

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

4º Relatório Técnico - Novembro/2015 a dezembro/2019

Volume Único

**Revisão 00
Agosto / 2020**



E&P

ÍNDICE GERAL

I	Apresentação.....	1
I.1	Apresentação do Projeto	1
I.2	Paisagem Acústica Submarina.....	2
I.3	Revisão Bibliográfica	4
I.3.1	Análise Bibliográfica	4
I.3.1.1	Principais Diretrizes na Área de Monitoramento da PAS.....	4
I.3.1.2	Principais Projetos na Área de Monitoramento da PAS.....	7
I.4	Estrutura do Relatório.....	12
II	Materiais e Métodos	13
II.1	Área de Estudo.....	13
II.1.1	Região Costeira	14
II.1.2	Região Oceânica	16
II.2	Dados Acústicos.....	18
II.2.1	Processamento dos Dados	18
II.2.2	Caracterização dos Dados	18
III	Paisagem Acústica Submarina na Bacia de Santos – Resultados e Discussão	21
III.1	Parte Profunda	21
III.1.1	Monitoramento Móvel – <i>Gliders</i> e Perfiladores	21
III.1.1.1	Comparação da Bacia de Santos com Outros Lugares	26
III.1.1.2	Comparação entre as Regiões R1, R2 e R3.....	29
III.1.1.3	Detecção de Sinais Provenientes de Prospecções Sísmicas ...	39
III.1.1.3.1	Processamento dos Dados.....	42



III.1.1.3.2	Resultados Obtidos	44
III.1.1.3.3	Considerações Finais	50
III.1.2	Monitoramento Fixo – Linhas de Fundeio Instrumentadas	51
III.1.2.1	Qualificação das LFI's	51
III.1.2.2	Comparação entre as LFI's	56
III.1.2.3	Evolução Temporal das LFI's	66
III.1.2.4	Comparação das LFI's com <i>Gliders</i> e Perfiladores	77
III.2	Parte Rasa – Monitoramento Fixo – Observatórios Submarinos	80
III.2.1	OS-1 – Baía de Guanabara	80
III.2.2	OS-2 – Baía de Ilha Grande	85
III.2.3	OS-3 – Canal de São Sebastião	90
III.2.4	Comparação entre OSs	95
III.2.5	Deteção de Embarcações nos OSs	100
III.3	Biofonia	103
III.3.1	Deteção de Biofonia nos <i>Gliders</i>	103
III.3.2	Deteção de Biofonia nas LFI's x <i>Gliders</i>	107
III.3.3	Integração com o PMC-BS	115
IV	Sistema de Modelagem Acústica Submarina - SIMAS	117
IV.1	Atividades Desenvolvidas	118
IV.2	Validação	118
IV.3	Resultados Obtidos	123
V	Considerações Finais	127
V.1	Monitoramento Móvel	127
V.2	Linhas de Fundeio Instrumentadas	128
V.3	Observatórios Submarinos	129



V.4	Biofonia	130
V.5	Modelagem do Ruído Acústico na Bacia de Santos.....	131
V.6	PAISAGEM ACÚSTICA.....	132
VI	Referências Bibliográficas	135
VII	Equipe Técnica.....	139
VII.1	Petrobras.....	139
VII.2	Instituto de Pesquisas da Marinha (IPqM)	140
APÊNDICE A	Metodologia de Aquisição e Processamento dos Dados.....	141
A.1	Monitoramento Móvel	141
A.1.1	Aquisição dos Dados Acústicos com Perfiladores	141
A.1.2	Aquisição dos Dados Acústicos com <i>Gliders</i>	141
A.2	Monitoramento Fixo.....	143
A.2.1	Aquisição dos Dados Acústicos com Observatórios Submarinos (OSs)	143
A.2.2	Aquisição dos Dados Acústicos com Linhas de Fundeio Instrumentadas (LFIs).....	144
A.2.3	Dados Ambientais.....	145
A.3	Densidade de Embarcações	145
A.4	Georeferenciamento dos Dados Acústicos	146
A.5	Sincronização Temporal dos Dados Acústicos e dos Parâmetros espectrais.....	146
A.6	Sistema de Informações.....	146
A.7	Processamento e Arquivamento dos Dados	147
A.7.1	Consistência e Qualificação dos Dados	147
A.7.2	Crítérios de Detecção de Embarcações	148



A.7.3	CrITÉrios de Detecção de Biofonia.....	149
A.7.4	Definição dos Parâmetros Processados	150
A.7.5	Outros Processamentos.....	151
A.7.5.1	Perfiladores Acústicos.....	152
A.7.5.2	<i>Gliders</i>	152
A.7.5.3	ObservatÓrios Submarinos.....	153
A.7.5.4	Linhas de Fundeio Instrumentadas	154
A.7.5.5	Dados Ambientais	155
A.7.5.6	Densidade de Embarcações	155
A.7.6	Apresentação dos Dados e Resultados	156
A.7.6.1	Resolução Espacial Plana	156
A.7.6.2	Resolução Espacial Vertical.....	156
A.7.6.3	Resolução Espectral	157
A.7.6.4	Resolução Temporal	157
A.7.6.5	Densidade Amostral Espacial	158
A.7.6.6	NÍvel de Pressão Sonora Espacial.....	159
A.7.6.7	NÍvel da Pressão Sonora Temporal	160
A.7.6.8	Espectros de 1/3 de Oitava.....	161
A.7.6.9	Espectrogramas	161
A.7.6.10	NÍvel de Exposição Sonora – SEL _{24H}	162
A.7.6.11	Testes Estatísticos	165



FIGURAS

Figura I.2-1: O conceito de Paisagem Acústica Submarina (Fonte: Adaptada de Campbell, 2018).....	3
Figura I.3.1.1-1: Rede de estações de monitoramento acústico passivo da NOAA.....	6
Figura I.3.1.1-2: Linha do tempo para o MSFD (2008/56/EC).	7
Figura II.1-1: Região da Bacia de Santos, mostrando a Área Geográfica da Bacia de Santos (AGBS, linha vermelha) e a localização das unidades de produção da PETROBRAS (círculos vermelhos). São apresentadas, também, as posições das Linhas de Fundeio Instrumentadas (círculos em verde).....	13
Figura II.1.1-1: Observatório Submarino na Baía da Guanabara (OS1).	14
Figura II.1.1-2: Observatório Submarino na Baía da Ilha Grande (OS2).	15
Figura II.1.1-3: Observatório Submarino no Canal de São Sebastião (OS3).....	15
Figura II.1.2-1: Regiões de Interesse e posições de embarcações e unidades marítimas a serviço da PETROBRAS (janela superior) e de terceiros (janela inferior).	17
Figura III.1.1-1: Mapa do SPL _{50p} para o filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz, com os quadrados vermelhos delimitando as regiões R1, R2 e R3 e a linha diagonal tracejada vermelha mostrando os pontos usados para a comparação espacial dos níveis de ruído na Bacia de Santos.	21
Figura III.1.1-2: SPL _{50p} 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 <i>boxplot</i> para as medições feitas em cada posição da linha (gráfico de baixo).	23
Figura III.1.1-3: Histograma dos valores de SPL para as medições realizadas na linha diagonal, na posição (-25,5°, -43,5°), permitindo ver os	



valores extremos (acima de 115 dB re 1 μ Pa ²) apresentados em um histograma.....	23
Figura III.1.1-4: Mapas do SPL _{50p} para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz e para os filtros de 1/3 de oitava de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz.	24
Figura III.1.1-5: SPL _{50p} ao longo da linha mostrada nos mapas, em função da longitude, para os filtros de 1/3 de oitava de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz.	25
Figura III.1.1.1-1: Comparação da densidade espectral de potência de 1/3 de oitava medianos obtidos a partir das medições realizadas nas regiões R1, R2 e R3 na Bacia de Santos com medições realizadas por (Haver et al., 2018) na região do Golfo do México.	26
Figura III.1.1.2-1: Comparação entre as regiões R1, R2 e R3, usando todos os dados qualificados dos <i>gliders</i> e perfiladores nestas regiões, para o filtro de 1/3 de oitava centrado em 63 Hz. As três regiões são estatisticamente diferentes (ANOVA, F=33.339,8, p=0,0000).	29
Figura III.1.1.2-2: Comparação entre as regiões R1, R2 e R3, em cada ano, de 2016 a 2019, usando todos os dados qualificados dos <i>gliders</i> e perfiladores nestas regiões, para o filtro de 1/3 de oitava centrado em 63 Hz.	31
Figura III.1.1.2-3: Comparação entre as regiões R1, R2 e R3, em cada ano, de 2016 a 2019 usando todos os dados qualificados dos <i>gliders</i> e perfiladores nestas regiões, para o filtro de 1/3 de oitava centrado em 125 Hz.	31
Figura III.1.1.2-4: Comparação entre as regiões R1, R2 e R3, em cada ano, de 2016 a 2019, usando todos os dados qualificados dos <i>gliders</i> e perfiladores nestas regiões, para o filtro de 1/3 de oitava centrado em 500 Hz.	32
Figura III.1.1.2-5: Comparação entre as regiões R1, R2 e R3, em cada ano, de 2016 a 2019, usando todos os dados qualificados dos <i>gliders</i> e	



perfiladores nestas regiões, para o filtro de 1/3 de oitava centrado em 1.000 Hz.....	33
Figura III.1.1.2-6: Comparação entre as regiões R1, R2 e R3, em cada ano, de 2016 a 2019, usando todos os dados qualificados dos <i>gliders</i> e perfiladores nestas regiões, na faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz.....	33
Figura III.1.1.2-7: Comparação entre as regiões R1, R2 e R3, para três faixas de profundidade, usando todos os dados qualificados dos <i>gliders</i> e perfiladores nestas regiões, para o filtro de 1/3 de oitava centrado em 63 Hz.....	34
Figura III.1.1.2-8: Comparação entre as regiões R1, R2 e R3, para três faixas de profundidade, usando todos os dados qualificados dos <i>gliders</i> e perfiladores nestas regiões, para o filtro de 1/3 de oitava centrado em 125 Hz.....	35
Figura III.1.1.2-9: Comparação entre as regiões R1, R2 e R3, para três faixas de profundidade, usando todos os dados qualificados dos <i>gliders</i> e perfiladores nestas regiões, para o filtro de 1/3 de oitava centrado em 500 Hz.....	36
Figura III.1.1.2-10: Comparação entre as regiões R1, R2 e R3, para três faixas de profundidade, usando todos os dados qualificados dos <i>gliders</i> e perfiladores nestas regiões, para o filtro de 1/3 de oitava centrado em 1.000 Hz.....	37
Figura III.1.1.2-11: Comparação entre as regiões R1, R2 e R3, para três faixas de profundidade, usando todos os dados qualificados dos <i>gliders</i> e perfiladores nestas regiões, na faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz.....	38
Figura III.1.1.3-1: Linha do tempo mostrando os períodos dos trabalhos de prospecção sísmica em Libra e Lula e das campanhas de gravação dos <i>gliders</i> que coincidiram com a prospecção.....	40



Figura III.1.1.3-2: Trajetória dos navios sísmicos durante as atividades de prospecção sísmica e trajetórias percorridas pelo <i>glider</i> nas campanhas C20, C21, C22 e C23.....	40
Figura III.1.1.3-3: Linha do tempo mostrando os períodos dos trabalhos de prospecção sísmica em Búzios e da campanha de gravação do <i>glider</i> que coincidiu com a prospecção.	41
Figura III.1.1.3-4: Trajetórias do <i>glider</i> e do navio sísmico no período correspondente à campanha de prospecção sísmica. O trecho em preto na trajetória do <i>glider</i> corresponde ao período que coincide com a campanha de prospecção sísmica.	42
Figura III.1.1.3.1-1: Trecho do sinal acústico recebido pelo <i>glider</i> mostrando uma série de pulsos associados aos pulsos gerados pelos <i>airguns</i>	43
Figura III.1.1.3.1-2: Ampliação do sinal acústico recebido pelo <i>glider</i> mostrando o trecho correspondente a um pulso transmitido.....	43
Figura III.1.1.3.2-1: SPL _{pico} calculado para cada pulso detectado pelo <i>glider</i> em função da distância ao navio fonte nas campanhas em Libra 2 e Lula 2.....	45
Figura III.1.1.3.2-2: Em cima, níveis de pressão sonora para cada pulso sísmico detectado no <i>glider</i> (pontos azuis), curva de regressão do decaimento (linha vermelha sólida) e decaimento considerando SL=226 dB re 1 µPa.m e perda por espalhamento esférico (linha tracejada). No meio, SL calculado a usando $SL = RL + 23 \cdot \log(R)$ (pontos azuis), com o valor do SL estimado sendo representado pela linha vermelha horizontal (SL=236 dB re 1 µPa.m). Embaixo, histograma dos SL apresentados no gráfico do meio (em azul) e histograma dos SL considerando a equação $SL = RL + 20 \cdot \log(R)$ (em vermelho, tracejado).....	47
Figura III.1.1.3.2-3: Trecho ampliado do gráfico da Figura III.1.1.3.2-2 mostrando a saturação que ocorre em curtas distâncias e o espalhamento dos níveis medidos.	48



- Figura III.1.1.3.2-4: Em cima, níveis da pressão sonora recebida pelo *glider* (pontos pretos) e níveis esperados considerando um espalhamento esférico (linha azul). Embaixo, distância do *glider* ao arranjo de canhões de ar (linha azul) e profundidade do *glider* (linha vermelha)..... 49
- Figura III.1.1.3.2-5: Trajetória dos arranjos de canhões de ar (azul) durante o trecho apresentado na Figura III.1.1.3.2-4 e trajetória do *glider* durante a campanha de prospecção sísmica, destacando, em preto, o trecho que corresponde, em tempo, ao trecho da trajetória dos arranjos. 49
- Figura III.1.2.1-1: LFI-FA02 - SPL_{50p} em dB re 1 μPa^2 nas profundidades de 50 m, 200 m e 950 m, em função do dia (gráfico superior) e separado por hora do dia da medição (gráficos inferiores). 52
- Figura III.1.2.1-2: LFI-FA02 - Intensidade da corrente oceânica em função do dia (gráfico superior) e SPL_{50p} em dB re 1 μPa^2 , para correntes menores que 13 cm/s (linha tracejada no primeiro gráfico), separado por hora do dia da medição (gráficos inferiores), nas profundidades de 50 m, 200 m e 950 m. 53
- Figura III.1.2.1-3: Percentual das janelas processadas e que foram validades no processo de qualificação, para cada linha, nas profundidades de 50 m, 200 m e 950 m. 54
- Figura III.1.2.2-1: Comparação entre as LFIs para todos os dados no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz..... 56
- Figura III.1.2.2-2: Comparação entre as LFIs para todos os dados no filtro de 1/3 de oitava centrado nas frequência de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz..... 57
- Figura III.1.2.2-3: Comparação entre as LFIs para os anos de 2017 a 2019 no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz. 60
- Figura III.1.2.2-4: Comparação entre as LFIs para os anos de 2017 a 2019 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 pela



linha tracejada corresponde, da esquerda para a direita, aos anos de 2017, 2018 e 2019, respectivamente. O ano de 2018 foi ligado por uma linha pontilhada entre as LFIs, para facilitar a visualização.....	60
Figura III.1.2.2-5: Comparação entre as LFIs do SPL_{50p} no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz, para as profundidades de 50 m, 200 m e 950 m,.....	63
Figura III.1.2.2-6: 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 profundidade de 200 m foi ligada por uma linha pontilhada entre as LFIs, para facilitar a visualização.....	63
Figura III.1.2.2-7: Comparação entre o SEL_{24h-LF} para as seis linhas. A linha preta tracejada corresponde ao TTS.....	65
Figura III.1.2.2-8: Comparação entre o SEL_{24h-MF} para as seis linhas. A linha preta tracejada corresponde ao TTS.....	65
Figura III.1.2.3-1: LFI-FA01 nas campanhas C01, C03 e C04, para a profundidade de 50 m. Em cima, SPL_{50p} na faixa de frequência de 10 Hz a 10kHz, SEL_{24h-LF} e SEL_{24h-MF} . A linha preta tracejada representa o limiar para o TTS. Embaixo, espectrograma para os dados validados. A linha em preto correspondente à média diária da velocidade da corrente oceânica. As linhas horizontais tracejadas pretas indicam as intensidades de corrente de 20, 40 e 60 cm/s e a linha horizontal tracejada magenta representa o limiar de 13 cm/s, usado para qualificar os dados das LFIs.....	67
Figura III.1.2.3-2: LFI-FA01 nas campanhas C01, C03 e C04, para a profundidade de 200 m (veja texto e Figura III.1.2.3-1 para a descrição da figura).....	68
Figura III.1.2.3-3: LFI-FA01 nas campanhas C01, C03 e C04, para a profundidade de 950 m.....	68



Figura III.1.2.3-4: LFI-FA02 nas campanhas C01, C02, C03 e C04, para a profundidade de 50 m (veja texto e Figura III.1.2.3-1 para a descrição da figura).....	69
Figura III.1.2.3-5: LFI-FA02 nas campanhas C01, C02, C03 e C04, para a profundidade de 200 m (veja texto e Figura III.1.2.3-1 para a descrição da figura).....	69
Figura III.1.2.3-6: LFI-FA02 nas campanhas C01, C02, C03 e C04, para a profundidade de 950 m (veja texto e Figura III.1.2.3-1 para a descrição da figura).....	70
Figura III.1.2.3-7: LFI-FA03 nas campanhas C01, C02, C03 e C04, para a profundidade de 50 m (veja texto e Figura III.1.2.3-1 para a descrição da figura).....	70
Figura III.1.2.3-8: LFI-FA03 nas campanhas C01, C02, C03 e C04, para a profundidade de 200 m (veja texto e Figura III.1.2.3-1 para a descrição da figura).....	71
Figura III.1.2.3-9: LFI-FA03 nas campanhas C01, C02, C03 e C04, para a profundidade de 950 m (veja texto e Figura III.1.2.3-1 para a descrição da figura).....	71
Figura III.1.2.3-10: LFI-FA04 nas campanhas C01, C02, C03 e C04, para a profundidade de 50 m (veja texto e Figura III.1.2.3-1 para a descrição da figura).....	72
Figura III.1.2.3-11: LFI-FA04 nas campanhas C01, C02, C03 e C04, para a profundidade de 200 m (veja texto e Figura III.1.2.3-1 para a descrição da figura).....	72
Figura III.1.2.3-12: LFI-FA04 nas campanhas C01, C02, C03 e C04, para a profundidade de 950 m (veja texto e Figura III.1.2.3-1 para a descrição da figura).....	73
Figura III.1.2.3-13: LFI-FA05 nas campanhas C01, C02, C03 e C04, para a profundidade de 50 m (veja texto e Figura III.1.2.3-1 para a descrição da figura).....	73



Figura III.1.2.3-14: LFI-FA05 nas campanhas C01, C02, C03 e C04, para a profundidade de 200 m (veja texto e Figura III.1.2.3-1 para a descrição da figura).....	74
Figura III.1.2.3-15: LFI-FA05 nas campanhas C01, C02, C03 e C04, para a profundidade de 950 m (veja texto e Figura III.1.2.3-1 para a descrição da figura).....	74
Figura III.1.2.3-16: LFI-FA06 na campanha C03, para a profundidade de 50 m (veja texto e Figura III.1.2.3-1 para a descrição da figura).	75
Figura III.1.2.3-17: LFI-FA06 na campanha C03, para a profundidade de 200 m (veja texto e Figura III.1.2.3-1 para a descrição da figura).	75
Figura III.1.2.3-18: LFI-FA06 na campanha C03, para a profundidade de 950 m (veja texto e Figura III.1.2.3-1 para a descrição da figura).	76
Figura III.1.2.4-1: Comparação das medições de cada LFI com aquelas realizadas por <i>gliders</i> e perfiladores dentro de um círculo de diâmetro de um grau em latitude em torno desta LFI, para o filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz.	78
Figura III.1.2.4-2: Comparação das medições de cada LFI com aquelas realizadas por <i>gliders</i> e perfiladores dentro de um círculo de diâmetro de um grau em latitude em torno desta LFI, para os filtros de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz.	78
Figura III.2.1-1: SPL em dB re $1\mu\text{Pa}^2$, no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz, em função do dia e hora da aquisição, para o OS1. A elipse magenta destaca um trecho que provavelmente corresponde ao ruído de coro de peixes e o retângulo vermelho representa um trecho com pontos associados à passagem de embarcações.....	81
Figura III.2.1-2: SPL em dB re $1\mu\text{Pa}^2$, no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 125 Hz, em função do dia e hora da aquisição, para o OS1.	81



Figura III.2.1-3: SPL em dB re $1\mu\text{Pa}^2$, no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 500 Hz, em função do dia e hora da aquisição, para o OS1.....	82
Figura III.2.1-4: SPL em dB re $1\mu\text{Pa}^2$, no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 1.000 Hz, em função do dia e hora da aquisição, para o OS1.....	82
Figura III.2.1-5: SPL em dB re $1\mu\text{Pa}^2$, na faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz, em função do dia e hora da aquisição, para o OS1.	83
Figura III.2.1-6: OS1 nas campanhas realizadas de março de 2017 a dezembro de 2019.	83
Figura III.2.1-7: OS1 na campanha C53.	84
Figura III.2.1-8: Espectrograma dos sinais gravados no OS1 durante 24 horas, no dia 06 de outubro de 2019.	85
Figura III.2.2-1: SPL em dB re $1\mu\text{Pa}^2$, no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz, em função do dia e hora da aquisição, para o OS2.....	86
Figura III.2.2-2: SPL em dB re $1\mu\text{Pa}^2$, no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 125 Hz, em função do dia e hora da aquisição, para o OS2.....	86
Figura III.2.2-3: SPL em dB re $1\mu\text{Pa}^2$, no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 500 Hz, em função do dia e hora da aquisição, para o OS2.....	87
Figura III.2.2-4: SPL em dB re $1\mu\text{Pa}^2$, na no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 1.000Hz, em função do dia e hora da aquisição, para o OS2.....	87
Figura III.2.2-5: SPL em dB re $1\mu\text{Pa}^2$, na faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz, em função do dia e hora da aquisição, para o OS2.	88
Figura III.2.2-6: OS2 nas campanhas realizadas de maio de 2017 a dezembro de 2019.	88



Figura III.2.2-7: OS2 na campanha C36.....	89
Figura III.2.2-8: Espectrograma dos sinais gravados no OS2 durante 24 horas, no dia 21 de setembro de 2017.....	90
Figura III.2.3-1: SPL em dB re $1\mu\text{Pa}^2$, no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz, em função do dia e hora da aquisição, para o OS3.	91
Figura III.2.3-2: SPL em dB re $1\mu\text{Pa}^2$, no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 125 Hz, em função do dia e hora da aquisição, para o OS3.	91
Figura III.2.3-3: SPL em dB re $1\mu\text{Pa}^2$, na no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 500 Hz, em função do dia e hora da aquisição, para o OS3.	92
Figura III.2.3-4: SPL em dB re $1\mu\text{Pa}^2$, na no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 1.000 Hz, em função do dia e hora da aquisição, para o OS3.	92
Figura III.2.3-5: SPL em dB re $1\mu\text{Pa}^2$, na faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz, em função do dia e hora da aquisição, para o OS3.	93
Figura III.2.3-6: OS3 nas campanhas de março de 2017 a dezembro de 2019.	93
Figura III.2.3-7: OS3 na campanha C22.....	94
Figura III.2.3-8: Espectrograma dos sinais gravados no OS3 durante 24 horas, no dia 29 de julho de 2019.	95
Figura III.2.4-1: Comparação entre os OS1, OS2 e OS3, em cada ano, de 2017 a 2019, para o filtro de 1/3 de oitava centrado em 63 Hz.	96
Figura III.2.4-2: Comparação das medições dos OS1, OS2 e OS3 para os filtros de 1/3 de oitava centrados nas frequência de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz.....	97
Figura III.2.4-3: Comparação entre os OS1, OS2 e OS3, em cada ano, de 2017 a 2019, para o filtro de 1/3 de oitava centrado nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz.	98



Figura III.2.5-1: Número de navios detectados por dia nos OS1, OS2 e OS3.	102
Figura III.3.1-1: Tela do PAMGuard mostrando o contador de detecções. O período analisado foi de 2,5 horas.	104
Figura III.3.1-2: Espectrograma mostrando trechos de sinal com assobios e cliques.	104
Figura III.3.1-3: Espectrogramas mostrando trechos de sinal com gemidos e grunhidos.	105
Figura III.3.1-4: Mapa de dados do PAMGuard para o mergulho 02 da campanha C05, mostrando possíveis detecções de vocalização (elipses vermelhas) tanto em baixas frequências (gráfico superior) quanto em médias frequências (gráfico inferior).	106
Figura III.3.1-5: Número de detecções obtidas por dia pelo PAMGuard, para o detector de média frequência (MF – linha azul) e para o detector de baixa frequência (LF - linha vermelha). Na parte de baixo dos gráficos são mostrados os tempos de gravação de cada campanha do <i>glider</i> usada na detecção.	107
Figura III.3.2-1: Linhas do tempo para <i>gliders</i> nas campanhas C17 a C38, na parte de cima (número de sensor > 500) e para LFIs nas campanhas C01 a C04, na parte de baixo do gráfico (número de sensor < 200).	108
Figura III.3.2-2: Mapa da Bacia de Santos mostrando a trajetória percorrida pelo <i>glider</i> na campanha C34 e a posição da linha FA03.	109
Figura III.3.2-3: Distância do <i>glider</i> na campanha C34 à posição da linha FA03 (azul) e intensidade de corrente medido na posição da linha, a 50 m de profundidade (vermelho). A parte destacada do gráfico corresponde ao período de um dia usado na comparação.	110
Figura III.3.2-4: Mapa de dados gerado pelo PAMGuard mostrando as detecções obtidas no trecho de cerca de seis dias para o <i>glider</i> , entre os dias 08 e 14 de julho de 2019.	111



Figura III.3.2-5: Mapa de dados gerado pelo PAMGuard mostrando as detecções obtidas no trecho de cerca de seis dias para a LFI FA03, na profundidade de 50 m.....	111
Figura III.3.2-6: Mapa de dados gerado pelo PAMGuard mostrando as detecções obtidas no trecho de cerca de um dia para o <i>glider</i>	112
Figura III.3.2-7: Mapa de dados gerado pelo PAMGuard mostrando as detecções obtidas no trecho de cerca de um dia para a LFI FA03, na profundidade de 50 m.....	113
Figura III.3.2-8: Espectrograma com duração de 60 segundos gerado pelo PAMGuard durante o processo de detecção das vocalizações na faixa de baixa frequência para o <i>glider</i>	114
Figura III.3.2-9: Espectrograma com duração de 60 segundos gerado pelo PAMGuard durante o processo de detecção das vocalizações, na faixa de baixa frequência para a linha FA03.....	114
Figura IV.2-1: Mapa de ruído médio medido no ano de 2016, nos meses de janeiro (à esquerda), julho (no centro) e em todo o ano (à direita) para a frequência de 63 Hz na faixa de profundidade de 0 a 100 m.	119
Figura IV.2-2: Mapa de ruído médio modelado no ano de 2016, nos meses de janeiro (à esquerda), julho (no centro) e em todo o ano (à direita) para a frequência de 125 Hz e faixa de profundidade de 0 a 100 m.	119
Figura IV.2-3: Mapa de ruído médio modelado para julho de 2016 na frequência de 63 Hz (à esquerda) e regiões que coincidem com aquelas dos dados medidos para a frequência de 63 Hz (no centro) e 125 Hz (à direita).	120
Figura IV.2-4: Comparação dos dados medidos e modelados para o mês de janeiro de 2016 nas frequências de 63 Hz em (A) e de 125 Hz em (B)...	121
Figura IV.2-5: Comparação dos dados medidos e modelados para o mês de julho de 2016 nas frequências de 63 Hz em (C) e de 125 Hz em (D).	122
Figura IV.3-1: Posição AIS das fontes no dia 31/01/2016 às 06:00h (esquerda) e respectivos mapas do nível de ruído para a banda de	



1/3 de oitava nas frequências de 63 Hz (centro) e 125 Hz (direita), a 50 m de profundidade.	123
Figura IV.3-2: Mapa da média do nível de ruído acumulado para a banda de 1/3 de oitava na frequência central de 63 Hz, a 50 m, para os anos de 2016, 2017 e 2018.	124
Figura IV.3-3: Mapa da média do nível de ruído acumulado para a banda de 1/3 de oitava com frequência central de 125 Hz, a 1.000 m de profundidade para os anos de 2016, 2017 e 2018.....	124
Figura III.3.3-4: Mapa da média do nível de ruído acumulado do inverno para a banda de 1/3 de oitava com frequência central de 125 Hz, a 200 m de profundidade para os anos de 2016, 2017 e 2018.....	125
Figura A.7.2-1: Exemplo do sinal acústico durante a passagem de uma embarcação por um OS.	148
Figura A.7.2-2: Espectros obtidos antes e durante a passagem da embarcação.	149
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.	152
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 <i>glider</i> em 14/11/2017, para a profundidade de 592 m.	153
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 em um OS em 17/07/2017, para a profundidade de 24 m.	154
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 em uma LFI em 26/11/2017, para a profundidade de 200m.	155
Figura A.7.6.5-1: Exemplo da distribuição espacial da Densidade Amostral para as profundidades entre 0 e 100 m.....	159



Figura A.7.6.6-1: Exemplo da distribuição espacial de SPL para as profundidades entre 0 e 100 m.....	160
Figura A.7.6.7-1: Exemplo de apresentação do SPL em função do tempo, com resolução temporal de um minuto.....	160
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 em um OS.....	161
Figura A.7.6.9-1: Exemplo de um espectrograma correspondente a doze minutos de gravação em um trecho em que se pode observar a passagem de duas embarcações.....	162
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)).....	163
Figura A.7.6.11-1: Exemplo de comparação entre dados utilizando o <i>boxplot</i> . Neste caso, são comparados os níveis sonoros obtidos por <i>gliders</i> e perfiladores nas regiões R1, R2 e R3, no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz.....	166



TABELAS

Tabela I.3.1.1-1: Principais projetos do Programa de Acústica Submarina da NOAA Fisheries.	5
Tabela I.3.1.2-1: Definição dos indicadores para composição da Matriz de “Magnitude”	9
Tabela I.3.1.2-2: Matriz de magnitude (Projeto x Indicadores, onde os indicadores foram classificados em baixo (B), médio (M) e alto (A) tendo como referência o Programa de Acústica Submarina da NOAA)...	10
Tabela I.3.1.2-3: Principais projetos na área de monitoramento da PAS, indicando sua magnitude.	11
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.....	25
Tabela III.1.1.1-1: Comparação de resultados obtidos nas regiões R1, R2 e R3 na Bacia de Santos com medições realizadas no Reino Unido, descritas em Merchant et al. (2016).....	28
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 e R3, para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz e para os filtros de 1/3 de oitava com frequência central em 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz.....	30
Tabela III.1.2.1-1: Percentual de janelas processadas que foram validadas no processo de qualificação para cada LFI e profundidade.....	55
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.....	57
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 e 2019. O teste estatístico ANOVA	



aplicado por frequência teve os seguintes resultados, todos com $p=0,0000$: 63 Hz – $F=39.919,0$, 125Hz – $F=53.398,1$, 500 Hz – $F=35.498,0$, 1.000 Hz – $F=20.309,3$. A linha FA06 não teve dados coletados no ano de 2017.	61
Tabela III.1.2.2-3: Medianas para os dados das LFI 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 – $F= 32.274,5$, 125 Hz – $F= 45.249,8$, 500 Hz – $F= 32.800,1$, 1.000 Hz – $F= 19.576,6$. A linha FA06 não teve dados coletados no ano de 2017.	64
Tabela III.1.2.4-1: Diferença entre a mediana dos dados de <i>gliders</i> e perfiladores para a mediana da LFI sendo comparada, para cada faixa de frequência. O resultado do teste estatístico ANOVA para cada frequência é mostrado abaixo de cada frequência, todos com $p=0,0000$	79
Tabela III.2.4-1: Medianas para os dados os OSs nos filtros de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz. O teste estatístico ANOVA aplicado por frequência teve os seguintes resultados, todos com $p=0,0000$: 63 Hz – $F= 739.947,5$, 125 Hz – $F= 658.831,6$, 500 Hz – $F= 478.780,4$, 1.000 Hz – $F= 181.082,5$	97
Tabela III.2.4-2: Medianas para os dados os OSs 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 e 2019. O teste estatístico ANOVA aplicado por frequência teve os seguintes resultados, todos com $p=0,0000$: 63 Hz – $F= 226.718,6$, 125 Hz – $F= 168.660,4$, 500 Hz – $F= 132.867,0$, 1.000 Hz – $F= 60.174,4$	99
Tabela III.2.5-1: Número de embarcações detectadas em cada lançamento.	101
Tabela III.3.1-1: Tempos das detecções de cada tipo de vocalização, em minutos, nas campanhas C01 a C20 do <i>glider</i>	105



Tabela III.3.2-1: Distância mínima do <i>glider</i> à posição das LFIs, com indicação da campanha do <i>glider</i> em que isto ocorreu.	108
Tabela V.6-1: Comparativo do esforço amostral empregado no monitoramento fixo para monitoramento da paisagem acústica em diferentes regiões com o PMPAS-BS.	134
Tabela A.2.2-1: Profundidade local das linhas de fundeio instrumentadas.	144
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.	157
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 $1\mu\text{Pa}^2\cdot\text{s}$ 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)).	163
Tabela A.7.6.10-2: Grupos de espécies para as funções de peso baseado no audiograma (Fonte: Finneran (2016)).	164



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, sendo que posteriormente o projeto passou a ser incluído nas renovações das licenças de operação das atividades de E&P 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.

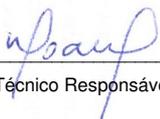
Nesse sentido, o escopo de levantamento de dados do PMPAS-BS compreende:

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




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

4º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2020

O PMPAS-BS tem uma magnitude de medições acústicas oceânicas que é pioneira na América Latina e sem nenhum similar 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).

