. As detecções ocorreram principalmente na parte da noite até o fim da manhã, entre junho e outubro de 2020 e depois entre julho e outubro de 2021.

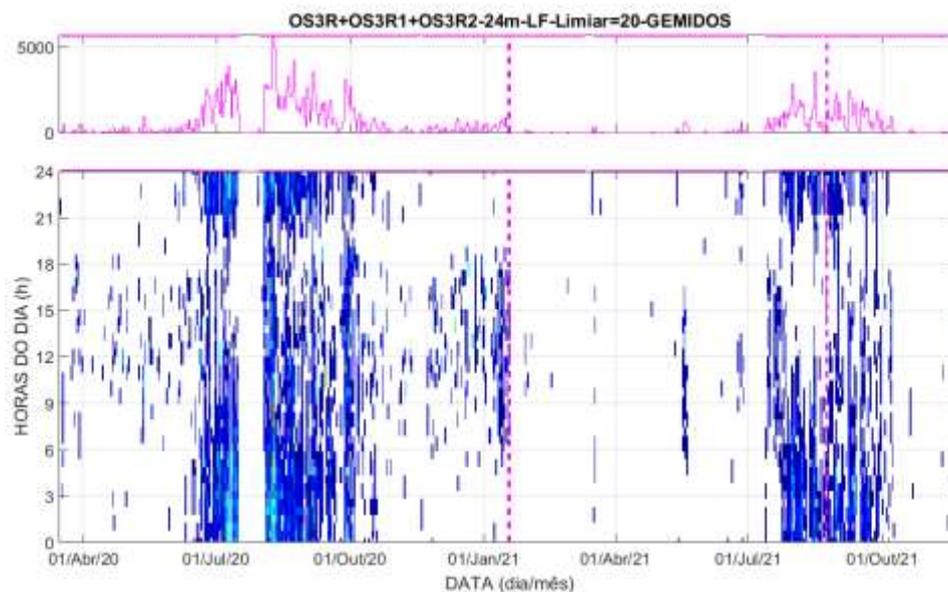


Figura III.4.4.5-3: Número de detecções de vocalizações classificadas como “Gemidos” (B) para os OS3R, OS3R1 e OS3R2, nas Ilhas Cagarras, na faixa de baixa frequência (LF). A parte de baixo mostra o número de detecções distribuído pelas horas do dia, para cada dia. A parte de cima mostra o total de detecções 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.



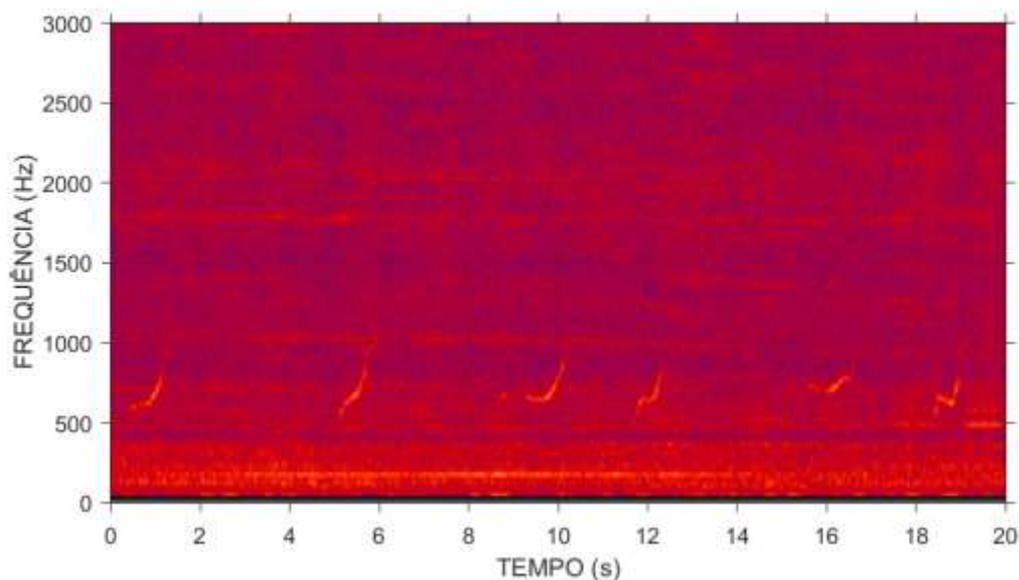


Figura III.4.4.5-4: Espectrograma de banda estreita mostrando 20 segundos de sinal num dos trechos de maior densidade de detecções da Figura III.4.4.5-3.

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, OS3R1 e OS3R2. 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.



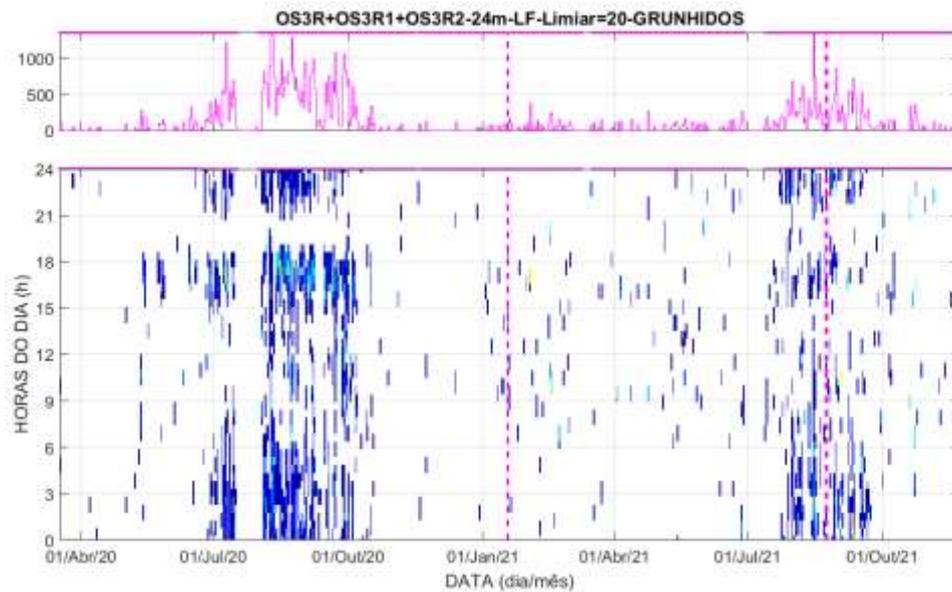


Figura III.4.4.5-5: Número de detecções de vocalizações classificadas como “Grunhidos” para os OS3R, OS3R1 e OS3R2, nas Ilhas Cagarras, na faixa de baixa frequência (LF). A parte de baixo mostra o número de detecções distribuído pelas horas do dia, para cada dia. A parte de cima mostra o total de detecções 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.



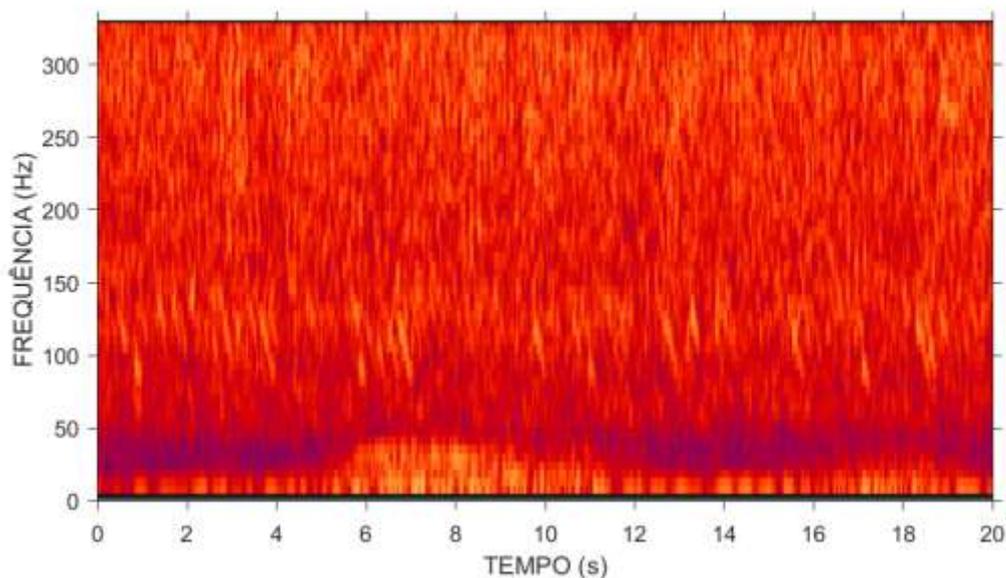


Figura III.4.4.5-6: Espectrograma de banda estreita mostrando 20 segundos de sinal num dos trechos de maior densidade de detecções da Figura III.4.4.5-5.

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, OS3R1 e OS3R2. 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.



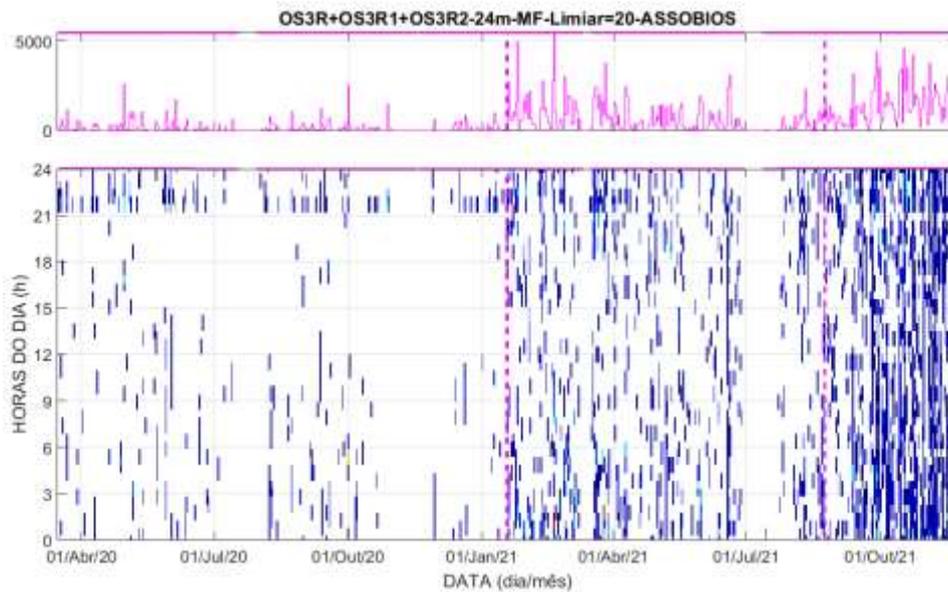


Figura III.4.4.5-7: Número de detecções de vocalizações classificadas como “Assobios” para os OS3R, OS3R1 e OS3R2, nas Ilhas Cagarras, na faixa de média frequência (MF). A parte de baixo mostra o número de detecções distribuído pelas horas do dia, para cada dia. A parte de cima mostra o total de detecções por dia.

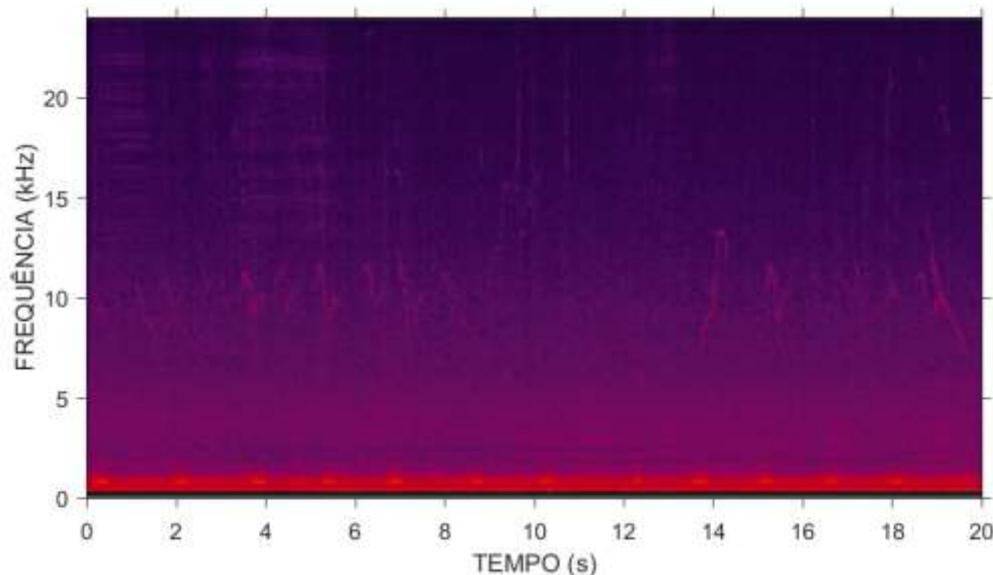


Figura III.4.4.5-8: Espectrograma de banda estreita mostrando 20 segundos de sinal num dos trechos de maior densidade de detecções da Figura III.4.4.5-7.

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,



OS3R1 e OS3R2. 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.

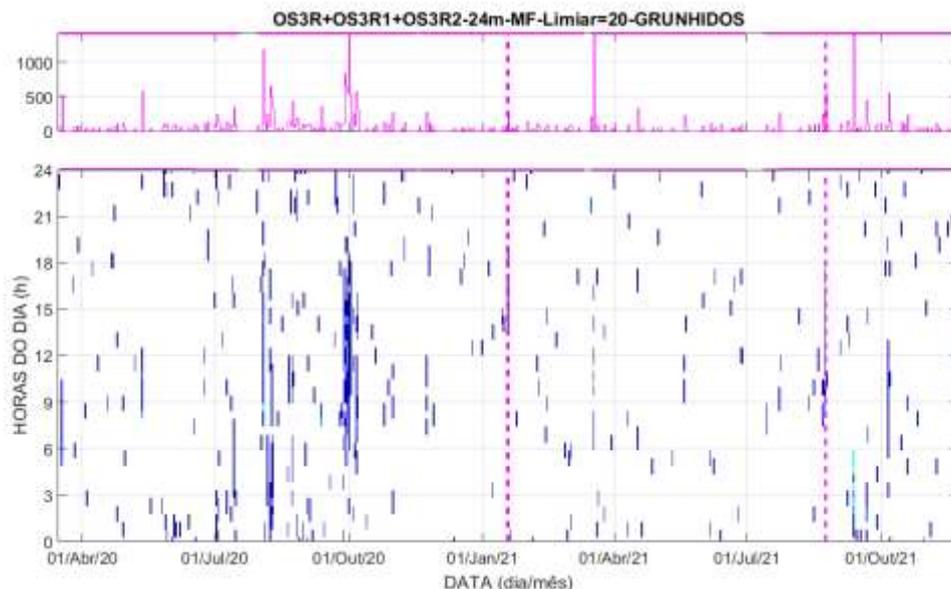


Figura III.4.4.5-9: Número de detecções de vocalizações classificadas como “Grunhidos” para os OS3R, OS3R1 e OS3R2, nas Ilhas Cagarras, na faixa de média frequência (MF). A parte de baixo mostra o número de detecções distribuído pelas horas do dia, para cada dia. A parte de cima mostra o total de detecções 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.



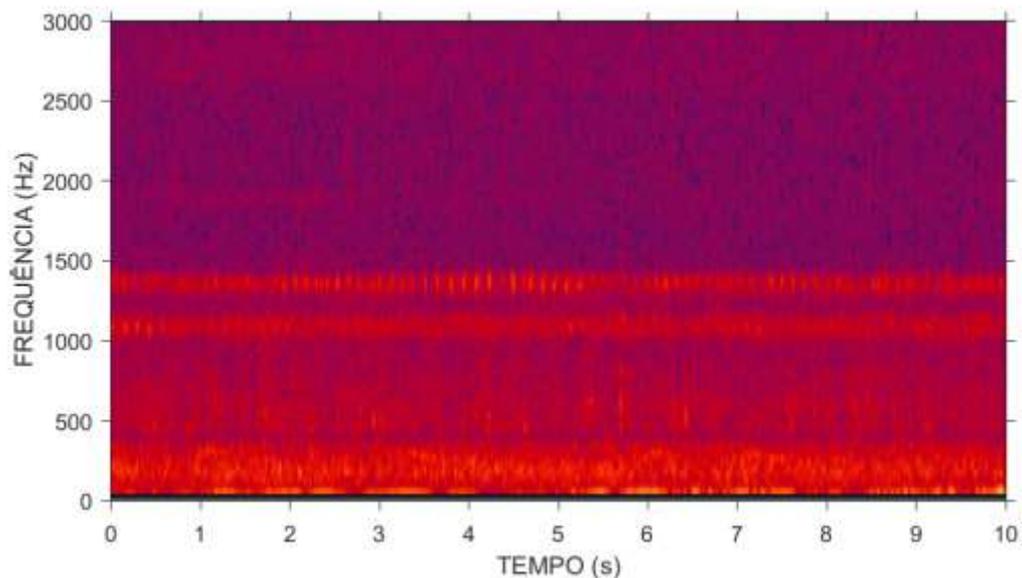


Figura III.4.4.5-10: Espectrograma de banda estreita mostrando 10 segundos de sinal num dos trechos de maior densidade de detecções da Figura III.4.4.5-9.

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 15h 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.



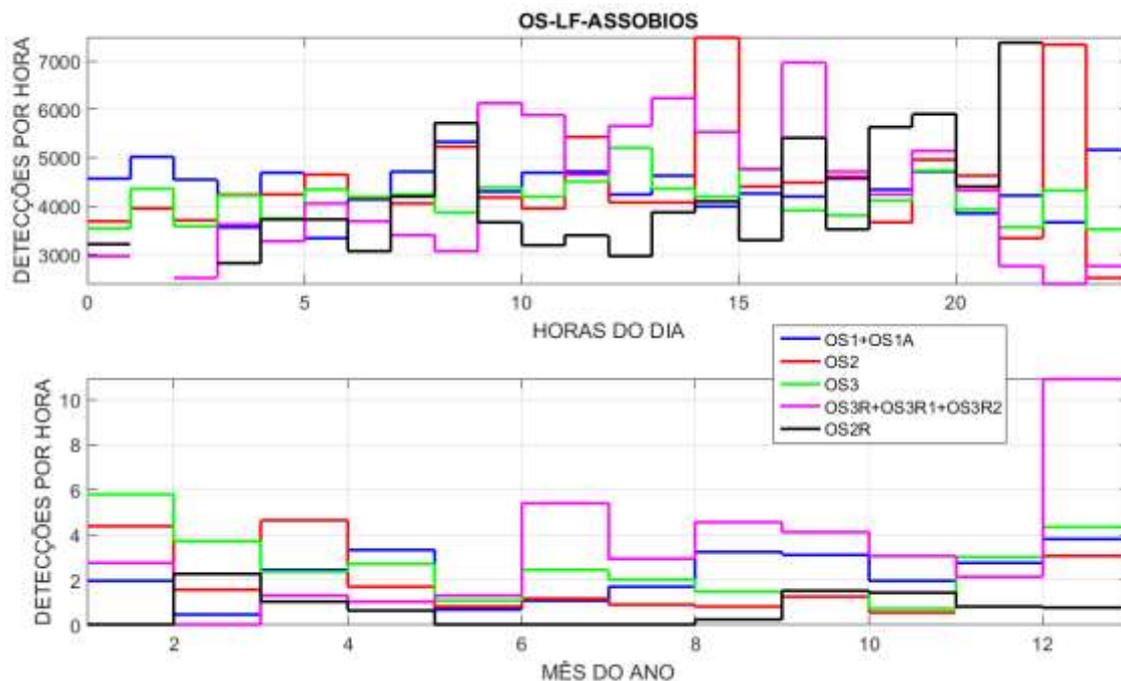


Figura III.4.4.6-1: Número de detecções na faixa de baixa frequências (LF) obtidas por hora do dia, no gráfico de cima e por mês do ano, no gráfico de baixo, para detecções classificadas como “Assobios”, para as posições OS1-OS1A, OS2, OS3 e OS3R-OS3R1-OS3R2.

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 21h de um dia até as 6h 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.