1.2 PAISAGEM ACÚSTICA SUBMARINA

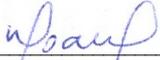
Nas últimas décadas, os estudos na área de Acústica Submarina têm crescido significativamente e se tornado mais difundidos, porém essa área tem sido investigada desde o século XV. Em 1490, o cientista Leonardo Da Vinci, relatou em suas anotações o que seria o primeiro método de escuta submarina passiva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

Estudos sobre paisagem acústica começaram a surgir no final da década de 60 com o trabalho de Southworth (1969), que foi um dos primeiros a utilizar o termo paisagem acústica. O autor abordou a percepção das pessoas em relação aos sons produzidos no ambiente urbano e as atividades que ocorrem dentro das cidades.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

4º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2020

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

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

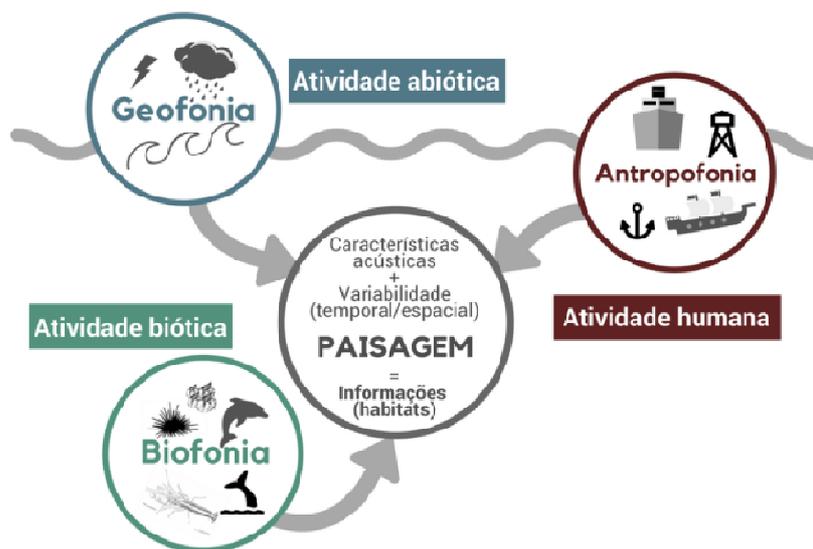


Figura I.2-1: O conceito de Paisagem Acústica Submarina
(Fonte: Adaptada de Campbell, 2018).

I.3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

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

I.3.1 Análise Bibliográfica

Nos últimos dez anos, as ações e pesquisas relacionadas à Paisagem Acústica Submarina têm atraído a atenção de diversos pesquisadores e instituições ao redor do mundo. Grande parte dessas pesquisas têm como objetivo monitorar o ruído submarino de origem antropogênica. Tais ruídos são gerados na maioria das vezes por: navios (*offshore* e *nearshore* – mercantes, recreacionais e indústria do petróleo), *airguns* sísmicos (indústria do petróleo), sonares ativos (atividades militares e as de pesquisa), explosivos submarinos (operações militares, pesca proibida, construção de portos, entre outros), sistema de produção de energia (usinas eólicas), dentre outros. Porém, o grande desafio é desenvolver programas/projetos de longo prazo e grande amplitude geográfica para avaliar, mitigar e controlar os impactos ambientais provocados pela antropofonia (Hildebrand, 2009; Cockrem, 2014; Harris e Radford, 2014).

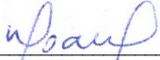
I.3.1.1 Principais Diretrizes na Área de Monitoramento da PAS

A NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*, agência dos Estados Unidos) e a Comunidade Europeia possuem grandes ações/pesquisas nessa área com avanços significativos. A NOAA, por meio da *NOAA Fisheries*, possui um Programa de Acústica Submarina (2011- atual), com diversos projetos na área de paisagem acústica submarina, desde modelagem da PAS e diversidade de mamíferos marinhos ao monitoramento acústico passivo contínuo e controle do ruído submarino. A Tabela I.3.1.1-1 apresenta os principais projetos do Programa de Acústica Submarina da *NOAA Fisheries*. Por exemplo,




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

4º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2020

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

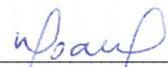
Tabela I.3.1.1-1: Principais projetos do Programa de Acústica Submarina da NOAA Fisheries.

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




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

4º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2020

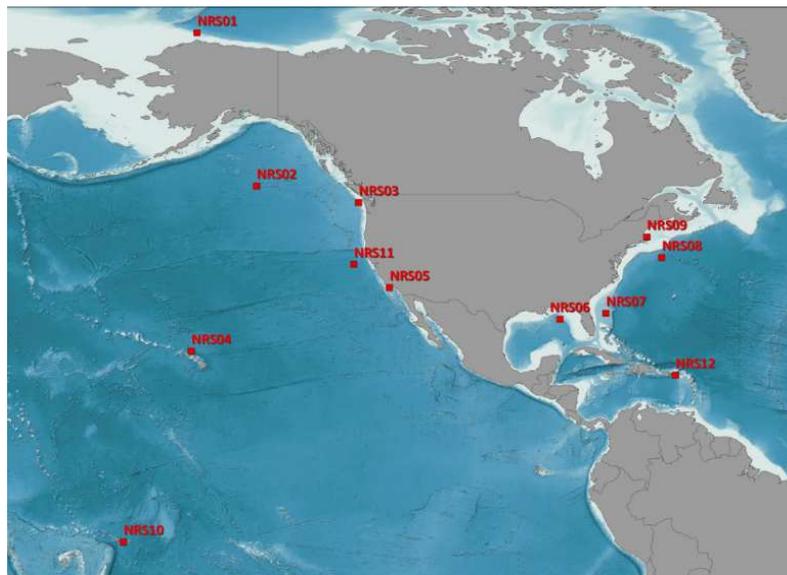


Figura I.3.1.1-1: Rede de estações de monitoramento acústico passivo da NOAA.

Já a Comunidade Europeia, por meio da MSFD (*Marine Strategy Framework Directive*), estabeleceu uma lista de 11 itens (*Commission Decision 2010/477/EU*) que caracterizam a situação (*status*) do ambiente (ver Figura I.3.1.1-2). O item (*descriptor*) 11- Energia e ruídos marinhos, aborda explicitamente o levantamento dos níveis de ruído acústico submarino, constando no MSFD, como: “Introdução de energia, incluindo o ruído submarino, em níveis que não afetem adversamente o meio ambiente marinho”. Nessa publicação, dois indicadores foram descritos para a área de ruído/energia: sons impulsivos de baixa e média frequência; e sons contínuos em baixas frequências. Em 2012, foi criado um grupo de técnicos para explorar e desenvolver esses dois indicadores. Em 2014, foi publicado um guia de monitoramento para ruído submarino nos mares europeus (*Monitoring Guidance for Underwater Noise in European Seas*). Tal documento é dividido em três partes: sumário executivo e recomendações; especificações do guia de monitoramento; e anexos/fundamentos teóricos (Dekeling *et al.*, 2013, 2014a, 2014b). A Figura I.3.1.1-2 apresenta uma linha do tempo descrevendo o planejamento inicial do MSFD, feito em 2008. Apesar de o MSFD estabelecer que o “bom *status* ambiental” (*Good Environmental Status – GES*) deve ser alcançado em 2020, os critérios para o estabelecimento do GES não foram definidos no documento que propôs as diretrizes.





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

I.3.1.2 Principais Projetos na Área de Monitoramento da PAS

Nesta seção, são listados alguns projetos de maior abrangência em termos espaciais e temporais relacionados ao monitoramento da PAS. Para caracterização deles, são descritos seus objetivos, duração, equipamentos de gravação acústica utilizados, área de coleta e magnitude do projeto (classificação relacionada a tamanho da área/estrutura do projeto, duração e diversidade de equipamentos utilizados: baixa, média e alta). A Tabela I.3.1.2-3 apresenta um resumo destes projetos.

1) PMPAS-BS

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

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

2) NOAA's Ocean Acoustics Program

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

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



3) *Assessment and Monitoring of Ocean Noise in Irish Waters*

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

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

4) *SAVE WHALES 2019*

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

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

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

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

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

6) *Interreg Italy-Croatia Soundscape*

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

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

7) *Mediterranean sound surveillance network - CALME*

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

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




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

4º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2020

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

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

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

9) Long-term soundscape monitoring from Curtin University

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

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

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

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

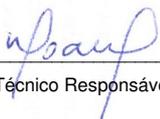
Indicador	Descrição
IM.1	Área Total Abrangida (quanto maior a área maior será a classificação)
IM.2	Duração do Projeto (quanto mais longo maior será a classificação)
IM.3	Diversidade de Equipamentos (quanto maior o número de estratégias de aquisição dedicadas ou diversidade de equipamento maior a classificação)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

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




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

4º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2020

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

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

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



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

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

* - Sem data prevista para término

** - Prorrogado até 2020.



CPB
Coordenador da Equipe



ufbau
Técnico Responsável

4º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2020

I.4 ESTRUTURA DO RELATÓRIO

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

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

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

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

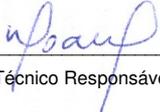
O Capítulo V (Considerações Finais) resume as principais informações observadas neste relatório, assim como perspectivas futuras. O Capítulo VI traz as referências bibliográficas.

No APÊNDICE A (Metodologia de Aquisição e Processamento dos Dados) 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 sendo adotadas; e as particularidades de processamento de cada um dos equipamentos.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

4º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2020

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 a região da Bacia de Santos, mostrando a Área Geográfica da Bacia de Santos (AGBS), 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).

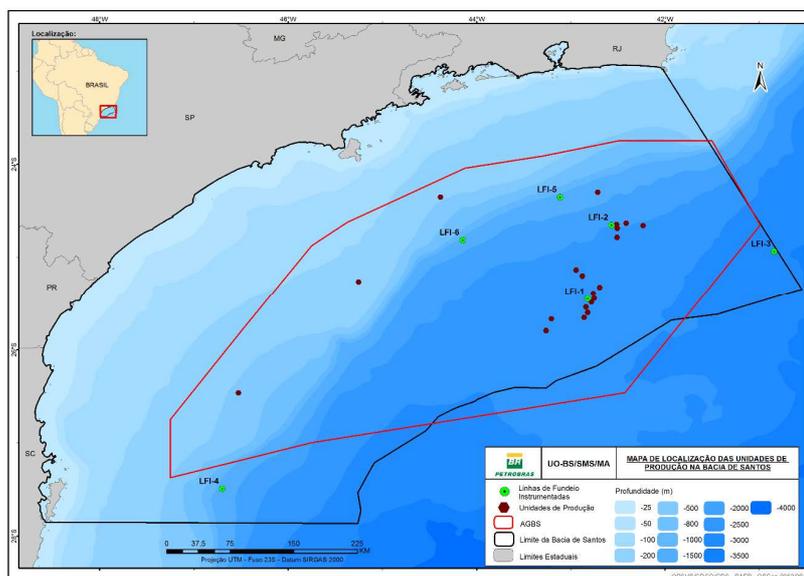


Figura II.1-1: Região da Bacia de Santos, mostrando a Área Geográfica da Bacia de Santos (AGBS, linha vermelha) e a localização das unidades de produção da PETROBRAS (círculos vermelhos). São apresentadas, também, as posições das Linhas de Fundeio Instrumentadas (círculos em verde).



II.1.1 Região Costeira

Na região costeira, foram instalados os observatórios submarinos (OS), posicionados nas entradas de três regiões com alto tráfego de navios, tanto da PETROBRAS como de terceiros. Um dos objetivos das gravações é obter os níveis de ruído irradiado por estes navios, de forma a permitir o uso destes níveis como entrada do modelo de cálculo de um mapa geográfico dos níveis de ruído acústico na área da Baía de Santos. Os pontos selecionados foram a entrada da Baía de Guanabara (OS1), a Baía de Ilha Grande (OS2) e o Canal de São Sebastião (OS3). As Figuras II.1.1-1, II.1.1-2 e II.1.1-3 mostram mapas das posições dos Observatórios Submarinos.

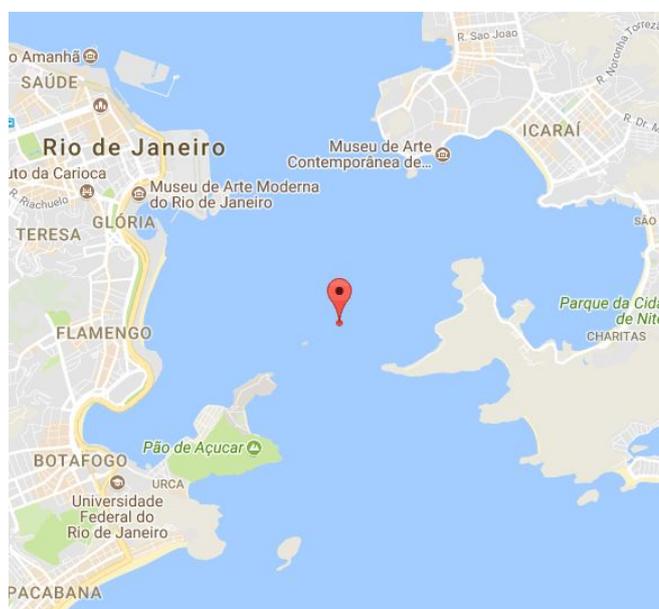


Figura II.1.1-1: Observatório Submarino na Baía da Guanabara (OS1).




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

4º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2020

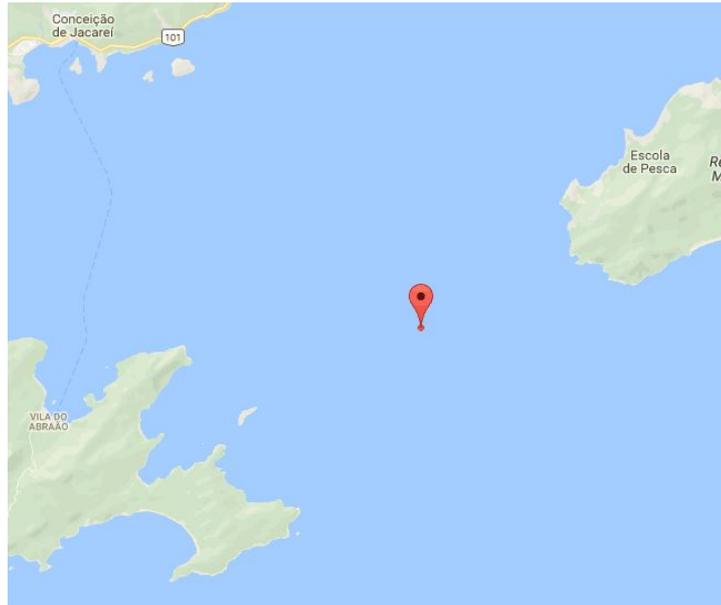


Figura II.1.1-2: Observatório Submarino na Baía da Ilha Grande (OS2).

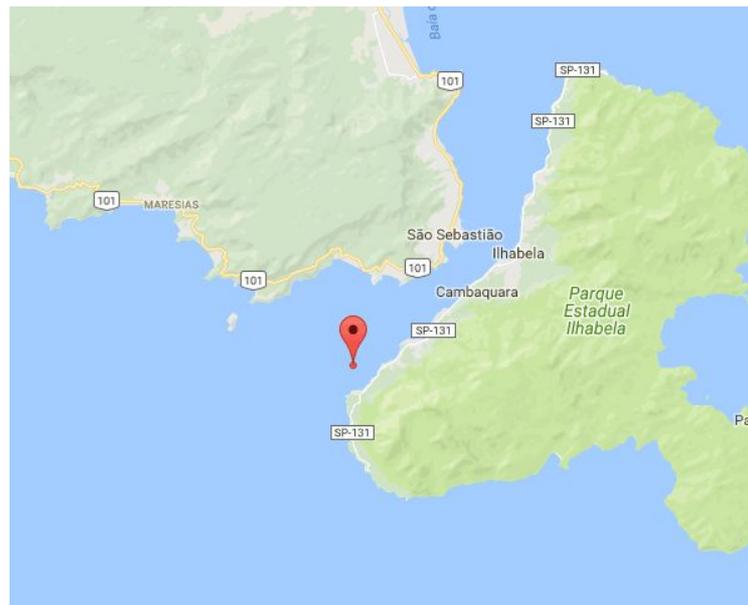


Figura II.1.1-3: Observatório Submarino no Canal de São Sebastião (OS3).

II.1.2 Região Oceânica

Na região oceânica, foram instaladas Linhas de Fundeio Instrumentadas (LFI) em posições fixas e usados *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.1-1 mostra a localização das LFIs dentro da região oceânica da Bacia de Santos.

Dentro desta região oceânica, foram selecionadas três 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:

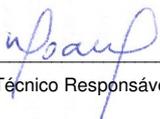
- **Região 1 – Atividade de E&P**, caracterizada por forte atividade de Exploração & Produção (E&P) da PETROBRAS, localizada no centro da região Pré-Sal da Bacia de Santos, compreendida nos limites geográficos de longitudes 42.5° W até 43.5° W e latitudes 25° S até 26° S;
- **Região 2 – Rota de Navegação**, 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.

A Figura II.1.2-1 mostra estas três regiões de interesse e as posições horárias de navios (hora cheia +/- 10 min) obtidas por **Automatic Identification System (AIS)** para o período de dezembro de 2015 a dezembro de 2016. As posições estão representadas por pontos amarelos. A figura superior mostra as embarcações a serviço da PETROBRAS e a figura inferior mostra as embarcações de terceiros.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

4º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2020

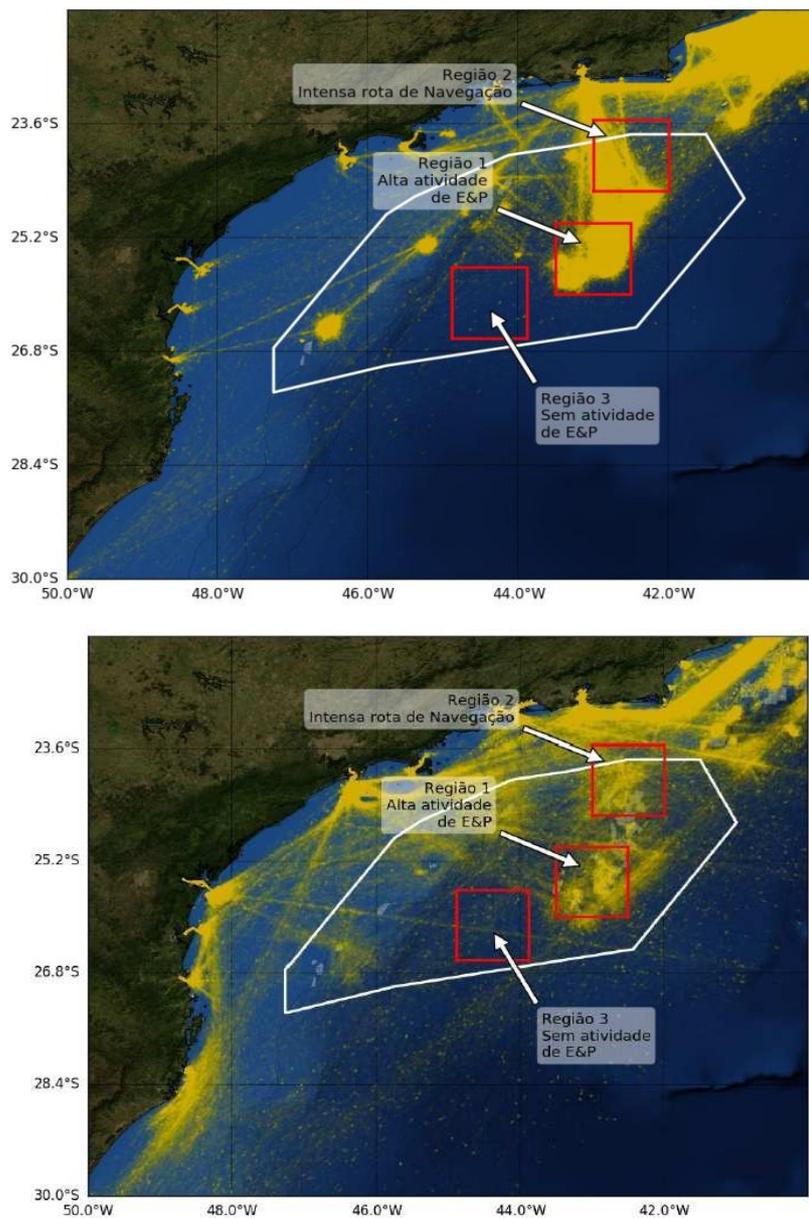
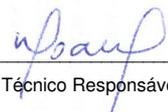


Figura II.1.2-1: Regiões de Interesse e posições de embarcações e unidades marítimas a serviço da PETROBRAS (janela superior) e de terceiros (janela inferior).




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

4º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2020

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 – LFI – (instaladas na região oceânica) e por observatórios submarinos – OS – (instalados na região costeira). Uma descrição mais detalhada de cada um destes sistemas de aquisição de dados, é feita no APÊNDICE A.

II.2.1 Processamento dos Dados

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

1. Consistência e integridade: os arquivos de dados recebidos são avaliados quanto à presença de artefatos como saturação ou nível muito baixo dos sinais, sendo removidos os dados que apresentam problemas;
2. Processamento e obtenção de parâmetros espectrais: os sinais são processados para se obter parâmetros espectrais a cada minuto de sinal gravado. Estes parâmetros representam o nível de pressão sonora (SPL do inglês *Sound Pressure Level*), em dB re $1\mu\text{Pa}^2$, e foram usados nas comparações feitas neste documento;
3. Qualificação dos parâmetros espectrais: após a obtenção dos parâmetros espectrais, é feita a sua qualificação usando informações estatísticas dos próprios dados ou informações externas, como a intensidade das correntes oceânicas.

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

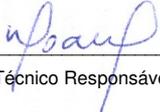
II.2.2 Caracterização dos Dados

No período de novembro de 2015 a dezembro de 2019, foram realizadas 16 campanhas de lançamento de perfiladores, com um total de 160 perfiladores lançados, 38 campanhas de lançamento e recolhimento de *gliders*; quatro




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

4º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2020

campanhas de lançamento de LFIs, com seis linhas com gravação acústica; e 66 campanhas de lançamento e recolhimento de OSs.

No período de novembro de 2015 a dezembro de 2019 foram recebidos e processados os seguintes conjuntos de dados:

- **Perfiladores:** no período entre novembro de 2015 e dezembro de 2019, 157 de 160 perfiladores lançados realizaram 16 ciclos de medição, com um total de 164.900 janelas acústicas medidas processadas e armazenadas, das quais 136.781 foram aceitas no processo de qualificação. Destas janelas acústicas qualificadas, 54.412 foram realizadas dentro da Área Geográfica da Bacia de Santos (AGBS) e 82.369 fora dela;
- **Gliders:** no período entre novembro de 2015 e dezembro de 2019, foram realizadas 38 campanhas de lançamento e recolhimento de *gliders*, com gravações acústicas em 8.793 mergulhos, gerando 112.461 arquivos, correspondendo a 7.006,3 horas de sinais. Estas janelas foram processadas e armazenadas, gerando um total de 419.306 minutos analisados, sendo que 154.753 destes minutos foram aceitos no processo de qualificação. Dos minutos aceitos na qualificação, 151.844 foram medidos dentro da AGBS e 2.909 fora dela;
- **Linhas de Fundeio Instrumentadas (LFIs):** no período entre outubro de 2017 e dezembro de 2019, foram realizadas 4 campanhas de lançamento e recolhimento das LFIs, com gravações acústicas em 1.586.728 arquivos, correspondendo a 37.023,7 horas de gravação. Os dados das LFIs foram qualificados usando-se os dados de corrente oceânica junto aos sensores. Foram aceitas no processo de qualificação 5.655,5 horas de gravação.
- **Observatórios Submarinos (OSs):** no período entre março de 2017 e dezembro de 2019, foram realizadas 66 campanhas de lançamento e recolhimento dos OSs, com gravações acústicas em 508.332 arquivos, correspondendo a 44.309,6 horas de gravação que foram processadas e armazenadas. Destas gravações, foram qualificadas 37.348,8 horas de sinal.



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

III.1 PARTE PROFUNDA

III.1.1 Monitoramento Móvel – Gliders e Perfiladores

A Figura III.1.1-1 mostra o mapa do SPL_{50p} no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz para os dados dos *gliders* e perfiladores juntos.

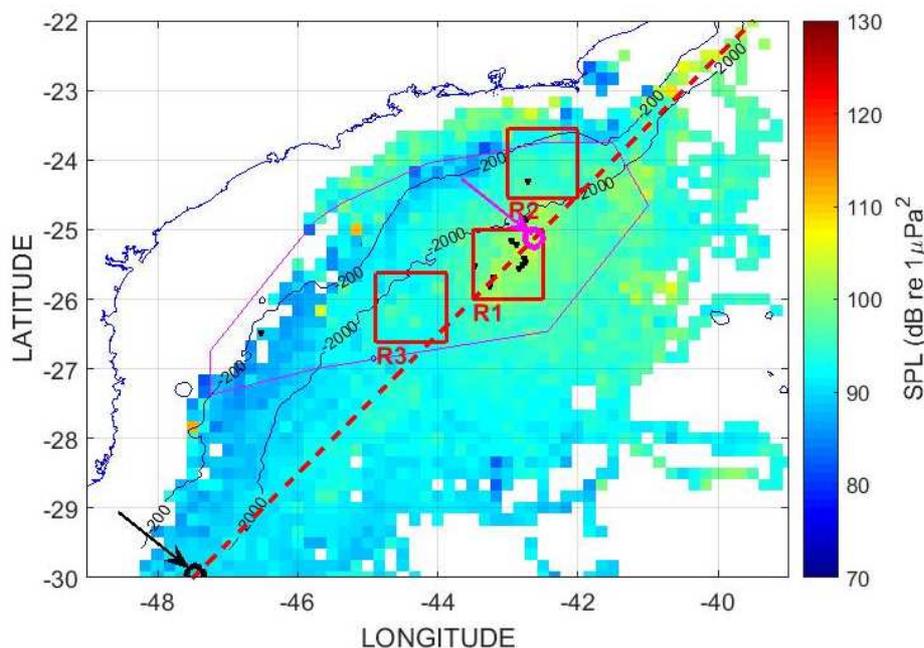


Figura III.1.1-1: Mapa do SPL_{50p} para o filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz, com os quadrados vermelhos delimitando as regiões R1, R2 e R3 e a linha diagonal tracejada vermelha mostrando os pontos usados para a comparação espacial dos níveis de ruído na Bacia de Santos.

Os três quadrados vermelhos representam as regiões selecionadas para comparações, R1, R2 e R3 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 por setas no mapa

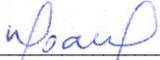
identificam os pontos nesta linha onde foram encontrados o valor máximo (círculo magenta, próximo à região R1) e o valor mínimo de SPL (círculo preto na parte de baixo da linha).

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 5º, 25º, 50º (mediana), 75º e 95º 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 acima de 10 dB na mediana das medições, com um máximo de 102,6 dB re 1 μ Pa² na posição (-25,3º, -42,8º), correspondendo à extremidade nordeste da região R1 e um mínimo de 89,4 dB re 1 μ Pa² na posição (-30,1º, -47,6º), no extremo sudoeste do mapa. 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 da posição (-25,5º, -43,5º), 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 1.000 medições na região R1, diminuindo até valores em torno de 10 medições, nas extremidades da linha. A maior amostragem nas regiões com maior energia faz parte da estratégia adotada no projeto, visando uma melhor caracterização da região onde se concentram as atividades de E&P da PETROBRAS. O maior número de medições realizadas na região R1 pode ser um dos possíveis motivos para o surgimento dos valores extremos, junto ao fato de esta ser uma região com uma intensidade maior de tráfego de embarcações, aumentando a chance destas embarcações passarem perto do *glider*, com um conseqüente aumento temporário dos níveis recebidos.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

4º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2020

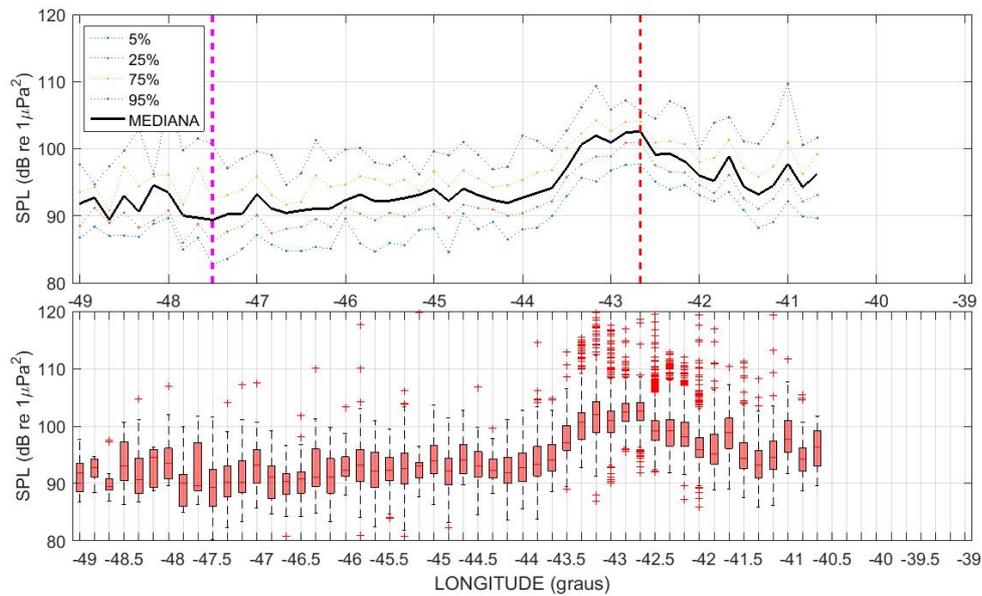


Figura III.1.1-2: SPL_{50p} para o filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz em função da longitude ao longo da linha diagonal apresentada no mapa da III.1.1-1 (gráfico de cima); e boxplot para as medições feitas em cada posição da linha (gráfico de baixo).

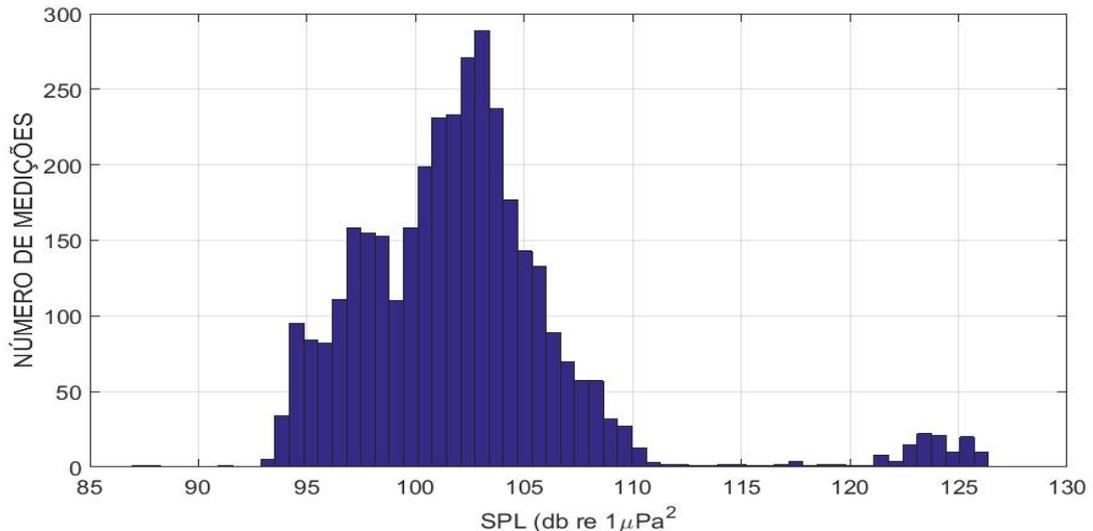


Figura III.1.1-3: Histograma dos valores de SPL para as medições realizadas na linha diagonal, na posição $(-25,5^\circ, -43,5^\circ)$, permitindo ver os valores extremos (acima de 115 dB re 1 μPa²) apresentados em um histograma.

A Figura III.1.1-4 apresenta os mapas com os SPL_{RMS} para a banda de 10 Hz a 10 kHz e para os filtros de 1/3 de oitava de 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz. São apresentadas em todos eles as regiões R1, R2 e R3, a linha diagonal usada para



a comparação entre os níveis de ruído e as posições dos pontos com níveis mínimo e máximo nesta linha. No mapa para a frequência de 125 Hz, a posição com o nível mínimo, calculado com 13 medições, não aparece, tendo ficado mais ao sul do limite inferior do gráfico e para a frequência de 500 Hz, a posição do nível máximo, calculado com 20 medições, ficou mais ao norte do que nos outros mapas. O uso de um menor número de medições acarreta uma maior variabilidade no cálculo da mediana, podendo ser a explicação para o valor obtido para estes níveis extremos.