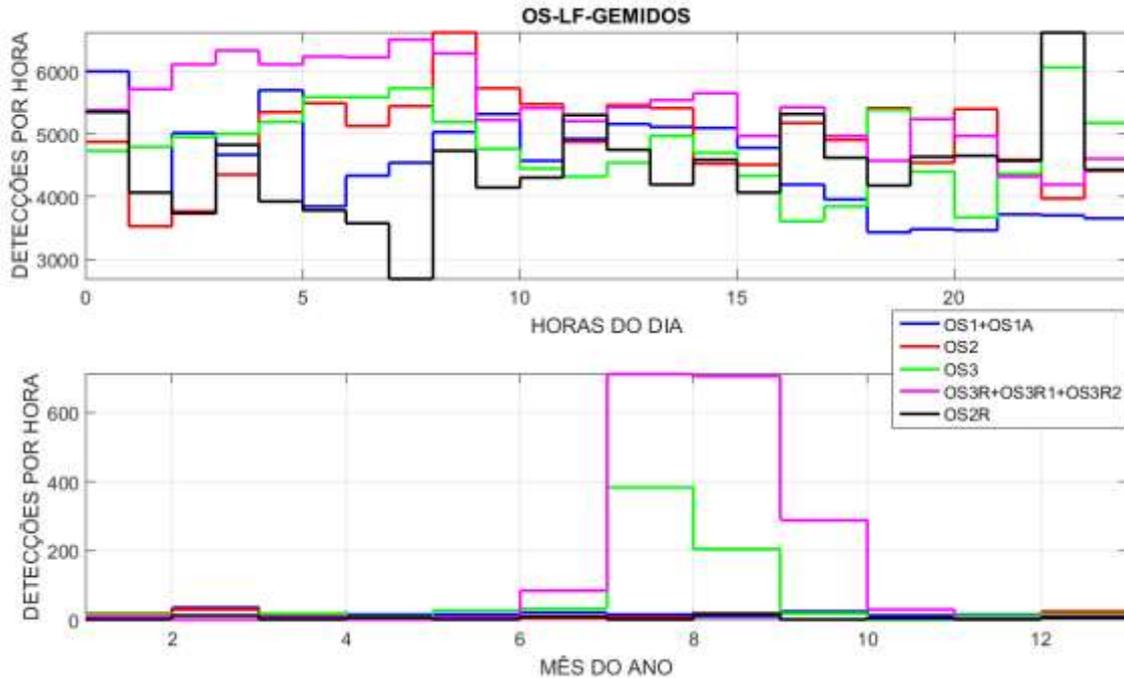


Figura III.4.4.6-2: Número de detecções na faixa de baixa frequências (LF) obtidas por hora do dia, no gráfico de cima e por mês do ano, no gráfico de baixo, para detecções classificadas como “Gemidos”, para as posições OS1-OS1A, OS2, OS3 e OS3-OS3R1.

Já para os “Grunhidos” (Figura III.4.4.6-3), as maiores detecções ocorreram no OS1-OS1A, com maiores contagem entre as 14h e as 19h e nos meses de junho a outubro. O OS3R-OS3R1 vem em seguida, com uma contagem menor, com seus máximos ocorrendo entre as 15h e 17h, nos meses de julho a setembro.



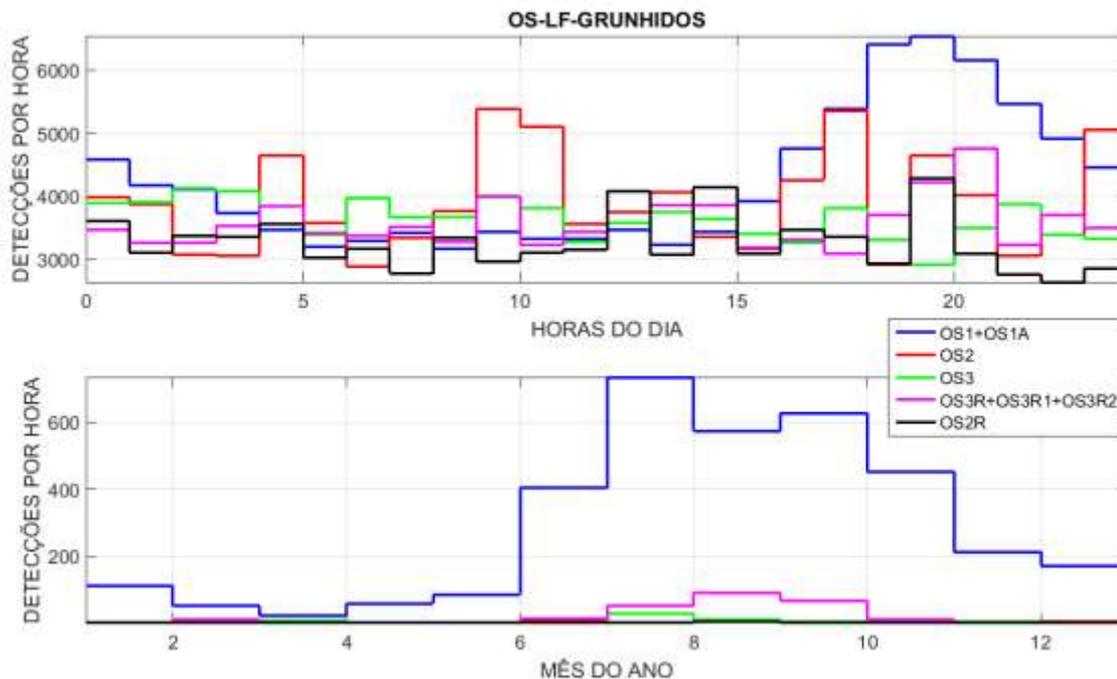


Figura III.4.4.6-3: Número de detecções na faixa de baixa frequências (LF) obtidas por hora do dia, no gráfico de cima e por mês do ano, no gráfico de baixo, para detecções classificadas como “Grunhidos, para as posições OS1-OS1A, OS2, OS3 e OS3-OS3R1.

Em relação à faixa MF, o maior número de detecções de “Assobios” (Figura III.4.4.6-4) ocorreu no período entre 21h 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.



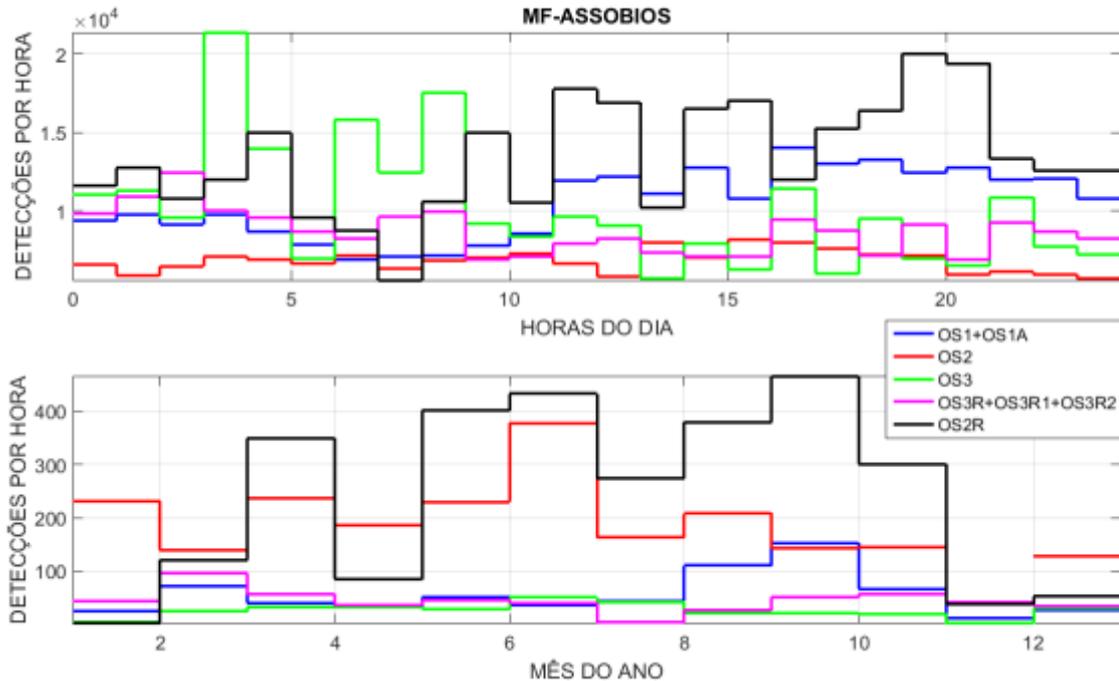


Figura III.4.4.6-4: Número de detecções na faixa de média frequências (MF) obtidas por hora do dia, no gráfico de cima e por mês do ano, no gráfico de baixo, para detecções classificadas como “Assobios”, para as posições OS1-OS1A, OS2, OS3 e OS3-OS3R1.

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 20h de um dia e as 2h 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.



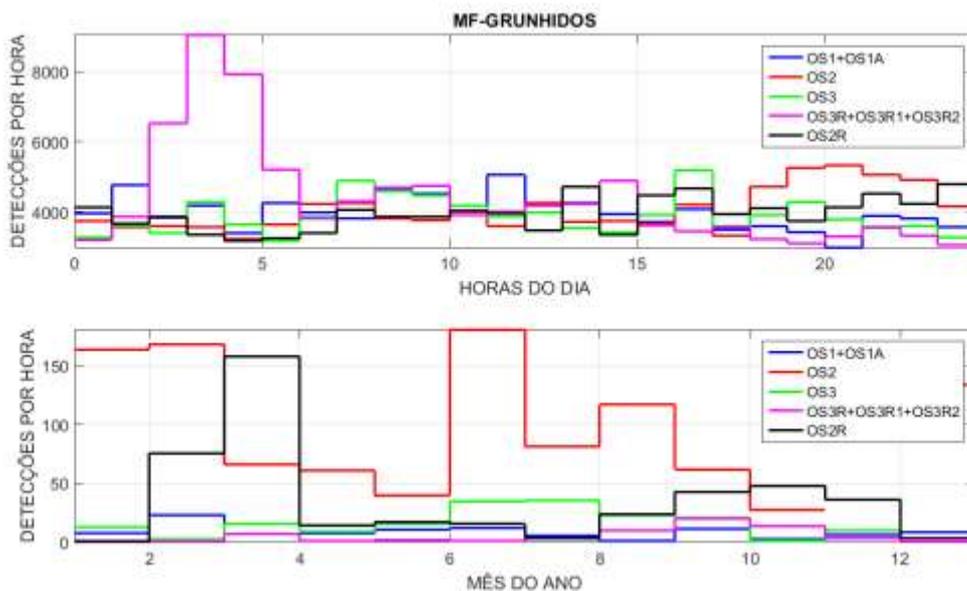


Figura III.4.4.6-5: Número de detecções na faixa de média frequências (MF) obtidas por hora do dia, no gráfico de cima e por mês do ano, no gráfico de baixo, para detecções classificadas como “Grunhidos, para as posições OS1-OS1A, OS2, OS3 e OS3-OS3R1.

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.



IV SISTEMA DE MODELAGEM ACÚSTICA SUBMARINA - SIMAS

O Sistema de Modelagem Acústica Submarina – SIMAS – é uma ferramenta para a previsão da paisagem acústica submarina, que tem como entrada os dados do sistema de identificação automática de navios (AIS), a assinatura acústica dos navios, os dados oceanográficos e os dados geofísicos. O sistema utiliza um modelo de propagação acústica baseado em modos normais. O objetivo é o desenvolvimento e implementação de um modelo computacional do ruído oceânico num domínio tridimensional para a Bacia de Santos, mas que possa ser empregado nas principais bacias sedimentares marítimas brasileiras (Bacias de Santos, Campos e Espírito Santo). Este sistema é ajustado e validado continuamente a partir da comparação 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 ao controle deste ruído. Um bom funcionamento do modelo pode reduzir a necessidade de medições contínuas em longo prazo, além de permitir estimar os níveis de ruído em regiões onde seria pequena a viabilidade de obtenção de medições *in situ*.

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

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



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

Até o momento, foi concluído o processamento dos dados relativos aos anos de 2016 a 2021, 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).

A referência utilizada em todas as análises foi a média do *Sound Pressure Level* (SPL, dB re $1\mu\text{Pa}^2$) nas bandas de 63 Hz e 125 Hz dos espectros de 1/3 de oitava para as profundidades de 50, 200 e 1.000 m.

IV.1 VALIDAÇÃO COM DADOS MEDIDOS

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

Para a validação, foram considerados os dados medidos em células de $1/6^\circ$, selecionadas sobre cinco trajetórias lineares cruzando regiões da Bacia de Santos com diferentes características de ruído. A Figura IV.1-1 mostra as linhas usadas para a comparação. Na figura, observam-se quatro quadrados que representam as regiões R1, R2, R3 e R4, as mesmas utilizadas na análise dos resultados do monitoramento móvel (item III.1.1). As linhas passam pela região R1, que é a região onde ocorrem as atividades de E&P com maior intensidade.



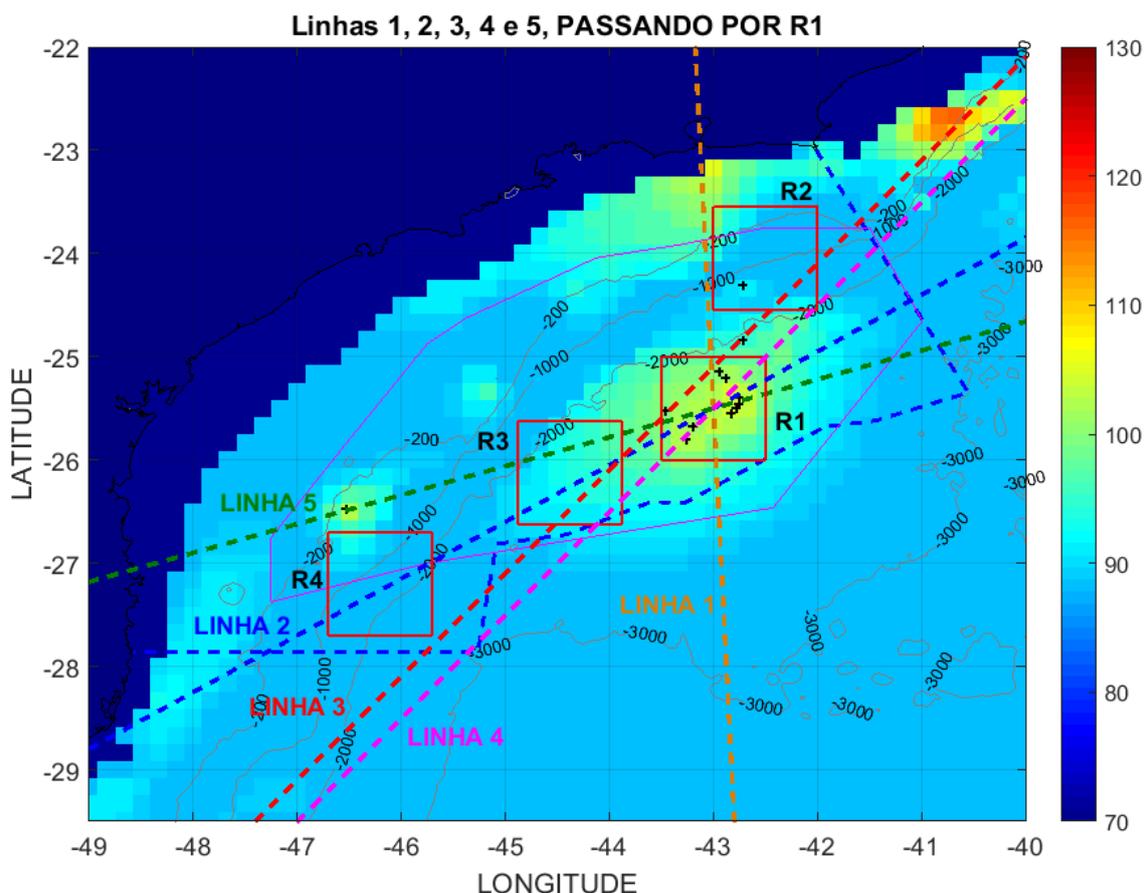


Figura IV.1-1: Mapa ilustrativo mostrando quadrados delimitando as regiões R1, R2, R3 e R4 e as cinco linhas usadas para a comparação espacial dos níveis de ruído na Bacia de Santos.

As Figuras Figura IV.1-2 a Figura IV.1-11 apresentam gráficos com os níveis de ruído medido e modelado para as posições destas linhas, para as bandas de frequência de 63 Hz e 125 Hz, em função da latitude, na Linha 1, e em função da longitude, nas demais. Nos gráficos, a linha vermelha corresponde à mediana do ruído modelado em cada posição onde a linha passa, para todo o período de 2016 a 2021. Os pontos azuis representam os níveis de ruído para as medições realizadas em cada posição das linhas. As linhas roxa, amarela e verde representam os percentis de 25%, 50% (mediana) e 75%, respectivamente, dos dados medidos em cada célula. É importante ter em mente que a maior parte das medições em campo foram feitas mais próximas à região central da Bacia de Santos, principalmente com *gliders*, e desta região em direção ao sudoeste desta bacia, acompanhando a deriva dos perfiladores que foram lançados,



preferencialmente, na região do Pré-sal. Poucas medições foram feitas na porção norte da Bacia de Santos ou na plataforma continental.

A Linha 1 é um transecto norte-sul passando pela entrada da Baía de Guanabara e pelo centro da região R4. As comparações feitas para a frequência de 63 Hz (Figura IV.1-2) e 125 Hz (Figura IV.1-3) mostram que o modelo acompanha os dados medidos em toda a extensão da linha, sendo que na frequência de 63 Hz, o modelo subestima o ruído medido em toda a extensão da linha (BIAS = -5,8 dB, RMSE = 6,0 dB). Já na frequência de 125 Hz, o modelo fica mais próximo do ruído medido (BIAS = -0,45 dB, RMSE = 2,1 dB). É interessante notar que algumas poucas medições na plataforma continental, feitas entre as latitudes -24° a -23°, mostram uma elevação de energia que também é mostrada nos dados modelados.

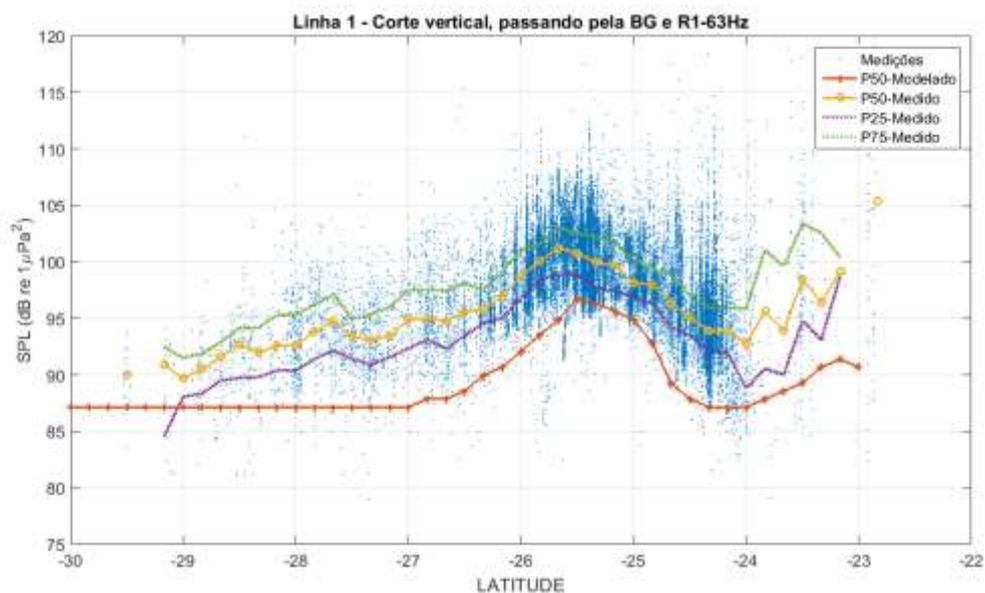


Figura IV.1-2: Comparação dos níveis de ruído medido e modelado ao longo da Linha 1, passando pela entrada da Baía de Guanabara e pela região R1, considerando os mapas modelados na profundidade de 50 m e todos os dados medidos na faixa de profundidade de 0 a 100 m, para os anos de 2016 a 2021, na frequência de 63 Hz.