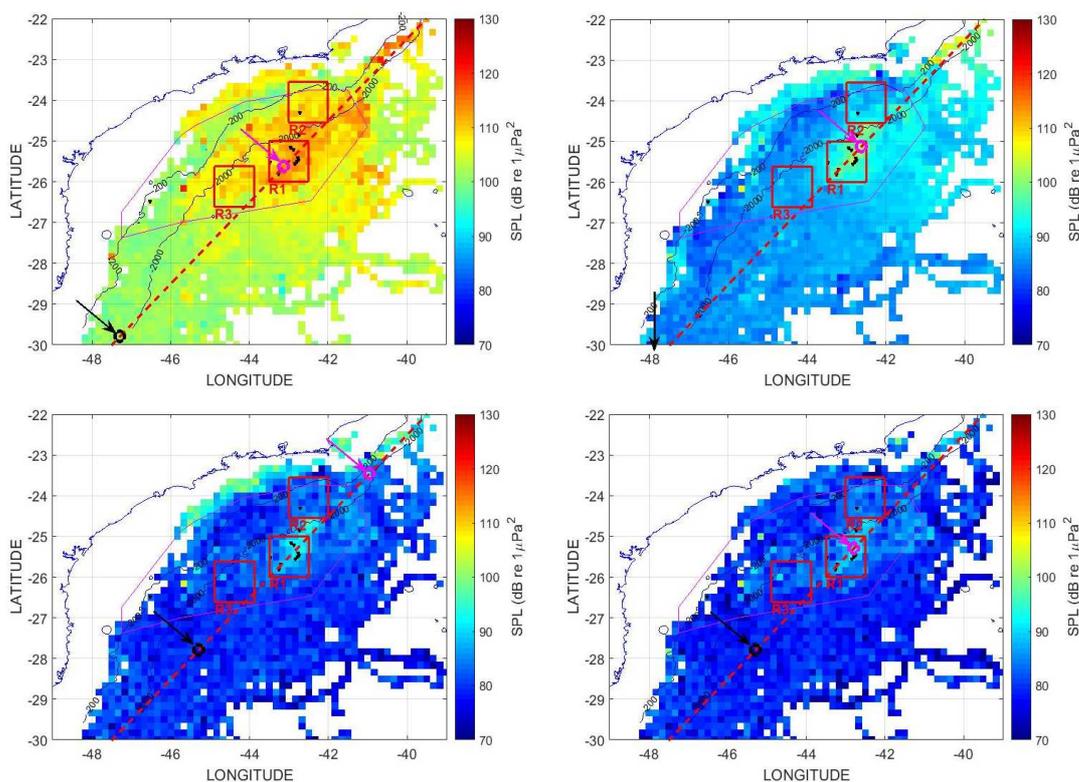


Figura III.1.1-4: Mapas do SPL_{50p} para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz e para os filtros de 1/3 de oitava de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz.

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 de o valor apresentado representar a energia total nas bandas indicadas, e a largura destas bandas serem diferentes umas das outras. 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.

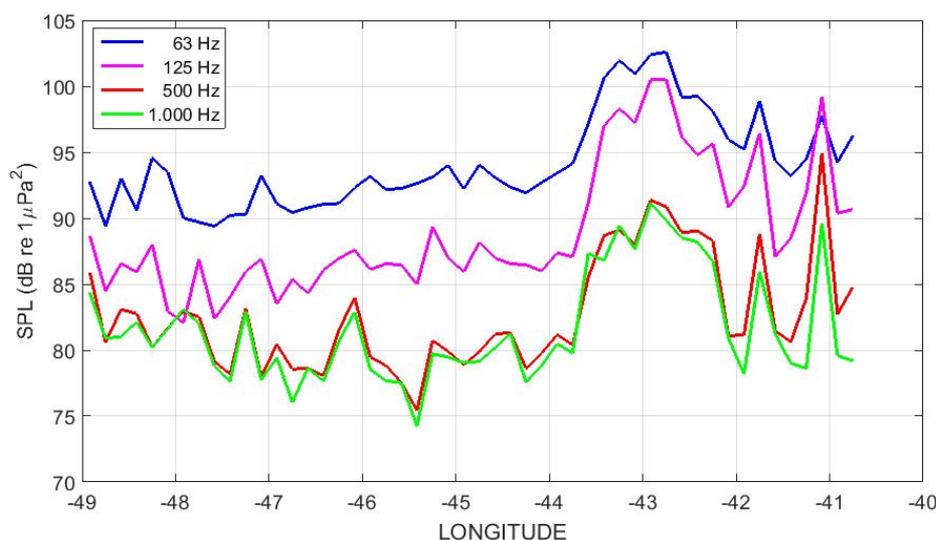


Figura III.1.1-5: SPL_{50p} ao longo da linha mostrada nos mapas, em função da longitude, para os filtros de 1/3 de oitava de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz.

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.

Frequência	SPL Mínimo (dB re $1\mu Pa^2$)	Lat/Long (graus)	SPL Máximo (dB re $1\mu Pa^2$)	Lat/Long (graus)	Diferença (dB)
63 Hz	89,4	-30,1/-47,6	102,6	-25,3/-42,8	13,2
125 Hz	82,1	-30,4/-47,9	100,5	-25,3/-42,8	18,4
500 Hz	75,4	-27,9/-45,4	94,9	-23,6/-41,1	19,5
1.000 Hz	74,2	-27,8/-45,4	91,2	-25,4/-42,9	17,0
10 Hz a 10 kHz	99,9	-29,9/-47,4	114,1	-25,8/-43,3	14,2

III.1.1.1 Comparação da Bacia de Santos com Outros Lugares

É importante comparar os níveis de ruído observados na Bacia de Santos com aqueles encontrados em outras regiões do mundo. Na Figura III.1.1.1-1 é feita uma comparação das densidades espectrais de potência medianas para as medições realizadas nas regiões R1, R2 e R3 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. Os níveis na Bacia de Santos, mesmo em seus períodos mais ruidosos, são menores do que os níveis apresentados para o Golfo do México.

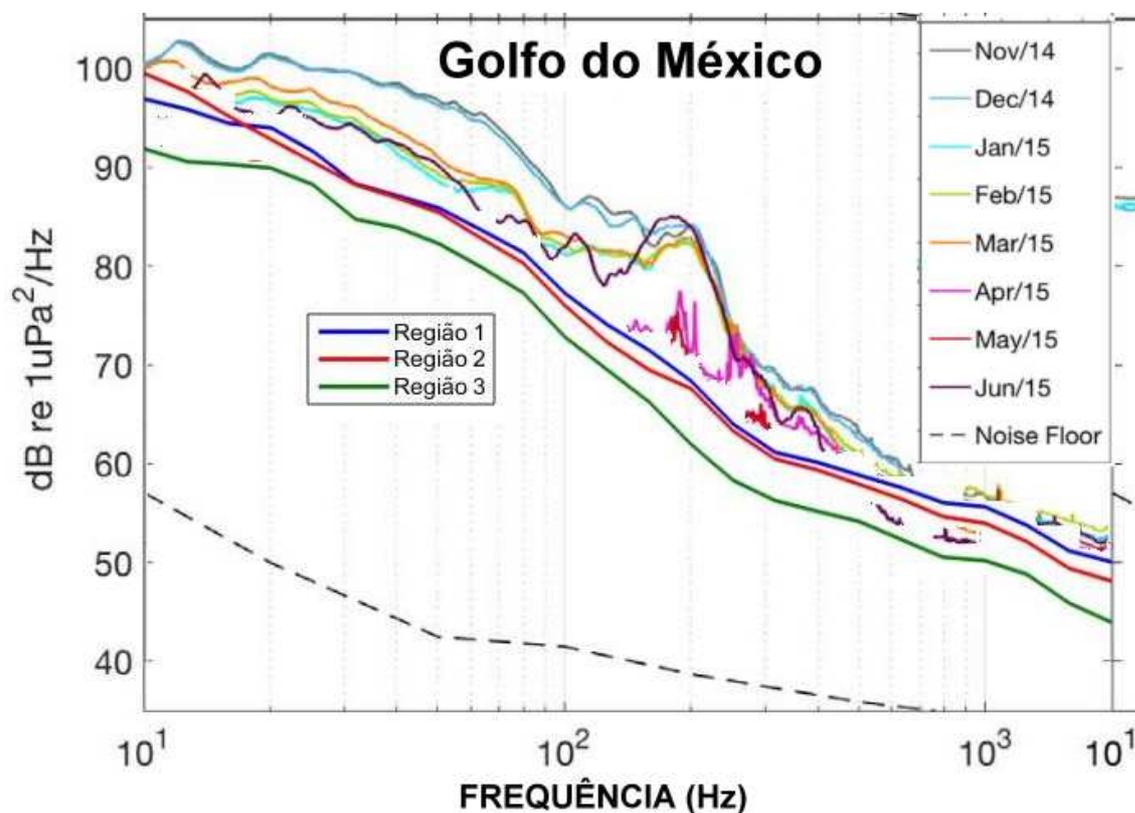


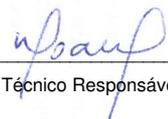
Figura III.1.1.1-1: Comparação da densidade espectral de potência de 1/3 de oitava medianos obtidos a partir das medições realizadas nas regiões R1, R2 e R3 na Bacia de Santos com medições realizadas por (Haver *et al.*, 2018) na região do Golfo do México.

Outra comparação foi feita com medições realizadas na região do Reino Unido em Merchant *et al.* (2016). Neste trabalho, foram feitas medições em três diferentes regiões, localizadas no Mar Céltico, no Mar do Norte e na porção sul do Mar do Norte, sendo obtidos o 90º percentil, a mediana e o nível RMS das medições em cada local. É importante informar que nenhuma destas regiões tem uma atividade econômica forte em E&P como o Golfo do México ou a Bacia de Santos. A Tabela III.1.1.1-1 mostra a mediana, o 90º percentil e o nível RMS (média da energia) 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 as medições realizadas nas regiões R1, R2 e R3 da Bacia de Santos. A banda de frequência de 500 Hz tem uma influência forte do estado do mar na região, 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 no Reino Unido. A região R2 da Bacia de Santos se aproxima em ruído com o Mar do Norte e a região R1 com a parte sul do Mar do Norte. 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 a região R3 só é mais ruidosa do que o Mar Céltico. Quanto ao nível RMS, que dá uma indicação de limites extremos de ruído, a região R1 é um pouco mais ruidosa do que o Mar Céltico e o Mar do Norte e as regiões R2 e R3 são mais silenciosas do que as três regiões do Reino Unido.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

4º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2020

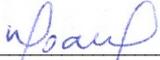
Tabela III.1.1.1-1: Comparação de resultados obtidos nas regiões R1, R2 e R3 na Bacia de Santos com medições realizadas no Reino Unido, descritas em Merchant et al. (2016)

	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	99,9	95,2	86,9
	PMPAS-BS R2	95,2	89,9	83,2
	PMPAS-BS R3	93,8	87,4	81,7
90º 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	104,5	101,0	94,3
	PMPAS-BS R2	101,6	96,2	89,6
	PMPAS-BS R3	100,0	91,7	87,6
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	103,3	100,2	102,5
	PMPAS-BS R2	100,5	99,7	107,2
	PMPAS-BS R3	98,8	92,9	99,5




 Coordenador da Equipe




 Técnico Responsável

4º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2020

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

A Figura III.1.1.2-1 apresenta a comparação entre as medições das três regiões, R1, R2 e R3, para o filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz, usando *boxplots*. Foram considerados todos os dados qualificados disponíveis, incluindo medições em todas as profundidades. O teste estatístico realizado mostrou que as regiões são diferentes, com a região R1 sendo a mais ruidosa, seguida pela região R2, e com a região R3 sendo a mais silenciosa (ANOVA, $F=33.339,8$, $p=0,0000$).

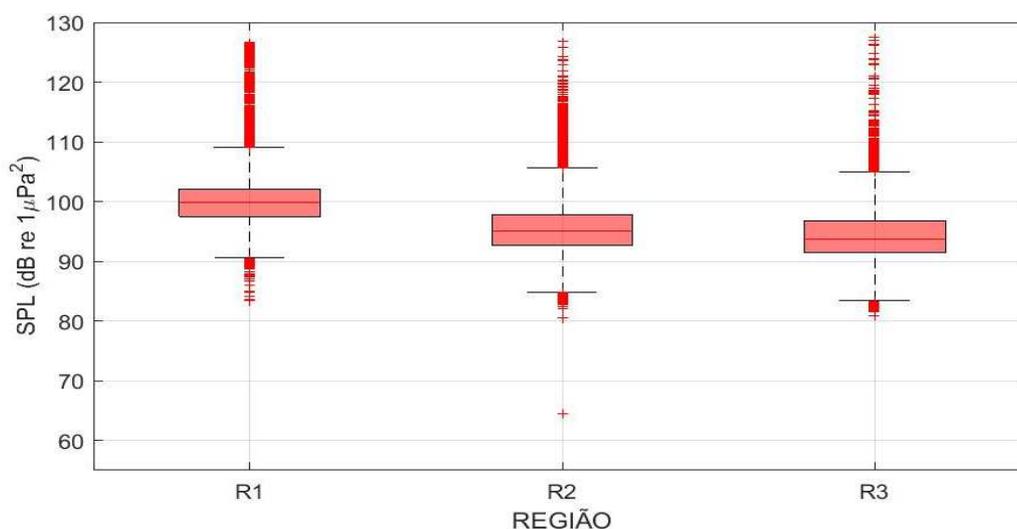


Figura III.1.1.2-1: Comparação entre as regiões R1, R2 e R3, usando todos os dados qualificados dos gliders e perfiladores nestas regiões, para o filtro de 1/3 de oitava centrado em 63 Hz. As três regiões são estatisticamente diferentes (ANOVA, $F=33.339,8$, $p=0,0000$).

A Tabela III.1.1.2-1 apresenta o SPL no 25º, 50º (mediana), 75º e 90º percentis e o nível RMS para as medições realizadas nas regiões R1, R2 e R3 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, junto com a frequência, é apresentado o resultado do teste estatístico, onde todas as regiões foram consideradas estatisticamente diferentes. O mesmo comportamento 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, com a região R1 mais ruidosa, seguida pela região R2 e finalmente a região R3.

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 e R3, para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz e para os filtros de 1/3 de oitava com frequência central 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=33.339,8, p=0,0000)	R1	57.479	97,5	99,9	102,2	104,5	103,3
	R2	41.789	92,7	95,2	98,0	101,6	100,5
	R3	36.260	91,4	93,8	96,9	100,0	98,8
125 Hz (F=56.554,2, p=0,0000)	R1	57.479	92,7	95,2	98,0	101,0	100,2
	R2	41.789	86,9	89,9	92,8	96,2	99,7
	R3	36.260	85,1	87,4	89,7	91,7	92,9
500 Hz (F=16.741,6 p=0,0000)	R1	57.479	83,9	86,9	90,1	94,3	102,5
	R2	41.789	79,5	83,2	86,3	89,6	107,2
	R3	36.260	77,7	81,7	84,6	87,6	99,5
1.000 Hz (F=9.715,2 p=0,0000)	R1	57.479	83,3	86,4	89,4	93,8	105,8
	R2	41.789	79,1	83,2	86,3	89,1	112,0
	R3	36.260	77,8	82,9	85,7	88,7	104,8
10 Hz a 10 kHz (F=11.164,5 p=0,0000)	R1	57.479	109,5	111,9	114,5	117,0	119,8
	R2	41.789	106,7	109,1	111,4	113,8	128,7
	R3	36.260	105,9	108,3	111,6	115,7	121,7

Os gráficos das Figuras III.1.1.2-2 a III.1.1.2-6 apresentam a comparação entre as regiões R1, R2 e R3, mas separando os dados obtidos em cada ano, de 2016 a 2019. Na Figura III.1.1.2-2, para a frequência de 63 Hz, o teste estatístico indicou que não dá pra dizer que há diferenças entre os anos de 2016 e 2019 para a região R1 e entre os anos de 2017 e 2019, para a região R3. As outras distribuições dentro de cada região são estatisticamente diferentes (ANOVA, F=6405,4, p=0,0000).



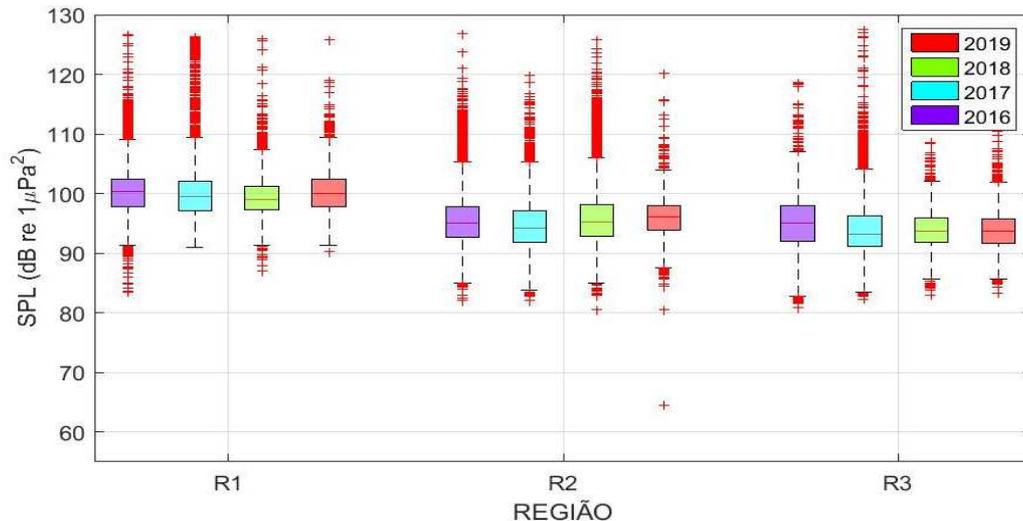


Figura III.1.1.2-2: Comparação entre as regiões R1, R2 e R3, em cada ano, de 2016 a 2019, usando todos os dados qualificados dos gliders e perfiladores nestas regiões, para o filtro de 1/3 de oitava centrado em 63 Hz.

Na Figura III.1.1.2-3, para a frequência de 125 Hz, o teste estatístico indicou que não dá pra dizer que há diferenças entre os anos de 2016 e 2018 para a região R2 e entre os anos de 2016 e 2017, para a região R3. As outras distribuições dentro de cada região são estatisticamente diferentes (ANOVA, $F=11.033,5$, $p=0,0000$).

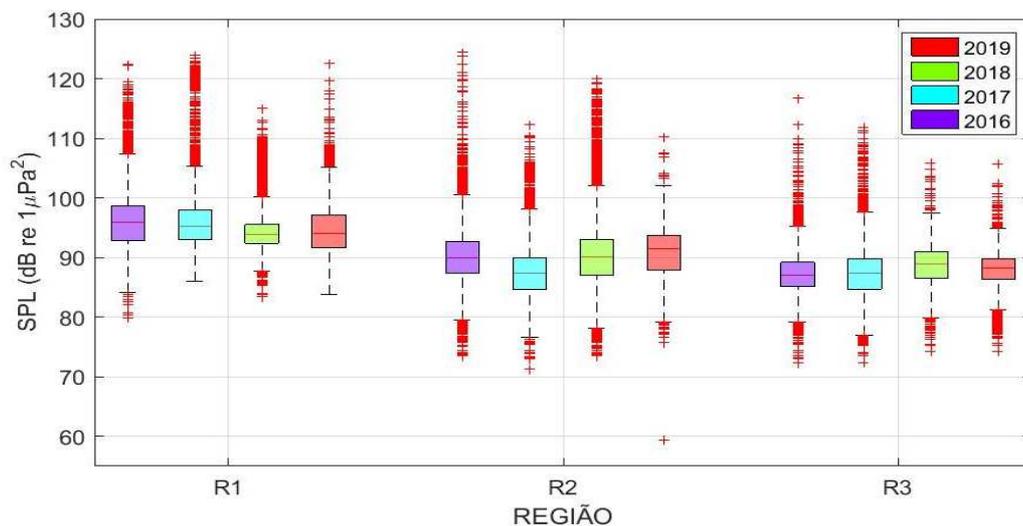


Figura III.1.1.2-3: Comparação entre as regiões R1, R2 e R3, em cada ano, de 2016 a 2019 usando todos os dados qualificados dos gliders e perfiladores nestas regiões, para o filtro de 1/3 de oitava centrado em 125 Hz.

Na Figura III.1.1.2-4, para a frequência de 500 Hz, o teste estatístico indicou que não dá pra dizer que há diferenças entre os anos de 2016 e 2017 e entre os anos 2018 e 2019 para a região R1 e entre os anos de 2018 e 2019, para a região R2. As outras distribuições dentro de cada região são estatisticamente diferentes (ANOVA, $F=3.793,7$, $p=0,0000$).

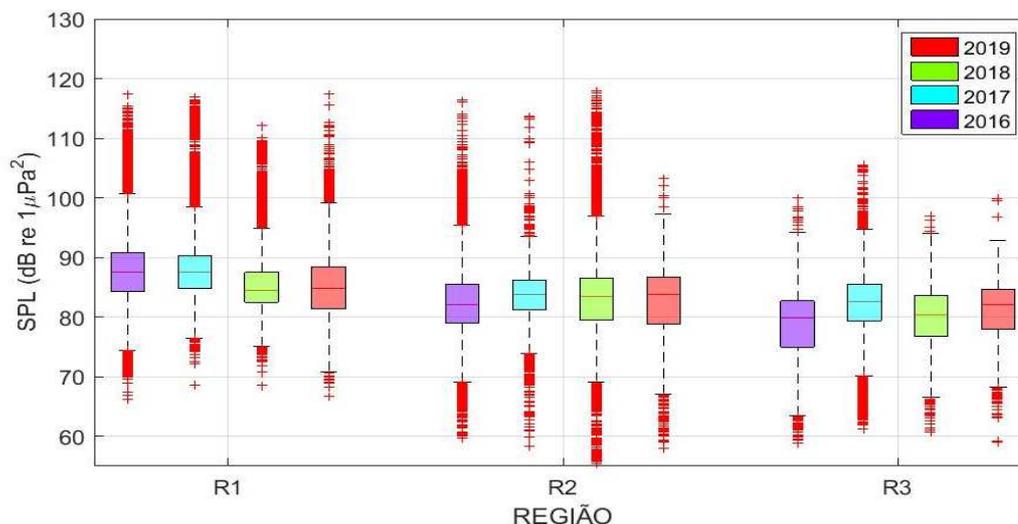


Figura III.1.1.2-4: Comparação entre as regiões R1, R2 e R3, em cada ano, de 2016 a 2019, usando todos os dados qualificados dos gliders e perfiladores nestas regiões, para o filtro de 1/3 de oitava centrado em 500 Hz.

Na Figura III.1.1.2-5, para a frequência de 1.000 Hz, o teste estatístico indicou que distribuições dentro de cada região são estatisticamente diferentes (ANOVA, $F=2.711,2$, $p=0,0000$).

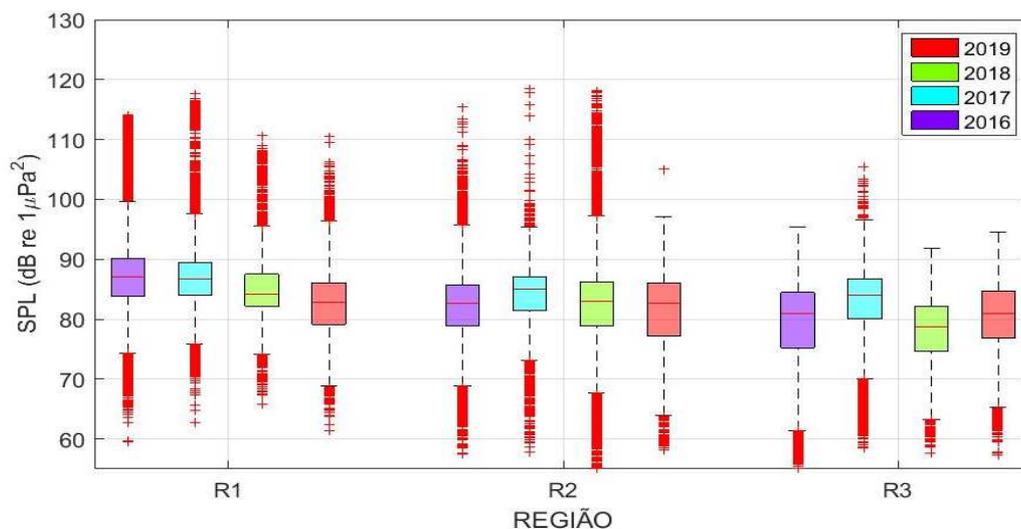


Figura III.1.1.2-5: Comparação entre as regiões R1, R2 e R3, em cada ano, de 2016 a 2019, usando todos os dados qualificados dos gliders e perfiladores nestas regiões, para o filtro de 1/3 de oitava centrado em 1.000 Hz.

Na Figura III.1.1.2-6, para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz, o teste estatístico indicou que não dá pra dizer que há diferenças entre os anos de 2017 e 2018 para a região R2 e entre os anos de 2018 e 2019 para a região R3. As outras distribuições dentro de cada região são estatisticamente diferentes (ANOVA, $F=3.044,6$, $p=0,0000$).

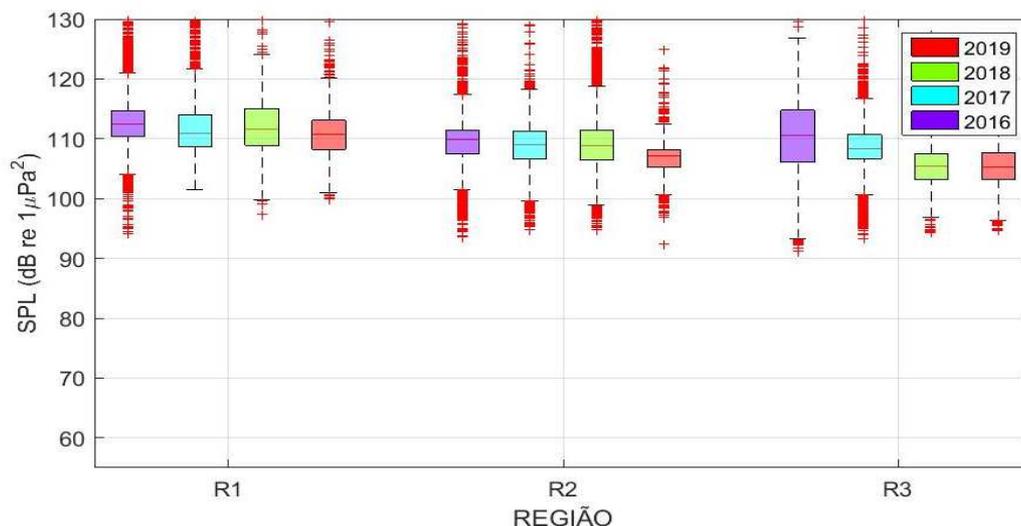


Figura III.1.1.2-6: Comparação entre as regiões R1, R2 e R3, em cada ano, de 2016 a 2019, usando todos os dados qualificados dos gliders e perfiladores nestas regiões, na faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz.

Não se observa uma tendência clara nos níveis ao longo dos anos, com algumas oscilações nas três regiões. 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.

Nos gráficos das Figuras III.1.1.2-7 a III.1.1.2-11, são apresentadas comparações entre as regiões R1, R2 e R3 para três faixas de profundidade, 50 m (0-150 m), 200 m (150-350 m) e 950 m (850-1.100 m). Na Figura III.1.1.2-7, para a frequência de 63 Hz, todas as distribuições em cada região são diferentes estatisticamente (ANOVA, $F=4648,8$, $p=0,0000$). Nas três regiões, a mediana dos níveis de ruído nas profundidades de 50 m e 200 m são diferentes em no máximo 0,4 dB. A mediana dos níveis para a profundidade de 950 m é bem próxima das medianas para as outras profundidades na região R1 e até 2 dB maior do que para as outras duas profundidades nas regiões R2 e R3.

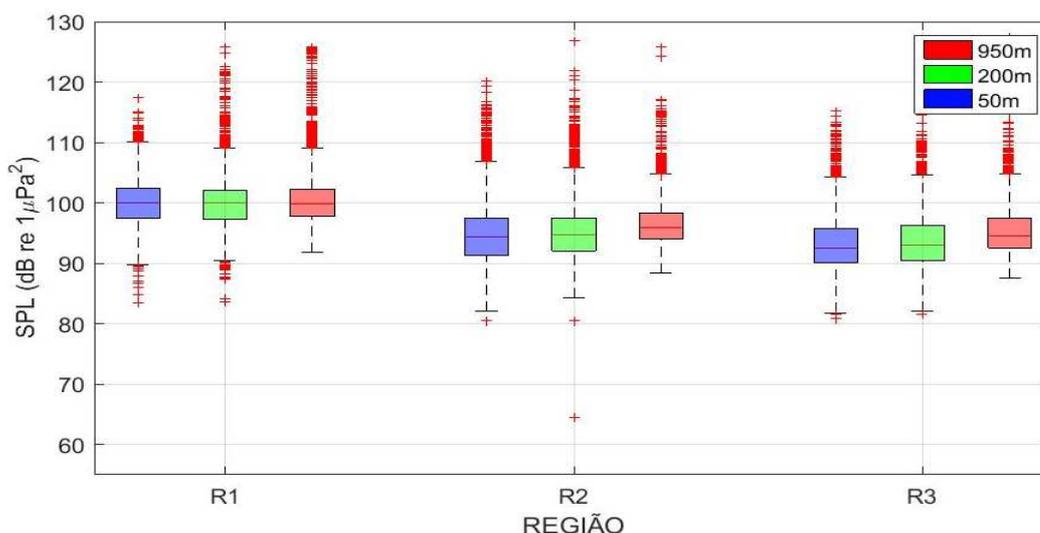


Figura III.1.1.2-7: Comparação entre as regiões R1, R2 e R3, para três faixas de profundidade, usando todos os dados qualificados dos gliders e perfiladores nestas regiões, para o filtro de 1/3 de oitava centrado em 63 Hz.

Na Figura III.1.1.2-8, para a frequência de 125 Hz, o teste estatístico indicou que não dá pra dizer que há diferenças entre as profundidades de 200 m e 950 m na região R1 e entre as profundidades de 50 m e 200 m na região R3. As demais distribuições em cada região são estatisticamente diferentes

(ANOVA, $F=7.105,7$, $p=0,0000$). Nas três regiões, a mediana dos níveis de ruído nas profundidades de 50 m e 200 m são diferentes em no máximo 0,5 dB. A mediana dos níveis para a profundidade de 950 m é bem próxima das medianas para as outras profundidades na região R1 e até 2 dB maior do que para as outras duas profundidades nas regiões R2 e R3.

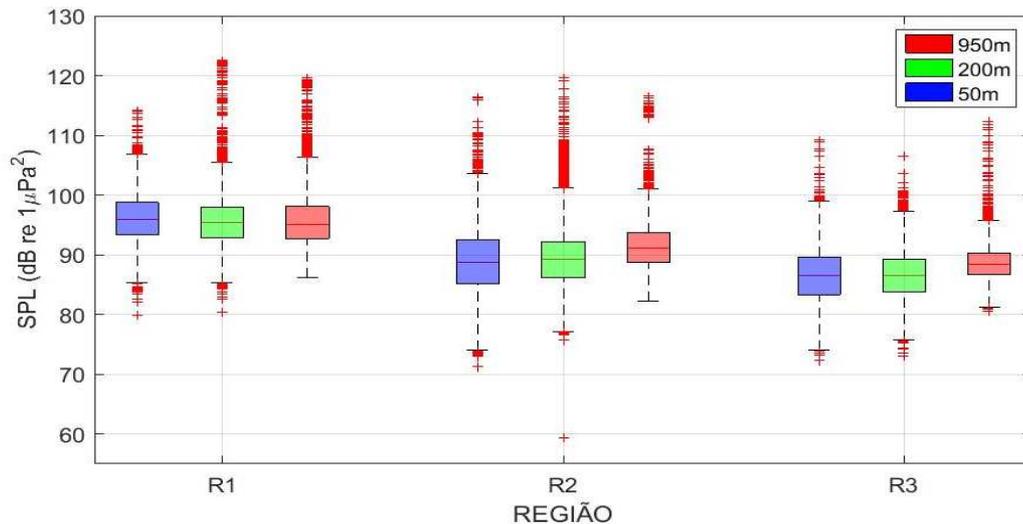


Figura III.1.1.2-8: Comparação entre as regiões R1, R2 e R3, para três faixas de profundidade, usando todos os dados qualificados dos gliders e perfiladores nestas regiões, para o filtro de 1/3 de oitava centrado em 125 Hz.

Na Figura III.1.1.2-9, para a frequência de 500 Hz, o teste estatístico indicou que todas as distribuições em cada região são diferentes (ANOVA, $2.186,4$, $p=0,0000$). A profundidade de 50 m é a mais ruidosa, seguida da profundidade de 950 m e depois a de 200 m, embora a maior diferença entre as medianas dos dados ficou em torno de 1,5 dB.

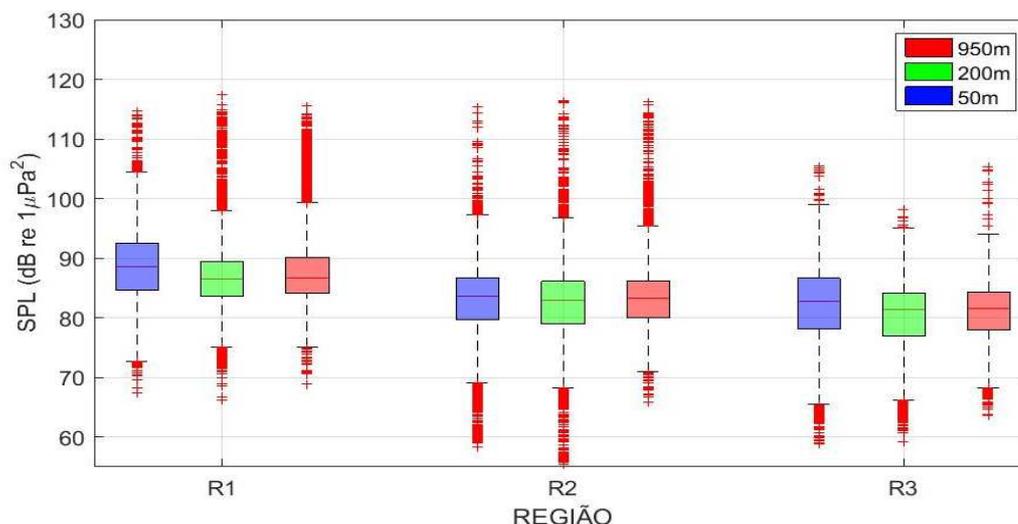


Figura III.1.1.2-9: Comparação entre as regiões R1, R2 e R3, para três faixas de profundidade, usando todos os dados qualificados dos gliders e perfiladores nestas regiões, para o filtro de 1/3 de oitava centrado em 500 Hz.