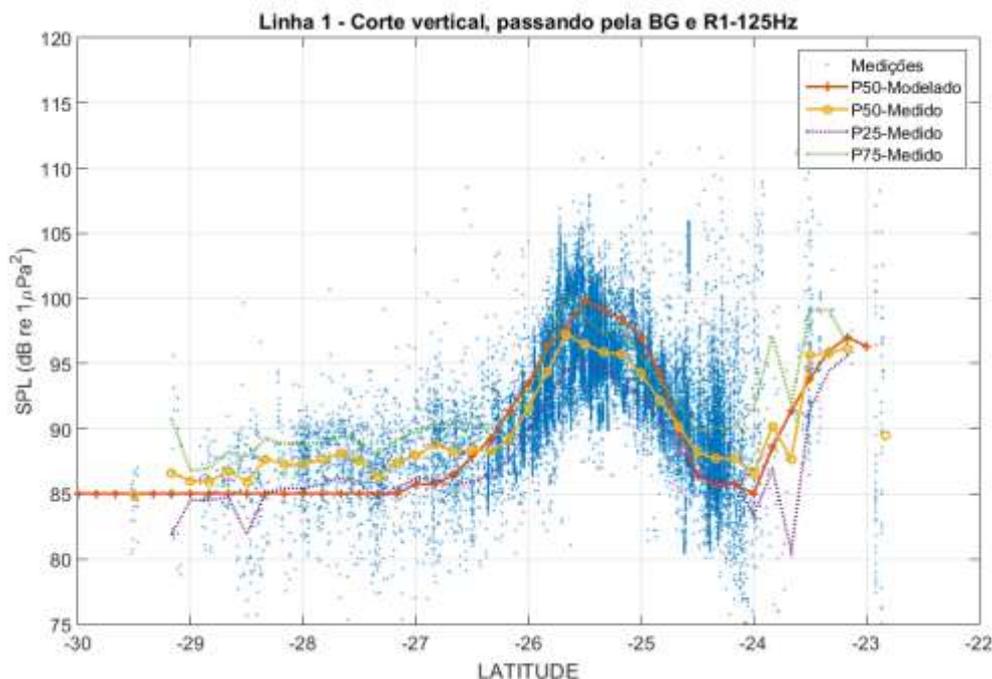


Figura IV.1-3: Comparação dos níveis de ruído medido e modelado ao longo da Linha 1, passando pela entrada da Baía de Guanabara e pela região R1, considerando os mapas modelados na profundidade de 50 m e todos os dados medidos na faixa de profundidade de 0 a 100 m, para os anos de 2016 a 2021, na frequência de 125 Hz.

A Linha 2 é uma linha diagonal passando pelas regiões R1, R3 e R4, sendo a mesma linha apresentada na Figura III.1.1-1 da Seção III.1.1, para análise dos dados medidos. As comparações feitas para a frequência de 63 Hz (Figura IV.1-4) e 125 Hz (Figura IV.1-5) mostram que o modelo acompanha os dados medidos em toda a extensão da linha. Na frequência de 63 Hz, o modelo subestima o ruído medido em toda a extensão da linha (BIAS = -4,0 dB, RMSE = 5,3 dB). Já na frequência de 125 Hz, o modelo fica mais próximo do ruído medido (BIAS = -0,36 dB, RMSE = 3,8 dB). As maiores diferenças entre o modelo e as medições ocorre acima da latitude de -41°, onde o número de medições é menor e as estatísticas de ruído derivadas das medições, menos confiáveis.



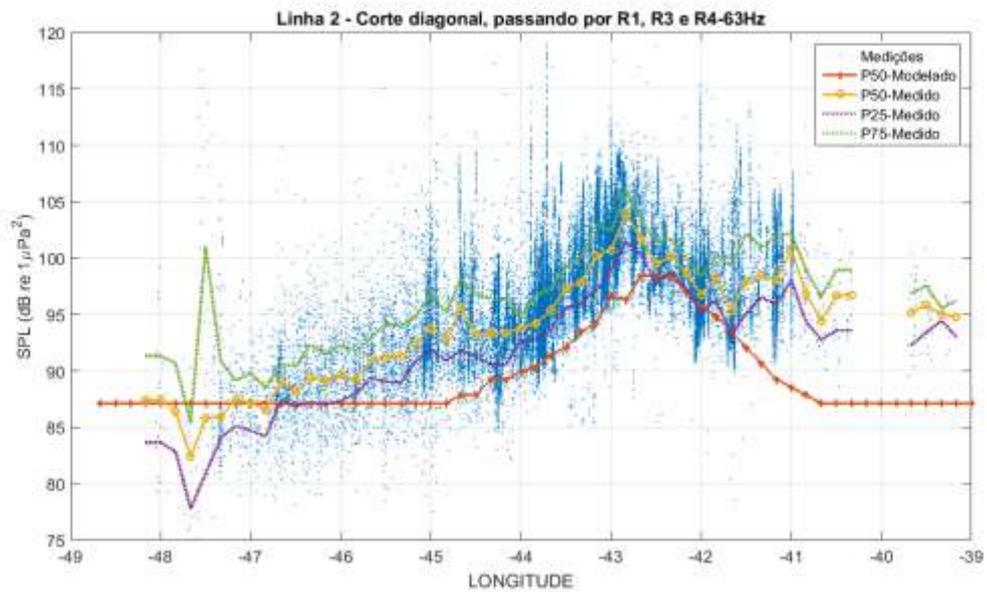


Figura IV.1-4: Comparação dos níveis de ruído medido e modelado ao longo da Linha 2, passando pelas regiões R1, R3 e R4, considerando os mapas modelados na profundidade de 50 m e todos os dados medidos na faixa de profundidade de 0 a 100 m, para os anos de 2016 a 2021, na frequência de 63 Hz.



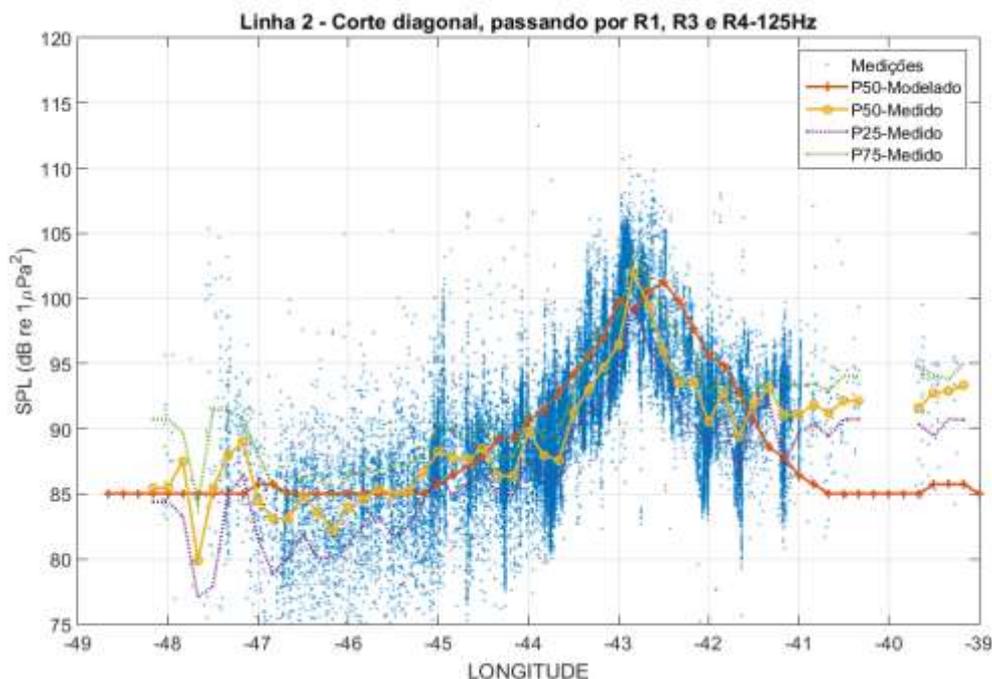


Figura IV.1-5: Comparação dos níveis de ruído medido e modelado ao longo da Linha 2, passando pelas regiões R1, R3 e R4, considerando os mapas modelados na profundidade de 50 m e todos os dados medidos na faixa de profundidade de 0 a 100 m, para os anos de 2016 a 2021, na frequência de 125 Hz.

A Linha 3 é uma linha diagonal passando pelos vértices da região R1. As comparações feitas para a frequência de 63 Hz (Figura IV.1-6) e 125 Hz (Figura IV.1-7) mostram que o modelo acompanha as tendências dos dados medidos em toda a extensão da linha. Na frequência de 63 Hz, o modelo subestima o ruído medido em toda a extensão da linha (BIAS = -4,4, RMSE = 5,1 dB). Já na frequência de 125 Hz, o modelo fica mais próximo do ruído medido (BIAS = -0,42 dB, RMSE = 3,9 dB). O modelo mostra uma elevação nos níveis do ruído em latitudes acima de -41°, que é corroborado pelas poucas medições feitas neste trecho.



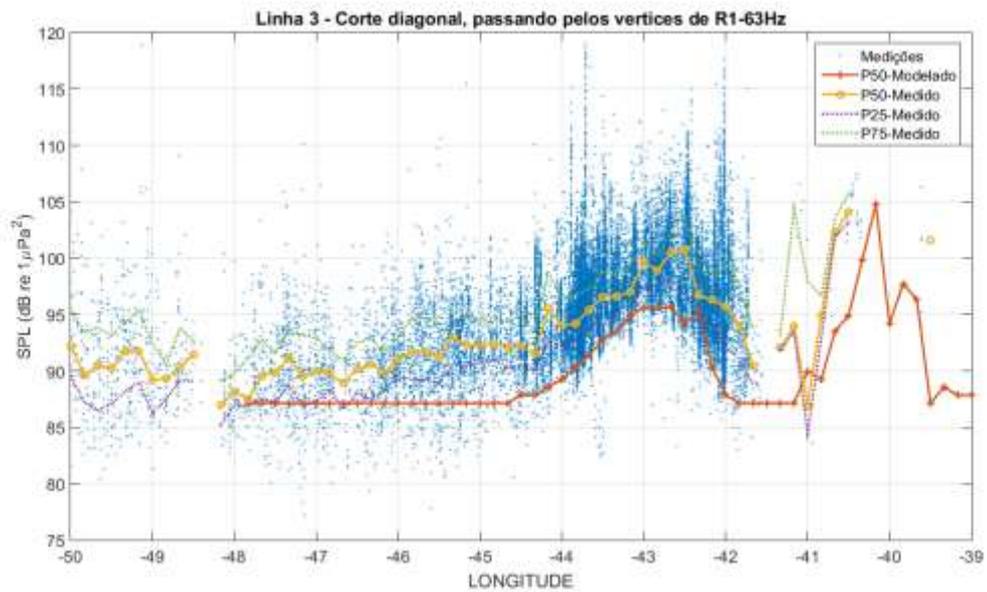


Figura IV.1-6: Comparação dos níveis de ruído medido e modelado ao longo da Linha 3, passando pelos vértices da região R1, considerando os mapas modelados na profundidade de 50 m e todos os dados medidos na faixa de profundidade de 0 a 100 m, para os anos de 2016 a 2021, na frequência de 63 Hz.

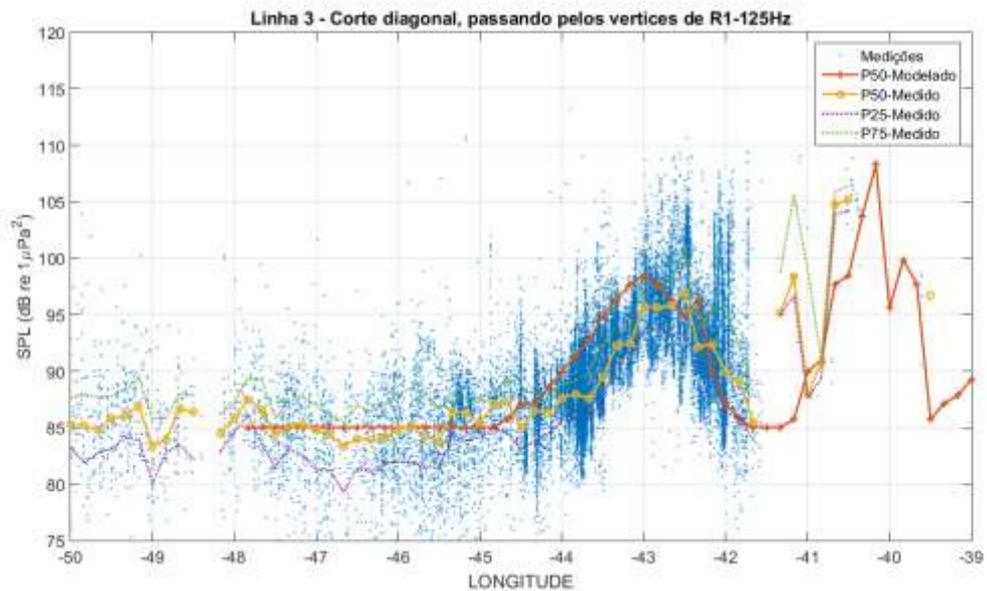


Figura IV.1-7: Comparação dos níveis de ruído medido e modelado ao longo da Linha 3, passando pelos vértices da região R1, considerando os mapas modelados na profundidade de 50 m e todos os dados medidos na faixa de profundidade de 0 a 100 m, para os anos de 2016 a 2021, na frequência de 125 Hz.



A Linha 4 é uma linha diagonal paralela à Linha 3, passando um pouco mais ao norte dela. As comparações feitas para a frequência de 63 Hz (Figura IV.1-8) e 125 Hz (Figura IV.1-9) mostram que o modelo acompanha as variações espaciais dos níveis medidos em toda a extensão da linha. Na frequência de 63 Hz, o modelo subestima o ruído medido em toda a extensão da linha (BIAS = -4,4 dB, RMSE = 5,0 dB). Já na frequência de 125 Hz, o modelo fica mais próximo do ruído medido (BIAS = -0,45 dB +/- 3,2 dB). Assim como foi visto na Linha 3, o modelo mostra uma elevação nos níveis de ruído acima da longitude de -41°, que é indicado, também, pelas poucas medições feitas neste trecho.

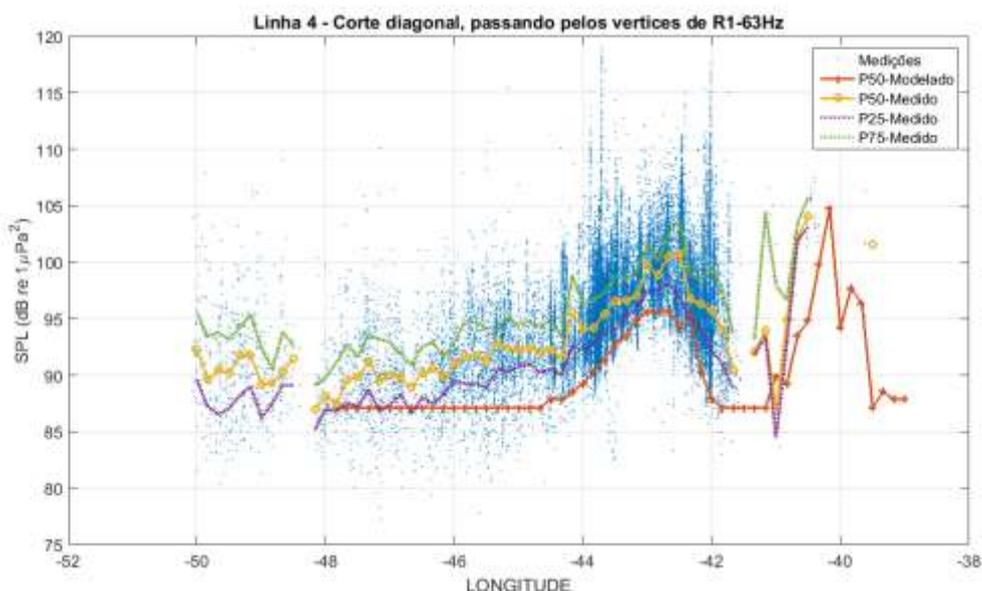


Figura IV.1-8: Comparação dos níveis de ruído medido e modelado ao longo da Linha 4, paralela à Linha 3 e mais ao norte, considerando os mapas modelados na profundidade de 50 m e todos os dados medidos na faixa de profundidade de 0 a 100 m, para os anos de 2016 a 2021, na frequência de 63 Hz.



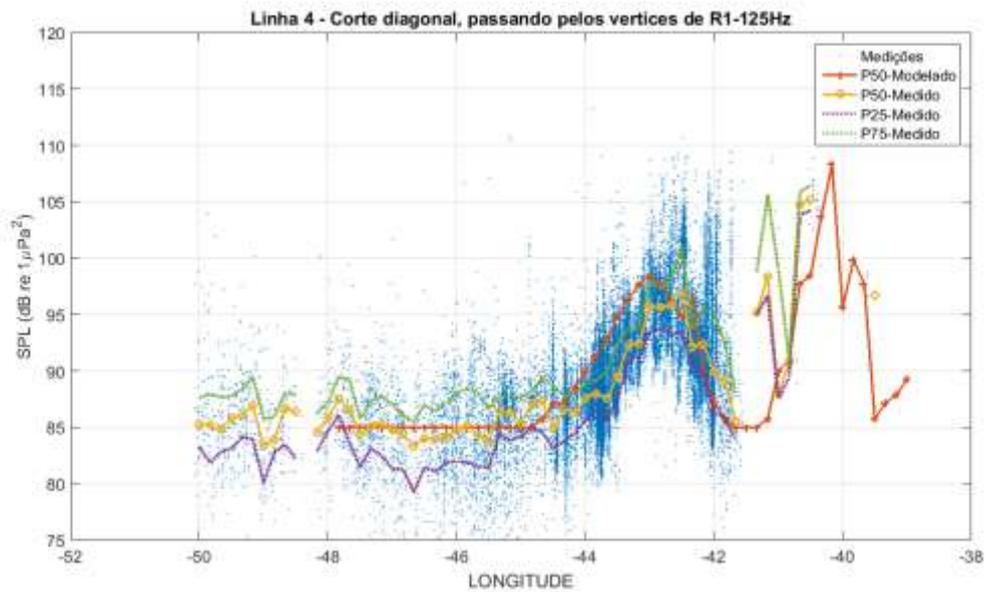


Figura IV.1-9: Comparação dos níveis de ruído medido e modelado ao longo da Linha 4, paralela à Linha 3 e mais ao norte, considerando os mapas modelados na profundidade de 50 m e todos os dados medidos na faixa de profundidade de 0 a 100 m, para os anos de 2016 a 2021, na frequência de 125 Hz.

A Linha 5 é uma linha diagonal passando pela região R1 e ao norte da região R4, onde se destaca uma região com maiores níveis. As comparações feitas para a frequência de 63 Hz (Figura IV.1-10) e 125 Hz (Figura IV.1-11) mostram que o modelo apresenta um padrão semelhante àquele obtido através dos dados medidos em toda a extensão da linha. Na frequência de 63 Hz, o modelo subestima o ruído medido em toda a extensão da linha (BIAS = 3,6 dB, RMSE = 5,4 dB). Já na frequência de 125 Hz, o modelo fica mais próximo do ruído medido (0,68 dB, RMSE = 5,0 dB). A elevação de energia vista no modelo ao norte da região R4, entre as longitudes -47° e -46°, também é vista nos dados medidos.



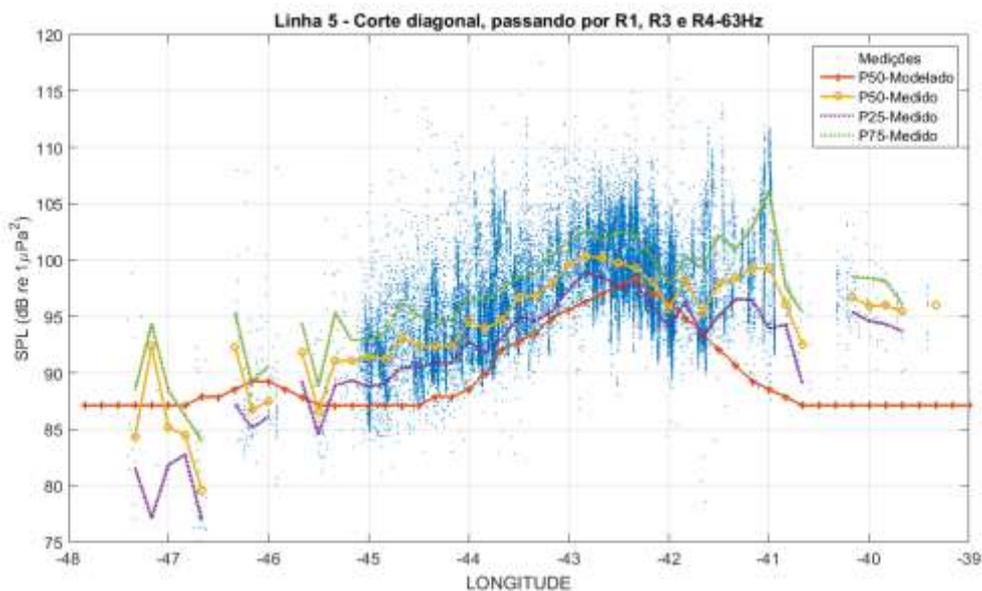


Figura IV.1-10: Comparação dos níveis de ruído medido e modelado ao longo da Linha 5, pela região R1 e ao norte da região R4, considerando os mapas modelados na profundidade de 50 m e todos os dados medidos na faixa de profundidade de 0 a 100 m, para os anos de 2016 a 2021, na frequência de 63 Hz.

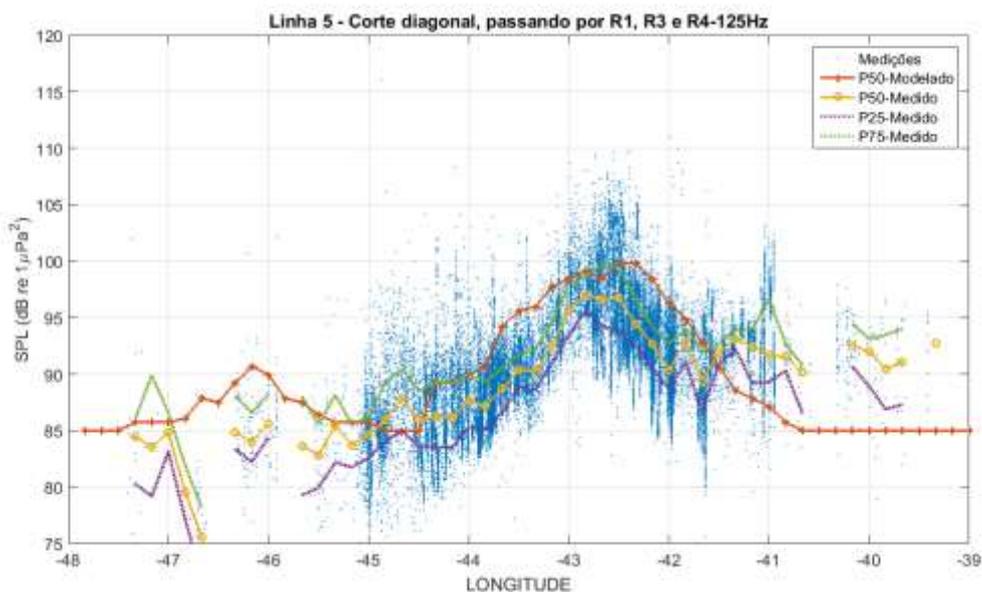


Figura IV.1-11: Comparação dos níveis de ruído medido e modelado ao longo da Linha 5, pela região R1 e ao norte da região R4, considerando os mapas modelados na profundidade de 50 m e todos os dados medidos na faixa de profundidade de 0 a 100 m, para os anos de 2016 a 2021, na frequência de 63 Hz.



Estas comparações mostram que o modelo é capaz de reproduzir com relativa precisão os padrões de variação espacial do ruído medido nos diferentes domínios fisiográficos da Bacia de Santos, o que inclui regiões profundas e rasas (plataforma continental) com variada intensidade de atividades de E&P e navegação. A magnitude do erro, no entanto, varia dependendo da banda de frequência modelada, existindo uma tendência de aproximadamente -4,4 dB (BIAS = -4,4 dB, RMSE = 5,4 dB) para a frequência de 63 Hz e uma tendência bem menor, em torno de -0,2 dB (BIAS = -0,18 dB, RMSE = 3,8 dB) para a frequência de 125 Hz, considerando todas as linhas agrupadas. As causas destas diferenças foram investigadas e alguns testes realizados indicaram que o valor do nível de ruído de fundo em 63 Hz, ao qual os ruídos irradiados das fontes são somados, seriam maiores do que o valor ora utilizado. Cabe ressaltar que os valores medidos também possuem uma margem de incerteza associado ao quantitativo amostral e aos erros instrumentais e que deverão ser estimados para uma comparação mais adequada entre o modelo e a medição.

No processo normal de desenvolvimento do modelo de ruído, estas diferenças são usadas para melhorar a estimativa dos dados de entrada, como os valores do ruído ambiente na ausência de embarcações e os níveis irradiados pelas embarcações presentes no AIS. A inclusão de outras fontes sonoras antropogênicas, como as relacionadas com a prospecção sísmica e atividades da perfuração de poços, ou bióticas, como a vocalização de cetáceos e coros de peixes e invertebrados, pode ajudar a aproximar os níveis modelados dos medidos em campo.

IV.2 RESULTADOS OBTIDOS

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 apresentação dos dados obtidos pelo SIMAS. 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.2-1 mostra mapas de densidade de navegação, derivados dos registros de AIS, e computados no âmbito do Projeto de Monitoramento do Tráfego de Embarcações na Bacia de Santos (PMTE-BS), para os anos de 2016 a 2020. 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.



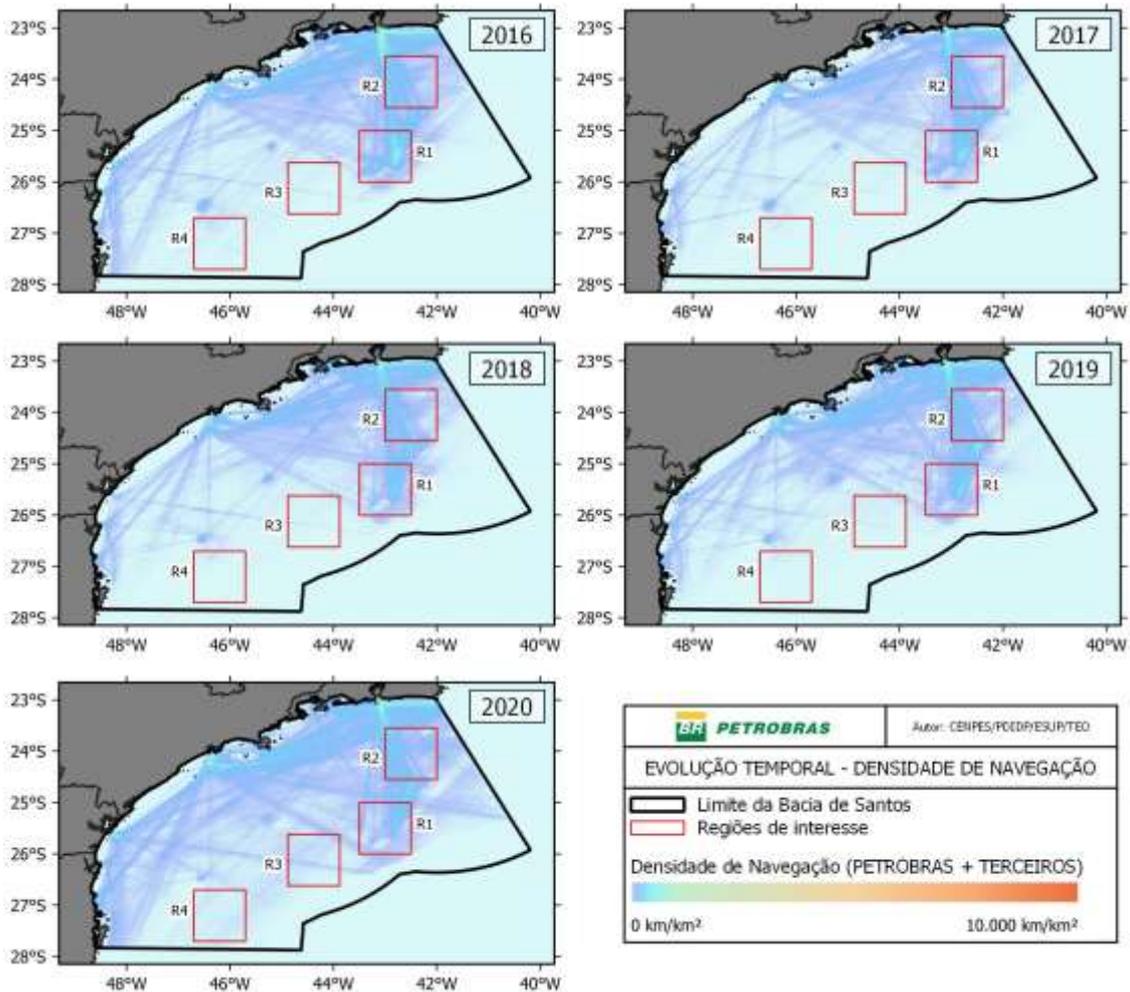


Figura IV.2-1: Densidade de navegação estimada a partir dos registros de AIS referentes aos anos de 2016 a 2019. Os retângulos correspondem às regiões R1, R2, R3 e R4, usadas para comparações nesta seção. Fonte: PMTE (2016, 2017, 2018, 2019 e 2020).

IV.2.1 Sazonalidade

No período de 2016 – 2021 foram avaliados se os efeitos da sazonalidade são significativos para as frequências de 63 Hz e 125 Hz. Os resultados modelados na profundidade de 50 m foram agrupados em quatro categorias de acordo com o período (estações) do ano, resultando em mapas para o verão (janeiro a março), outono (abril a junho), inverno (julho a setembro) e primavera (outubro a dezembro).

A Figura IV.2.1-1 mostra mapas gerados pelo SIMAS para a frequência de 63 Hz na profundidade de 50 m, referentes à média do ruído de cada uma das estações do ano (verão, outono, inverno e primavera) durante os anos 2016 a



2021. A Figura IV.2.1-2 mostra os mapas equivalentes para a frequência de 125 Hz.

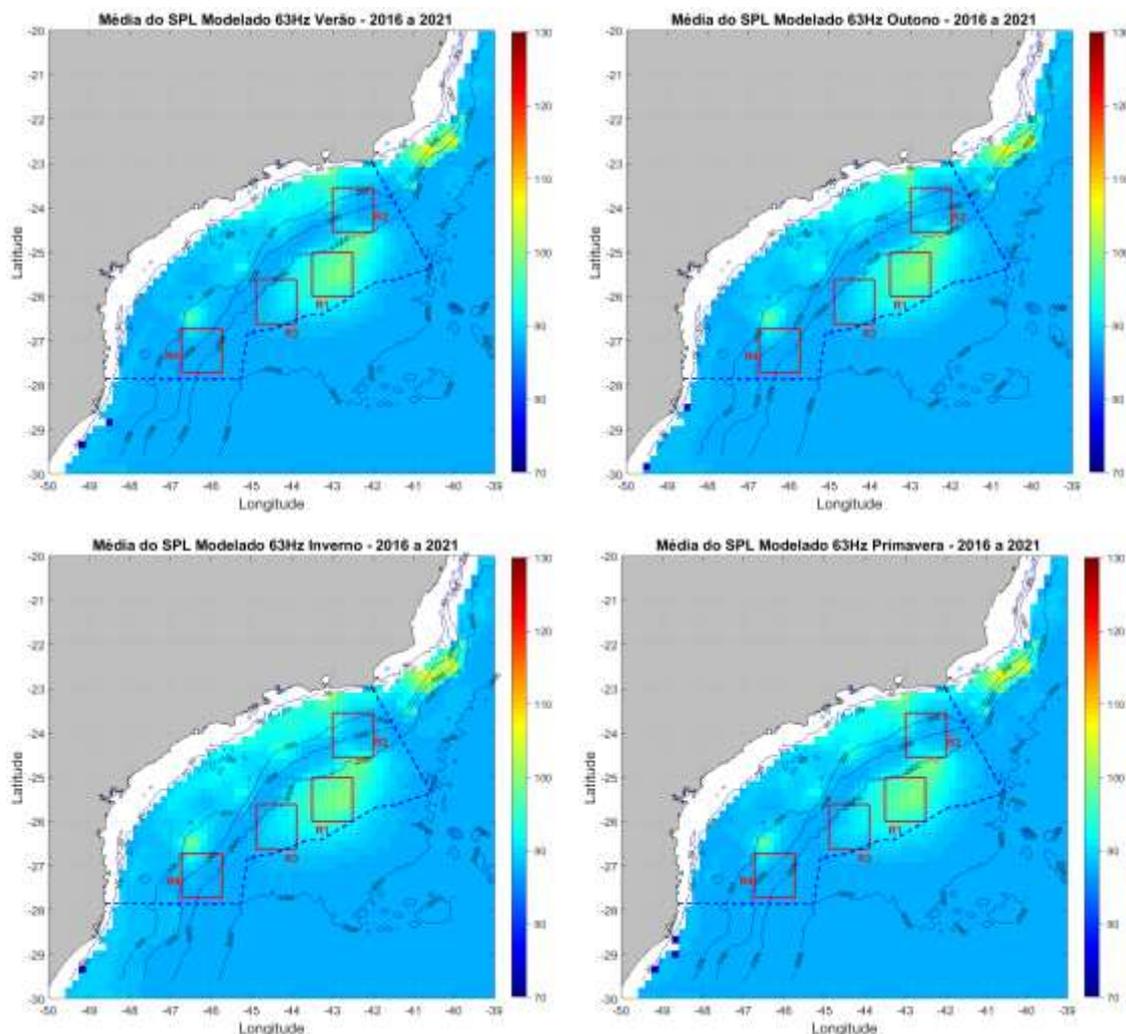


Figura IV.2.1-1: Mapa do SPL médio ($\text{dB re } 1\mu\text{Pa}^2$) de cada uma das estações do ano (verão, outono, inverno e primavera) durante os anos 2016 a 2021 para a frequência de 63 Hz, na profundidade de 50 m.



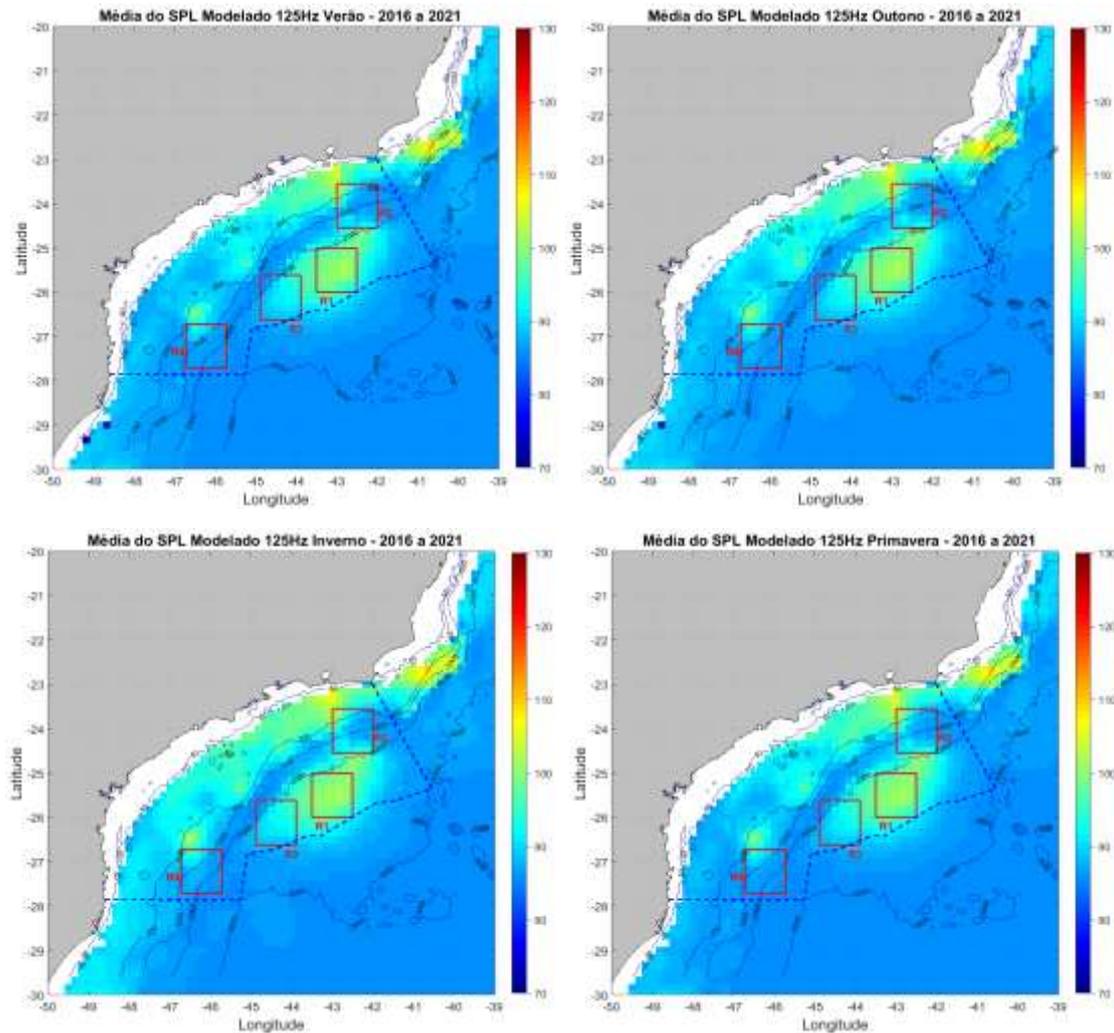


Figura IV.2.1-2: Mapa do SPL médio (dB re $1\mu\text{Pa}$) de cada uma das estações do ano (verão, outono, inverno e primavera) durante os anos 2016 a 2021 para a frequência de 125 Hz, na profundidade de 50 m.

Nos mapas, tanto para a frequência de 63 Hz quanto para 125 Hz não se constata uma evidente sazonalidade na região mais ruidosa no centro da bacia, caracterizada pela atividade de E&P e navegação onde estão concentrados os maiores efeitos da contribuição antropogênica, o que reflete certa constância na dinâmica destas atividades. No entanto, observa-se um aumento do nível de ruído no inverno, próximo ao litoral. Variações sazonais mais claras seriam esperadas para bandas de frequência mais influenciadas por forçantes ambientais, como as bandas de 500 e 1.000 Hz.

Para as frequências 63 Hz e 125 Hz foram examinadas as similaridades, distribuições e tendências entre as estações do ano selecionando os dados dentro



dos limites das regiões R1 a R4. As Figuras IV.2.1-3 a IV.2.1-6 mostram *boxplots* com a distribuição da média do ruído modelado na profundidade de 50 m para cada estação do ano no período de 2016 a 2021 para 63 Hz nas regiões R1, R2, R3 e R4 respectivamente. Nos mesmos gráficos, são apresentados a mediana e os percentis de 25% e 75% dos dados medidos naquelas regiões, dentro das estações do ano. Os resultados também apontam no sentido da inexistência de variações sazonais muito claras dentro das regiões selecionadas, exceto para a região R4, em que parece haver uma tendência de elevação do ruído durante os meses de inverno.