Na Figura III.1.1.2-10, para a frequência de 1.000 Hz, o teste estatístico indicou que não dá pra dizer que há diferenças entre as profundidades de 200 m e 950 m para a região R1 e entre as profundidades de 50 m e 950 m para a região R2. Todas as outras distribuições em cada região são diferentes (ANOVA, 1.458,4, $p=0,0000$) A mediana dos dados para profundidade de 50 m é a mais alta das três profundidades. A mediana para a profundidade de 950 m é mais alta do que para a profundidade de 200 m nas regiões R1 e R2 e mais baixa na região R3.

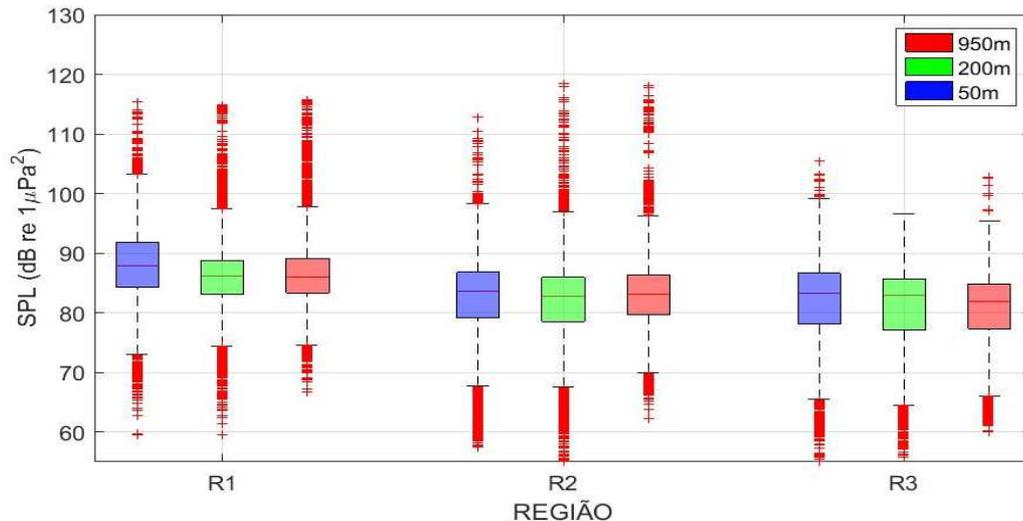


Figura III.1.1.2-10: Comparação entre as regiões R1, R2 e R3, para três faixas de profundidade, usando todos os dados qualificados dos gliders e perfiladores nestas regiões, para o filtro de 1/3 de oitava centrado em 1.000 Hz.

Na Figura III.1.1.2-10, para a faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz, o teste estatístico indicou que não dá pra dizer que há diferenças entre as profundidades de 50 m e 200 m para a região R1. Todas as outras distribuições em cada região são diferentes (ANOVA, 1.848,8, $p=0,0000$). A mediana dos dados para profundidade de 950 m é a mais alta das três profundidades nas três regiões, mas a maior diferença é menor do que 2 dB. A diferença entre as medianas para a profundidade de 50 m e 200 m não chega a 1 dB, com a mediana da profundidade de 50 m sendo maior na região R1 e menor nas outras duas regiões.

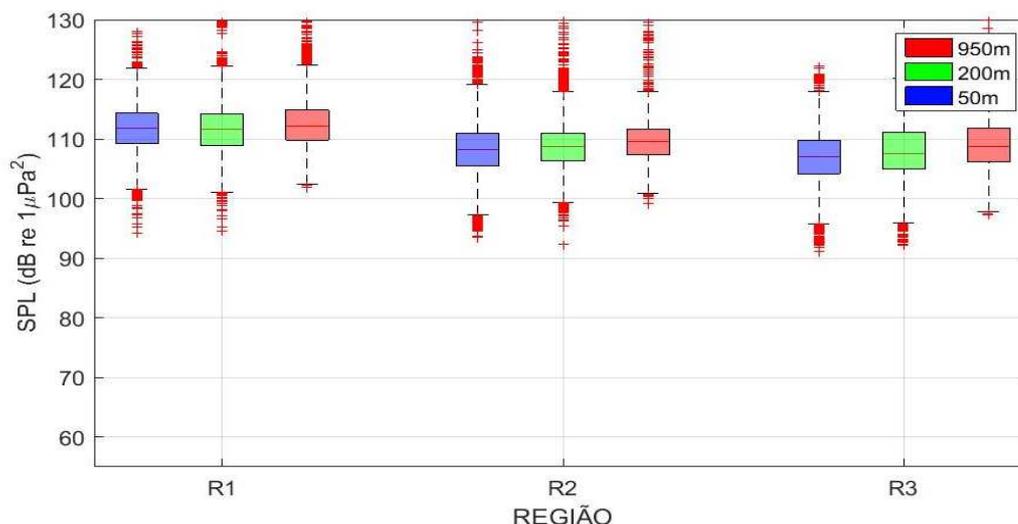


Figura III.1.1.2-11: Comparação entre as regiões R1, R2 e R3, para três faixas de profundidade, usando todos os dados qualificados dos gliders e perfiladores nestas regiões, na faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz.

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 duas profundidades em até 2 dB, enquanto a mediana do ruído para as profundidades de 50 m e 200 m são próximas. Isto pode ser devido à propagação de ruídos de baixa frequência pelo canal sonoro profundo (Canal SOFAR), onde o hidrofone a 950 m provavelmente está.

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 duas profundidades e a mediana para a profundidade de 200 m é a mais baixa, embora a diferença máxima encontrada tenha sido em torno de 1,5 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 e 950 m as diferenças não são grandes e se alternam dependendo da região e da faixa de frequência.

III.1.1.3 Detecção de Sinais Provenientes de Prospecções Sísmicas

Além de cumprir o objetivo de caracterizar a paisagem acústica, os sinais gravados pelos *gliders* foram usados para a detecção de pulsos resultantes dos disparos de arranjos de canhões de ar usados em campanhas de prospecção sísmica ocorrendo no mesmo período destas gravações.

A) Campanha em Lula e Libra

Para o trabalho inicial, foram escolhidas campanhas de prospecção sísmica realizadas nos campos de Lula e Libra, ocorridas entre 09 de dezembro de 2017 e 30 de abril de 2018. Foram usados como fonte sísmica o navio *Artemis Angler*, no campo de Lula e o navio *Osprey Explorer*, no campo de Libra. As campanhas ocorreram em três períodos, como apresentado a seguir:

1. 09 a 31 de dezembro de 2017 – operação simultânea dos dois navios;
2. 02 a 28 de janeiro de 2018 – operação apenas em Lula;
3. 02 a 30 de abril de 2018 – operação apenas em Libra.

Para a detecção dos sinais foram usados os sinais acústicos gravados pelo *glider* nas campanhas C20, C21, C22 e C23, que ocorreram no mesmo período da realização das campanhas de prospecção sísmica.

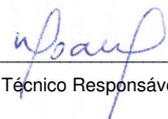
A Figura III.1.1.3-1 apresenta as linhas do tempo referentes às atividades de prospecção sísmica em Libra e em Lula e aquelas correspondentes às campanhas de gravação acústica que ocorreram no mesmo período.

A Figura III.1.1.3-2 apresenta as trajetórias do *glider* nas campanhas C20, C21, C22 e C23 junto com as trajetórias dos navios fonte durante as atividades de prospecção sísmica. O *glider* ficou constantemente mais próximo de Libra do que de Lula durante todo o período das operações consideradas. A menor distância do *glider* para as fontes ocorreu em relação ao navio fonte operando no campo de Libra, com uma distância mínima de cerca de 10 km. A maior distância ocorreu para o navio operando no campo de Lula, com uma distância máxima um pouco menor que 200 km.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

4º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2020

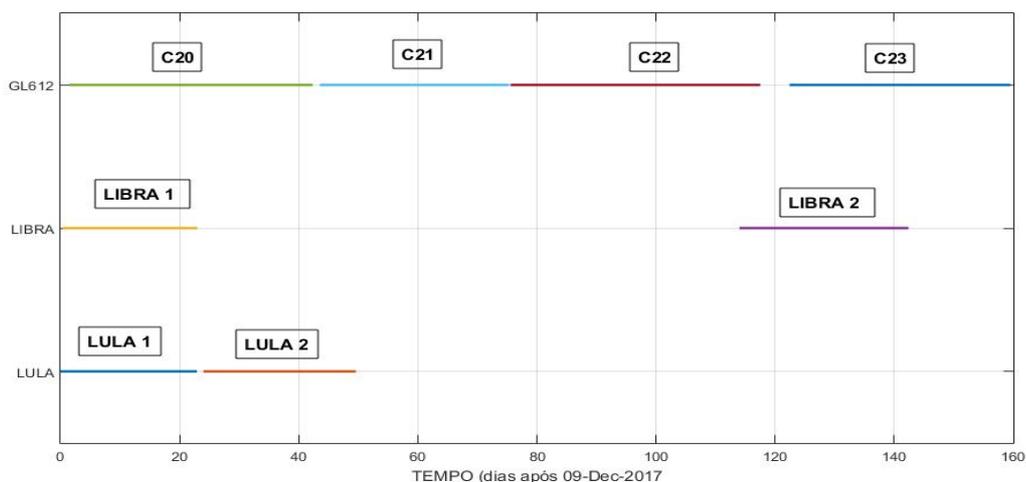


Figura III.1.1.3-1: Linha do tempo mostrando os períodos dos trabalhos de prospecção sísmica em Libra e Lula e das campanhas de gravação dos gliders que coincidiram com a prospecção.

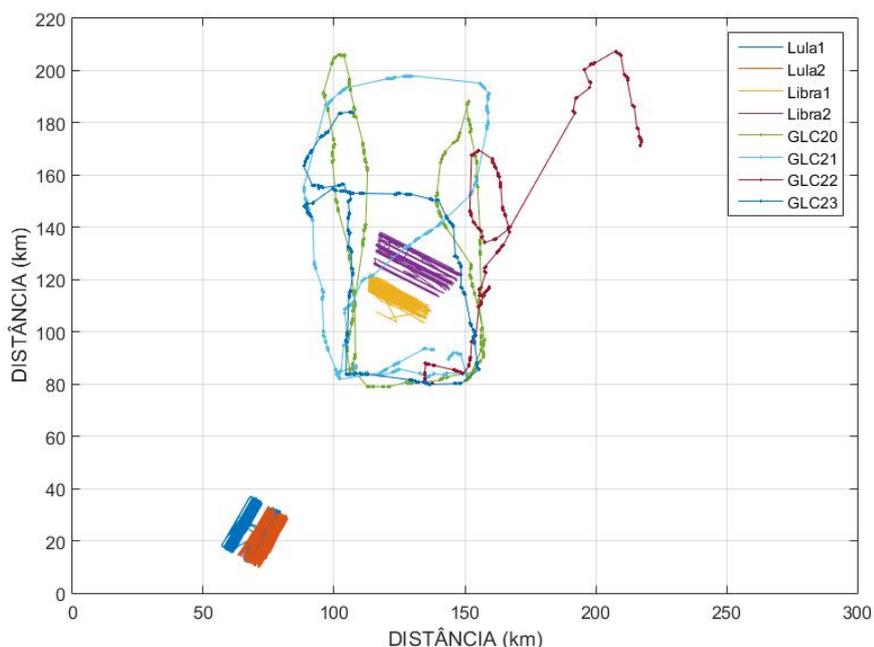


Figura III.1.1.3-2: Trajetória dos navios sísmicos durante as atividades de prospecção sísmica e trajetórias percorridas pelo glider nas campanhas C20, C21, C22 e C23.

B) Campanha em Búzios

A partir da análise dos dados obtidos nas gravações das campanhas nos campos de Lula e Libra, foi feita uma programação para orientar o posicionamento do *glider* na campanha C31, com o objetivo de gravar os sinais provenientes da campanha de prospecção sísmica no campo de Búzios. A campanha ocorreu entre os dias 10 e 27 de fevereiro de 2019, usando como fonte sísmica o navio *Vantage*.

Para a detecção dos sinais provenientes do trabalho de prospecção sísmica, foram usados os sinais acústicos gravados pelo *glider* na campanha C31, que ocorreu no mesmo período da realização da campanha de prospecção sísmica. A Figura III.1.1.3-3 apresenta as linhas do tempo referentes às atividades de prospecção sísmica em Búzios e aquelas correspondentes à campanha de gravação acústica que ocorreu no mesmo período.

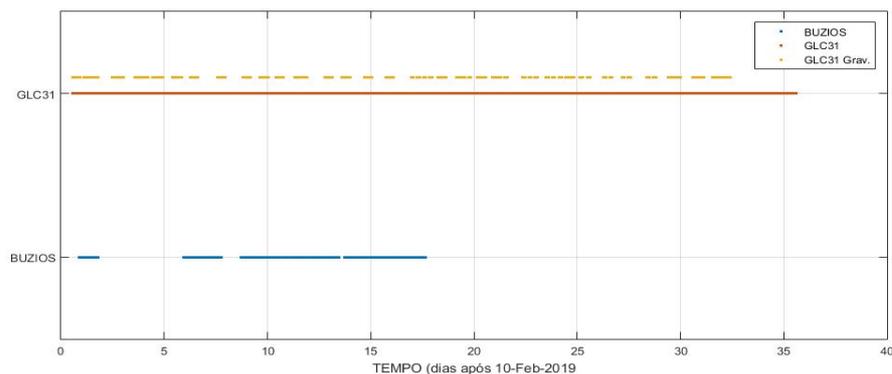


Figura III.1.1.3-3: Linha do tempo mostrando os períodos dos trabalhos de prospecção sísmica em Búzios e da campanha de gravação do *glider* que coincidiu com a prospecção.

O *glider* foi lançado próximo ao navio *Vantage* e permaneceu na região durante toda a campanha de prospecção sísmica. No final da campanha, ele foi deslocado para outras regiões de interesse do projeto PMPAS-BS. A Figura III.1.1.3-4 mostra o trecho da trajetória do *glider* que coincide com a campanha de prospecção sísmica. A menor distância do *glider* para as fontes ficou em torno de 2,5 km e a maior ficou perto de 60 km.



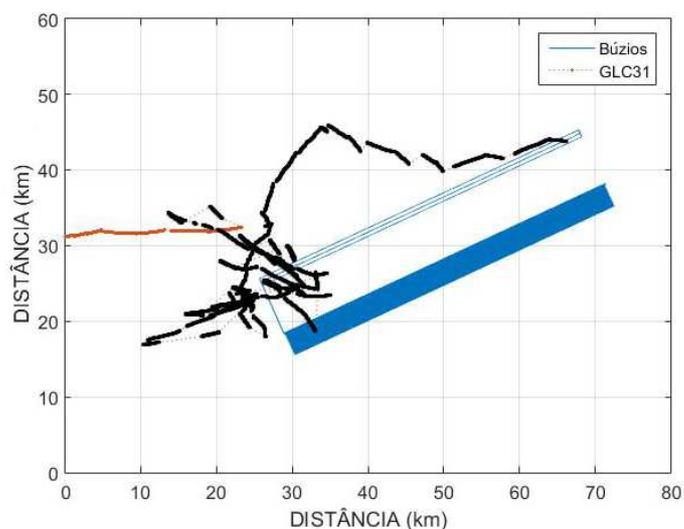


Figura III.1.1.3-4: Trajetórias do glider e do navio sísmico no período correspondente à campanha de prospecção sísmica. O trecho em preto na trajetória do glider corresponde ao período que coincide com a campanha de prospecção sísmica.

III.1.1.3.1 Processamento dos Dados

Os sinais gravados pelos *gliders* foram processados para a detecção dos pulsos que correspondem aos disparos realizados pelos *airguns*. A Figura III.1.1.3.1-1 apresenta o sinal acústico recebido pelo *glider*, mostrando uma série de pulsos que foram associados aos pulsos gerados pelos *airguns*. A Figura III.1.1.3.1-2 mostra uma ampliação de um dos pulsos mostrados na Figura III.1.1.3.1-1. Nela, é possível ver, além do pulso direto (primeiro pulso), algumas reflexões que chegam um pouco atrasadas deste primeiro pulso.

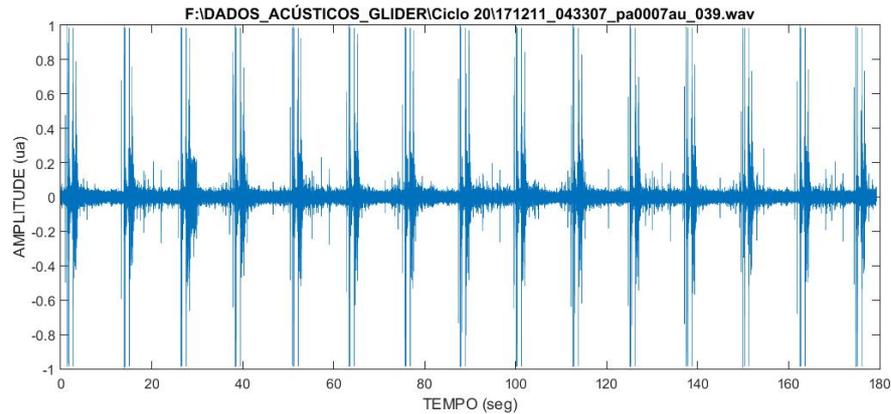


Figura III.1.1.3.1-1: Trecho do sinal acústico recebido pelo glider mostrando uma série de pulsos associados aos pulsos gerados pelos airguns.

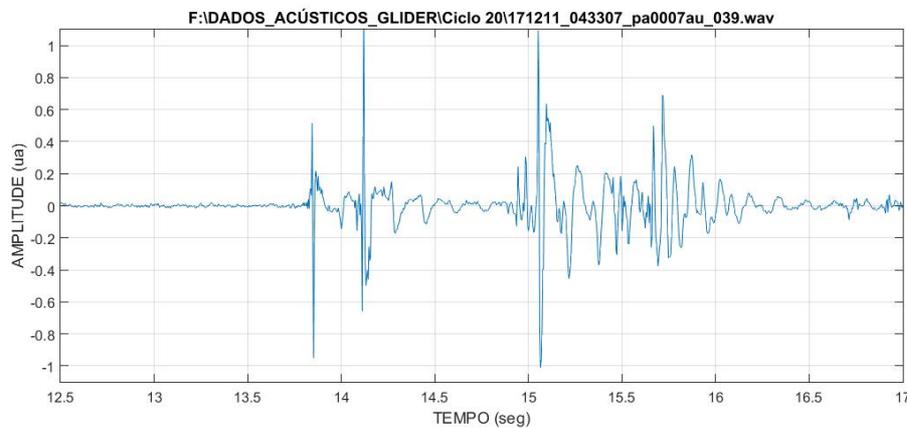


Figura III.1.1.3.1-2: Ampliação do sinal acústico recebido pelo glider mostrando o trecho correspondente a um pulso transmitido.

Para a detecção dos pulsos, foi implementado um algoritmo usando a energia do sinal na faixa de frequência de 0 a 125 Hz e considerando uma duração de 5 segundos de sinal, contando com as reflexões. O sinal detectado é corrigido usando a curva de sensibilidade e a resposta de frequência do sistema de aquisição de forma a permitir representar os pulsos como pressão acústica na face do hidrofone usado no *glider*. É medida, então, a amplitude máxima do sinal recebido, sendo calculado o $SPL_{pico} = 20 * \log_{10}(P_{pico})$. Deve-se levar em conta, no entanto, que nos períodos onde os navios sísmicos estavam operando simultaneamente, o procedimento descrito não permite a separação individual dos pulsos de cada um destes navios nem a identificação de qual foi a fonte geradora do pulso.

III.1.1.3.2 Resultados Obtidos

A) Campanhas em Lula e Libra

Para a verificação da variação do SPL_{pico} em função da distância do *glider* ao navio fonte no instante da detecção, foram considerados os dados nos trechos obtidos nas campanhas Lula 2 e Libra 2, que foi onde ocorreu a prospecção sísmica em apenas um dos campos ao mesmo tempo. Nas campanhas Lula 1 e Libra 1, a prospecção ocorreu simultaneamente nos dois campos, não sendo possível identificar a qual das duas campanhas as detecções pertenciam. A Figura III.1.1.3.2-1 apresenta os valores de SPL_{pico} para todos os pulsos detectados nestas condições. As faixas de distância cobertas por cada uma destas operações foram diferentes, com a operação em Libra ocorrendo mais próxima do *glider* (até 60 km) e em Lula mais distante (entre 60 e 200 km).

Uma forma simplificada de modelar a variação da energia em função da distância em uma região é considerando a fórmula:

$$RL = SL - A * \log_{10}(r),$$

onde RL é o nível recebido pelo *glider*, em dB re $1 \mu Pa^2$, SL é o nível da fonte do *airgun*, em dB re $1 \mu Pa.m$, r é a distância horizontal entre a fonte e o receptor, em metros e A é uma constante que controla a variação da energia com a distância. O valor de $A=20$ corresponde a uma propagação esférica, onde pode ser desconsiderada a interação do sinal sonoro com as fronteiras. O valor de $A=10$ representa a condição de propagação cilíndrica em um guia de ondas, típica de propagação em regiões com fronteiras bem definidas pela superfície e fundo.

O cálculo dos parâmetros foi:

$$SL = 226 \text{ dB re } 1 \mu Pa.m;$$

$$A = 20.5.$$

O valor obtido para o SL é bem próximo do valor reportado de SL para as fontes usadas, que foi de 227 dB re $1 \mu Pa.m$ para Lula e de 226 dB re $1 \mu Pa.m$ para Libra.



No segundo gráfico, é apresentado o SL estimado para cada ponto, considerando os parâmetros calculados acima. No terceiro gráfico, são apresentados histogramas para os SL dos pontos recebidos nas operações em Lula 2 e em Libra 2. Os histogramas apresentam concentrações entre 220 e 230 dB re 1 μ Pa.m, com valores médios de 225,4 dB re 1 μ Pa.m para Libra 2 e 226 dB re 1 μ Pa.m para Lula 2.

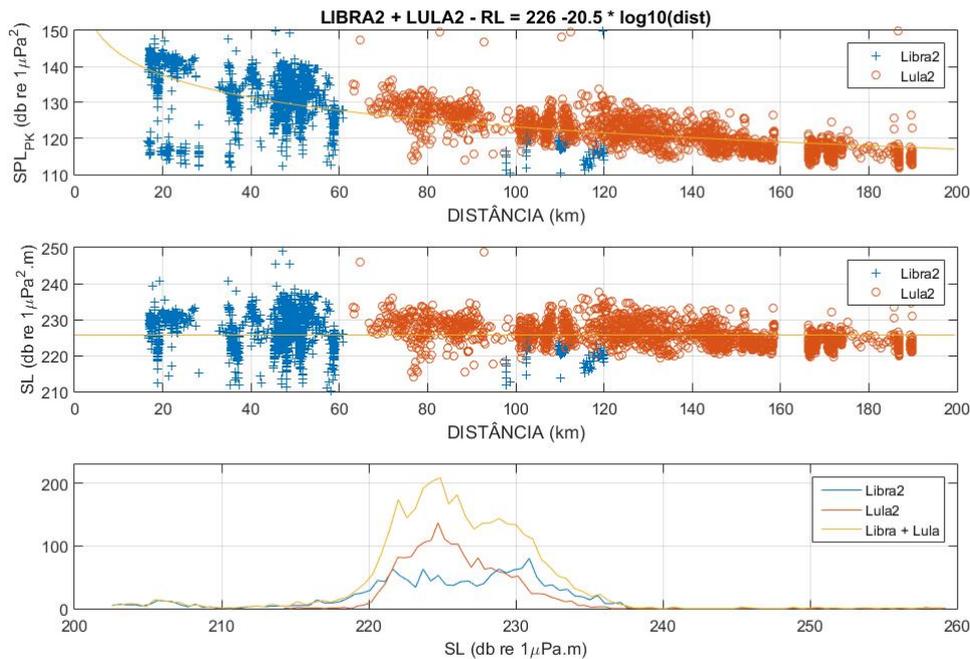


Figura III.1.1.3.2-1: SPL_{pico} calculado para cada pulso detectado pelo glider em função da distância ao navio fonte nas campanhas em Libra 2 e Lula 2.

B) Campanhas em Búzios

Nos arquivos com detecção, os pulsos sísmicos individuais foram recortados e corrigidos pela sensibilidade do hidrofone e pela resposta de frequência do sistema de gravação, de modo que as amplitudes destes sinais representem a pressão sonora, em microPascais (μ Pa). A seguir, foi calculado o valor de pico dos pulsos, sendo calculado o nível de pressão sonora (SPL_{pico}) que corresponde a $20\log_{10}(\text{pico})$, em dB re 1 μ Pa. A Figura III.1.1.3.2-2 apresenta, no gráfico de cima, os valores obtidos de SPL_{pico} dos pulsos detectados em função da distância entre o glider e os arranjos de canhões de ar no momento da detecção dos pulsos. Neste gráfico, observa-se que ocorre uma

saturação dos pulsos para distâncias abaixo de cerca de 15 km, devido ao fato do ganho usado no sistema de aquisição do *glider* ter sido maior do que o necessário para os sinais recebidos nesta distância. Foram detectados pulsos até uma distância de cerca de 60 km.

Para a verificação da variação do SPL_{pico} em função da distância do *glider* ao navio fonte no instante da detecção, foram considerados os dados acima de 15 km. A variação da energia em função da distância foi modelada considerando a fórmula:

$$RL = SL - A * \log_{10}(r),$$

onde RL é o nível recebido pelo *glider*, em dB re 1 μPa^2 , SL é o nível da fonte do *airgun*, em dB re 1 $\mu Pa.m$, r é a distância entre a fonte e o receptor, em metros e A é uma constante que controla a variação da energia com a distância.

O cálculo dos parâmetros foi:

$$SL = 236 \text{ dB re } 1 \mu Pa.m;$$

$$A = 23.$$

O valor obtido para o SL é maior do que o valor reportado para o SL das fontes usadas, que foi de 226 dB re 1 $\mu Pa.m$. Esta diferença pode ser explicada pela grande variabilidade dos dados ao longo da medição, podendo ter sido influenciada, também, pela falta de informação em distâncias abaixo de 15 km devido à saturação do sistema de aquisição.

No segundo gráfico, é apresentado o SL estimado para cada ponto, considerando os parâmetros calculados acima [$SL = RL + 23 * \log(R)$]. No terceiro gráfico, são apresentados os histogramas para os SL apresentados no segundo gráfico e os SL calculados utilizando a fórmula $SL = RL + 20 * \log(R)$, considerando um espalhamento esférico na propagação. O primeiro histograma apresenta a moda em torno de 236 dB re 1 $\mu Pa.m$, que corresponde ao valor obtido na regressão. O segundo histograma apresenta a moda em torno de 223 dB re 1 $\mu Pa.m$.



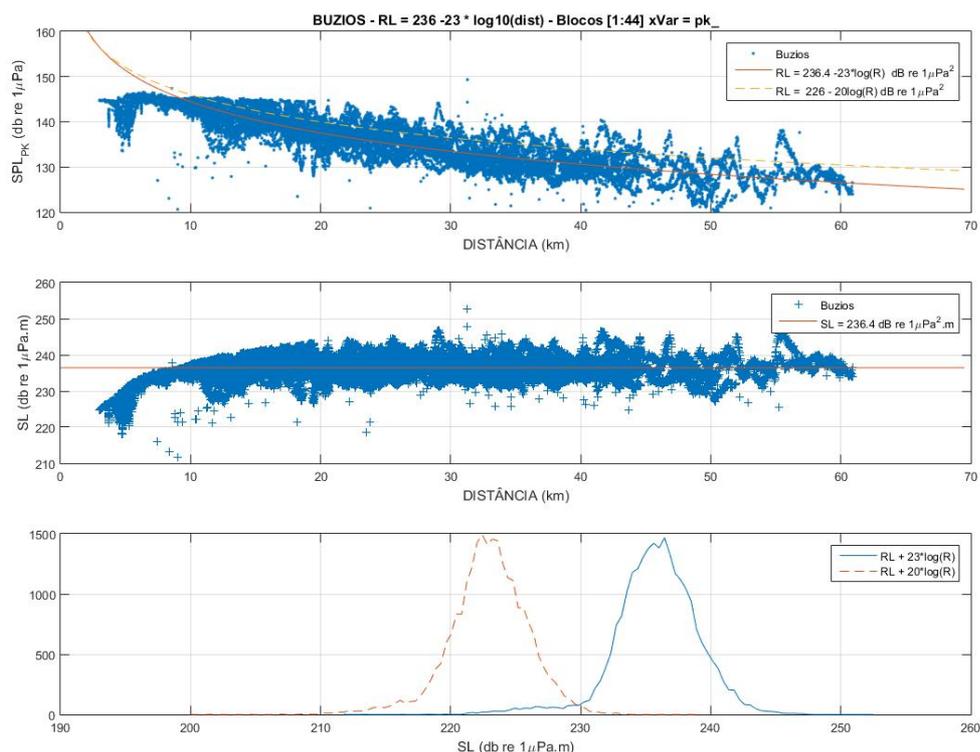


Figura III.1.1.3.2-2: Em cima, níveis de pressão sonora para cada pulso sísmico detectado no glider (pontos azuis), curva de regressão do decaimento (linha vermelha sólida) e decaimento considerando $SL=226$ dB re $1 \mu Pa.m$ e perda por espalhamento esférico (linha tracejada). No meio, SL calculado a usando $SL = RL + 23*\log(R)$ (pontos azuis), com o valor do SL estimado sendo representado pela linha vermelha horizontal ($SL=236$ dB re $1 \mu Pa.m$). Embaixo, histograma dos SL apresentados no gráfico do meio (em azul) e histograma dos SL considerando a equação $SL = RL + 20*\log(R)$ (em vermelho, tracejado).

C) Variabilidade do SPL_{pico} em Função da Distância

Na Figura III.1.1.3.2-2, pode-se observar que os dados de SPL_{pico} ocupam uma faixa de cerca de 10 dB para em uma dada distância. A Figura III.1.1.3.2-3 mostra um trecho ampliado daquela figura, mostrando a distribuição dos pontos até uma distância um pouco acima de 25 km. Nesta figura, é possível ver a saturação do trecho inicial, até cerca de 15 km, e a dispersão dos pontos para cada distância. Se o sistema permitisse a gravação do sinal sem saturação, os níveis esperados na faixa de distância abaixo de 15 km tenderiam a acompanhar a curva de ajuste vermelha.



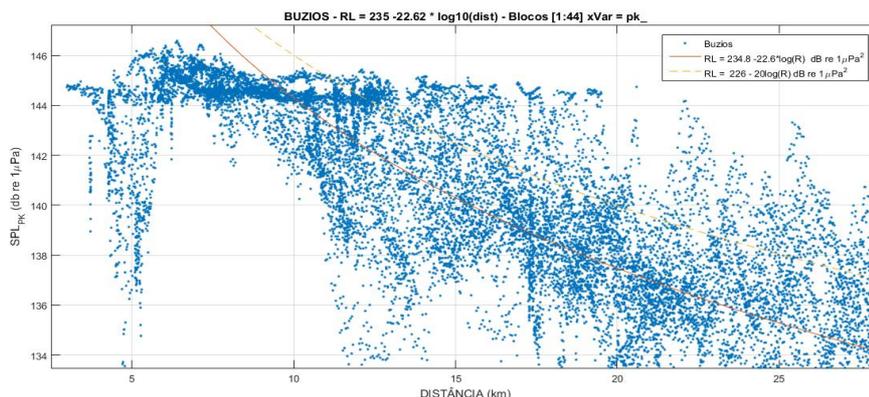


Figura III.1.1.3.2-3: Trecho ampliado do gráfico da Figura III.1.1.3.2-2 mostrando a saturação que ocorre em curtas distâncias e o espalhamento dos níveis medidos.

Na Figura III.1.1.3.2-4, são apresentados os SPL_{pico} para um trecho de gravação correspondente a uma pernada da trajetória do navio sísmico. A Figura III.1.1.3.2-5 mostra as trajetórias do *glider* e do navio no tempo correspondente a este trecho. Durante este trecho, o navio sísmico estava se afastando do *glider*, enquanto que o *glider* variou sua profundidade desde a superfície até 400 m, como pode ser visto no gráfico de baixo da Figura III.1.1.3.2-4. Os valores de SPL_{pico} decaem com a distância, como é esperado, mas ocorre uma variação de 5 a 10 dB nestes valores, que pode ser responsável pela variabilidade observada na Figura III.1.1.3.2-2. Outros modelos de propagação podem ser usados, levando em consideração fatores como a batimetria do local, perfil de velocidade do som, estado do mar e profundidades da fonte e do receptor ao longo do tempo, para verificar se algum deles explica melhor as variações observadas.

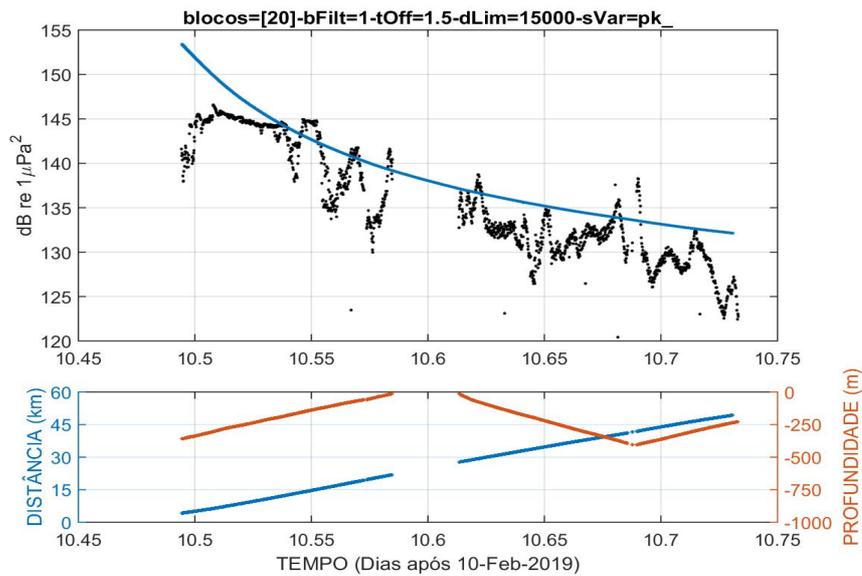


Figura III.1.1.3.2-4: Em cima, níveis da pressão sonora recebida pelo glider (pontos pretos) e níveis esperados considerando um espalhamento esférico (linha azul). Em baixo, distância do glider ao arranjo de canhões de ar (linha azul) e profundidade do glider (linha vermelha).