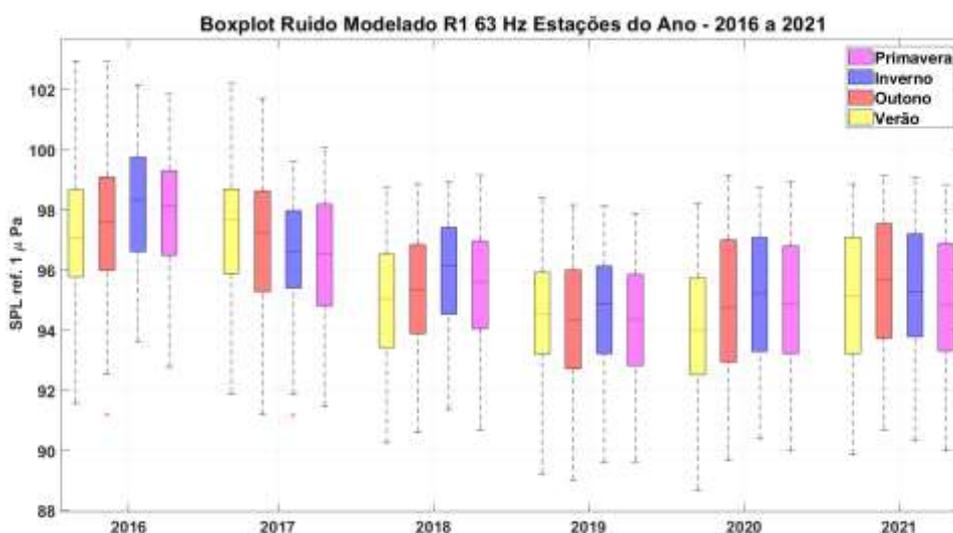


Figura IV.2.1-3: Distribuição do ruído modelado nas estações do ano, para cada ano de 2016 a 2021, na região R1, para a frequência de 63 Hz. As linhas azuis representam a mediana e os percentis de 25% e 75% para os dados medidos no mesmo período na região R1.

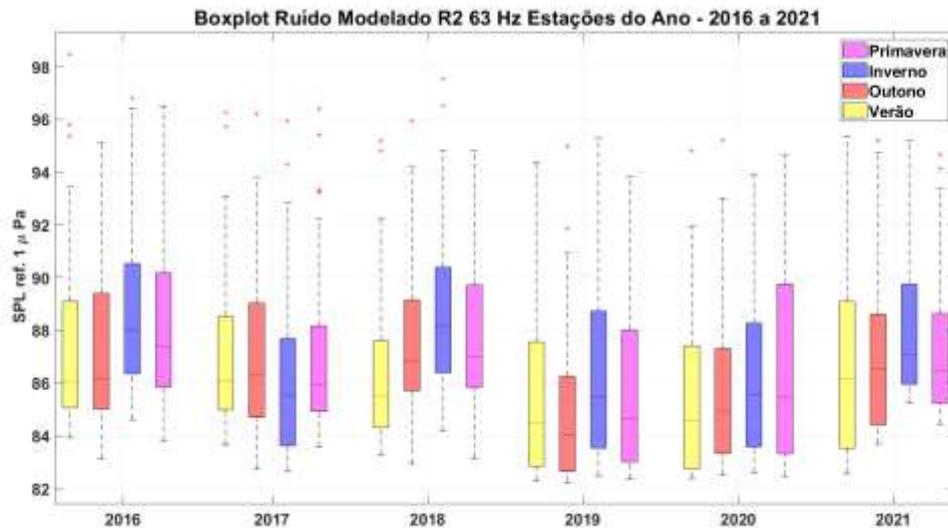


Figura IV.2.1-4: Distribuição do ruído modelado nas estações do ano, para cada ano de 2016 a 2021, na região R2, para a frequência de 63 Hz. As linhas azuis representam a mediana e os percentis de 25% e 75% para os dados medidos no mesmo período na região R2.

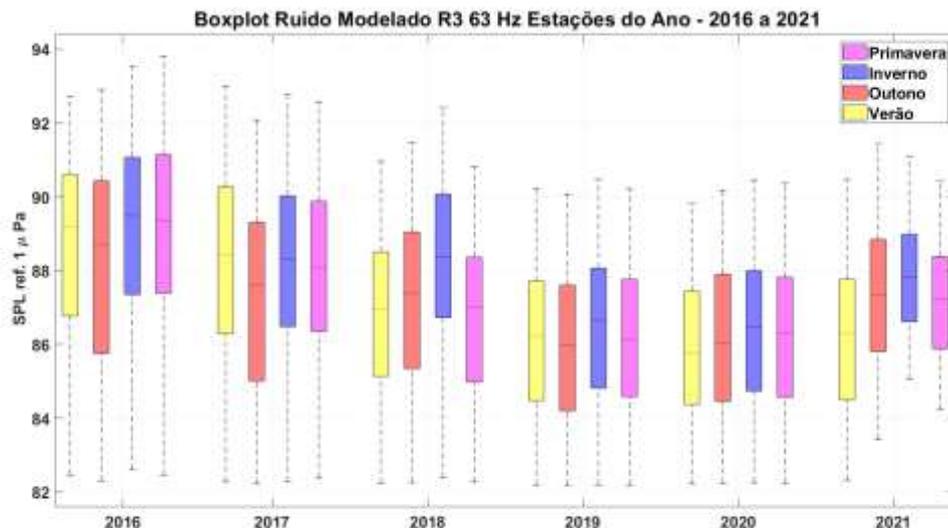


Figura IV.2.1-5: Distribuição do ruído modelado nas estações do ano, para cada ano de 2016 a 2021, na região R3, para a frequência de 63 Hz. As linhas azuis representam a mediana e os percentis de 25% e 75% para os dados medidos no mesmo período na região R3.

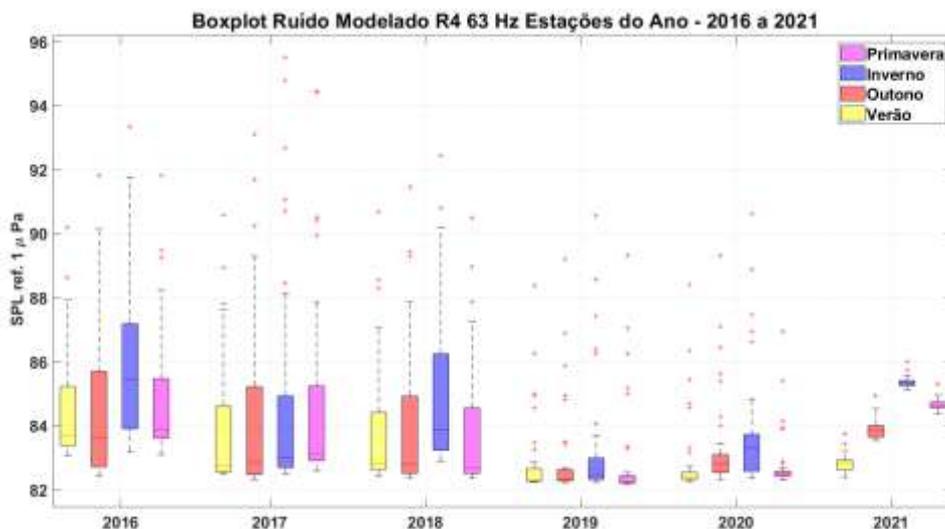


Figura IV.2.1-6: Distribuição do ruído modelado nas estações do ano, para cada ano de 2016 a 2021, na região R4, para a frequência de 63 Hz. As linhas azuis representam a mediana e os percentis de 25% e 75% para os dados medidos no mesmo período na região R4.

As Figuras IV.2.1-7 a IV.2.1-10 mostram *boxplots* com a distribuição da média do ruído modelado na profundidade de 50 m para cada estação do ano no período de 2016 a 2021 para 125Hz nas regiões R1, R2, R3 e R4 respectivamente. Nos mesmos gráficos, são apresentadas a mediana e os percentis de 25% e 75% dos dados medidos naquelas regiões, dentro das estações do ano.



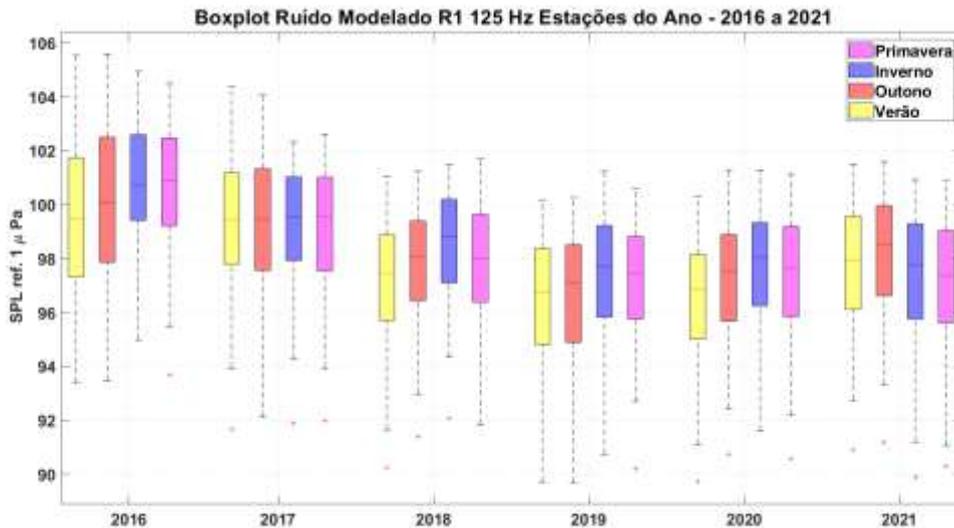


Figura IV.2.1-7: Distribuição do ruído modelado nas estações do ano, para cada ano de 2016 a 2021, na região R1, para a frequência de 125 Hz. As linhas azuis representam a mediana e os percentis de 25% e 75% para os dados medidos no mesmo período na região R1.

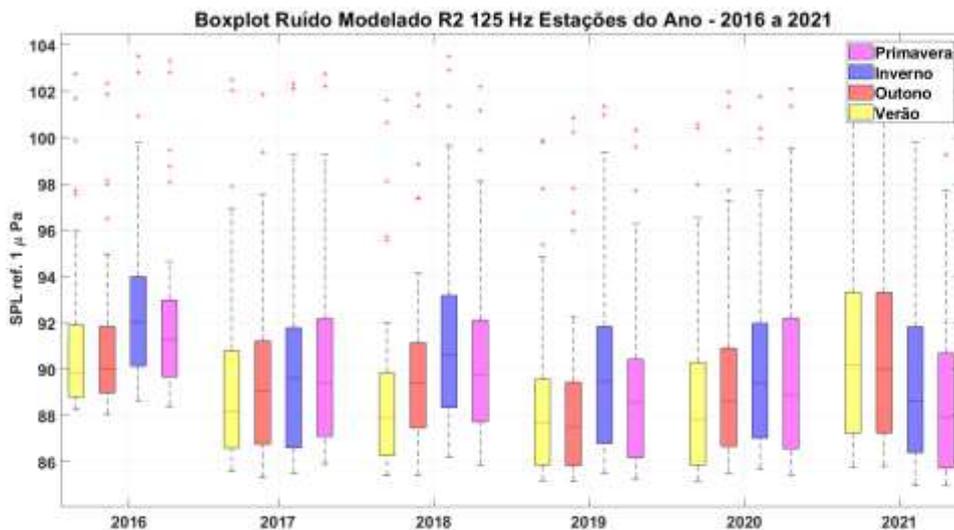


Figura IV.2.1-8: Distribuição do ruído modelado nas estações do ano, para cada ano de 2016 a 2021, na região R2, para a frequência de 125 Hz. As linhas azuis representam a mediana e os percentis de 25% e 75% para os dados medidos no mesmo período na região R2.



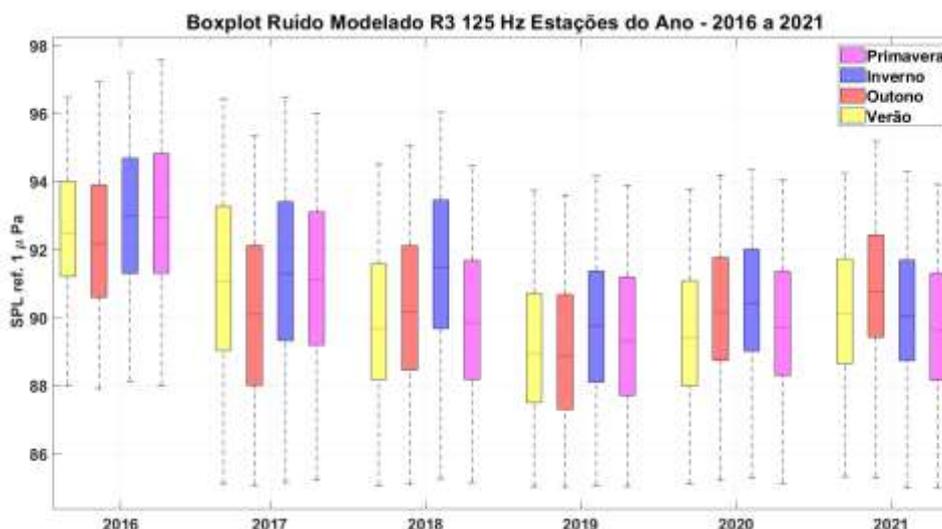


Figura IV.2.1-9: Distribuição do ruído modelado nas estações do ano, para cada ano de 2016 a 2021, na região R2, para a frequência de 125 Hz. As linhas azuis representam a mediana e os percentis de 25% e 75% para os dados medidos no mesmo período na região R2.

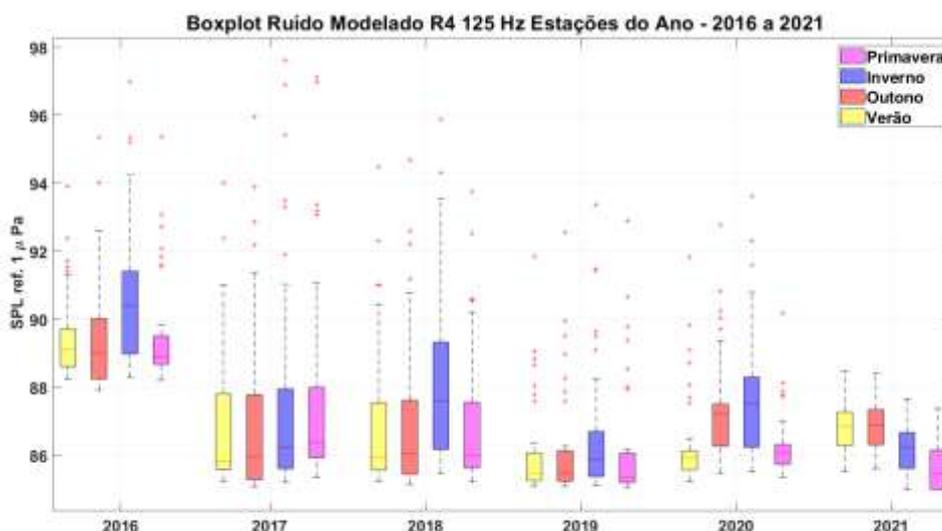


Figura IV.2.1-10: Distribuição do ruído modelado nas estações do ano, para cada ano de 2016 a 2021, na região R2, para a frequência de 125 Hz. As linhas azuis representam a mediana e os percentis de 25% e 75% para os dados medidos no mesmo período na região R2.

Essa abordagem permite ter um panorama da distribuição dos resultados modelados do ruído acumulado obtidos ao longo do tempo de forma resumida, bem como seus extremos (cruzes vermelhas), que neste caso não significam

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

IV.2.2 Ruídos Médios de cada Região

A Figura IV.2.2-1 e a Figura IV.2.2-2 mostram *boxplots* com a distribuição da média do ruído anual modelado (SPL dB re $1\mu\text{Pa}$) nas regiões R1, R2, R3 e R4 para cada ano no período de 2016 a 2021 para 63Hz e 125Hz respectivamente. Essa apresentação é um meio complementar que permite visualizar a distribuição dos valores dos mapas modelados acumulados ao longo do tempo e seus extremos, que também neste caso não significam valores espúrios, mas sim valores próximos à cauda da distribuição, com menor frequência.

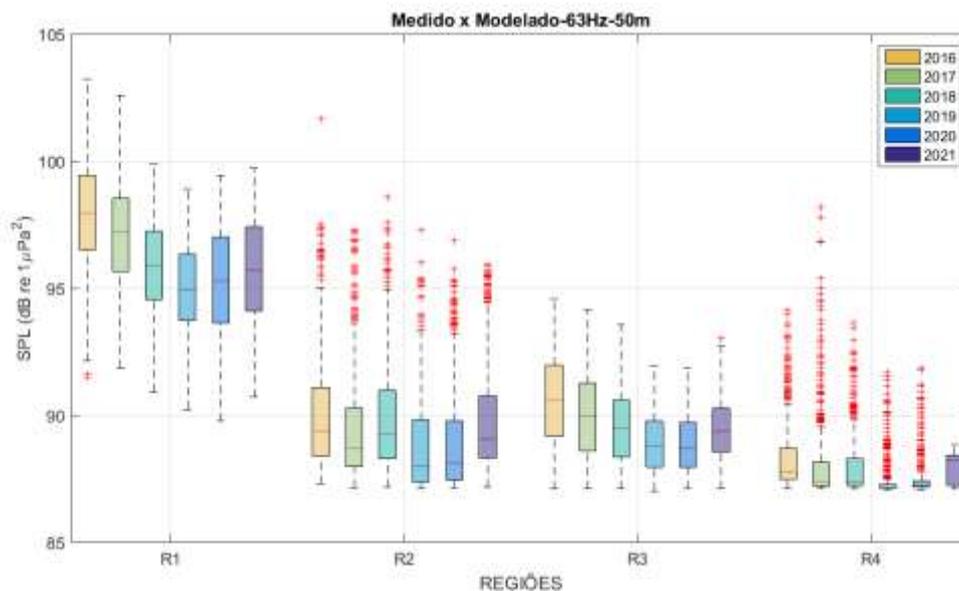


Figura IV.2.2-1: Comparação de valores do SPL médios (dB re $1\mu\text{Pa}^2$) das regiões R1, R2, R3 e R4, usando resultados modelados de 2016 a 2021, para 63 Hz.



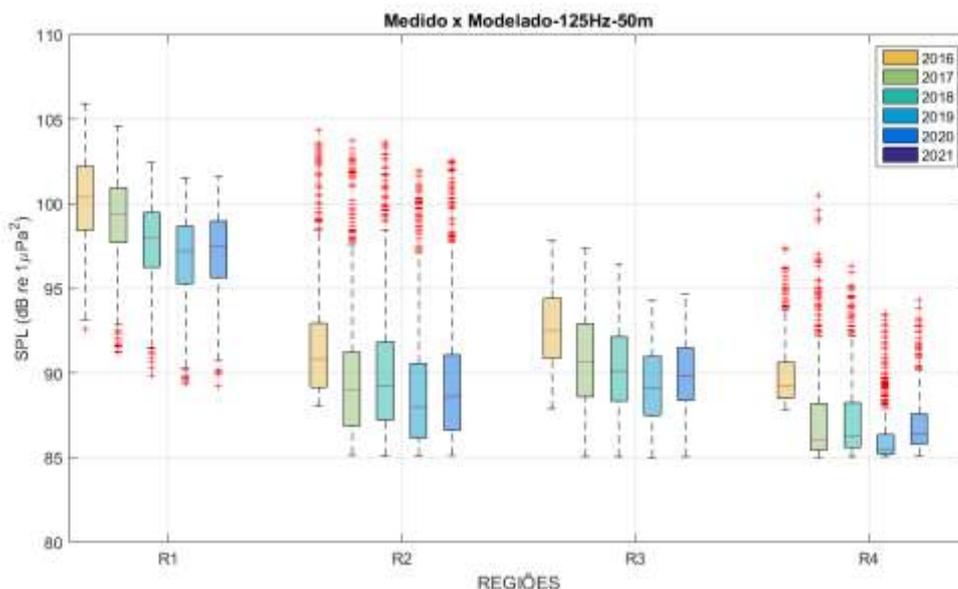


Figura IV.2.2-2: Comparação de valores do SPL médios (dB re $1\mu\text{Pa}^2$) das regiões R1, R2, R3 e R4, usando resultados modelados de 2016 a 2021, para 125 Hz.

O ano de 2016 foi o mais ruidoso em todas as regiões para as frequências de 63 Hz e 125 Hz, enquanto o ano de 2019 foi o de menor nível de ruído em todas as regiões para a frequência de 63 Hz e o ano de 2020 o de menor nível de ruído em todas as regiões para a frequência de 125 Hz.

A região R1 aparece como sendo a de maior nível de ruído. As regiões R2 e R3 apresentam níveis de ruído semelhantes, com a região R3 um pouco mais ruidosa, provavelmente devido a contribuição do ruído irradiado do tráfego de embarcações associado em grande parte à atividade de E&P na região R1. A região R4 é a menos ruidosa, provavelmente por estar em uma área bastante afastada das principais rotas de navegação e da região de exploração do Pré-sal.

É interessante notar o elevado número de valores fora da faixa de 1,5 vezes o intervalo interquartil para as regiões R2 e R4, o que pode indicar a existência de algum processo intermitente de rota de embarcações, o que pode elevar os níveis de ruído para valores bem acima do ruído ambiente médio.

IV.2.3 Diferenças Espaço-Temporais

A Figura IV.2.3-1 e a Figura IV.2.3-2 mostram os mapas referentes às diferenças dos valores médios anuais do SPL entre os anos de 2021 e o ano de



2016 na profundidade de 50 m. para as frequências de 63 Hz e 125 Hz respectivamente.

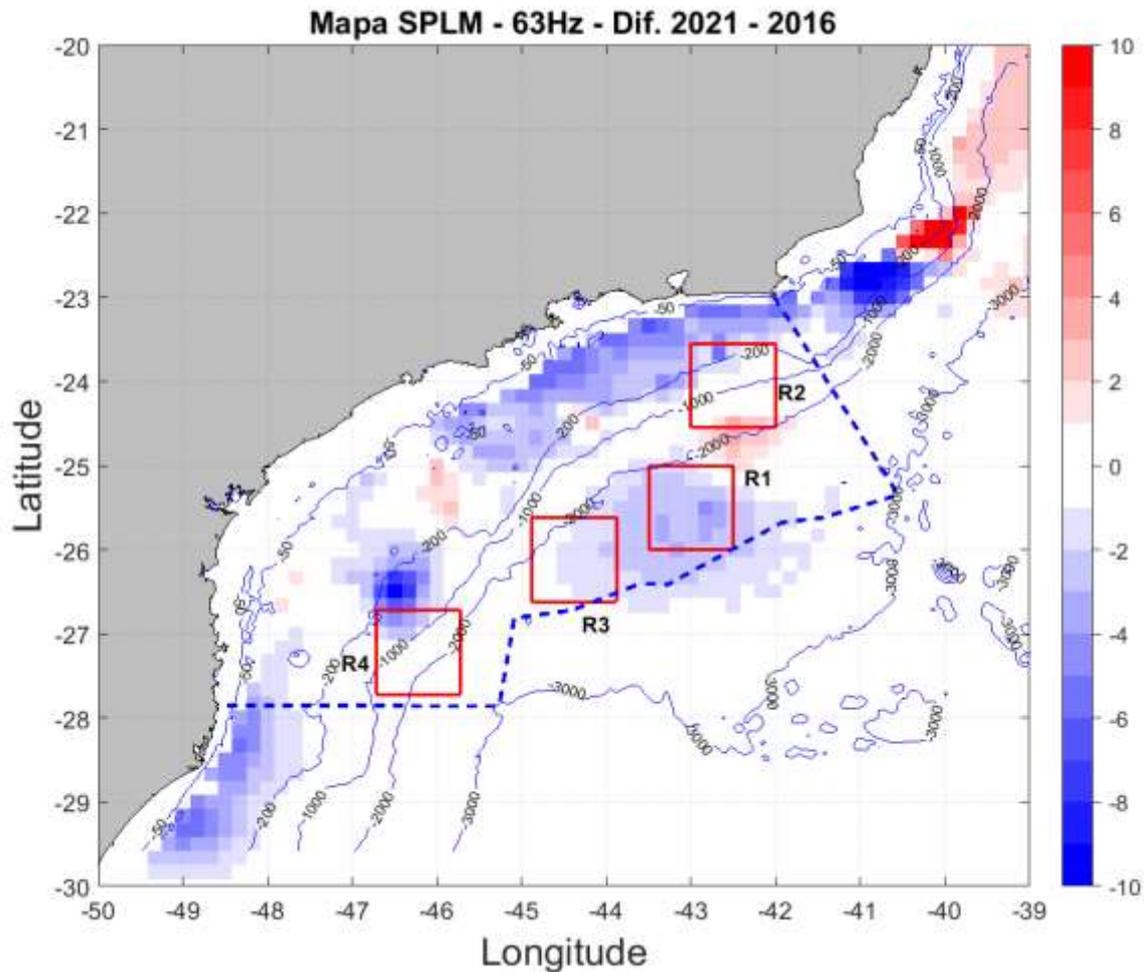


Figura IV.2.3-1: Diferenças dos valores médios do SPL entre os anos de 2021 e o ano de 2016 para a frequência de 63 Hz na profundidade de 50 m.



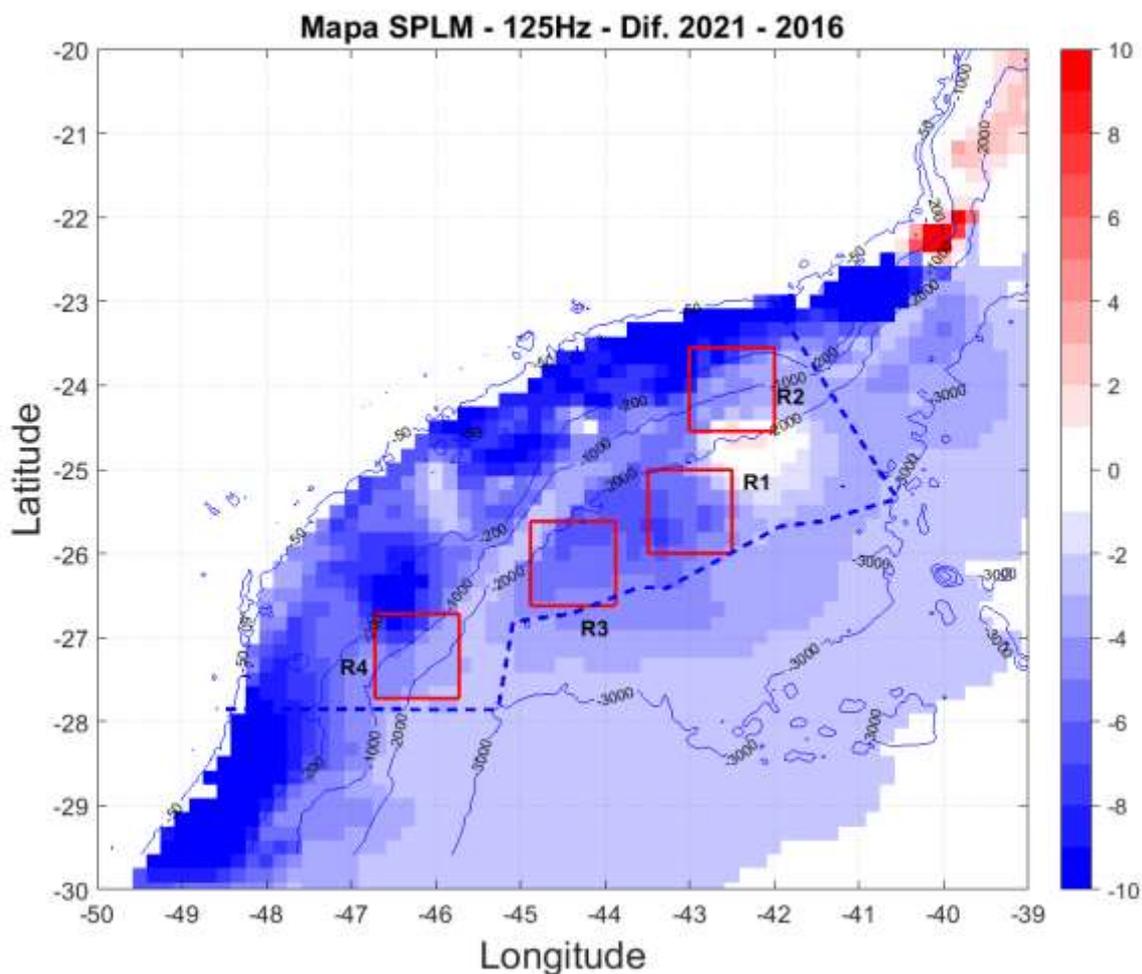


Figura IV.2.3-2: Diferenças dos valores médios do SPL entre os anos de 2021 e o ano de 2016. para a frequência de 125 Hz na profundidade de 50 m.

Na frequência de 63 Hz nota-se uma redução média nos níveis do ruído da ordem 0,5 dB (0,44 dB +/- 1,46 dB) em boa parte da Bacia de Santos e na região de maiores atividades de E&P, sendo esta redução mais evidente na região da plataforma continental.

Para a frequência de 125 Hz a tendência é parecida, mas a magnitude da redução é um pouco maior, da ordem de 1,3 dB (-1,25 dB +/- 1,59 dB) nos níveis de ruído em praticamente toda a Bacia de Santos.

Em ambas as frequências se nota uma região de pequenos incrementos de ruído da ordem de 2-4 dB entre as latitudes de 24 e 25°S e longitudes 43 e 42°W, possivelmente refletindo o aumento de atividades associados ao desenvolvimento



dos campos de Libra e Mero. A magnitude destas variações, no entanto, é pequena e está próxima da ordem de grandeza do próprio erro do modelo.

IV.3 AVALIAÇÃO SOBRE OS RESULTADOS DA MODELAGEM

A utilização da modelagem e o conjunto de resultados produzidos pelo SIMAS no âmbito do PMPAS-BS no período de 2016 a 2021 contribuíram para os estudos da variabilidade espacial e temporal do ruído hidroacústico na Bacia de Santos. Os mapas gerados permitiram ter uma visão abrangente e bastante satisfatória da propagação do ruído e sua evolução durante os anos. A metodologia utilizada poderá ser adaptada para outras áreas, a fim de reconhecer sua dinâmica.

Embora os ambientes considerados neste projeto sejam uma parcela muito pequena do oceano real, as soluções apresentadas aqui, são valiosas porque fornecem um retrato físico da propagação acústica submarina.

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 que começou em torno de 5 dB em ambas as frequências (F. M. De Lima *et al.*, 2020), mas que foram reduzidas para perto de 4 dB para a frequência de 63 Hz e para menos de 1 dB, para 125 Hz. Estes valores mostram que ainda há ajustes a serem feitos no modelo e nos parâmetros de entrada do sistema, mas os resultados obtidos já são adequados para o acompanhamento da evolução dos ruídos. Outros modelos também apresentam erros desta ordem de grandeza, como pode ser visto, por exemplo, em Farcas *et al.* (2020), onde o erro médio 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.

O SIMAS, como está configurado atualmente, é útil na identificação das regiões com maiores e menores níveis de ruído, servindo para auxiliar no gerenciamento destes ruídos ao permitir sua estimativa em regiões onde não



foram feitas medições e mesmo ao possibilitar o estudo de cenários diferentes do real, como ao simular um maior ou menor número de embarcações em uma dada região.

Como parte da evolução do SIMAS, 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 (F. M. De 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.



V CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este relatório apresenta os resultados obtidos pelo projeto PMPAS-BS no período de novembro de 2015 a dezembro de 2021 para *gliders* e perfiladores, de setembro de 2017 a dezembro de 2021 para as LFIs e de março de 2017 até dezembro de 2021 para os OSs. Neste período, foram realizadas 23 campanhas de lançamento de perfiladores, com um total de 234 perfiladores lançados, 52 campanhas de lançamento e recolhimento de *gliders*; oito campanhas de lançamento de LFIs, com seis linhas com gravação acústica em três profundidades diferentes; e 105 campanhas de lançamento e recolhimento de OSs. Foram gravadas 142.796,03 horas de dados acústicos para os *gliders*, OSs e LFIs. Neste mesmo período, os perfiladores analisaram um total de 5.479,7 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 até 20 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 seis anos de medição (2016 a 2021) 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



ruídos medidos a 950 m é maior do que nas outras três profundidades (50 m, 200 m e 500 m) 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 oito ciclos de lançamento e recolhimento, para as seis linhas (FA01 a FA06) e mais as duas novas posições da linha FA03 (FA03R), usada a partir da sexta campanha, e da linha FA04 (FA04R), usada nas sexta e sétima campanhas.

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

As comparações entre as linhas nos anos de 2017 a 2021 mostraram aumentos na linha FA02 de mais de 4 dB nas frequências mais baixas e até 8 dB nas frequências maiores, na linha FA06 de perto de 6 dB na frequência de 500 Hz e acima de 2 dB nas outras frequências e na linha FA04, na frequência de 63 Hz, de 4,5 dB. Nas demais linhas e frequências as variações de níveis de ruído entre os anos foram pequenas ou não existiram. As comparações entre as diferentes profundidades não mostraram nenhuma profundidade com aumento significativo e consistente que seja comum entre as 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 oito 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 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 2021 mostrou uma discreta tendência de aumento do ruído no período de 2019-2021 para os OSs na Baía de Guanabara (OS1 e OS1A). Os dados do OS3R, OS3R1 e OS3R2 mostram um comportamento semelhante, com um pequeno aumento que é mais evidente nas frequências de 63 Hz e 125 Hz. 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 2021. 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.



Os níveis de ruído nos OSs foram comparados com níveis medidos em diversas regiões no Mar Báltico, que 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 do Mar Báltico, mas acima da maioria dos outros locais daquela região. 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, OS3R1 e OS3R2, não foi possível fazer esta avaliação, uma vez que só foram feitas gravações no ano de 2020 no OS3R e em 2021 nos OS3R1 e OS3R2. 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 e OS3R2).

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



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.

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 3 kHz) 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” 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. Em ambas as linhas, as detecções ocorreram 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 LFIs. Para as detecções “Gemidos” em baixa frequência (até 3 kHz), as maiores contagens ocorreram no OS2R, com maiores detecções entre as 21h de um dia até as 6h 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 14h e as 19h 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 21h de um dia e 1h do dia seguinte e nos meses de março e setembro. Para a detecção de “Grunhidos”, as maiores contagens ocorreram no OS2, entre as 20h de um dia e as 2h 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 LFI 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).

A validação dos resultados da modelagem acústica utilizando os dados acústicos medidos, particularmente da componente móvel (perfiladores e *gliders*), mostrou os níveis do ruído modelado em média 4,4 dB abaixo do ruído medido na



frequência de 63 Hz e 0,2 dB, também abaixo do ruído medido, na frequência de 125 Hz. Estas diferenças são usadas para melhorar a estimativa dos dados de entrada, como os valores do ruído ambiente na ausência de embarcações e os níveis irradiados pelas embarcações presentes no AIS. Não obstante, os padrões de variabilidade espacial do ruído medido em diferentes radiais e domínios da Bacia de Santos são reproduzidos de forma consistente pelo modelo, indicando um importante avanço no grau de maturidade desta ferramenta.

Usando os dados modelados, é possível ver uma redução nos níveis do ruído irradiado nas frequências de 63 Hz e 125 Hz entre os anos de 2016 e 2019, seguido de uma estabilização para os anos de 2020 e 2021. Esta redução é coerente com a redução no volume de tráfego observado a partir dos registros AIS. Não se observou uma estação do ano que seja consistentemente mais ruidosa ou silenciosa do que as outras.

V.7 Paisagem Acústica

O conjunto de dados coletados no âmbito do PMPAS-BS no período de 2015 a 2021 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 10,7 dB para as faixas de 63 e 125 Hz, respectivamente, na região R1, onde se concentra a maior parte das atividades da PETROBRAS e 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 63% entre os níveis observados e a intensidade do vento próximo ao local e ao instante de medição, sobretudo para ventos acima de 1,5-2 m/s, limiar frequentemente



superado nas regiões *offshore* da Bacia de Santos. Tal contribuição, no entanto, varia com a frequência, ocorrendo a partir de 500 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.

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 2021 observou-se um aumento máximo de 8,2 dB na frequência de 1.000 Hz, na linha FA02; 5,4 dB na frequência de 500 Hz, na linha FA06; 4,5 dB na frequência de 125 Hz, na linha FA04; e 4 dB na frequência de 63 Hz na linha FA03. Nas outras linhas e frequências as variações de níveis entre os anos foram menores que estes valores. Apesar dos aumentos observados, os SEL_{24h_LF} e SEL_{24h_MF} obtidos em todas as LFIs 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: coros de peixes e invertebrados; cliques e vocalizações de cetáceos; ruído de fluxo induzido pelas correntes sobre o sensor; e ruído de embarcações, motores e bombas. A presença destas fontes se dá em três faixas principais do espectro de frequência: 0 a 200 Hz, 200 Hz a 2 kHz e 2 a 24 kHz. As duas primeiras são influenciadas por sinais de origem antropogênica, abiótica e biótica, enquanto a última é dominada por fontes bióticas.

A região do interior da Baía de Guanabara e em menor grau a região das Ilhas Cagarras, monitoradas pelos OS1/OS1A e OS3R/OS3R1/OS3R2, 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. A região da Baía de Guanabara 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. No entorno da Ilha Grande e do Canal de São Sebastião, há uma tendência de estabilidade no ruído medido.

Não obstante a proximidade geográfica entre alguns dos pontos monitorados, em particular os OS1 e OS1A e os OS3R, OS3R1 e OS3R2, 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 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 2021 (06 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 o percentual de contribuição da PETROBRAS, de outras operadoras de E&P e das diversas fontes que contribuem para esta paisagem (navegação de cabotagem, atividades de pesca, etc.). Neste sentido, o modelo regional de ruído acústico SIMAS, que vem evoluindo continuamente e já oferece resultados de qualidade comparáveis às melhores iniciativas internacionais de modelagem de propagação acústica, poderá ser usado para avaliar, gradualmente, a contribuição dos diversos atores na paisagem acústica da Bacia de Santos.

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



VI REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, D. C. de. (2018). *Estudo da paisagem acústica submarina na região do Arraial do Cabo, Rio de Janeiro, Brasil* (Issue 1). Universidade Federal Fluminense.
- ANSI. (2004). *ANSI S1.11-2004 - Specification for octave-band and fractional-octave-band analog and digital filters* (Vol. 552).
- Au, W. W. L., & Banks, K. (1998). The acoustics of the snapping shrimp *Synalpheus parneomeris* in Kaneohe Bay. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 103(1), 41–47. <https://doi.org/10.1121/1.423234>
- Austin, M. E. (2014). Underwater noise emissions from drillships in the Arctic. *2nd International Conference and Exhibition on Underwater Acoustics*, 257–264.
- Bassett, C., Thomson, J., Dahl, P. H., & Polagye, B. (2014). Flow-noise and turbulence in two tidal channels. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 135(4), 1764–1774. <https://doi.org/10.1121/1.4867360>
- Bittencourt, L., Soares-Filho, W., de Lima, I. M. S., Pai, S., Lailson-Brito, J., Barreira, L. M., Azevedo, A. F., & Guerra, L. A. A. (2018). 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*, 142(October), 58–68. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2018.10.006>
- Bohnenstiehl, D. R., Lillis, A., & Eggleston, D. B. (2016). The curious acoustic behavior of estuarine snapping shrimp: Temporal patterns of snapping shrimp sound in sub-tidal oyster reef habitat. *PLoS ONE*, 11(1), 1–21. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0143691>
- Buscaino, G., Ceraulo, M., Pieretti, N., Corrias, V., Farina, A., Filiciotto, F., Maccarrone, V., Grammauta, R., Caruso, F., Giuseppe, A., & Mazzola, S. (2016). Temporal patterns in the soundscape of the shallow waters of a Mediterranean marine protected area. *Scientific Reports*, 6(May), 1–13.