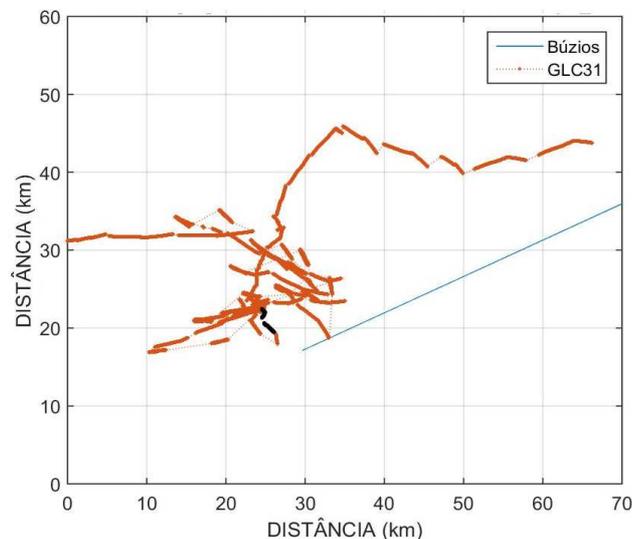


Figura III.1.1.3.2-5: Trajetória dos arranjos de canhões de ar (azul) durante o trecho apresentado na Figura III.1.1.3.2-4 e trajetória do glider durante a campanha de prospecção sísmica, destacando, em preto, o trecho que corresponde, em tempo, ao trecho da trajetória dos arranjos.

III.1.1.3.3 Considerações Finais

Foi possível detectar pulsos até a cerca de 200 km de distância da fonte sísmica nas campanhas de Libra e Lula e de até cerca de 60 km em Búzios. A variação do SPL_{pico} com a distância usando os dados das campanhas em Libra e Lula e considerando uma propagação seguindo a fórmula $RL = SL - A * \log_{10}(r)$ levou a valores de $SL = 226$ dB re 1 $\mu Pa.m$, próximo dos valores de SL informados para as fontes acústicas e $A = 20,5$, compatível com uma perda de propagação esférica. Para a campanha em Búzios, foi obtido $SL = 236$ dB re 1 $\mu Pa.m$ e $A = 23,7$, embora o valor informado do SL para as fontes acústicas fosse de 226 dB re 1 $\mu Pa.m$.

Os resultados obtidos mostram que é possível usar os dados gravados por *gliders* para o estudo da propagação dos disparos de canhões de ar, desde que seja possível controlar o *glider* para cobrir as distâncias de interesse do estudo e que seja possível confirmar que os pulsos recebidos são provenientes da operação que se deseja monitorar.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

4º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2020

III.1.2 Monitoramento Fixo – Linhas de Fundeio Instrumentadas

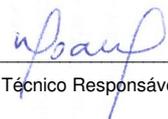
III.1.2.1 Qualificação das LFIs

As Linhas de Fundeio Instrumentadas (LFIs) possuem gravadores instalados nas profundidades de 50 m, 200 m e 1.000 m, estando localizadas em regiões com profundidades locais variando de 1.100 m a 2.850 m. Em todas as campanhas, foram observados elevados níveis de ruído com uma forte correlação com a corrente oceânica, principalmente para os equipamentos instalados nas profundidades de 50 m e 200 m. No terceiro relatório técnico do projeto PMPAS-BS (IPqM, 2019), foi apresentado um estudo mostrando que existe uma forte correlação entre a intensidade da corrente oceânica e os níveis do ruído gravado pelas LFIs, sendo mostrado que o ruído que causa esse aumento é gerado pela própria linha, com a passagem da corrente. Esta correlação aumenta com o aumento da corrente, tendo sido definido um limiar de 13 cm/s para a corrente, acima da qual os sinais não podem ser aproveitados. A Figura III.1.2.1-1 apresenta os SPL_{50P} para a linha FA02, sem nenhum processo de qualificação. A Figura III.1.2.1-2 apresenta apenas os SPL_{50P} para os trechos onde a intensidade da corrente oceânica foi menor ou igual a 13 cm/s. Nesta figura, na parte superior, ao invés do parâmetro SPL_{50P} , foi apresentada a corrente oceânica medida em cada profundidade, sendo que a linha tracejada indica o limiar de 13 cm/s. É claro o efeito negativo da corrente nos dados, sendo que uma grande parte das gravações não puderam ser aproveitadas.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

4º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2020

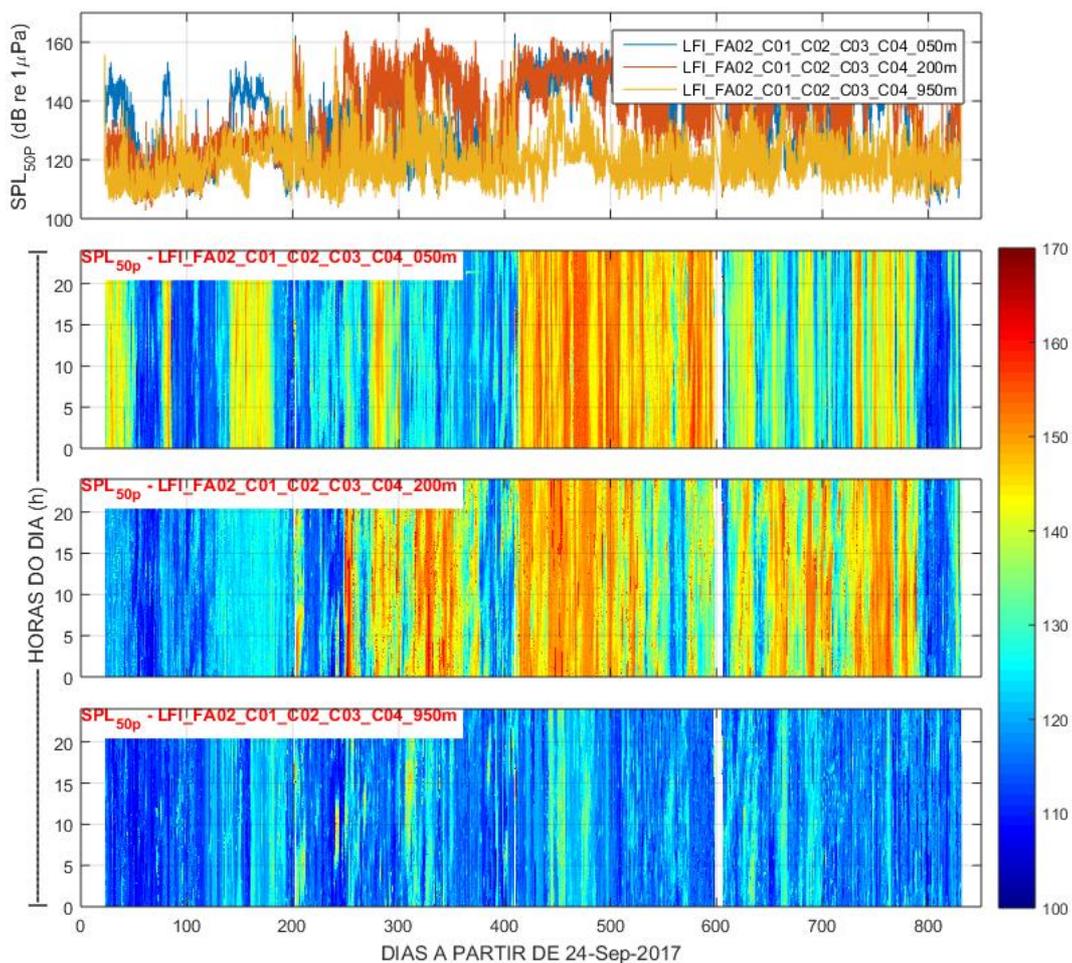


Figura III.1.2.1-1: LFI-FA02 - SPL_{50p} em dB re 1 µPa² nas profundidades de 50 m, 200 m e 950 m, em função do dia (gráfico superior) e separado por hora do dia da medição (gráficos inferiores).

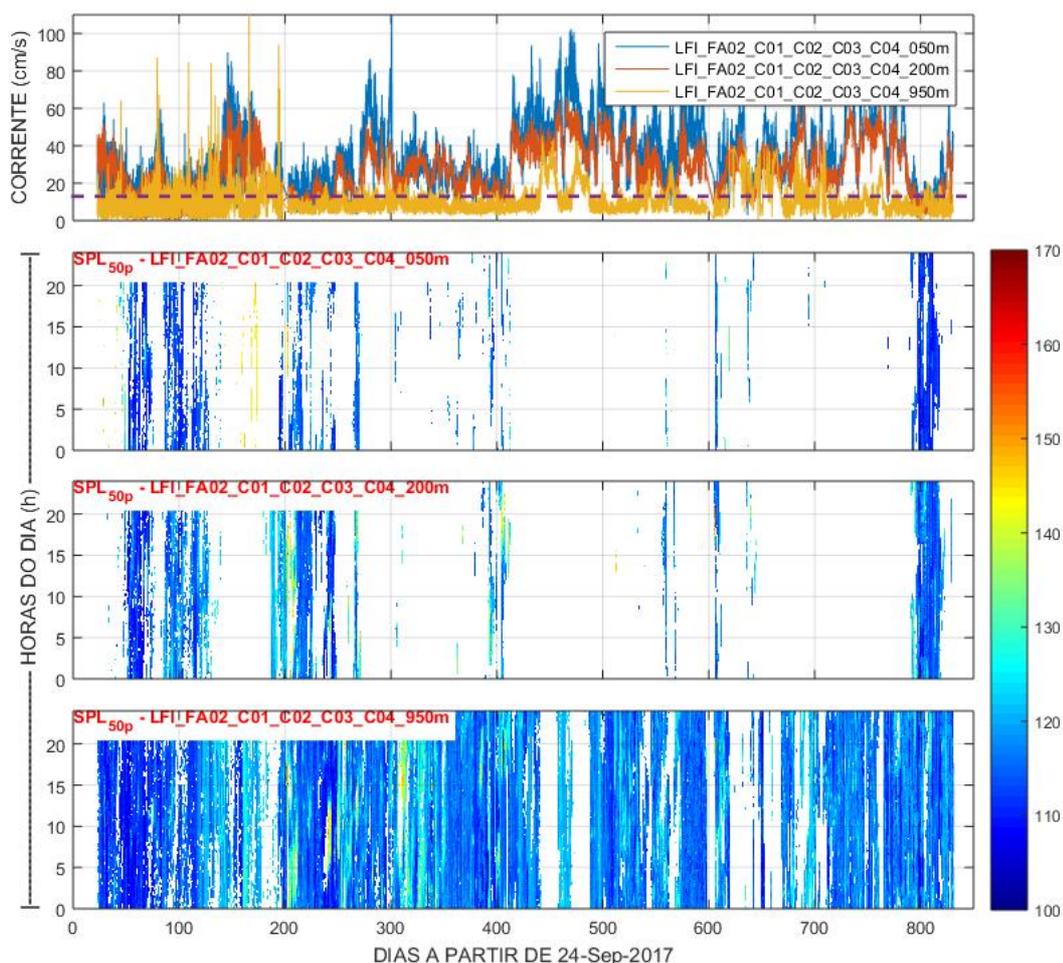


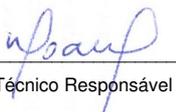
Figura III.1.2.1-2: LFI-FA02 - Intensidade da corrente oceânica em função do dia (gráfico superior) e SPL_{50p} em dB re $1 \mu Pa^2$, para correntes menores que 13 cm/s (linha tracejada no primeiro gráfico), separado por hora do dia da medição (gráficos inferiores), nas profundidades de 50 m, 200 m e 950 m.

Este mesmo comportamento é observado em todas as outras linhas, embora com um percentual diferente de aproveitamento em cada linha e em cada profundidade. A Figura III.1.2.1-3 mostra, graficamente, o percentual de dados aproveitados nas linhas para cada uma das profundidades gravadas. A Tabela III.1.2.1-1 apresenta estes mesmos dados e o total por profundidade para todas as linhas. Nos equipamentos nas profundidades de 50 m e de 200 m, menos de 20% dos dados foram aceitos em quase todas as campanhas, com apenas duas linhas a 200 m apresentando mais de 20% de dados aceitos. As linhas 1 e 3 parecem sofrer um pouco menos com as correntes, chegando a




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

4º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2020

aproveitar em torno de 40% dos dados a 200 m e 16% a 50m para a LFI_FA03. Nos equipamentos a 950 m, mais de 50% dos dados foram aceitos na maioria das linhas. O principal motivo para o mau aproveitamento dos dados a 50 m e a 200 m, comparado com 950 m, é a maior intensidade da corrente oceânica em profundidades menores. Várias tentativas foram feitas para reduzir esta interferência, como o acolchoamento de elos de correntes, substituição de trechos de corrente por cabos de nylon, instalação de dispositivos para reduzir a vibração da linha, dentre outros, porém não tiveram resultados satisfatórios. Uma análise de experimentos realizados em outras partes do mundo com linhas de fundeio em altas profundidades mostram que as linhas usadas são mais simplificadas do que as usadas no PMPAS-BS, contendo, normalmente, apenas um hidrofone posicionado em profundidades onde a expectativa para a intensidade de corrente é menor (Erbe *et al.*, 2015, 2016; Merchant *et al.*, 2016; Haver *et al.*, 2018, 2019).

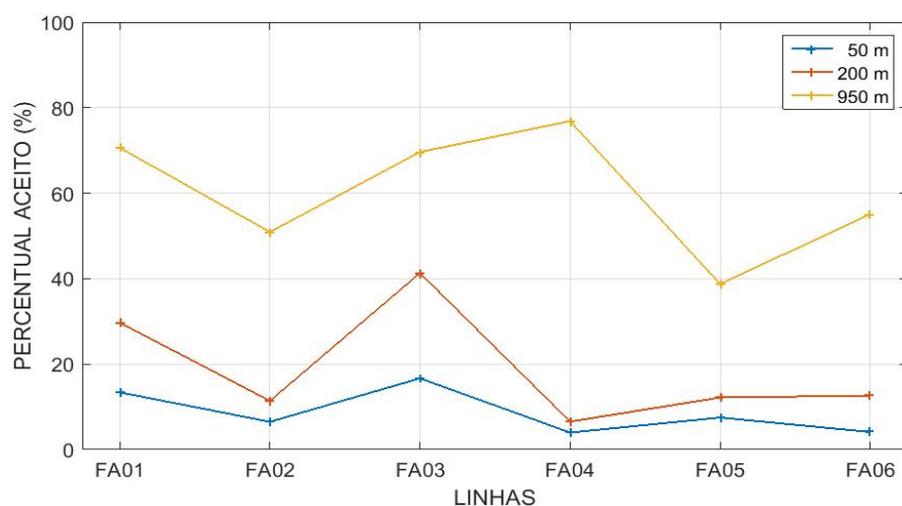


Figura III.1.2.1-3: Percentual das janelas processadas e que foram validadas no processo de qualificação, para cada linha, nas profundidades de 50 m, 200 m e 950 m.



Tabela III.1.2.1-1: Percentual de janelas processadas que foram validadas no processo de qualificação para cada LFI e profundidade.

Linha	Profundidade	Minutos processados	Minutos validados	Percentual validado
LFI01	50 m	76.003	10.172	13,4%
LFI02	50 m	115.055	7.468	6,5%
LFI03	50 m	110.762	18.458	16,7%
LFI04	50 m	120.630	4.800	4,0%
LFI05	50 m	111.096	8.324	7,5%
LFI06	50 m	19.743	811	4,1%
Total		553.289	50.033	9,0%
LFI01	200 m	63.603	18.880	29,7%
LFI02	200 m	115.063	13.101	11,4%
LFI03	200 m	110.761	45.765	41,3%
LFI04	200 m	111.220	7.274	6,5%
LFI05	200 m	111.115	13.531	12,2%
LFI06	200 m	19.747	2.496	12,6%
Total		531.509	101.047	19,1%
LFI01	950 m	76.083	53.730	70,6%
LFI02	950 m	115.064	58.581	50,9%
LFI03	950 m	110.768	77.132	69,6%
LFI04	950 m	111.259	85.509	76,9%
LFI05	950 m	78.429	30.396	38,8%
LFI06	950 m	19.766	10.882	55,1%
		511.369	316.230	61,8%



CBZ
Coordenador da Equipe



ufbau
Técnico Responsável

4º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2020

III.1.2.2 Comparação entre as LFIs

A Figura III.1.2.2-1 apresenta os *boxplots* para todos os dados das seis 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 pode ser devido ao ruído próprio provocado pela corrente oceânica, mesmo com os dados tendo sido filtrados usando o limiar de 13 cm/s para a intensidade da corrente.

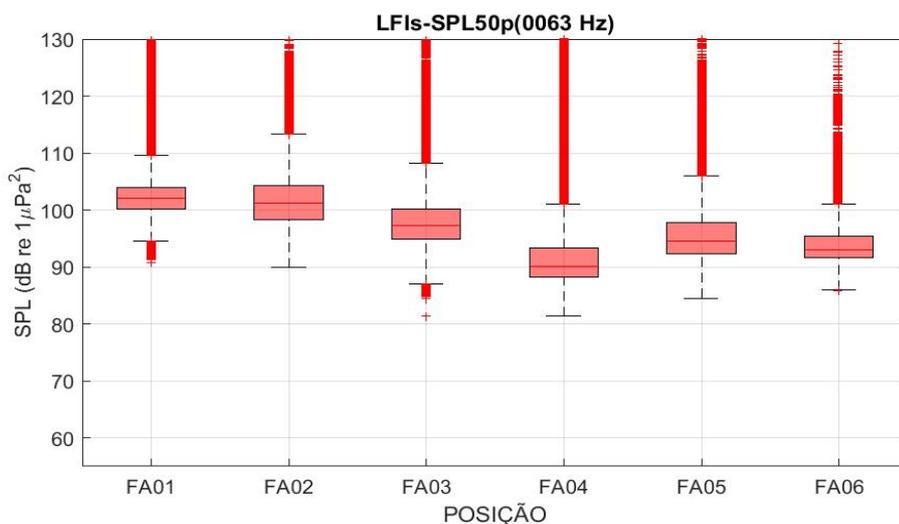


Figura III.1.2.2-1: Comparação entre as LFIs para todos os dados no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz.

Na Figura III.1.2.2-2 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. Na tabela são apresentados, também, os resultados do teste estatístico (ANOVA) comparando as distribuições das linhas para cada frequência. Os dados das linhas são estatisticamente diferentes em todas as faixas de frequência. Na frequência de 63 Hz, a linha FA01 é a mais ruidosa, seguida, na ordem, pelas linhas FA02, FA03, FA06, FA04 e FA05. Nas frequências de 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz, a linha FA02 é a mais ruidosa, seguida, na ordem, pelas linhas FA01 e FA03. Na frequência de 125 Hz, a ordem é a linha FA06 mais ruidosa, seguida pelas linhas FA04 e FA05. Nas frequências de 500 Hz e 1.000 Hz, a linha FA05 é mais ruidosa, seguida, na ordem, pelas linhas FA04 e FA06.



O fato das linhas FA01 e FA02 serem as mais ruidosas em todas as faixas de frequência se deve, provavelmente, ao fato delas estarem localizadas nas regiões com maior atividade de E&P. O nível elevado de ruído observado na linha FA03, localizada em uma região considerada de pouca atividade de tráfego e de E&P, pode ter sido causado por ruídos de tráfego de embarcações e de atividades de E&P não esperados para a região na época do planejamento de sua instalação.

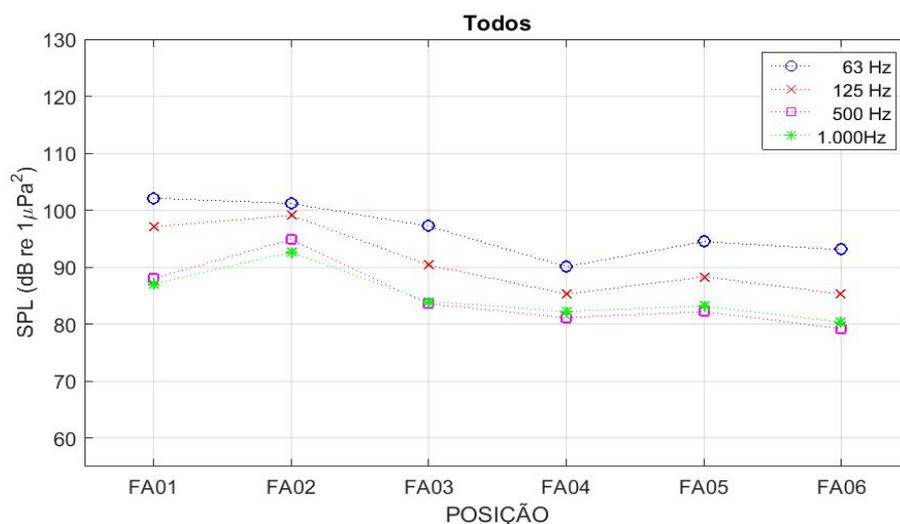


Figura III.1.2.2-2: Comparação entre as LFI para todos os dados no filtro de 1/3 de oitava centrado nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz.

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

	Frequências / (teste ANOVA)			
	63 Hz (F=122.047,0, p=0,0000)	125 Hz (F=180.495,3, p=0,0000)	500 Hz (F=112.328,1, p=0,0000)	1.000 Hz (F=59.521,4, p=0,0000)
FA01	102,1	97,1	88,0	87,0
FA02	101,2	99,1	94,9	92,6
FA03	97,2	90,4	83,6	84,0
FA04	90,1	85,3	81,1	82,2
FA05	94,5	88,3	82,2	83,2
FA06	93,1	85,3	79,2	80,3

A Figura III.1.2.2-3 apresenta *boxplots* para os dados das LFI nos anos de 2017 a 2019, no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz. A Figura III.1.2.2-3 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 2019. Na tabela, são apresentados, também, os resultados do teste ANOVA realizado para cada frequência. A linha FA06 não coletou dados no ano de 2017, não aparecendo para este ano nos gráficos e na tabela.

Na frequência de 63 Hz, o teste estatístico indicou que não dá para dizer que há diferenças entre os anos de 2017 e 2018 para a linha FA05 e para os anos de 2018 e 2019 para a linha FA04. As maiores diferenças encontradas foram entre os anos de 2017 e 2019 para a linha FA02, com um aumento do ruído de cerca de 4 dB; entre os anos de 2018 e 2019 para a linha F03, com aumento em torno de 3 dB; e entre os anos de 2017 para 2018 para a linha FA04, com um aumento de 1,5 dB.

Na frequência de 125 Hz, o teste indicou que não é possível dizer que há diferenças entre os anos de 2017 e 2019 para a linha FA01, entre os anos de 2018 e 2019 para a linha FA05 e entre os anos de 2018 e 2019 para a linha FA06. As maiores diferenças encontradas foram de cerca de 4 dB para a linha FA02, entre os anos de 2017 e 2018 e de 1 dB entre os anos de 2018 e 2019 para a linha FA03.

Na frequência de 500 Hz, o teste indicou que não dá para dizer que há diferenças entre os anos de 2018 e 2019 para as linhas FA01 e FA02. As maiores diferenças encontradas foram entre os anos de 2017 e 2018 para a linha FA02, com um aumento de um pouco mais de 3 dB; entre os anos de 2017 e 2018 para a linha FA03, com uma redução de 1,7 dB, seguida de um aumento de 1,0 dB para 2019; entre os anos de 2017 e 2018 para a linha FA05, com uma redução de 2,6 dB, seguida de um aumento de 1,7 dB para o ano de 2019; e entre os anos de 2018 e 2019 para a linha FA06, com uma redução de 1,8 dB.

Na frequência de 1.000 Hz, não dá para dizer que houve diferenças entre os anos de 2017 e 2018 para a linha FA01, entre os anos de 2017 e 2019 para a linha FA04 e entre 2017 e 2019 para a linha FA05. As maiores diferenças encontradas foram entre os anos de 2017 e 2019 para a linha FA02, com um aumento de 5,1 dB; entre 2017 e 2018 para a linha FA03, com uma redução de 2,7 dB, seguida de um aumento de 1,3 dB para 2019; entre 2017 e 2018 para a linha FA05, com uma redução de 2,1 dB, seguida de um aumento de 1,9 dB; e entre 2018 e 2019 para a linha FA06, com uma redução de 2,2 dB.



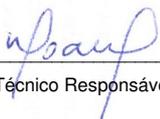
Os maiores aumentos dos níveis de ruído ao longo dos anos de 2017 a 2019 ocorreram na linha FA02, com aumento de até 4 dB nas frequências mais baixas e até 5 dB nas frequências maiores e na linha FA03, com aumento de 3 dB em 63 Hz. Nas demais linhas e frequências as variações de níveis de ruído entre os anos foi pequena ou não existiu, tendo ocorrido inclusive redução de ruído nas frequências de 500 Hz e 1.000 Hz.

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 também 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. Isto justifica o fato das linhas FA01 e FA02 serem as mais ruidosas, seguida pelas linhas FA05 e FA06. No entanto, a linha FA03, que foi instalada em uma área teoricamente pristina, é mais silenciosa apenas do que as linhas FA01 e FA02. Conforme informado no planejamento para realocações dos OSs e LFIs, encaminhado ao IBAMA em resposta à solicitação feita pelo ofício nº 71/2020/COPROD/CGMAC/DILIC, a FA03 estava posicionada no bloco S-M-536, que foi adquirido por um consórcio do qual a Exxon é a operadora, em 09.11.2018, sendo que em 2019 iniciaram as atividades de sísmica na região. Contudo, não é possível afirmar inequivocamente que o aumento do ruído observado em 2019 é devido a essa atividade. Em todos os *boxplots*, observou-se um grande número de valores extremos que podem ser devido a ruídos do próprio sistema provocados pela corrente oceânica, mesmo após a qualificação que considerou apenas dados onde a intensidade da corrente foi menor do que o limiar de 13 cm/s. 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 do ruído recebido, assim como já havia sido pontuado para os resultados do monitoramento móvel.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

4º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2020

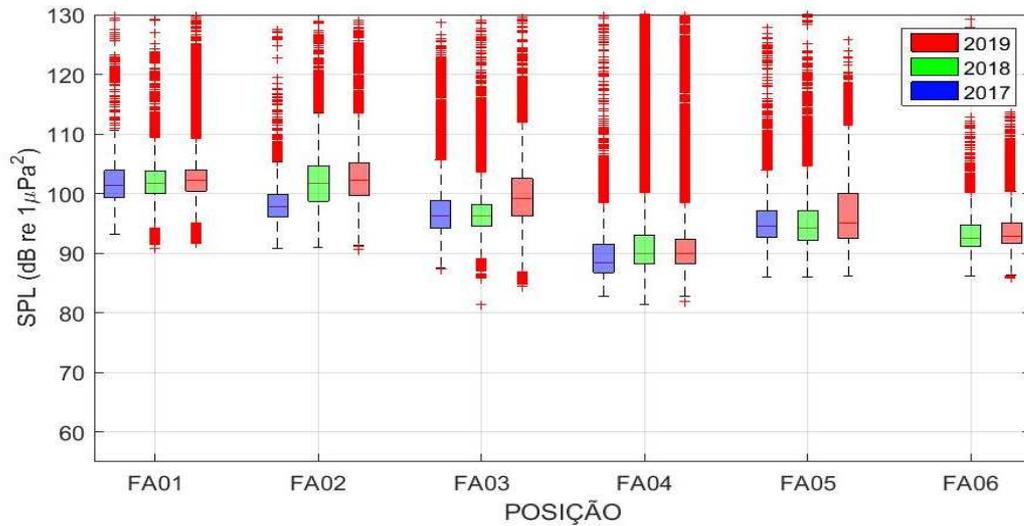


Figura III.1.2.2-3: Comparação entre as LFI's para os anos de 2017 a 2019 no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz.

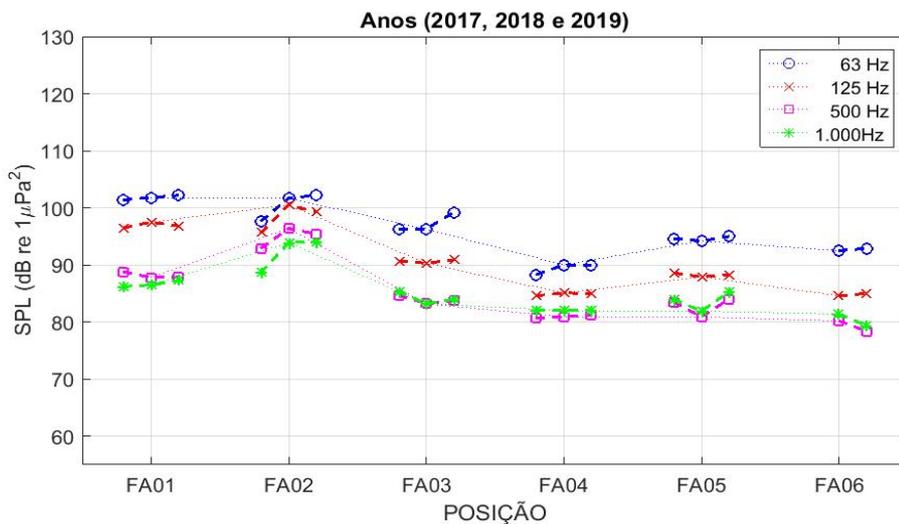


Figura III.1.2.2-4: Comparação entre as LFI's para os anos de 2017 a 2019 nos filtros de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz. Cada conjunto de três marcas ligadas pela linha tracejada corresponde, da esquerda para a direita, aos anos de 2017, 2018 e 2019, respectivamente. O ano de 2018 foi ligado por uma linha pontilhada entre as LFI's, para facilitar a visualização.

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 e 2019. O teste estatístico ANOVA aplicado por frequência teve os seguintes resultados, todos com $p=0,0000$: 63 Hz – $F=39.919,0$, 125Hz – $F=53.398,1$, 500 Hz – $F=35.498,0$, 1.000 Hz – $F=20.309,3$. A linha FA06 não teve dados coletados no ano de 2017.

	FA01			FA02			FA03		
	2017	2018	2019	2017	2018	2019	2017	2018	2019
63 Hz	101,4	101,8	102,2	97,7	101,7	102,2	96,3	96,3	99,2
125 Hz	96,5	97,5	96,8	95,7	100,5	99,3	90,7	90,3	90,9
500 Hz	88,8	87,8	87,9	92,9	96,4	95,4	84,7	83,2	83,8
1.000 Hz	86,2	86,5	87,3	88,7	93,9	94,1	85,4	83,2	84,0

	FA04			FA05			FA06		
	2017	2018	2019	2017	2018	2019	2017	2018	2019
63 Hz	88,3	90,0	89,9	94,6	94,2	95,0	x	92,5	92,9
125 Hz	84,6	85,1	85,0	88,6	87,9	88,3	x	84,6	85,0
500 Hz	80,7	80,9	81,2	83,5	80,9	84,0	x	80,2	78,4
1.000 Hz	82,0	82,0	82,1	84	81,9	85,3	x	81,4	79,4

A Figura III.1.2.2-5 apresenta *boxplots* para os dados das LFIs nas profundidades de 50 m, 200 m e 1.000 m, no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz. A Figura III.1.2.2-6 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, o teste estatístico indicou que não dá para dizer que há diferenças entre as profundidades de 200 m e 950 m para a linha FA01; entre as profundidades de 50 m e 200 m para a linha FA05; e entre as profundidades de 50 m e 950 m na linha FA06. As maiores diferenças foram encontradas entre as profundidades de 50 m e 200 m na linha FA04, com uma redução de 4,0 dB; entre as profundidades de 50 m e 200 m na linha FA03, com um aumento de 3,9 dB; e entre as profundidades de 50 m e 200 m na linha FA06, com um aumento de 1,6 dB.

Na frequência de 125 Hz, o teste estatístico mostrou que todas as distribuições para as profundidades em cada linha são diferentes. As maiores diferenças encontradas foram entre as profundidades de 50 m e 200 m na linha



FA03, com um aumento de 2,4 dB e entre as profundidades de 200 m e 950 m na linha FA03, com um aumento de 1,8 dB.

Na frequência de 500 Hz, o teste estatístico mostrou que todas as distribuições para as profundidades em cada linha são diferentes. As maiores diferenças encontradas foram entre as profundidades de 50 m e 950 m na linha FA01, com uma redução de 4,5 dB; entre as profundidades de 200 m e 950 m, com um aumento de 4,4 dB; e entre as profundidades de 50 m e 200 m na linha FA03, com um aumento de 2,6 dB.

Na frequência de 1.000 Hz, o teste estatístico mostrou que não se pode dizer que há diferenças entre as profundidades de 200 m e 950 m na linha FA01. As maiores diferenças encontradas foram entre as profundidades de 200 m e 950 m na linha FA02, com um aumento de 5,4 dB; entre as profundidades de 50 m e 200 m na linha FA01, com uma redução de 5,3 dB; e entre as profundidades de 200 m e 950 m na linha FA03, com uma redução de 3,3 dB.

Não existem diferenças claras que sejam comuns a todas as linhas. De uma maneira geral, as diferenças entre as profundidades em uma mesma linha não são muito grandes, com algumas exceções, como mostrado acima. 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 anteriormente. O agrupamento dos dados das diferentes profundidades pode ser aconselhável para se obter informações médias sobre o ruído acústico no meio, se a utilização desta informação não for para uma faixa de profundidade predeterminada.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

4º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2020

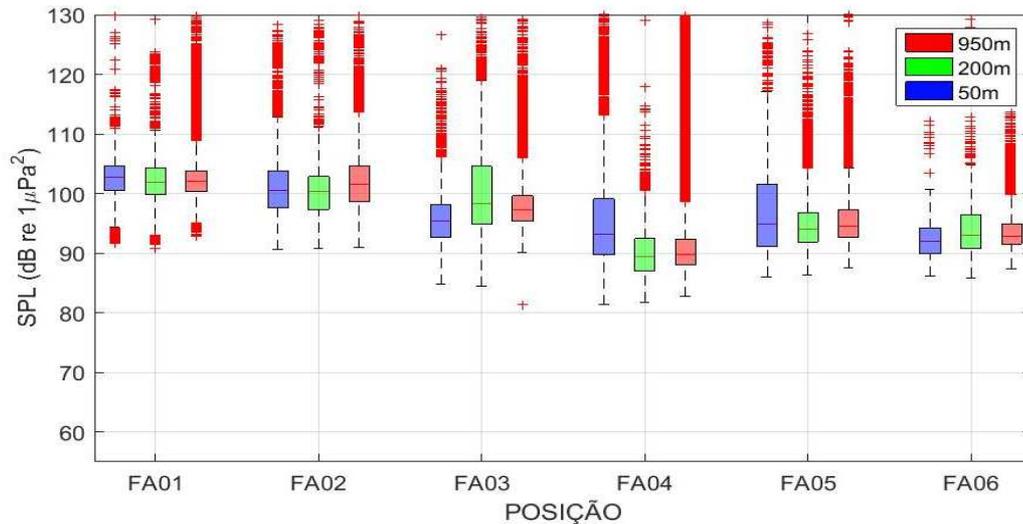


Figura III.1.2.2-5: Comparação entre as LFI's do SPL_{50p} no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz, para as profundidades de 50 m, 200 m e 950 m,.

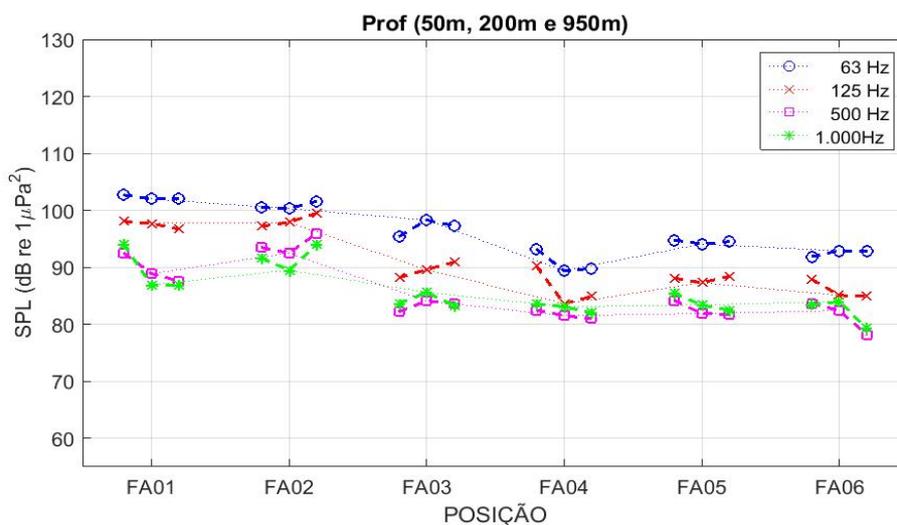


Figura III.1.2.2-6: Comparação entre as LFI's para as profundidades de 50 m, 200 m e 950 m, nos filtros de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz. Cada conjunto de três marcas ligadas por uma linha tracejada corresponde, da esquerda para a direita, às profundidades de 50 m, 200 m e 950 m, respectivamente. A profundidade de 200 m foi ligada por uma linha pontilhada entre as LFI's, para facilitar a visualização.

Tabela III.1.2.2-3: Medianas para os dados das LFI 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 – $F= 32.274,5$, 125 Hz – $F= 45.249,8$, 500 Hz – $F= 32.800,1$, 1.000 Hz – $F= 19.576,6$. A linha FA06 não teve dados coletados no ano de 2017.

	FA01			FA02			FA03		
	50 m	200 m	950 m	50 m	200 m	950 m	50 m	200 m	950 m
63 Hz	102,7	102	102	100,5	100,3	101,6	95,4	98,3	97,3
125 Hz	98,1	97,7	96,7	97,2	97,9	99,5	88,2	89,6	90,9
500 Hz	92,5	88,9	87,6	93,5	92,5	95,9	82,2	84,1	83,7
1.000 Hz	94	86,9	86,9	91,6	89,5	94	83,7	85,6	83,3

	FA04			FA05			FA06		
	50 m	200 m	950 m	50 m	200 m	950 m	50 m	200 m	950 m
63 Hz	93,2	89,4	89,8	94,8	94,1	94,5	91,9	92,9	92,8
125 Hz	90,2	83,6	84,9	88,1	87,3	88,4	87,9	85,1	84,9
500 Hz	82,5	81,5	81	84,2	81,9	81,7	83,7	82,4	78,2
1.000 Hz	83,6	83,1	82	85,5	83,4	82,5	83,4	84	79,3

A Figura III.1.2.2-7 mostra os *boxplots* para o SEL_{24h_LF} e a Figura III.1.2.2-8 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) de mamíferos marinhos. A Seção A.7.6.10 do APÊNDICE A apresenta uma descrição mais detalhada da forma de obtenção destes pesos 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 $1\mu Pa^2.s$ para o grupo LF e de 198 dB re $1\mu Pa^2.s$ para o grupo MF. A mediana do SEL_{24h} tanto para o grupo LF quanto para o grupo MF ficou abaixo do valor de limiar para o TTS. Para o SEL_{24h_LF} o limiar do TTS é excedido para alguns valores extremos nas linhas FA01, FA02, FA03 e FA06 e para um trecho do intervalo interquartil para as linhas FA04 e FA05. Deve-se ter em mente que tanto os valores extremos em todas as linhas quanto o alargamento das distribuições nas linhas FA04 e FA05 podem ter sido causados pelo ruído



induzido pela corrente oceânica nas linhas, mesmo após a remoção dos dados nos quais a corrente oceânica superou o limiar de 13 cm/s.

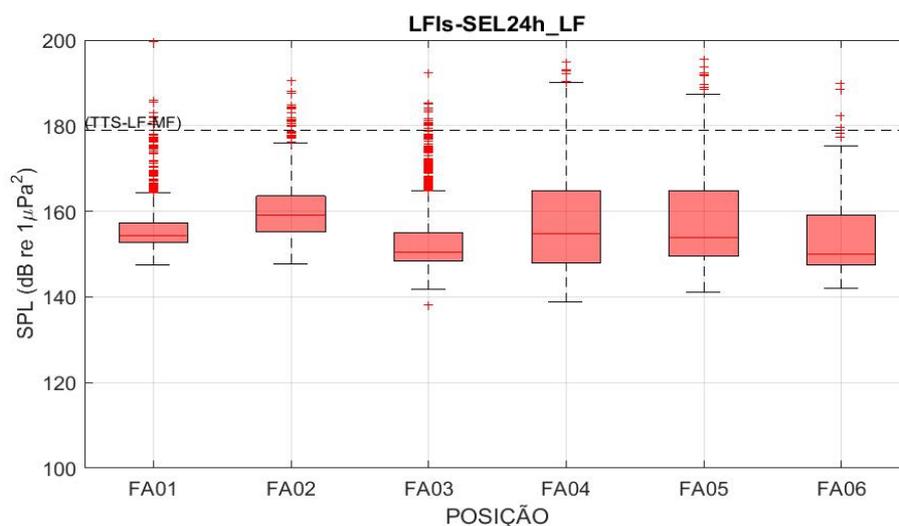


Figura III.1.2.2-7: Comparação entre o SEL_{24h-LF} para as seis linhas. A linha preta tracejada corresponde ao TTS.

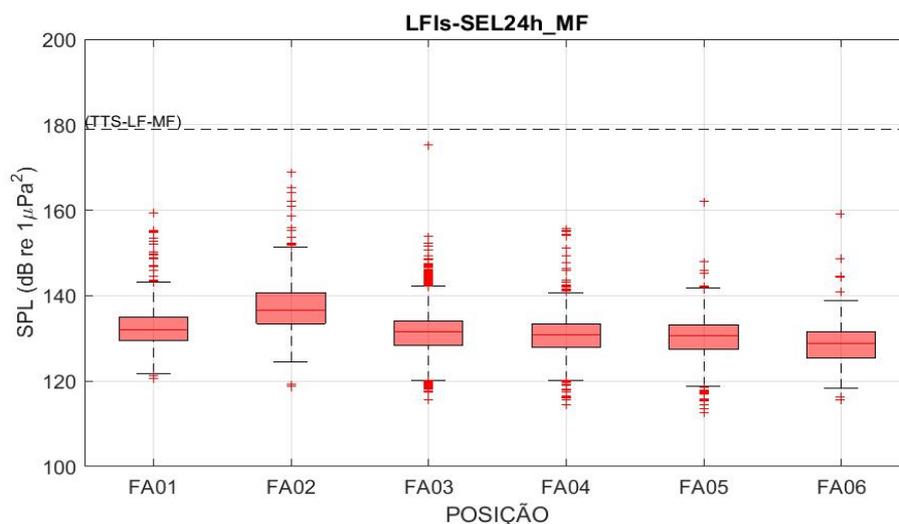


Figura III.1.2.2-8: Comparação entre o SEL_{24h-MF} para as seis linhas. A linha preta tracejada corresponde ao TTS.

III.1.2.3 Evolução Temporal das LFI

A evolução temporal do nível de ruído nos dezoito equipamentos das seis LFIs é mostrada nas Figuras III.1.2.3-1 a III.1.2.3-18. Nestas figuras, no gráfico de cima, são apresentados os gráficos temporais do SPL (SPL_{50p}) na faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz e, dos SEL_{24h_LF} e SEL_{24h_MF} , obtidos integrando-se o espectro de 1/3 de oitava na faixa de 10 Hz a 10 kHz a cada dia após filtragem usando os pesos correspondentes aos audiogramas dos grupos LF e MF de mamíferos marinhos, mostrados na Seção A.7.6.10 do APÊNDICE A. A linha preta tracejada nos gráficos corresponde ao limiar para o *Temporary Threshold Shift* (TTS) apresentado em Finneran (2016), para o grupo LF (179 dB re $1\mu Pa^2.s$). No gráfico de baixo são apresentados o espectrograma com os espectros de 1/3 de oitava e a intensidade da corrente oceânica. Para a corrente oceânica, a escala vertical é definida pelas linhas tracejadas pretas, indicando as velocidades de 10, 20 e 30 cm/s. A linha tracejada magenta indica o limiar de 13 cm/s usado para filtrar os dados. São apresentados todos os dados que passaram no processo de qualificação dos dados gravados no período de setembro de 2017 a dezembro de 2019. Nos gráficos é possível avaliar o impacto que a intensidade de corrente tem na qualificação dos dados, já que grande parte dos trechos sem sinal correspondem aos trechos com velocidade alta de corrente oceânica.

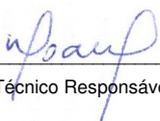
Os gráficos para todas as linhas e profundidades foram criados com o eixo de tempo igual, cobrindo o período de 24 de setembro de 2017 a 31 de dezembro de 2019. Isto facilita a comparação visual dos dados das diferentes linhas, permitindo se ter uma noção do tempo de gravação de cada linha em relação ao tempo total de gravação esperado para o período. Os espaços em branco nos gráficos e que não tenham medição de corrente associada correspondem a trechos onde não houve gravação acústica ou em que houve problemas com esta gravação e seus dados não puderam ser usados. Os espaços em branco onde há medição de corrente, correspondem a dados que não passaram no processo de qualificação.

No gráfico de cima, o SPL_{50p} apresentado corresponde ao valor RMS do sinal, ou seja, à energia correspondente a um intervalo tempo de um segundo,




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

4º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2020

na banda de 10 Hz a 10 kHz. No SEL_{24h_LF} , a maior parte da energia usada no seu cálculo corresponde à faixa de baixa frequência do espectro, enquanto o SEL_{24h_MF} usa mais a energia dos sinais de frequência mais alta. Como a energia da parte de baixa frequência do ruído ambiente é normalmente maior do que a energia da parte de mais alta frequência (Urick, 1983), o SEL_{24h_LF} é mais alto do que o SEL_{24h_MF} . Em todos os gráficos, o SEL_{24h} tanto para o grupo MF quanto para o grupo LF de cetáceos raramente ultrapassa a linha indicando o limiar do TTS, e quando o faz ocorre em pontos com níveis mais altos, destacados dos outros pontos, correspondendo, provavelmente, aos valores extremos representados nas Figuras III.1.2.2-7 e III.1.2.2-8.

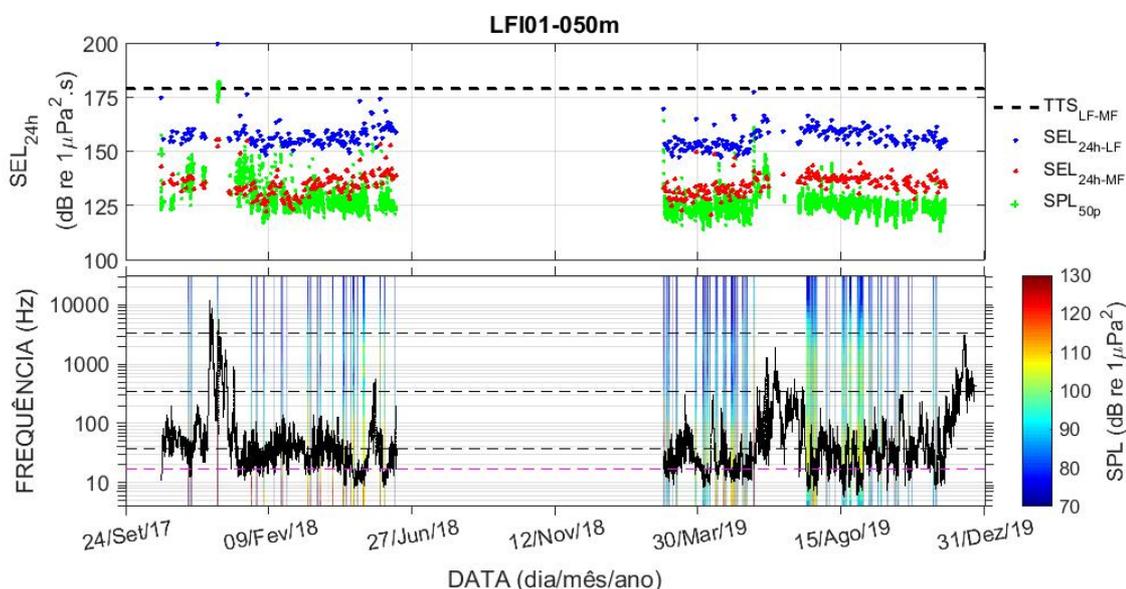


Figura III.1.2.3-1: LFI-FA01 nas campanhas C01, C03 e C04, para a profundidade de 50 m. Em cima, SPL_{50p} na faixa de frequência de 10 Hz a 10kHz, SEL_{24h_LF} e SEL_{24h_MF} . A linha preta tracejada representa o limiar para o TTS. Embaixo, espectrograma para os dados validados. A linha em preto correspondente à média diária da velocidade da corrente oceânica. As linhas horizontais tracejadas pretas indicam as intensidades de corrente de 20, 40 e 60 cm/s e a linha horizontal tracejada magenta representa o limiar de 13 cm/s, usado para qualificar os dados das LFIs.

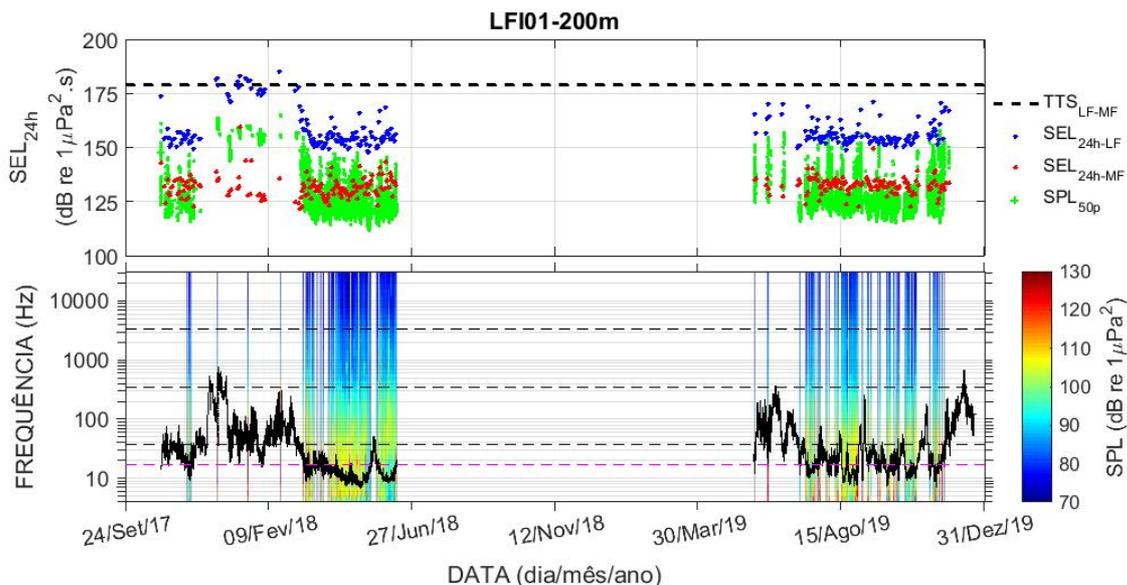


Figura III.1.2.3-2: LFI-FA01 nas campanhas C01, C03 e C04, para a profundidade de 200 m (veja texto e Figura III.1.2.3-1 para a descrição da figura).

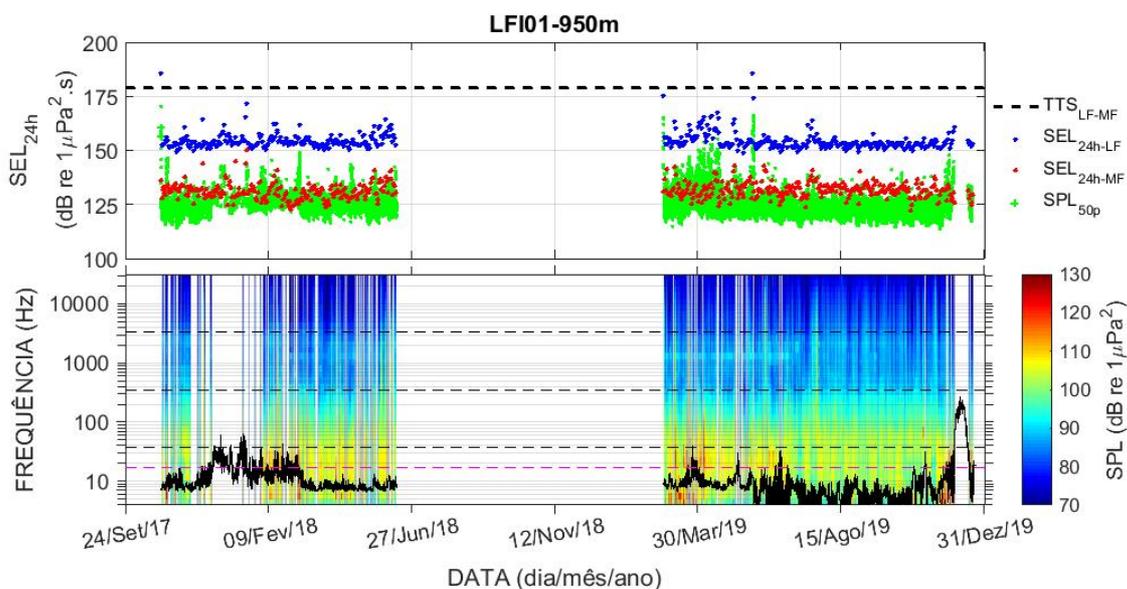


Figura III.1.2.3-3: LFI-FA01 nas campanhas C01, C03 e C04, para a profundidade de 950 m.

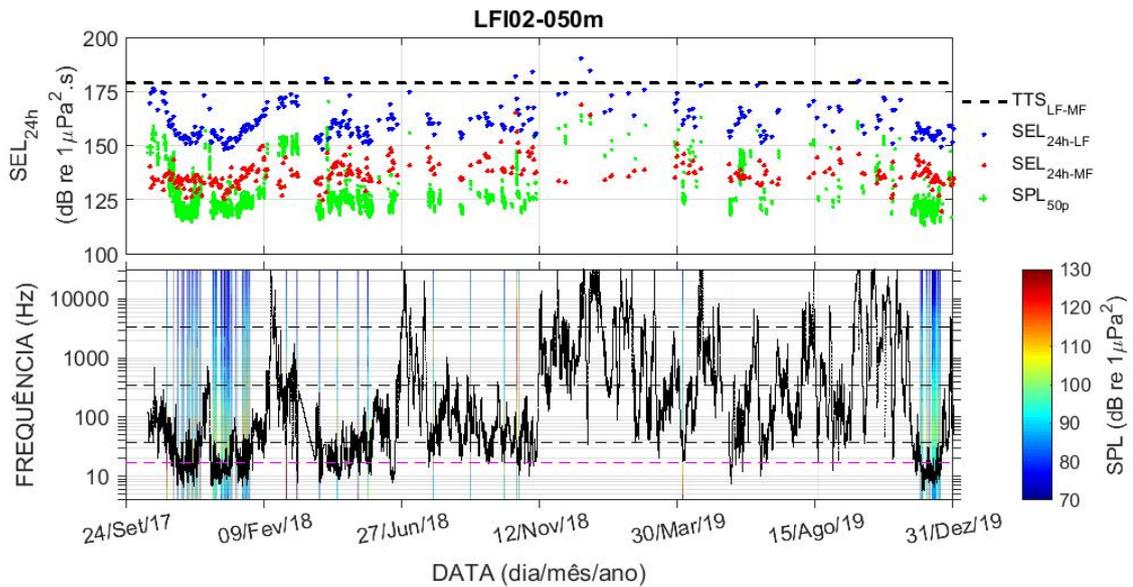


Figura III.1.2.3-4: LFI-FA02 nas campanhas C01, C02, C03 e C04, para a profundidade de 50 m (veja texto e Figura III.1.2.3-1 para a descrição da figura).

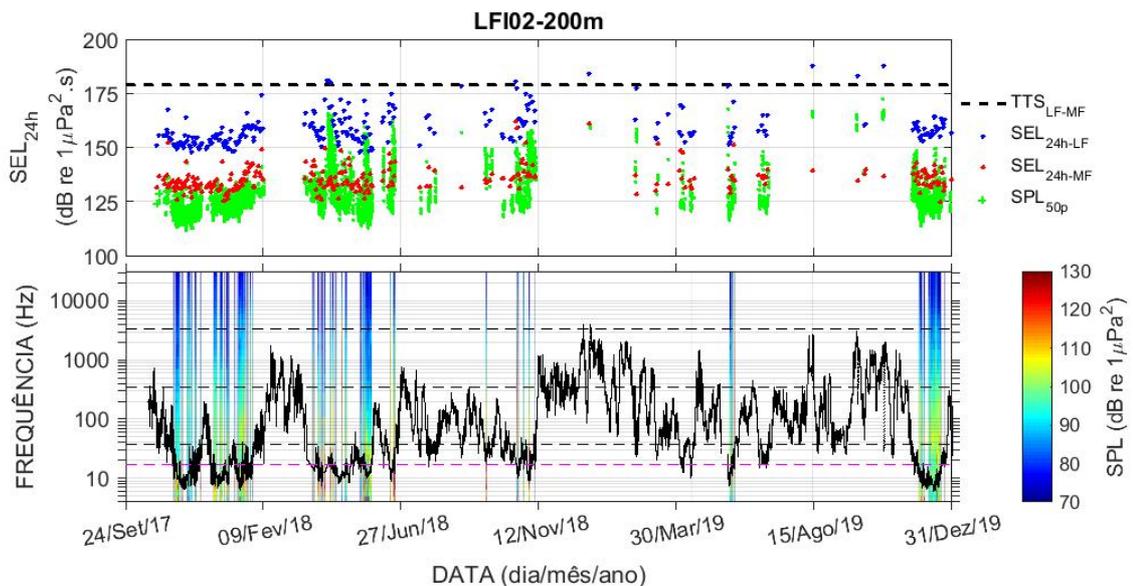


Figura III.1.2.3-5: LFI-FA02 nas campanhas C01, C02, C03 e C04, para a profundidade de 200 m (veja texto e Figura III.1.2.3-1 para a descrição da figura).



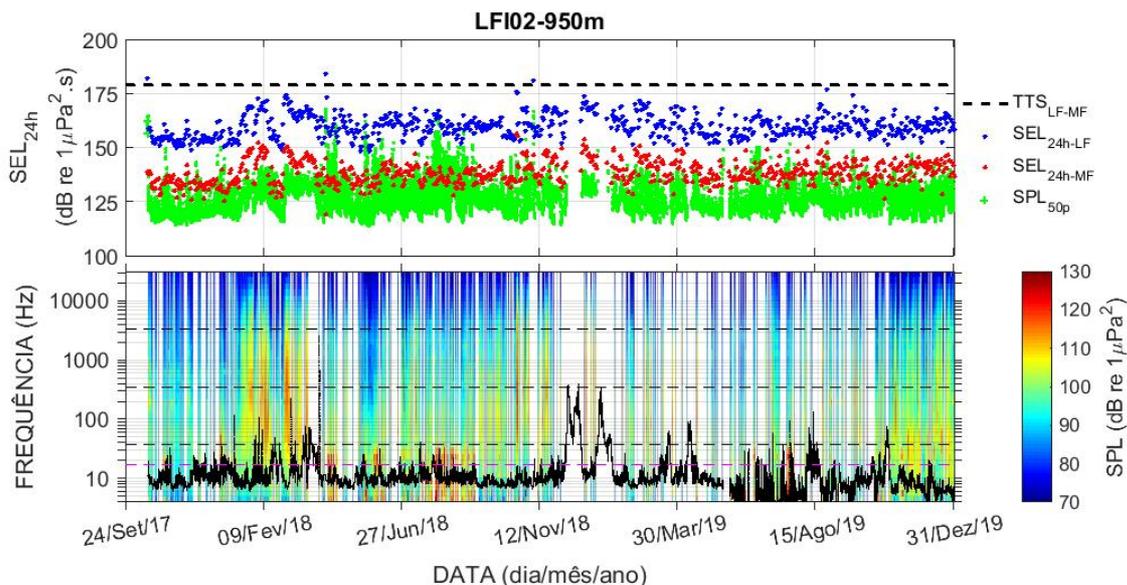


Figura III.1.2.3-6: LFI-FA02 nas campanhas C01, C02, C03 e C04, para a profundidade de 950 m (veja texto e Figura III.1.2.3-1 para a descrição da figura).

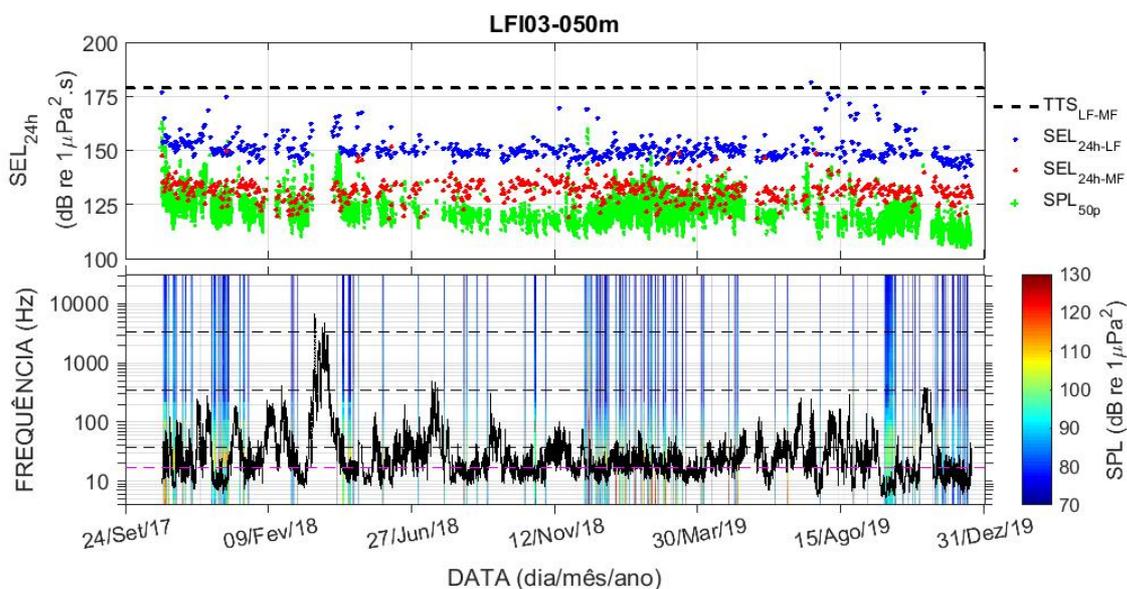


Figura III.1.2.3-7: LFI-FA03 nas campanhas C01, C02, C03 e C04, para a profundidade de 50 m (veja texto e Figura III.1.2.3-1 para a descrição da figura).

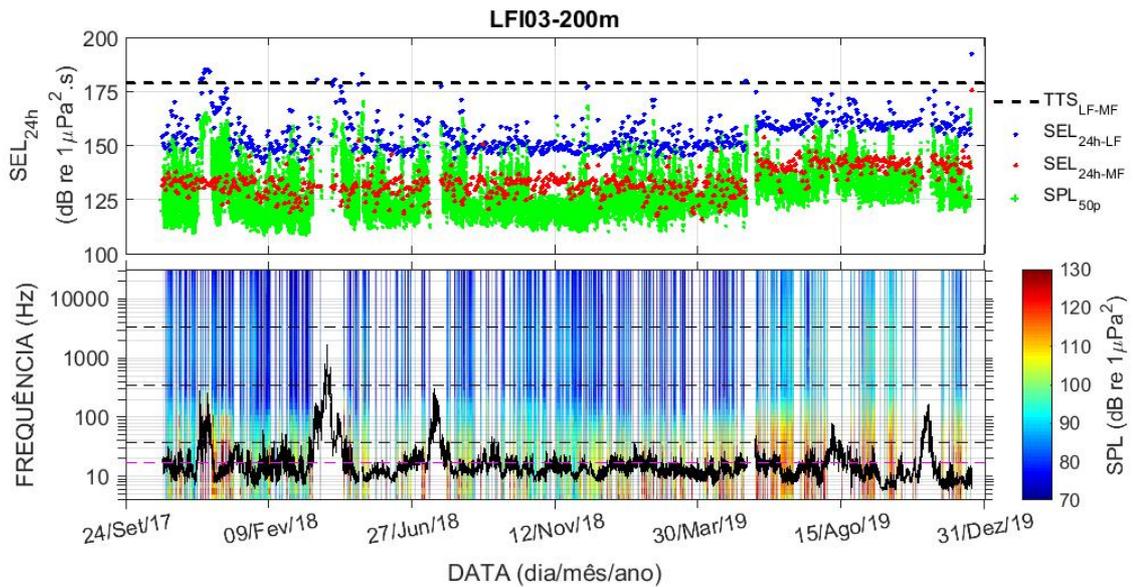


Figura III.1.2.3-8: LFI-FA03 nas campanhas C01, C02, C03 e C04, para a profundidade de 200 m (veja texto e Figura III.1.2.3-1 para a descrição da figura).

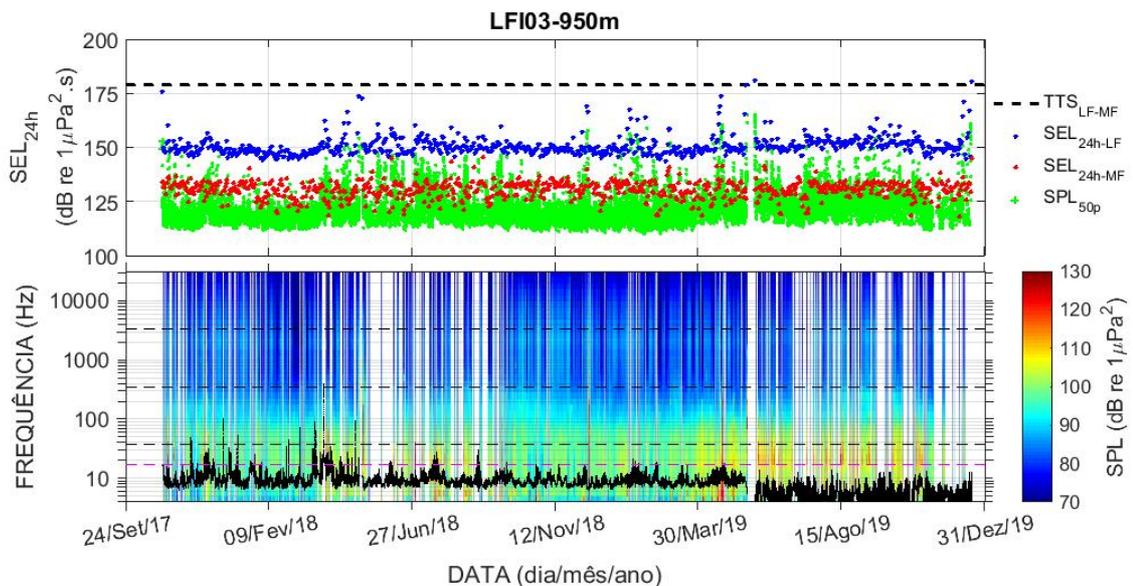


Figura III.1.2.3-9: LFI-FA03 nas campanhas C01, C02, C03 e C04, para a profundidade de 950 m (veja texto e Figura III.1.2.3-1 para a descrição da figura).