<https://doi.org/10.1038/srep34230>

Butler, J., Butler, M. J., & Gaff, H. (2017). Snap, crackle, and pop: Acoustic-based model estimation of snapping shrimp populations in healthy and degraded hard-bottom habitats. *Ecological Indicators*, 77, 377–385. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.02.041>

Cato, D. H. (2008). Ocean ambient noise: Its measurement and its significance to marine animals. *Proceedings of the Institute of Acoustics*, 30(PART 5), 1–9.

Cockrem, J. (2014). Review of Stress and the Measurement of Stress in Marine Mammals. *Final 2014 Report from ONR Marine Mammal Physiological Stress Response*, 1–6.

Coquereau, L., Grall, J., Chauvaud, L., Gervaise, C., Clavier, J., Jolivet, A., & Di Iorio, L. (2016). Sound production and associated behaviours of benthic invertebrates from a coastal habitat in the north-east Atlantic. *Marine Biology*, 163(5). <https://doi.org/10.1007/s00227-016-2902-2>

Dahl, P. H., Miller, J. H., Cato, D. H., & Andrew, R. K. (2007). Underwater Ambient Noise. *Acoustics Today*, 3(1), 23. <https://doi.org/10.1121/1.2961145>

Dekeling, R. P. A., Tasker, M. L., Van der Graaf, A. J., Ainslie, M. a, Andersson, M. H., Andre, M., Borsani, J. F., Brensing, K., Castellote, M., Cronin, D., Dalen, J., Folegot, T., Leaper, R., Pajala, J., Redman, P., Robinson, S. P., Sigray, P., Sutton, G., Thomsen, F., ... Young, J. V. (2014a). *Monitoring Guidance for Underwater Noise in European Seas. Part II: Monitoring Guidance Specifications*. <https://doi.org/10.1111/j.1755-148X.2008.00479.x>

Dekeling, R. P. A., Tasker, M. L., Van der Graaf, A. J., Ainslie, M. a, Andersson, M. H., Andre, M., Borsani, J. F., Brensing, K., Castellote, M., Cronin, D., Dalen, J., Folegot, T., Leaper, R., Pajala, J., Redman, P., Robinson, S. P., Sigray, P., Sutton, G., Thomsen, F., ... Young, J. V. (2014b). *Monitoring guidance for underwater noise in European seas - Part III - Background Information and Annexes* (Issue May). <https://doi.org/10.2788/2808>

Duc, P. N. H., Cazau, D., White, P. R., Gérard, O., Detcheverry, J., Urtizberea, F.,



- & Adam, O. (2021). Use of ecoacoustics to characterize the marine acoustic environment off the north atlantic french saint-pierre-et-miquelon archipelago. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(2), 1–16. <https://doi.org/10.3390/jmse9020177>
- Erbe, C., McCauley, R., Gavrilov, A., Madhusudhana, S., & Verma, A. (2016). The underwater soundscape around Australia. *2nd Australasian Acoustical Societies Conference, ACOUSTICS 2016*, 1(November), 8–17.
- Erbe, C., McCauley, R., McPherson, C., & Gavrilov, A. (2013). Underwater noise from offshore oil production vessels. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 133(6), EL465–EL470. <https://doi.org/10.1121/1.4802183>
- Erbe, C., Verma, A., McCauley, R., Gavrilov, A., & Parnum, I. (2015a). The marine soundscape of the Perth Canyon. *Progress in Oceanography*, 137(June), 38–51. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2015.05.015>
- Erbe, C., Verma, A., McCauley, R., Gavrilov, A., & Parnum, I. (2015b). The marine soundscape of the Perth Canyon. *Progress in Oceanography*, 137, 38–51. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2015.05.015>
- European Commission. (2020). Report on the implementation of the Marine Strategy Framework Directive. In *COM(2020) 259 final*.
- Farcas, A., Powell, C. F., Brookes, K. L., & Merchant, N. D. (2020). Validated shipping noise maps of the Northeast Atlantic. *Science of the Total Environment*, 735(May), 139509. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139509>
- Finneran, J. J. (2016). *Auditory weighting functions and TTS/PTS exposure functions for cetaceans and marine carnivores. Technical Report 3026*.
- Gedamke, J., Harrison, J., Hatch, L., Angliss, R., Barlow, J., Berchok, C., Caldow, C., Castellote, M., Cholewiak, D., Deangelis, M. L., Dziak, R., Garland, E., Guan, S., Hastings, S., Holt, M., Laws, B., Mellinger, D., Moore, S., Moore, T. J., ... Wahle, C. (2016). Ocean Noise Strategy Roadmap. In *Noaa*.



- Gervaise, C., Lossent, J., Di Iorio, L., Boissery, P. (2018). 8-Réseau CALME Caractérisation Acoustique du Littoral Méditerranéen et de ses Ecosystèmes. *Synthèse Des Travaux Réalisés Pour La Période [01 / 01 / 2015 – 01 / 08 / 2018], November*, 1–147. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.22870.50246>
- Gillespie, D., Gordon, J., McHugh, R., McLaren, D., Mellinger, D. K., Redmond, P., Thode, A., Trinder, P., & Deng, X. Y. (2008). PAMGUARD: Semiautomated, open source software for real-time acoustic detection and localisation of cetaceans. *Proceedings of the Institute of Acoustics*, 30(PART 5), 54–62. <https://doi.org/10.1121/1.4808713>
- Harris, S. A., & Radford, C. A. (2014). *Marine Soundscape Ecology*. 1–9.
- Haver, S. M., Fournet, M. E., Dziak, R. P., Gabriele, C., Gedamke, J., Hatch, L. T., Haxel, J., Heppell, S. A., McKenna, M. F., Mellinger, D. K., & Van Parijs, S. M. (2019). Comparing the underwater soundscapes of four U.S. National Parks and marine sanctuaries. *Frontiers in Marine Science*, 6(JUL), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00500>
- Haver, S. M., Gedamke, J., Hatch, L. T., Dziak, R. P., Van Parijs, S., McKenna, M. F., Barlow, J., Berchok, C., DiDonato, E., Hanson, B., Haxel, J., Holt, M., Lipski, D., Matsumoto, H., Meinig, C., Mellinger, D. K., Moore, S. E., Oleson, E. M., Soldevilla, M. S., & Klinck, H. (2018). Monitoring long-term soundscape trends in U.S. Waters: The NOAA/NPS Ocean Noise Reference Station Network. *Marine Policy*, 90(February), 6–13. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.01.023>
- Hawkins, A. D., & Popper, A. N. (2017). A sound approach to assessing the impact of underwater noise on marine fishes and invertebrates. *ICES Journal of Marine Science*, 74(3), 635–651. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsw205>
- HELCOM. (2018). State of the Baltic Sea- Second HELCOM holistic assessment, 2011-2016. In *Baltic Sea Environment Proceedings 155* (Vol. 155).
- Hildebrand, J. (2009). Anthropogenic and natural sources of ambient noise in the ocean. *Marine Ecology Progress Series*, 395, 5–20.



<https://doi.org/10.3354/meps08353>

IPqM/PETROBRAS. (2019). 3º Relatório Técnico - PMPAS-BS - Nov/2015 a Dez/2018.

IPqM/PETROBRAS. (2020). 4º Relatório Técnico - PMPAS-BS - Nov/2015 a Dez/2019.

IPqM/PETROBRAS. (2021). 5º Relatório Técnico - PMPAS-BS - Nov/2015 a Dez/2020.

IPqM. (2021). *Influência da corrente oceânica no ruído próprio das linhas de fundeio instrumentadas.*

Jensen, F. B., Kuperman, W. A., Porter, M. B., & Schmidt, H. (2011). Computational Ocean Acoustics. In *NASPA Journal* (Vol. 42, Issue 4). Springer New York.

Klinck, H., Mellinger, D. K., Klinck, K., Bogue, N. M., Luby, J. C., Jump, W. A., Shilling, G. B., Litchendorf, T., Wood, A. S., Schorr, G. S., & Baird, R. W. (2012). Near-real-time acoustic monitoring of beaked whales and other cetaceans using a Seaglider™. *PLoS ONE*, 7(5), 1–8. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0036128>

Krause, B. L. (1987). Bioacoustic habitat ambience & ecological balance. *Whole Earth*, 57, 142p.

La Manna, G., Picciulin, M., Crobu, A., Perretti, F., Ronchetti, F., Manghi, M., Ruiu, A., & Ceccherelli, G. (2021). Marine soundscape and fish biophony of a Mediterranean marine protected area. *PeerJ*, 9, 1–26. <https://doi.org/10.7717/peerj.12551>

Landau, L. D., & Lifshitz, E. M. (1987). *Fluid Mechanics*. Pergamon Press.

Lillis, A., & Mooney, T. A. (2018). Snapping shrimp sound production patterns on Caribbean coral reefs: relationships with celestial cycles and environmental variables. *Coral Reefs*, 37(2), 597–607. <https://doi.org/10.1007/s00338-018-1684-z>



- Lima, F. M. De, Junior, C. C., Soares-Filho, W., Galotta, C., Antonio, J., Lima, M., & Paula, T. P. De. (2020). An Underwater Acoustic Modelling Framework for Santos Basin , Brazil. *International Conference on Underwater Acoustics*, 1–8.
- Lima, J. A. M., Paula, T. P. de, Soares-Filho, W., Spengler, A., Almeida, F. G. de, Pereira, D. P. C., Galotta, C., Junior, C. C., Bodart, C. P., & Stein, M. (2022). Monitoramento da Paisagem Acústica Submarina da Bacia de Santos (PMPAS-BS): uma iniciativa brasileira em monitoramento acústico oceânico. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, 10(2), 95–119.
- McWilliam, J. N., McCauley, R. D., Erbe, C., & Parsons, M. J. G. (2017). Patterns of biophonic periodicity on coral reefs in the Great Barrier Reef. *Scientific Reports*, 7(1), 1–14. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-15838-z>
- Melo Junior, U. G., Xavier, F. C., Campbell, D., Silveira, N., Versiani, L., Cumplido, R., Rodrigues, M., & Netto, E. B. F. (2020). Characterization of the acoustic activity of Perna perna (bivalve mollusc) under laboratory conditions. *2019 International Congress on Ultrasonics*, 38(June 2020), 010010. <https://doi.org/10.1121/2.0001254>
- Merchant, N. D., Brookes, K. L., Faulkner, R. C., Bicknell, A. W. J., Godley, B. J., & Witt, M. J. (2016). 2-Underwater noise levels in UK waters. *Scientific Reports*, 6(1), 36942. <https://doi.org/10.1038/srep36942>
- Mooney, T. A., Di Iorio, L., Lammers, M., Lin, T. H., Nedelec, S. L., Parsons, M., Radford, C., Urban, E., & Stanley, J. (2020). Listening forward: Approaching marine biodiversity assessments using acoustic methods: Acoustic diversity and biodiversity. *Royal Society Open Science*, 7(8). <https://doi.org/10.1098/rsos.201287>
- Moreira, J. L. P., Valdetaro, C., Gil, J. A., & Machado, M. A. P. (2007). Bacia de Santos. *Boletim de Geociencias Da Petrobras*, 531–549.
- Mustonen, M., Klauson, A., Andersson, M., Clorennec, D., Folegot, T., Koza, R., Pajala, J., Persson, L., Tegowski, J., Tougaard, J., Wahlberg, M., & Sigray, P.



- (2019). Spatial and Temporal Variability of Ambient Underwater Sound in the Baltic Sea. *Scientific Reports*, 9(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-48891-x>
- NOAA/NCEI. (2017). *Passive Acoustic Data Collection*. NOAA National Centers for Environmental Information. <https://doi.org/1025921/PF0H-SQ72>
- NOAA. (2016). *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* (Issue July).
- Petrobras. (2020). *Relatório Técnico do Projeto de Monitoramento do Tráfego de Embarcações da Bacia de Santos - PMTE-BS - Em elaboração*.
- Pijanowski, B. C., Villanueva-Rivera, L. J., Dumyahn, S. L., Farina, A., Krause, B. L., Napoletano, B. M., Gage, S. H., & Pieretti, N. (2011). Soundscape ecology: The science of sound in the landscape. *BioScience*, 61(3), 203–216. <https://doi.org/10.1525/bio.2011.61.3.6>
- Radford, C. A., Stanley, J. A., & Jeffs, A. G. (2014). Adjacent coral reef habitats produce different underwater sound signatures. *Marine Ecology Progress Series*, 505, 19–28. <https://doi.org/10.3354/meps10782>
- Radford, C. A., Stanley, J. A., Tindle, C. T., Montgomery, J. C., & Jeffs, A. G. (2010). Localised coastal habitats have distinct underwater sound signatures. *Marine Ecology Progress Series*, 401(July 2014), 21–29. <https://doi.org/10.3354/meps08451>
- Radford, C., Jeffs, A., Tindle, C., & Montgomery, J. (2008). Resonating sea urchin skeletons create coastal choruses. *Marine Ecology Progress Series*, 362, 37–43. <https://doi.org/10.3354/meps07444>
- Ross, D. (1976). *Mechanics of underwater noise*. Pergamon Press.
- Saha, S., Moorthi, S., Wu, X., Wang, J., Nadiga, S., Tripp, P., Behringer, D., Hou, Y. T., Chuang, H. Y., Iredell, M., Ek, M., Meng, J., Yang, R., Mendez, M. P.,



- Van Den Dool, H., Zhang, Q., Wang, W., Chen, M., & Becker, E. (2014). The NCEP climate forecast system version 2. *Journal of Climate*, 27(6), 2185–2208. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00823.1>
- Schafer, R. M. (1977). *The soundscape: our sonic environment and the tuning of the world*.
- Schoeman, R. P., Erbe, C., & Plön, S. (2022). Underwater Chatter for the Win: A First Assessment of Underwater Soundscapes in Two Bays along the Eastern Cape Coast of South Africa. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(6), 746. <https://doi.org/10.3390/jmse10060746>
- Southworth, M. (1969). The Sonic Environment of Cities. *Environment and Behavior*, 1(1), 49–70. <https://doi.org/10.1177/001391656900100104>
- Strasberg, M., & Taylor, D. W. (1979). Nonacoustic noise interference in measurements of infrasonic ambient noise. *Journal of the Acoustical Society of America*, 66(5), 1487–1493. <https://doi.org/10.1121/1.383543>
- Urick, R. J. (1983). *Principles of Underwater Sound* (D. Heiberg & J. Davis (eds.); 3rd ed.). McGraw-Hill Book Company.
- van Geel, N. C. F., Merchant, N. D., Culloch, R. M., Edwards, E. W. J., Davies, I. M., O'Hara Murray, R. B., & Brookes, K. L. (2020). Exclusion of tidal influence on ambient sound measurements. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 148(2), 701–712. <https://doi.org/10.1121/10.0001704>
- Velleman, P. F., & Hoaglin, D. C. (1981). Applications, Basics, and Computing of Exploratory Data Analysis. In *Duxbury Press, Boston*.
- Wenz, G. M. (1962). Acoustic Ambient Noise in the Ocean: Spectra and Sources. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 34(12), 1936–1956. <https://doi.org/10.1121/1.1909155>
- Williams, R., Wright, A. J., Ashe, E., Blight, L. K., Bruintjes, R., Canessa, R., Clark, C. W., Cullis-Suzuki, S., Dakin, D. T., Erbe, C., Hammond, P. S., Merchant, N. D., O'Hara, P. D., Purser, J., Radford, A. N., Simpson, S. D., Thomas, L.,



& Wale, M. A. (2015). Impacts of anthropogenic noise on marine life: Publication patterns, new discoveries, and future directions in research and management. *Ocean and Coastal Management*, 115, 17–24. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.05.021>

Xavier, F. C. (2021). *Assinatura bioacústica de costões rochosos: Caracterização, modelagem e aplicações biotecnológicas*. Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira & Universidade Federal Fluminense.



Coordenador da Equipe



Técnico Responsável

6º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2022

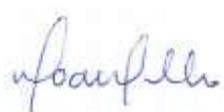
VII EQUIPE TÉCNICA

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)	Todas
Assinatura	



VII.2 INSTITUTO DE PESQUISAS DA MARINHA (IPQM)

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



APÊNDICE A 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 flutuabilidade e derivando com as correntes. Sua operação consiste em ciclos de descida, deriva submersa na profundidade de estacionamento, subida realizando janelas acústicas programadas e transmissão de dados via satélite de comunicação Iridium, a cada emergência.

Para cada janela acústica realizada nas profundidades programadas, o sistema de aquisição presente no perfilador obtém um minuto de gravação. O próprio equipamento processa as séries temporais das janelas acústicas e gera os parâmetros acústicos e espectros que são enviados por satélite a cada emergência. Os dados recebidos de cada perfilador são 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 *Seaglid*ers, fabricados pela empresa Kongsberg, que permitem a coleta contínua de dados oceanográficos de



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.



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



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



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 LFI's deve ser observado que a linha se move por efeito das correntes, podendo sua extremidade superior derivar por centenas de metros em relação à poita.

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.



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



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

6º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2022

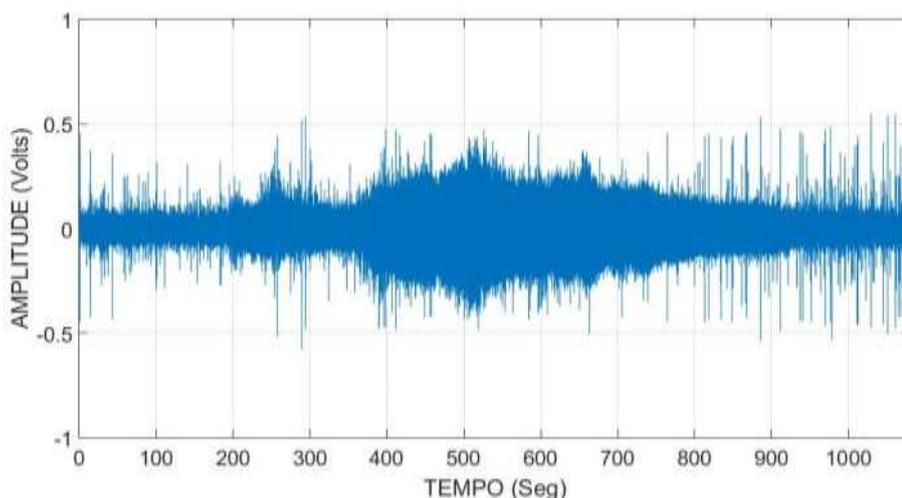


Figura A.7.2-1: Exemplo do sinal acústico durante a passagem de uma embarcação por um OS.

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.

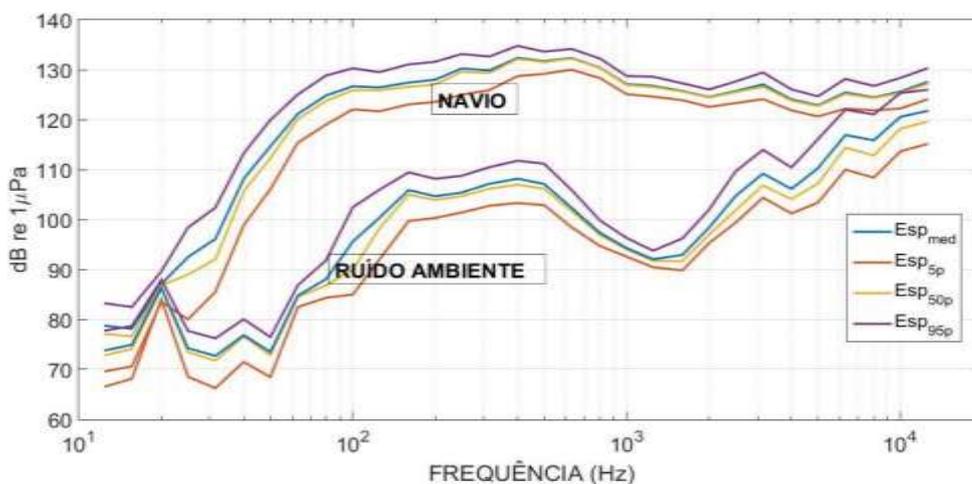


Figura A.7.2-2: Espectros obtidos antes e durante a passagem da embarcação.