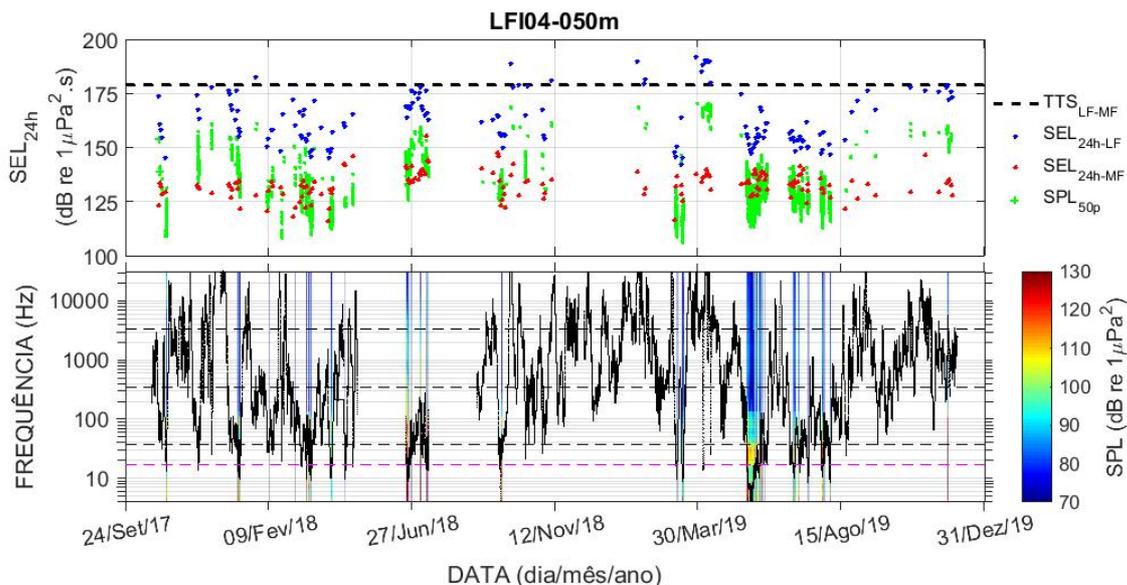


Figura III.1.2.3-10: LFI-FA04 nas campanhas C01, C02, C03 e C04, para a profundidade de 50 m (veja texto e Figura III.1.2.3-1 para a descrição da figura).

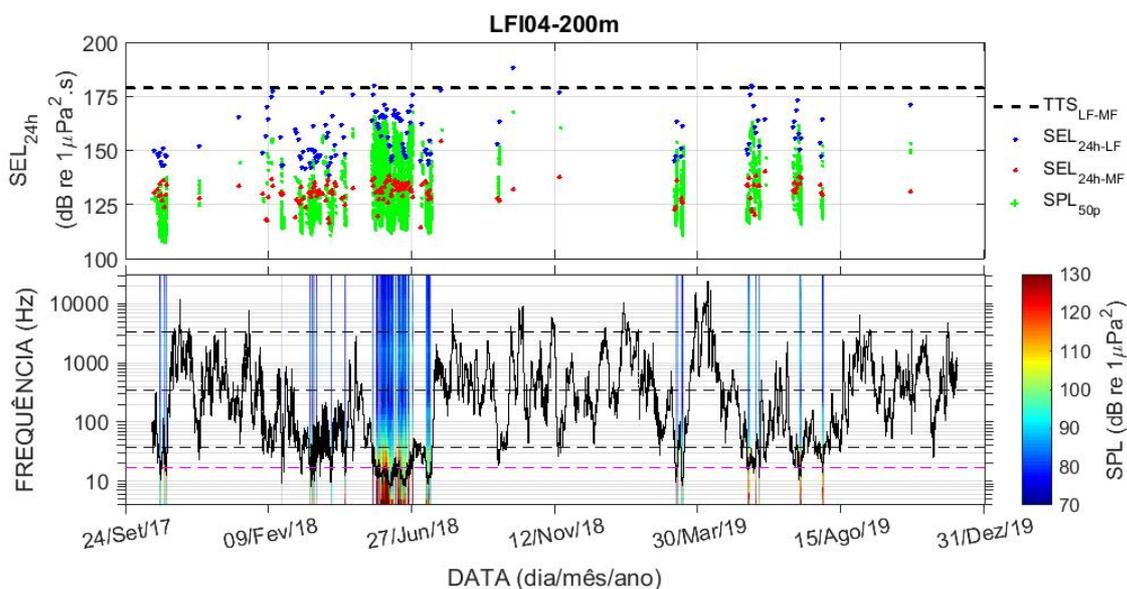


Figura III.1.2.3-11: LFI-FA04 nas campanhas C01, C02, C03 e C04, para a profundidade de 200 m (veja texto e Figura III.1.2.3-1 para a descrição da figura).

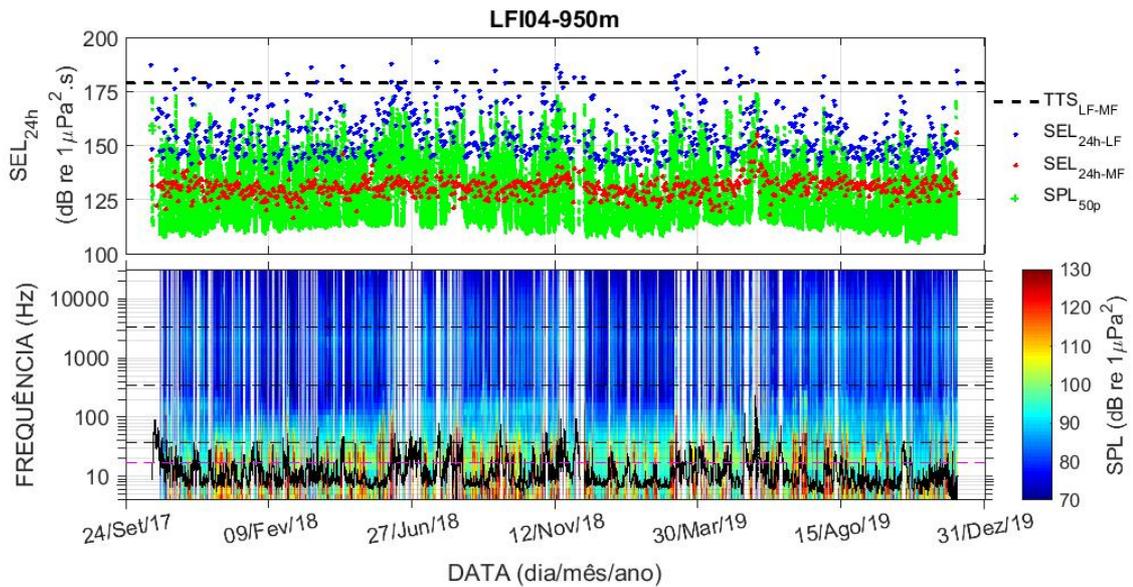


Figura III.1.2.3-12: LFI-FA04 nas campanhas C01, C02, C03 e C04, para a profundidade de 950 m (veja texto e Figura III.1.2.3-1 para a descrição da figura).

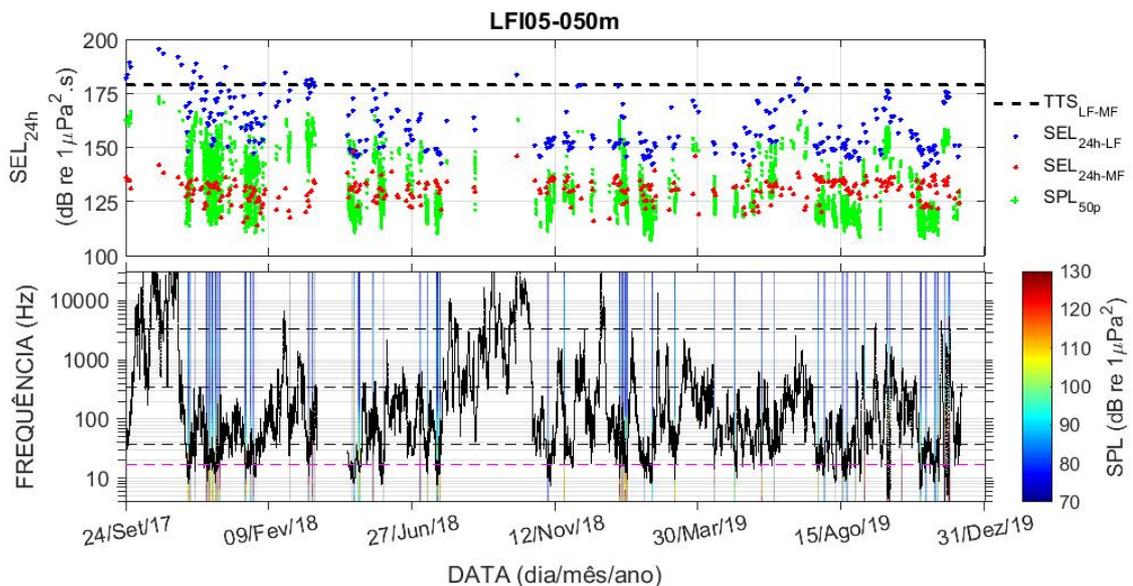


Figura III.1.2.3-13: LFI-FA05 nas campanhas C01, C02, C03 e C04, para a profundidade de 50 m (veja texto e Figura III.1.2.3-1 para a descrição da figura).

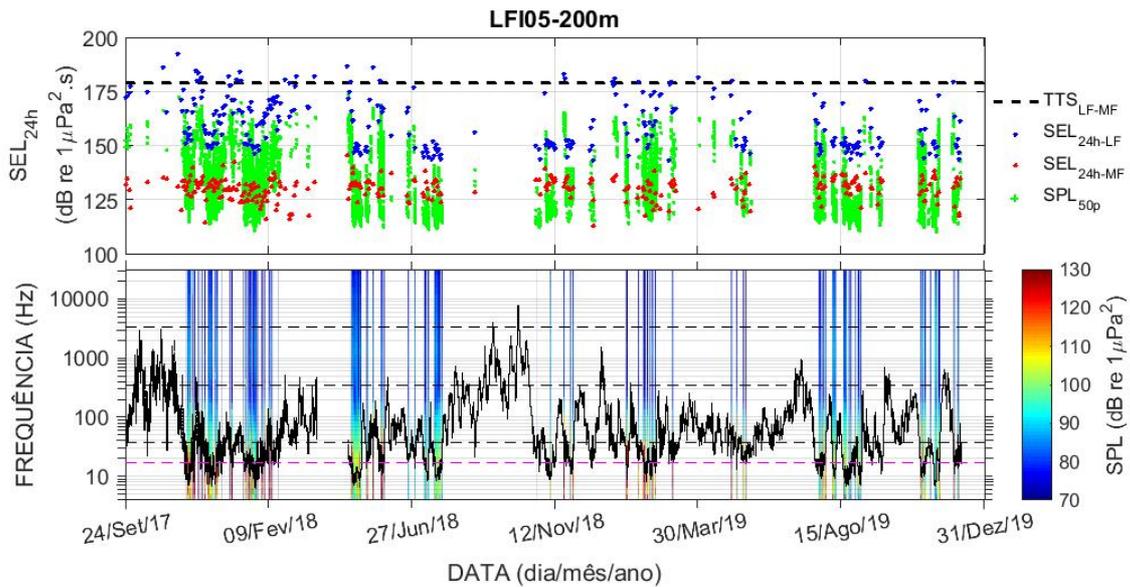


Figura III.1.2.3-14: LFI-FA05 nas campanhas C01, C02, C03 e C04, para a profundidade de 200 m (veja texto e Figura III.1.2.3-1 para a descrição da figura).

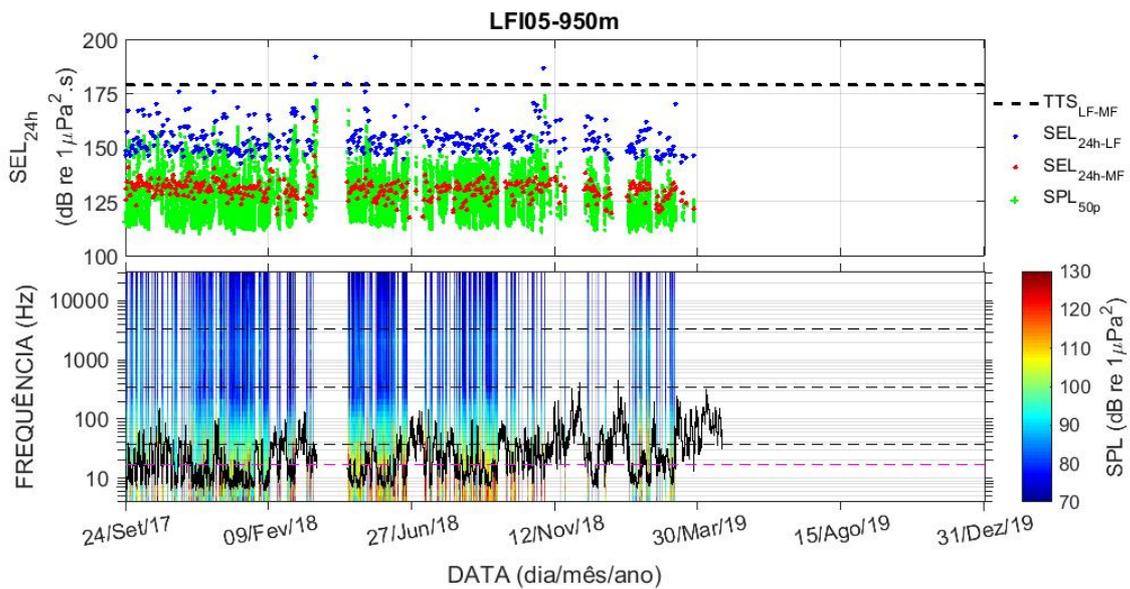


Figura III.1.2.3-15: LFI-FA05 nas campanhas C01, C02, C03 e C04, para a profundidade de 950 m (veja texto e Figura III.1.2.3-1 para a descrição da figura).

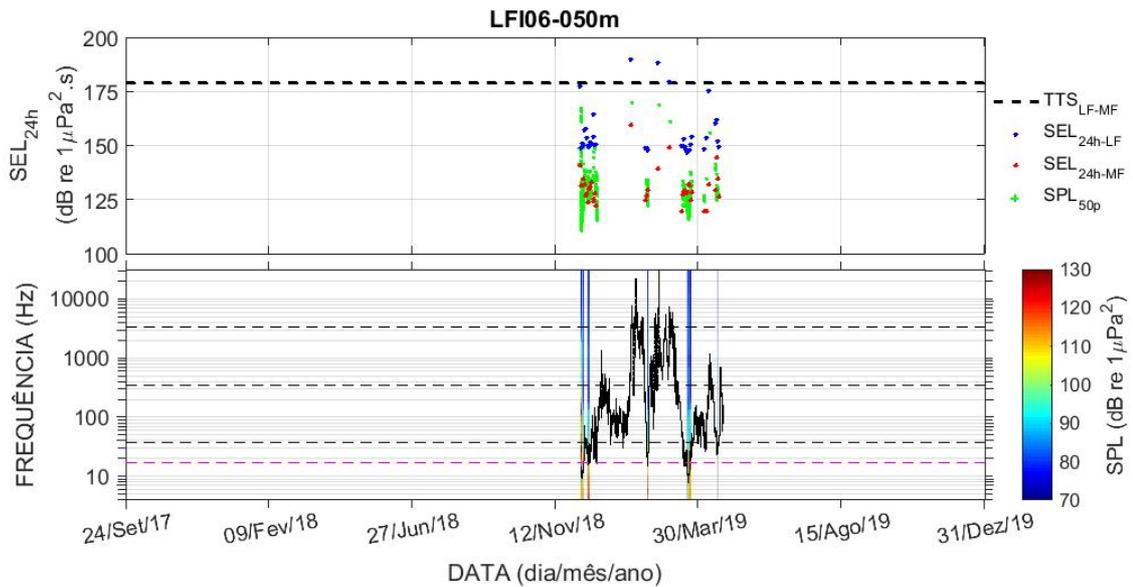


Figura III.1.2.3-16: LFI-FA06 na campanha C03, para a profundidade de 50 m (veja texto e Figura III.1.2.3-1 para a descrição da figura).

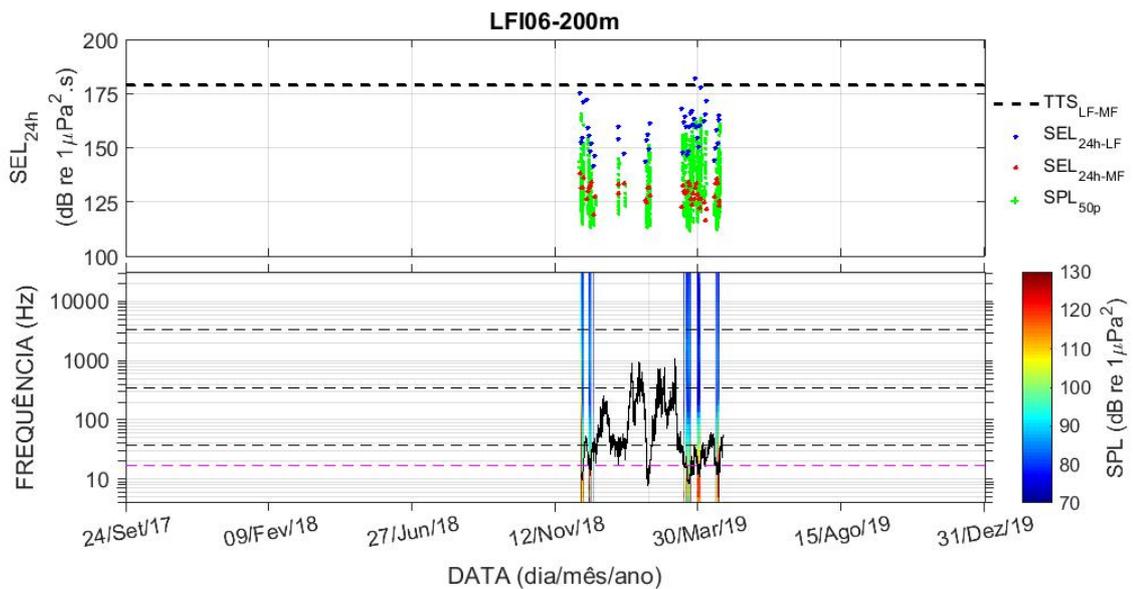
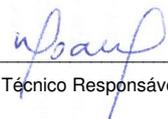


Figura III.1.2.3-17: LFI-FA06 na campanha C03, para a profundidade de 200 m (veja texto e Figura III.1.2.3-1 para a descrição da figura).




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

4º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2020

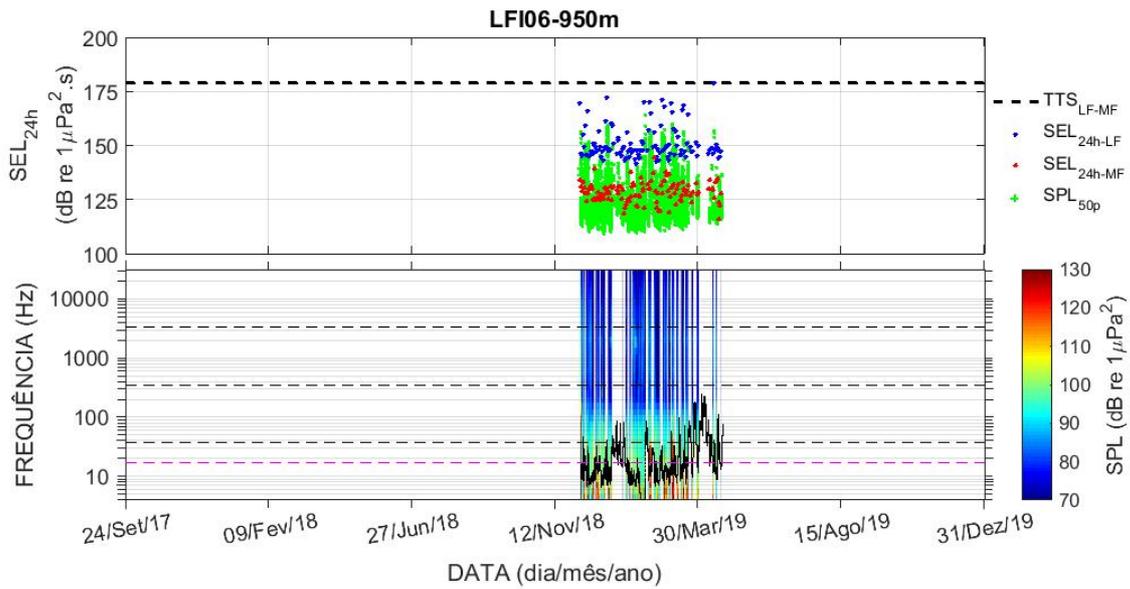


Figura III.1.2.3-18: LFI-FA06 na campanha C03, para a profundidade de 950 m (veja texto e Figura III.1.2.3-1 para a descrição da figura).



[Signature]
Coordenador da Equipe



[Signature]
Técnico Responsável

4º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2020

III.1.2.4 Comparação das LFI com Gliders e Perfiladores

Para a comparação entre as medições das LFI com as medições dos *gliders* e perfiladores, foram usadas as medições de *gliders* e perfiladores feitas dentro de um círculo com diâmetro equivalente a um grau de latitude em torno de cada uma das posições das LFI. A Figura III.1.2.4-1 mostra a comparação entre as medições de cada LFI com aquelas realizadas por *gliders* e perfiladores em uma mesma região, para o filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz.

A Figura III.1.2.4-2 apresenta as medianas dos dados de cada LFI e dos dados obtidos por *gliders* e perfiladores em uma mesma região e a Tabela III.1.2.4-1 apresenta a diferença entre estas medianas. A tabela apresenta, também, o resultado do teste estatístico ANOVA, realizado para cada frequência. As distribuições das LFI são estatisticamente diferentes das distribuições dos *gliders* e perfiladores em todas as posições.

Na frequência de 63 Hz, as maiores diferenças entre os sistemas ocorreram na posição da linha FA02, com a LFI 3,5 dB mais alta do que *gliders* e perfiladores; na posição da linha FA04, com a LFI 2,6 dB mais alta; e na posição da linha FA01, com a LFI 2,1 dB mais alta. Nas posições das linhas FA03, FA05 e FA06, as diferenças ficaram menores do que 1,0 dB, com as LFI mais silenciosas em 0,9 dB, 0,8 dB e 0,4 dB, respectivamente.

Na frequência de 125 Hz, as maiores diferenças entre os sistemas ocorreram na posição da linha FA02, com a LFI 5,0 dB mais alta do que *gliders* e perfiladores; na posição da linha FA04, com a LFI 1,9 dB mais alta; e na posição da linha FA01, com a LFI 1,7 dB mais alta. Nas posições das linhas FA03, FA05 e FA06, a LFI ficou mais baixa em 1,7 dB, 1,9 dB e 0,4 dB, respectivamente.

Para a frequência de 500 Hz, as maiores diferenças entre os sistemas ocorreram na posição da linha FA02, com a LFI 9,2 dB mais alta; na posição da linha FA06, com a LFI 2,2 dB mais baixa; nas posições das linhas FA01 e FA04, com a LFI 1,4dB e 1,3 dB mais alta, respectivamente; e nas posições das linhas FA03 e FA05, com a LFI 1,3dB e 1,2dB mais baixa, respectivamente.

Para a frequência de 1.000 Hz, as maiores diferenças entre os sistemas ocorreram na posição da linha FA02, com a LFI 8,5 dB mais alta; na posição da



linha FA04, com a LFI 3,6 dB mais baixa; nas posições das linhas FA03, FA05 e FA06, a LFI foi 0,3dB, 0,2dB e 1,4dB mais baixa; nas posições das linhas FA01, a LFI foi 0,7 dB mais alta.

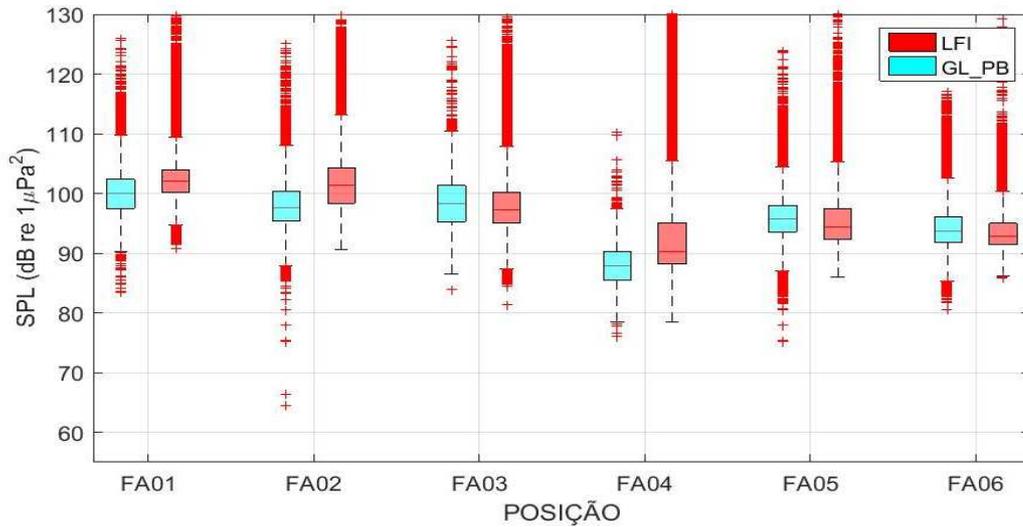


Figura III.1.2.4-1: Comparação das medições de cada LFI com aquelas realizadas por gliders e perfiladores dentro de um círculo de diâmetro de um grau em latitude em torno desta LFI, para o filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz.

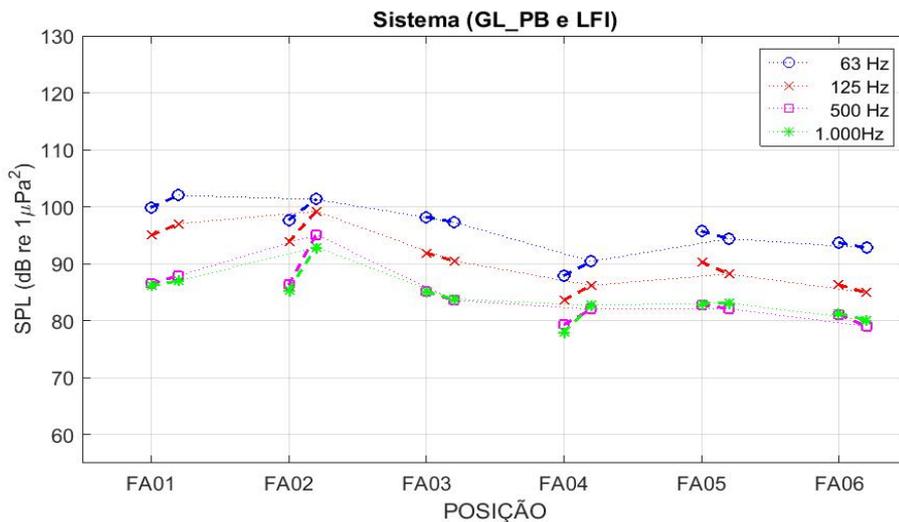


Figura III.1.2.4-2: Comparação das medições de cada LFI com aquelas realizadas por gliders e perfiladores dentro de um círculo de diâmetro de um grau em latitude em torno desta LFI, para os filtros de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz.

Tabela III.1.2.4-1: Diferença entre a mediana dos dados de gliders e perfiladores para a mediana da LFI sendo comparada, para cada faixa de frequência. O resultado do teste estatístico ANOVA para cada frequência é mostrado abaixo de cada frequência, todos com $p=0,0000$.

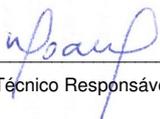
Frequência	FA01	FA02	FA03	FA04	FA05	FA06
63 Hz (F=62.124,0)	-2,1	-3,5	0,9	-2,6	0,8	0,4
125 Hz (F=87.162,3)	-1,7	-5,0	1,7	-1,9	1,9	0,4
500 Hz (F=53.372,1)	-1,4	-9,2	1,3	-1,3	1,2	2,2
1.000 Hz (F=29.584,1)	-0,7	-8,5	0,3	-3,6	0,2	1,4

O comportamento observado é parecido para todas as faixas de frequência, com a LFI sendo mais ruidosa do que *gliders* e perfiladores nas linhas FA01, FA02 e FA04 e o inverso acontecendo nas linhas FA03, FA05 e FA06. As diferenças podem ser explicadas, em parte, pelo fato de não ter sido feito nenhum tipo de sincronismo temporal entre os diferentes sistemas, podendo as medições ter ocorrido em tempos com condições de ruído diferentes. O fato de nenhum dos sistemas ter ficado consistentemente mais ruidoso e as diferenças verificadas não terem sido grande permite inferir que o monitoramento móvel e as LFIs chegaram aos mesmos resultados no que se refere à medição dos níveis de ruído acústico no meio. Isto permite que as medições dos sistemas de monitoramento móvel possam ser usadas em conjunto com as obtidas pelas LFIs em trabalhos futuros.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

4º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2020

III.2 PARTE RASA – MONITORAMENTO FIXO – OBSERVATÓRIOS SUBMARINOS

O monitoramento fixo da parte rasa da Baía de Santos foi feito utilizando-se Observatórios Submarinos em três regiões costeiras de baixa profundidade, na entrada da Baía de Guanabara (OS-1), na Baía de Ilha Grande, no seu lado leste (OS-2) e na entrada do Canal de São Sebastião (OS-3).

III.2.1 OS-1 – Baía de Guanabara

As Figuras III.2.1-1 a III.2.1-5 mostram os níveis de pressão sonora correspondentes aos filtros de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz. Cada coluna da figura corresponde a um dia de medição, sendo que o eixo vertical corresponde às horas do dia, no fuso “P” (GMT-3h), e o eixo horizontal à data da medição. Nestas figuras, são apresentados dados de 28 ciclos efetuados no observatório submarino da Baía de Guanabara de março de 2017 até dezembro de 2019. Nas figuras, os trechos em branco correspondem a trechos sem medição onde o equipamento foi retirado para manutenção ou àqueles cujos dados não puderam ser aproveitados. Nos gráficos, é possível observar alguns ruídos típicos da região: o ruído proveniente de embarcações aparece como pontos de maior energia, distribuído em toda a apresentação (veja exemplo marcado na figura por um retângulo vermelho); e o ruído associado, provavelmente, a coros de peixes, aparecendo como manchas de maior energia, ocorrendo na parte da tarde, com máximo um pouco antes de 20:00h (exemplo marcado na figura por uma elipse magenta).




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

4º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2020

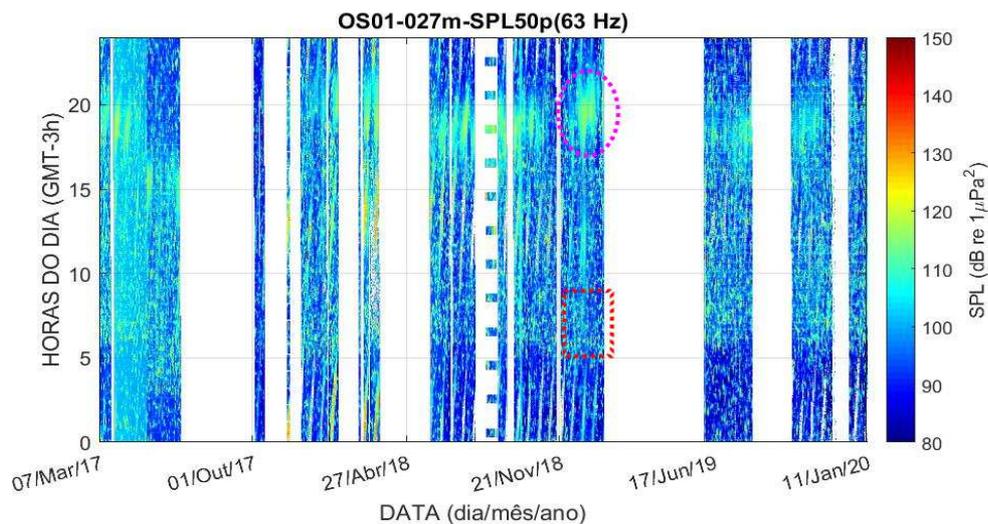


Figura III.2.1-1: SPL em dB re $1\mu\text{Pa}^2$, no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz, em função do dia e hora da aquisição, para o OS1. A elipse magenta destaca um trecho que provavelmente corresponde ao ruído de coro de peixes e o retângulo vermelho representa um trecho com pontos associados à passagem de embarcações.

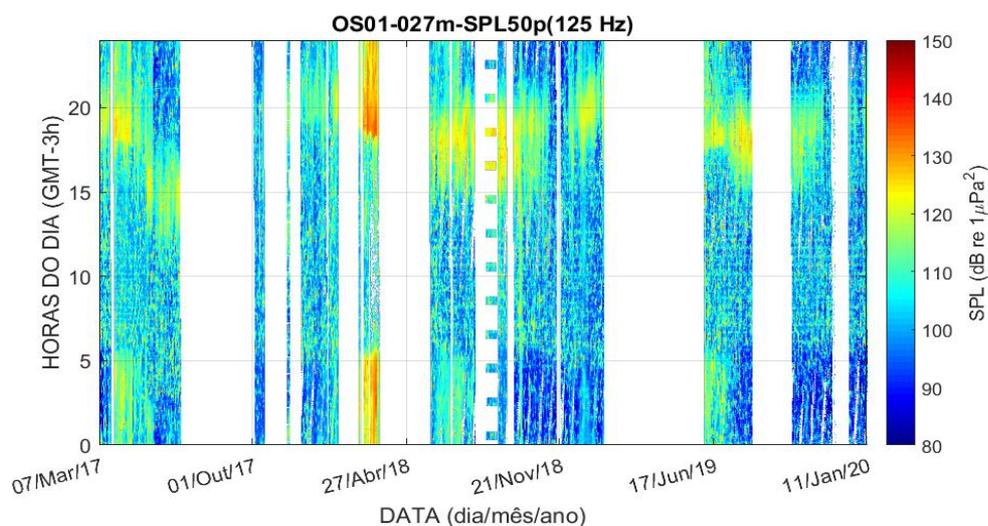


Figura III.2.1-2: SPL em dB re $1\mu\text{Pa}^2$, no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 125 Hz, em função do dia e hora da aquisição, para o OS1.

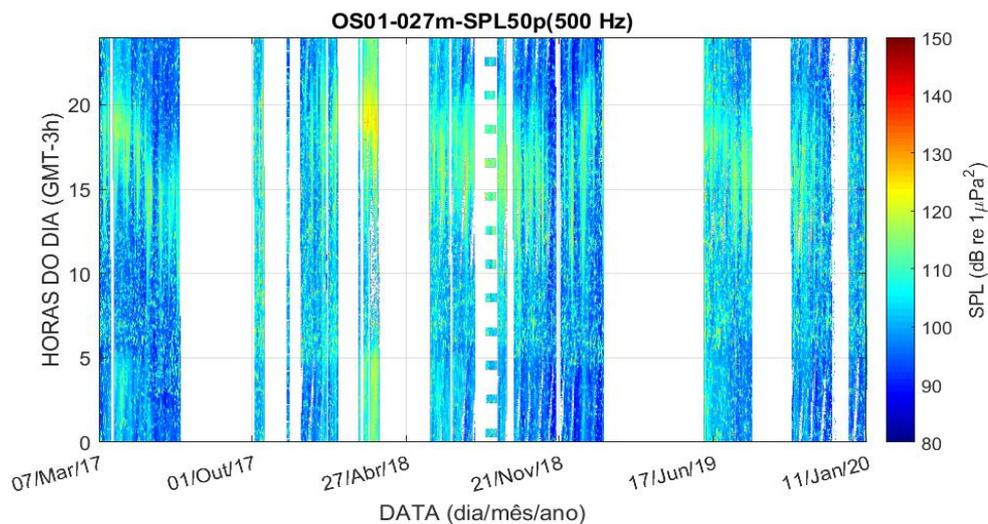


Figura III.2.1-3: SPL em dB re $1\mu\text{Pa}^2$, no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 500 Hz, em função do dia e hora da aquisição, para o OS1.

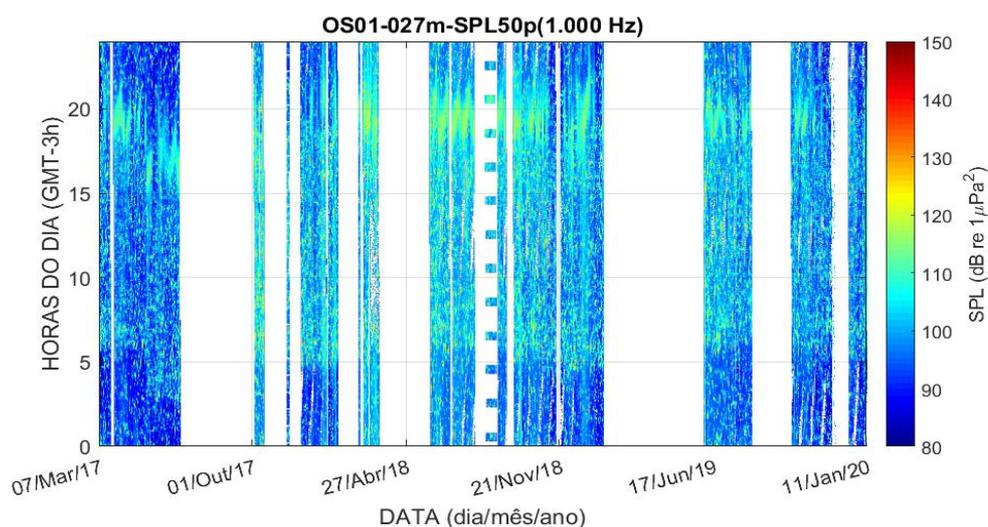


Figura III.2.1-4: SPL em dB re $1\mu\text{Pa}^2$, no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 1.000 Hz, em função do dia e hora da aquisição, para o OS1.

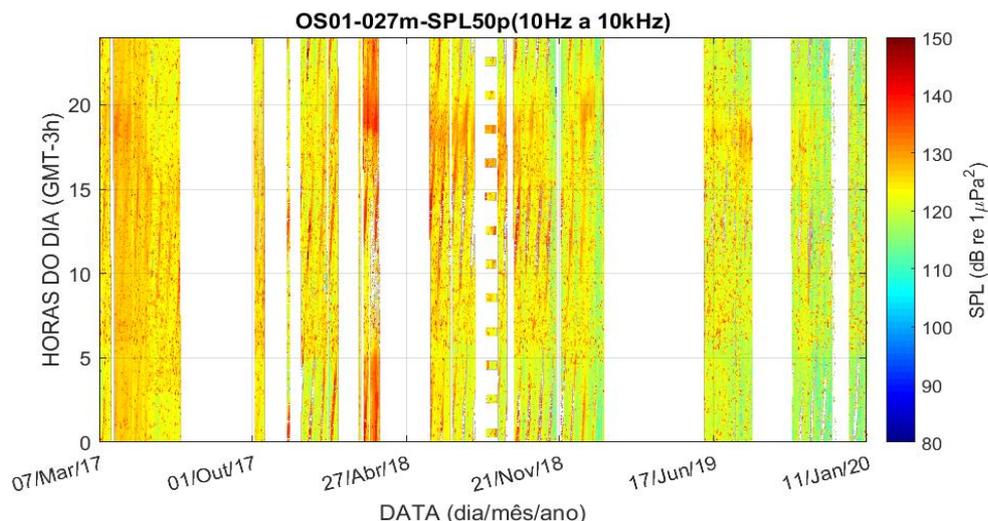


Figura III.2.1-5: SPL em dB re 1 μ Pa², na faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz, em função do dia e hora da aquisição, para o OS1.

Na Figura III.2.1-6 são apresentados alguns parâmetros espectrais para o OS1 durante todo o período desde sua instalação inicial em março de 2017 a dezembro de 2019. No gráfico de cima é apresentado o SPL_{50p} na faixa de frequência de 10 Hz a 10kHz e os SEL_{24h_LF} e SEL_{24h_MF} calculados usando-se os pesos correspondentes aos audiogramas de baixa e média frequência (LF e MF, respectivamente) (Finneran, 2016). O gráfico de baixo mostra o espectrograma dos dados usando os espectros de 1/3 de oitava medianos.

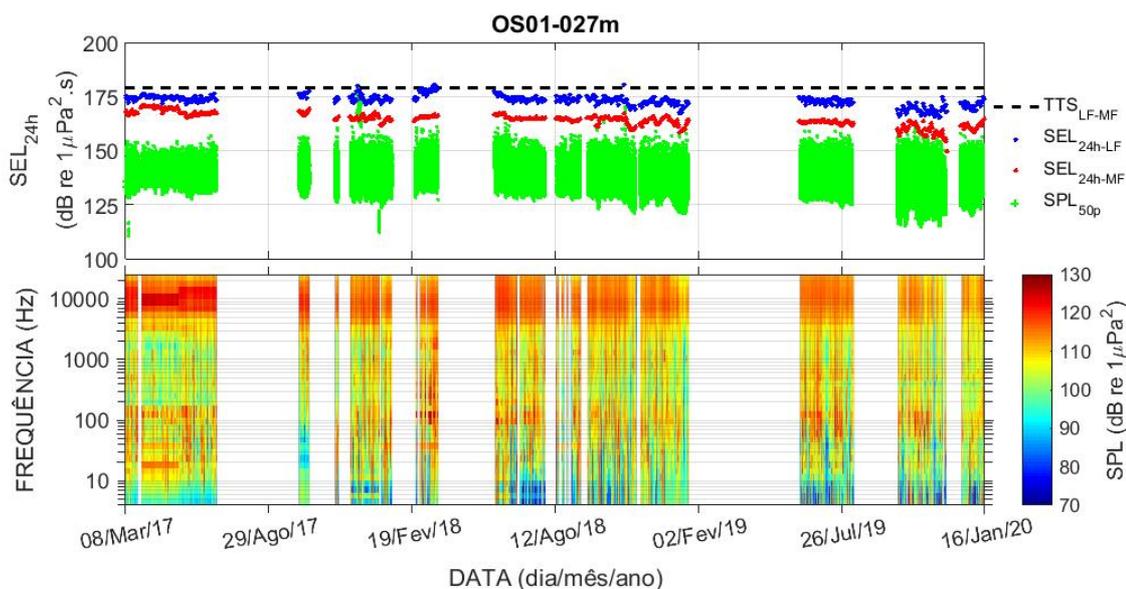


Figura III.2.1-6: OS1 nas campanhas realizadas de março de 2017 a dezembro de 2019.



De forma a detalhar as informações apresentadas acima, na Figura III.2.1-7 são apresentados os parâmetros espectrais para um trecho da campanha C53 do OS1 mostrando alguns ruídos típicos da região. Na faixa de baixa frequência, a elevação de energia abaixo de 100 Hz corresponde ao ruído do fluxo da corrente oceânica passando pelo sistema de medição (elipse preta). Este ruído, também chamado de “*pseudo-noise*” (Strasberg and Taylor, 1979), não se propaga à distância, não fazendo parte efetivamente da paisagem acústica submarina. Numa faixa de frequência mais alta, entre 100 Hz e 1 kHz, aparecem elevações que correspondem, provavelmente, a coros de peixes (elipse magenta). Estas elevações iniciam no final da tarde e prosseguem até o final do dia, com máximos em torno das 20:00h. O tráfego de embarcações aparece como linhas verticais com elevação de energia entre 100 Hz até acima de 10 kHz (retângulo preto).

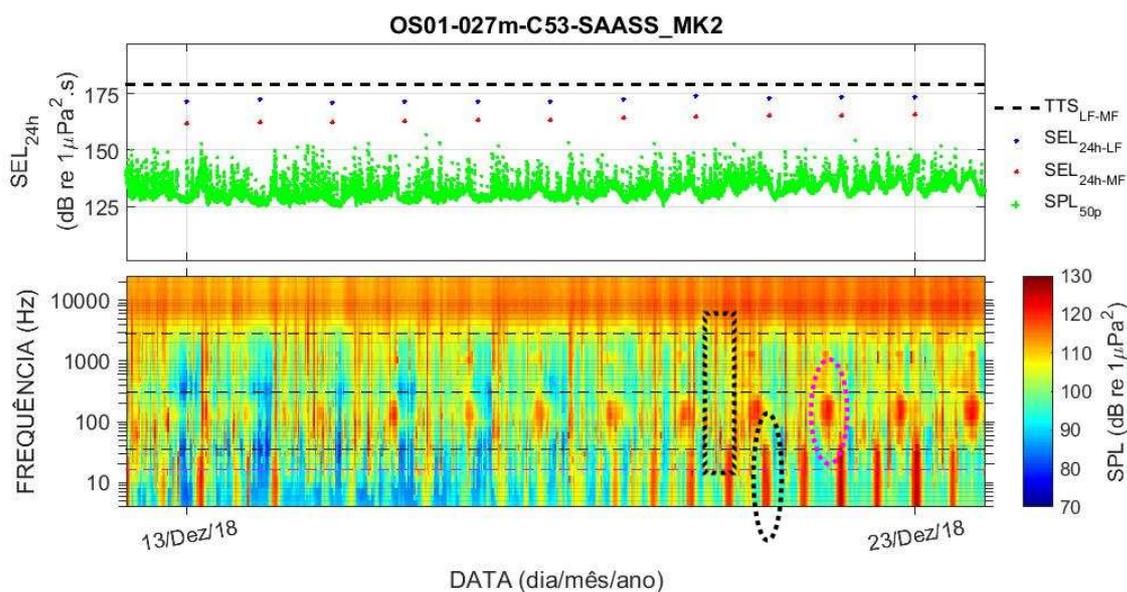


Figura III.2.1-7: OS1 na campanha C53.

Na Figura III.2.2-8 é mostrado um espectrograma com duração de 24 horas mostrando o ruído no OS1, com destaque para a região de baixa frequência em torno de 20 horas, onde a elevação do sinal é devida, provavelmente, a coro de peixes (elipse magenta). Vê-se, também, a elevação de energia no meio do espectrograma correspondente à passagem de embarcações (retângulo verde).



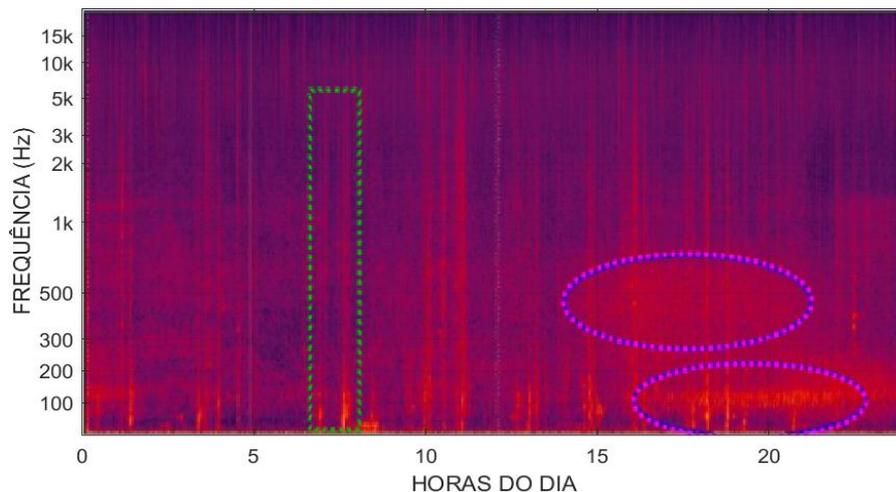


Figura III.2.1-8: Espectrograma dos sinais gravados no OS1 durante 24 horas, no dia 06 de outubro de 2019.

Na Baía de Guanabara, os ruídos observados correspondem ao tráfego de embarcações e a coros de peixes. Em frequências muito baixas, abaixo de 40 Hz, aparece um aumento de energia provocado pelo fluxo de corrente decorrente das marés. Este ruído não corresponde a uma componente sonora efetiva no meio, sendo chamada de “*pseudo-noise*”, uma vez que é uma componente local decorrente da interação da água em movimento com o sistema de medição, ficando restrita a curtas distâncias do local de medição (Strasberg and Taylor, 1979).

III.2.2 OS-2 – Baía de Ilha Grande

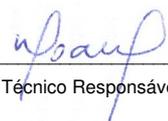
As Figuras III.2.2-1 a III.2.2-5 mostram gráficos para os Níveis de Pressão Sonora correspondentes aos filtros de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz. Cada coluna da figura corresponde a um dia de medição, sendo que o eixo vertical corresponde às horas do dia e o eixo horizontal à data das medições. Nestas figuras, são apresentados dados de 17 ciclos efetuados no observatório submarino da Baía da Ilha Grande de maio de 2017 até dezembro de 2019. A grande quantidade de pontos com SPL alto está associada à passagem de embarcações.

Nas figuras, pode-se observar, também, a existência de elevações de energia ao final dos dias, associadas, provavelmente a coros de peixes, mas sem que tenham sido identificadas positivamente as espécies causadoras destes




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

4º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2020

ruídos. As faixas em branco no meio do gráfico correspondem a períodos entre ciclos onde não foram coletados dados.

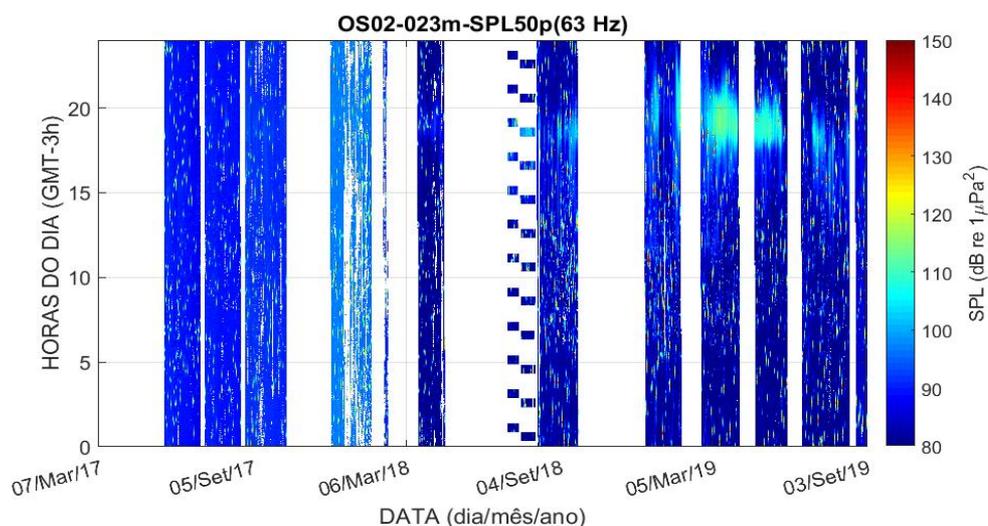


Figura III.2.2-1: SPL em dB re $1\mu\text{Pa}^2$, no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz, em função do dia e hora da aquisição, para o OS2.

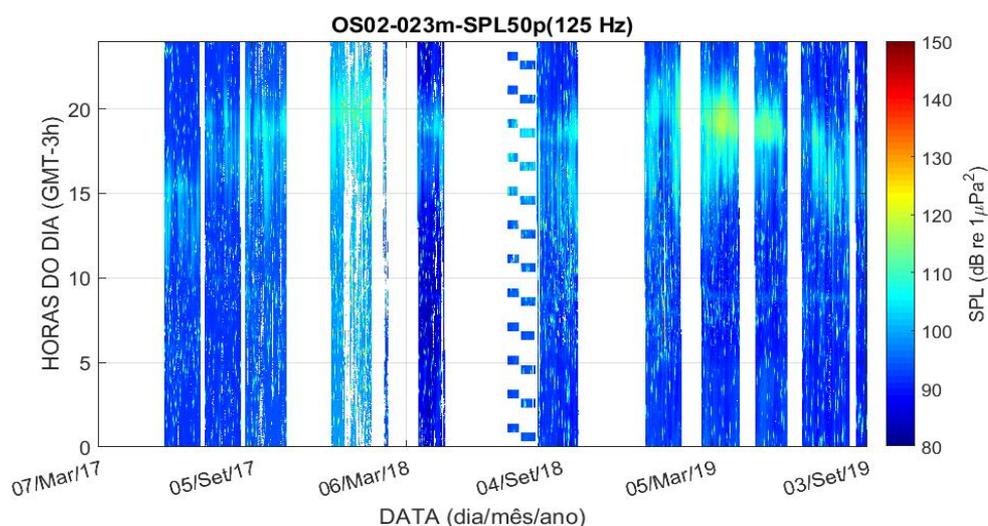


Figura III.2.2-2: SPL em dB re $1\mu\text{Pa}^2$, no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 125 Hz, em função do dia e hora da aquisição, para o OS2.

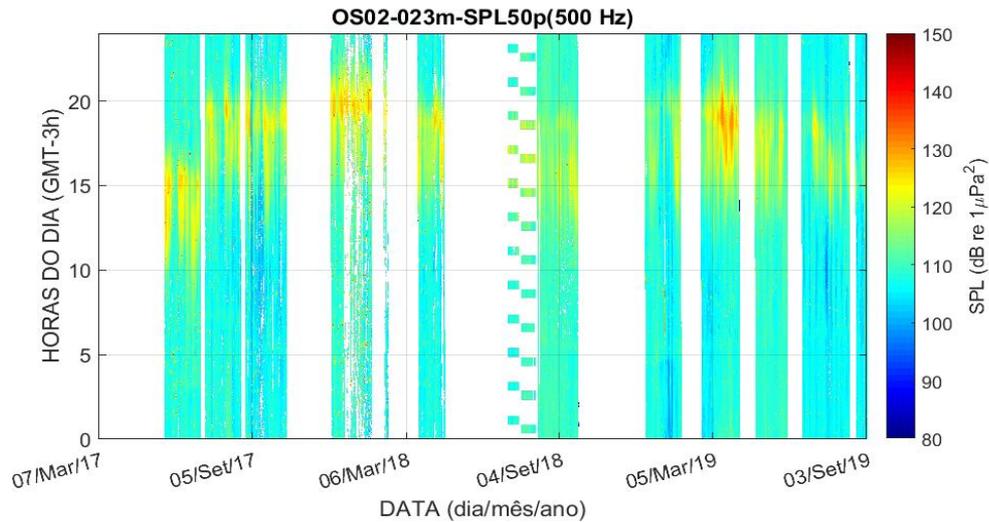


Figura III.2.2-3: SPL em dB re $1\mu\text{Pa}^2$, no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 500 Hz, em função do dia e hora da aquisição, para o OS2.

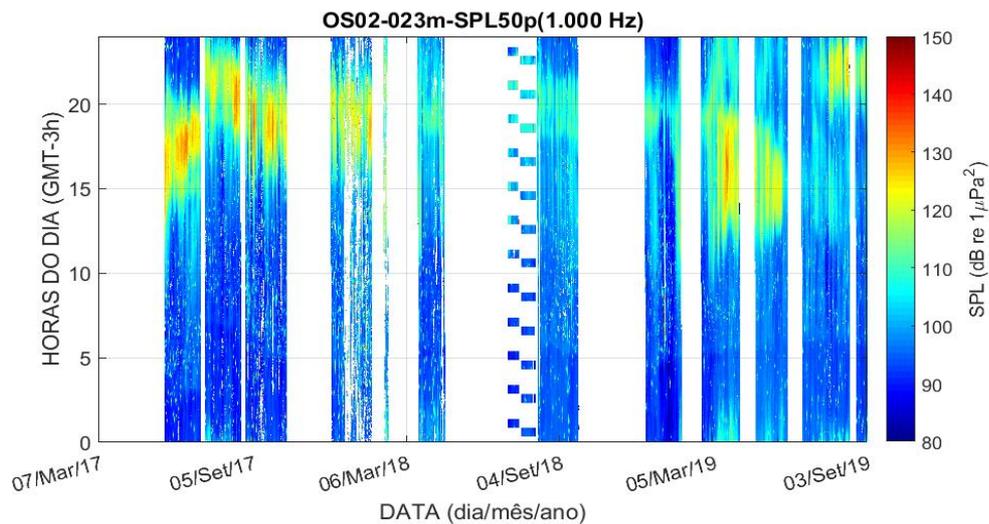


Figura III.2.2-4: SPL em dB re $1\mu\text{Pa}^2$, na no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 1.000Hz, em função do dia e hora da aquisição, para o OS2.

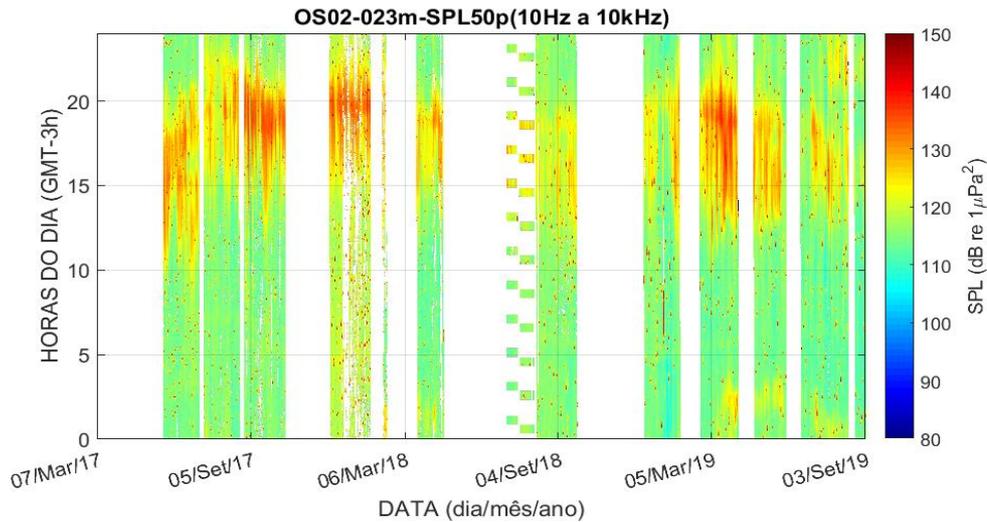


Figura III.2.2-5: SPL em dB re $1\mu\text{Pa}^2$, na faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz, em função do dia e hora da aquisição, para o OS2.

Na Figura III.2.2-6 são apresentados, no gráfico de cima, o SPL_{50p} , o SEL_{24h_LF} e o SEL_{24h_MF} para o OS2 durante todo o período desde sua instalação inicial em maio de 2017 a dezembro de 2019. A linha preta tracejada corresponde ao limiar do TTS, de 179 dB re $1\mu\text{Pa}^2$ indicado por Finneran (2016) para o grupo LF de cetáceos. No gráfico de baixo, é apresentado o espectrograma criado a partir dos espectros de 1/3 de oitava.

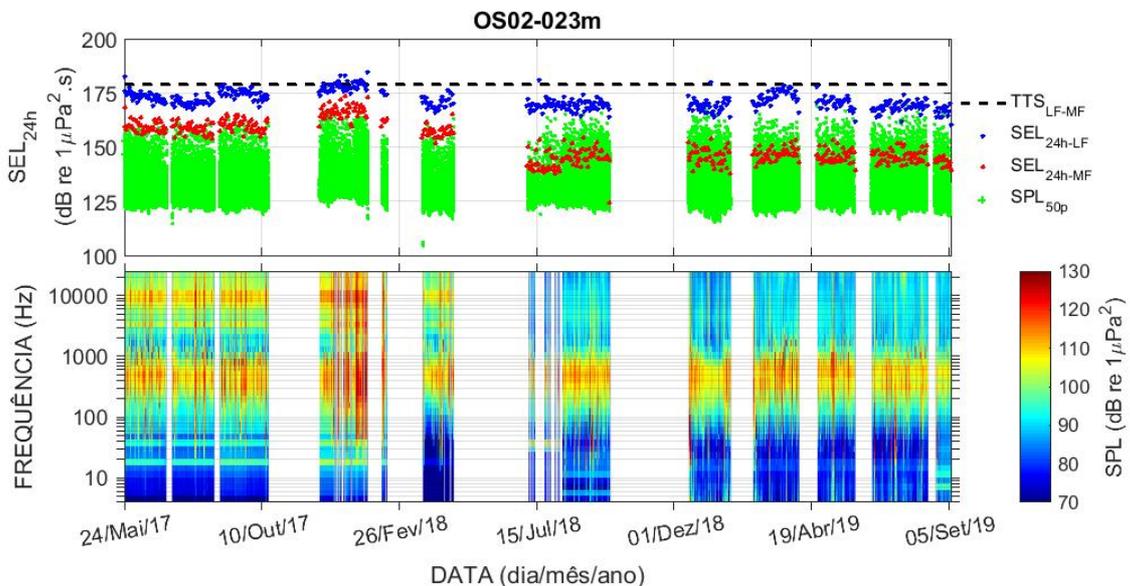


Figura III.2.2-6: OS2 nas campanhas realizadas de maio de 2017 a dezembro de 2019.

Para detalhar os ruídos típicos da região, os parâmetros espectrais para a campanha C36 do OS2 são apresentados na Figura III.2.2-7. Diferentemente das medições na Baía de Guanabara, não são observados na faixa de baixa frequência o aumento periódico de ruído que possa ser associado ao fluxo da maré. Isto pode ser devido a diferenças nas intensidades de correntes nas duas regiões, devido a diferenças geográficas. Na faixa de frequência entre 100 Hz e 1 kHz, aparecem os ruídos que podem ser associados, provavelmente, a coros de peixes (elipse magenta). O ruído de tráfego de embarcações também aparece como linhas verticais entre 100 Hz e 10 kHz (retângulo preto).

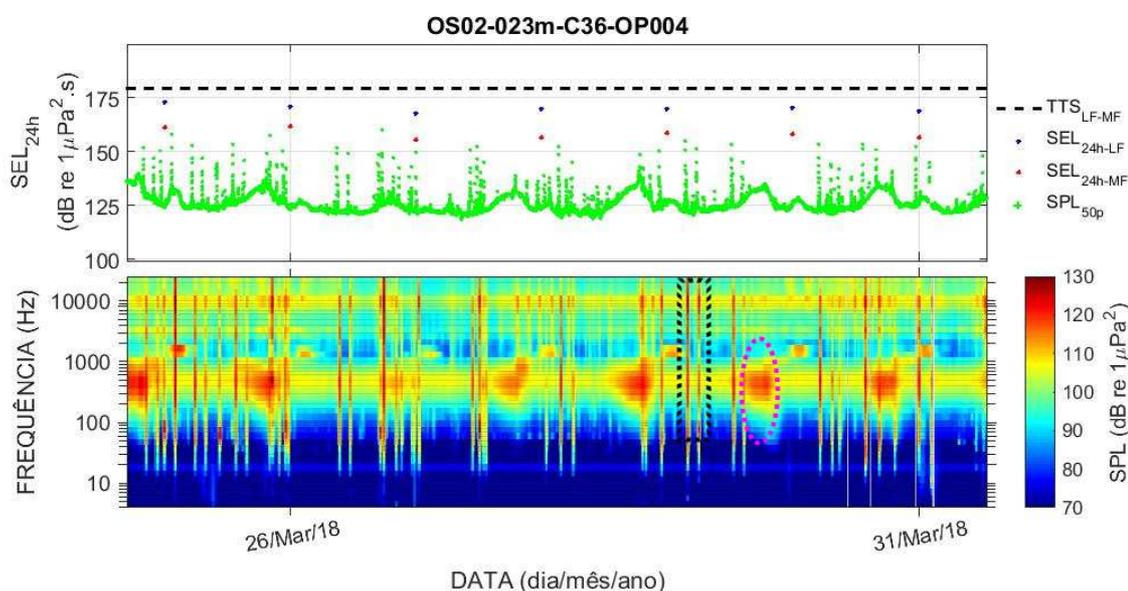


Figura III.2.2-7: OS2 na campanha C36.

Na Figura III.2.2-8 é apresentado um espectrograma com duração de 24 horas mostrando o ruído no OS2, com destaque para a região de baixa frequência em torno de 20 horas, provavelmente devida a coro de peixes (elipse magenta) e a elevação de energia correspondente à passagem de uma embarcação no meio do espectrograma (retângulo verde).

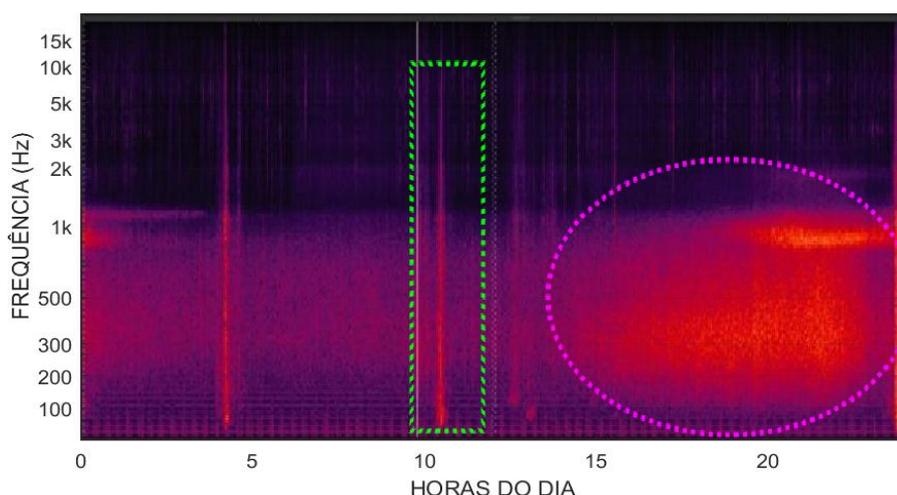


Figura III.2.2-8: Espectrograma dos sinais gravados no OS2 durante 24 horas, no dia 21 de setembro de 2017.

Na Baía de Ilha Grande, o ruído de tráfego é bastante reduzido, principalmente se comparado com a Baía de Guanabara. Grande parte do ruído observado corresponde a coros de peixes.

III.2.3 OS-3 – Canal de São Sebastião

As Figuras III.2.3-1 a III.2.3-5 mostram os níveis de pressão sonora correspondentes aos filtros de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz. Cada coluna da figura corresponde a um dia de medição, sendo que o eixo vertical corresponde às horas do dia e o eixo horizontal à data das medições. Nestas figuras, são apresentados dados de 21 ciclos efetuados de março de 2017 a dezembro de 2019 no observatório submarino de São Sebastião. A grande quantidade de pontos com SPL alto está associada à passagem de embarcações. As faixas em branco correspondem a períodos entre ciclos onde não foram coletados dados. Também aqui o ruído provocado por coros de peixes se destaca.

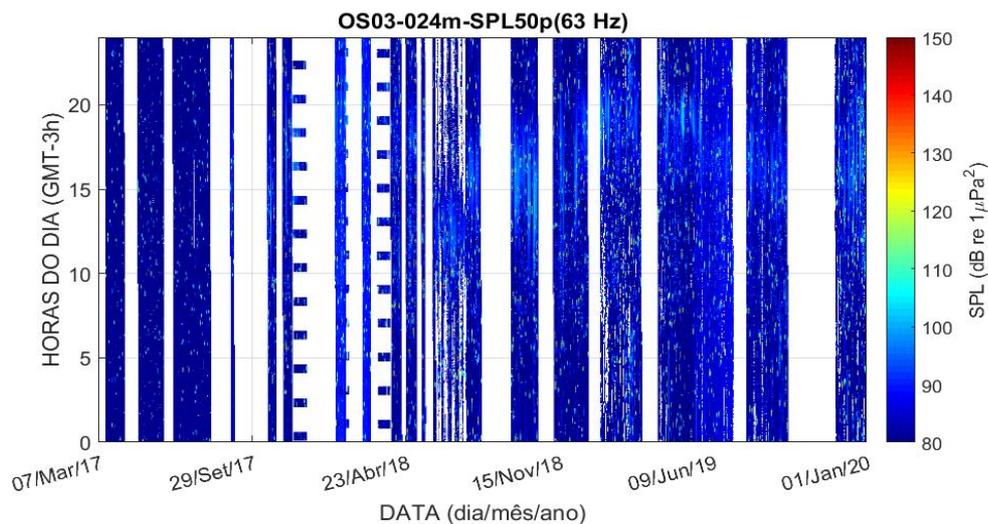


Figura III.2.3-1: SPL em dB re $1\mu\text{Pa}^2$, no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz, em função do dia e hora da aquisição, para o OS3.