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, 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



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

6º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2022

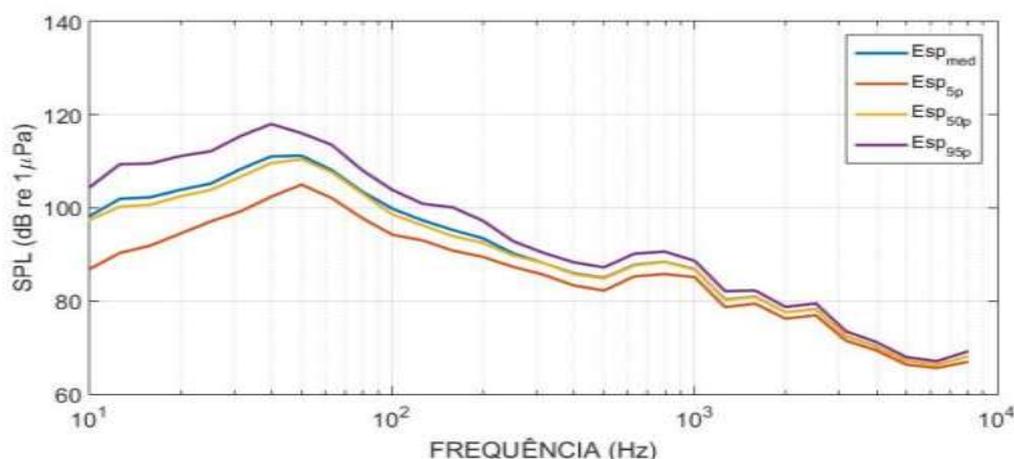


Figura A.7.5.1-1: Exemplo de espectro de SPL médio e nos percentis de 5%, 50% e 95%, transmitido por um perfilador, em 26/01/2017, para a profundidade de 183 m.

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.



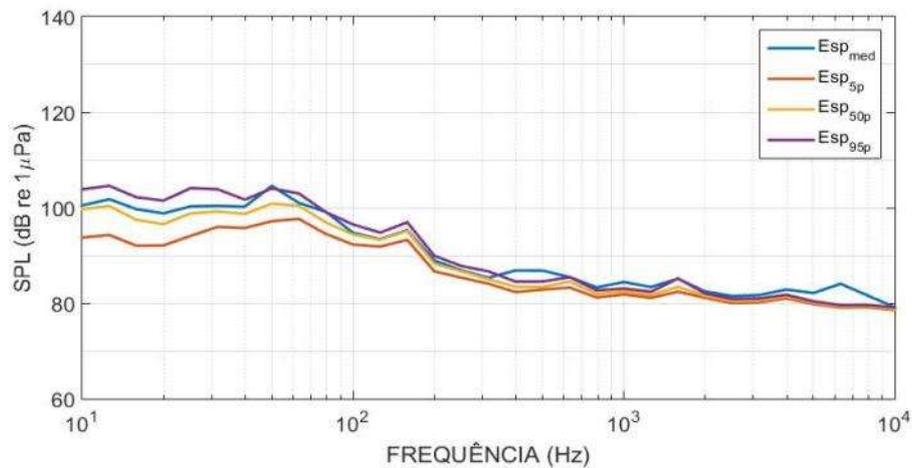


Figura A.7.5.2-1: Exemplo de espectro de SPL médio e nos percentis de 5%, 50% e 95%, calculado a partir de um sinal gravado por um glider em 14/11/2017, para a profundidade de 592 m.

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.



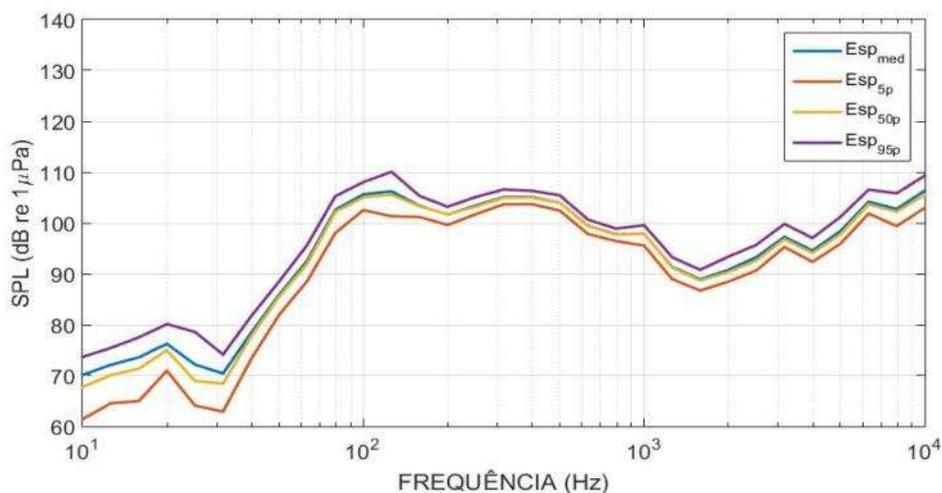


Figura A.7.5.3-1: Exemplo de espectro de SPL médio e nos percentis de 5%, 50% e 95%, calculado a partir de um sinal gravado num OS em 17/07/2017, para a profundidade de 24 m.

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.



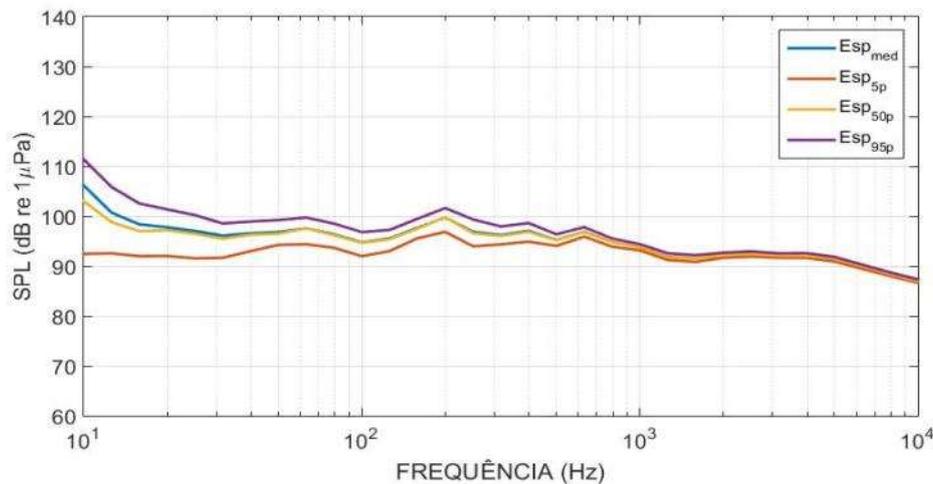


Figura A.7.5.4-1: Exemplo de espectro de SPL médio e nos percentis de 5%, 50% e 95%, calculado a partir de um sinal gravado numa LFI em 26/11/2017, para a profundidade de 200m.

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.



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	31.698
9	39,8	19	398,1	29	3.981	39	39.906
10	50,1	20	501,2	30	5.012	40	50.238

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.



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)).

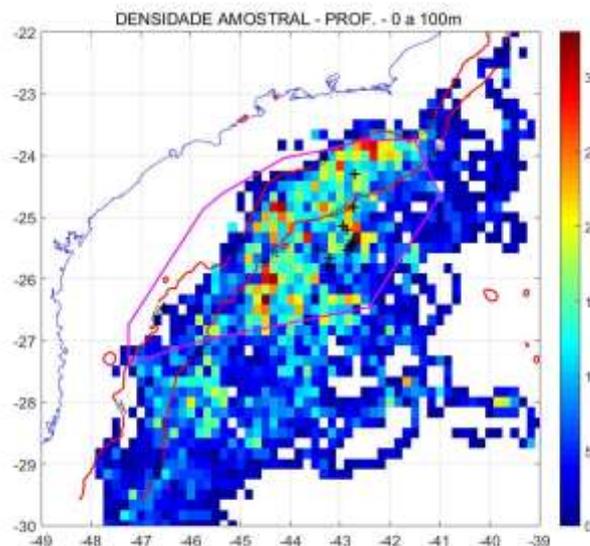


Figura A.7.6.5-1: Exemplo da distribuição espacial da Densidade Amostral para as profundidades entre 0 e 100 m.



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.

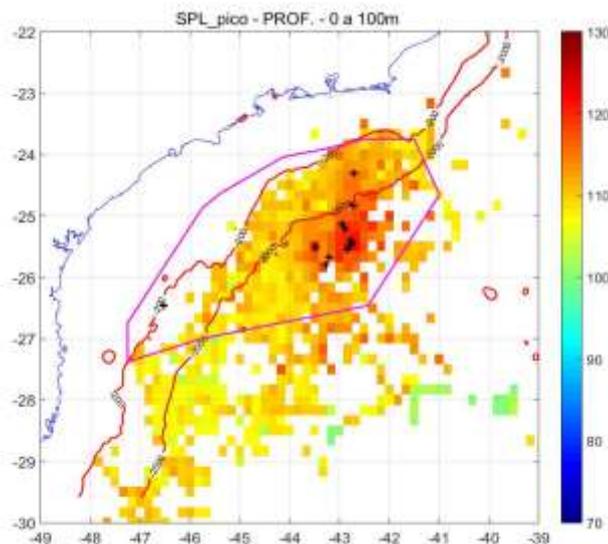


Figura A.7.6.6-1: Exemplo da distribuição espacial de SPL para as profundidades entre 0 e 100 m.

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.



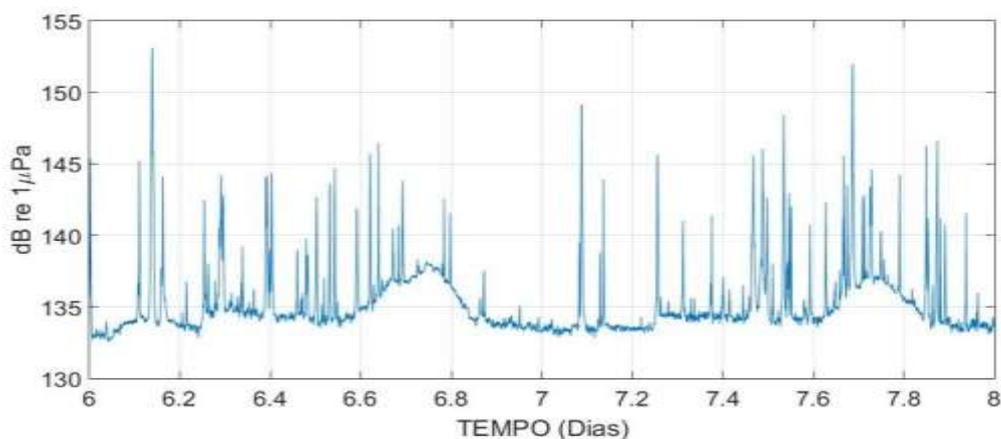


Figura A.7.6.7-1: Exemplo de apresentação do SPL em função do tempo, com resolução temporal de um minuto.

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.

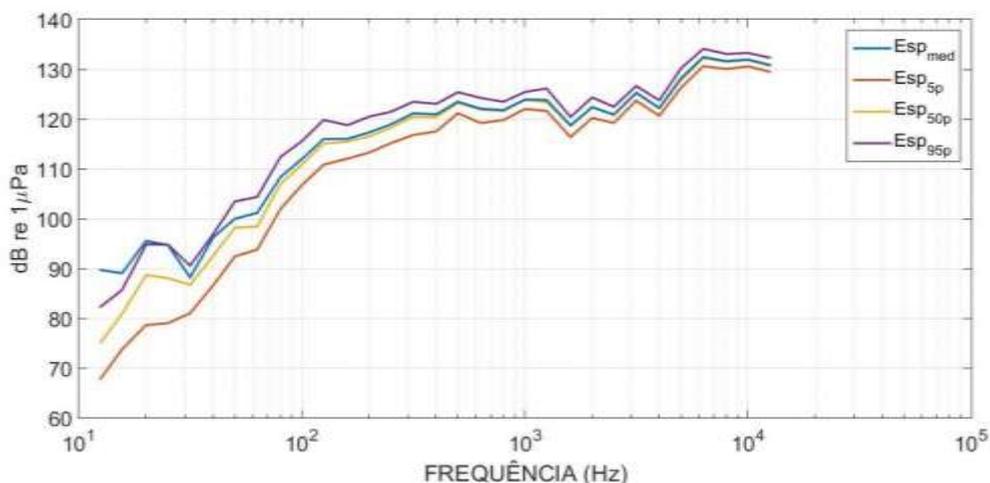


Figura A.7.6.8-1: Exemplo de espectro de 1/3 de oitava médio e nos percentis de 5%, 50% e 95% do ruído gravado num OS.

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.

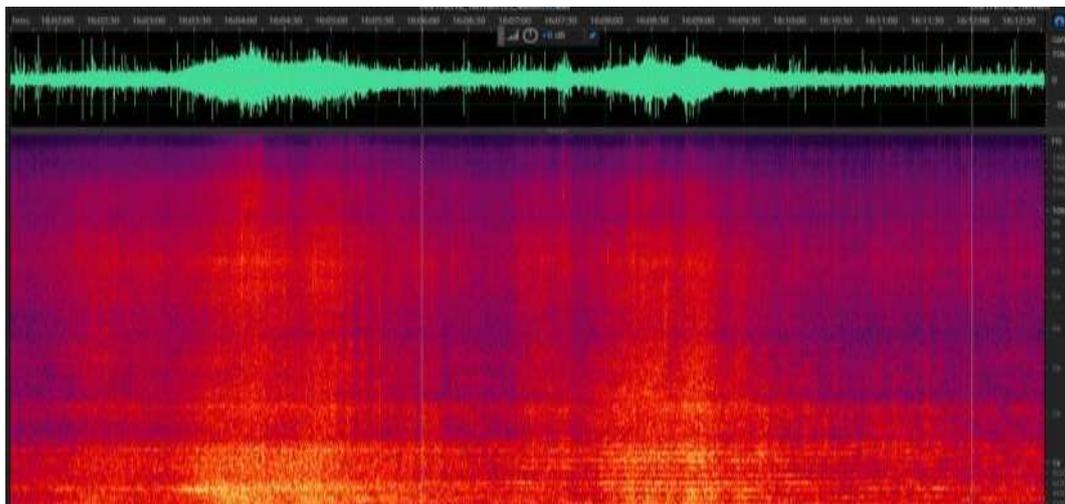


Figura A.7.6.9-1: Exemplo de um espectrograma correspondente a doze minutos de gravação num trecho em que se pode observar a passagem de duas embarcações.

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

6º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2022

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

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 $1\mu Pa^2 \cdot s$ 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	SEL	SEL	SPL_{pico}	SEL	SPL_{pico}
(pond.)	(pond.)	(pond.)	(não pond.)	(pond.)	(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.



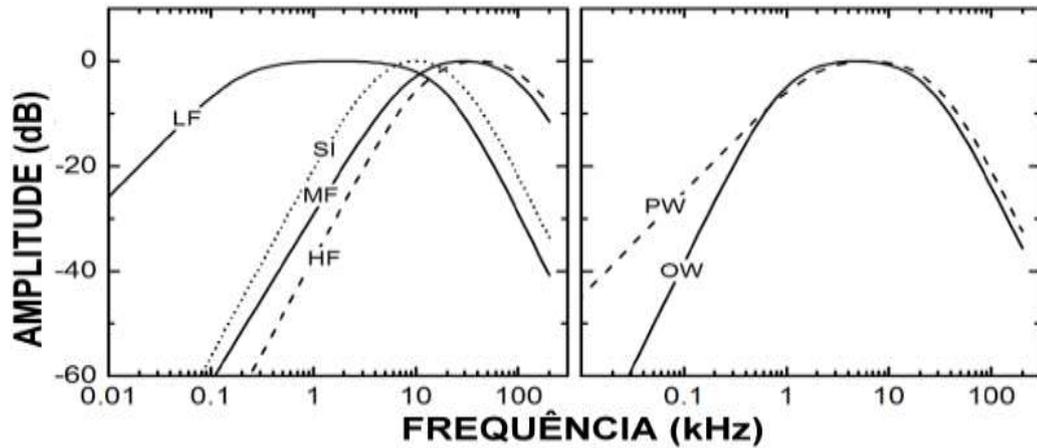


Figura A.7.6.10-1: Função de pesos para os grupos de espécies de mamíferos marinhos expostos ao ruído acústico submarino. Os parâmetros necessários para gerar as funções são fornecidos na Tabela A.7.6.10-1 (Fonte: Finneran (2016)).

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



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 obliquidens</i> (Pacific white-sided dolphin) <i>Lagenorhynchus obscurus</i> (dusky dolphin)
HF	High-frequency cetaceans	Family Phocoenidae (porpoises) Family Platanistidae (Indus/Ganges river dolphins) Family Iniidae (Amazon river dolphins) Family Pontoporiidae (Baiji/ La Plata river dolphins) Family Kogiidae (Pygmy/dwarf sperm whales) Genus <i>Cephalorhynchus</i> (Commersen's, Chilean, Heaviside's, Hector's dolphins) <i>Lagenorhynchus australis</i> (Peale's or black-chinned dolphin) <i>Lagenorhynchus cruciger</i> (hourglass dolphin)
SI	Sirenians	Family Trichechidae (manatees) Family Dugongidae (dugongs)
OW	Otariids and other non-phocid marine carnivores (water)	Family Otariidae (eared seals and sea lions) Family Odobenidae (walrus) <i>Enhydra lutris</i> (sea otter) <i>Ursus maritimus</i> (polar bear)
PW	Phocids (water)	Family Phocidae (true seals)

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



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 25º e 75º percentis (distância interquartil - IQR) e a linha vermelha no centro representa a mediana (50º 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 25º percentil e acima do 75º 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 ($F = 25.228$, $p=0,0000$).



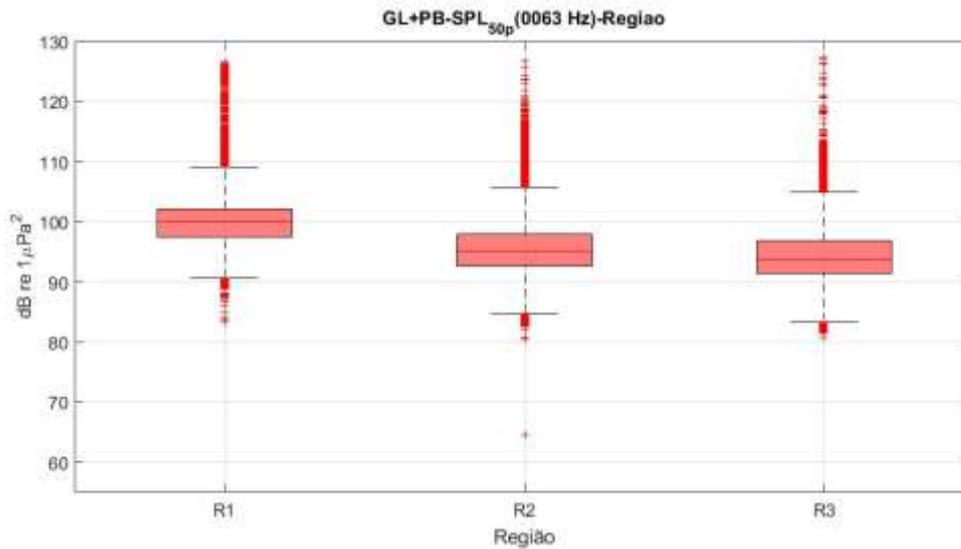


Figura A.7.6.11-1: Exemplo de comparação entre dados utilizando o boxplot. Neste caso, são comparados os níveis sonoros obtidos por gliders e perfiladores nas regiões R1, R2 e R3, no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz.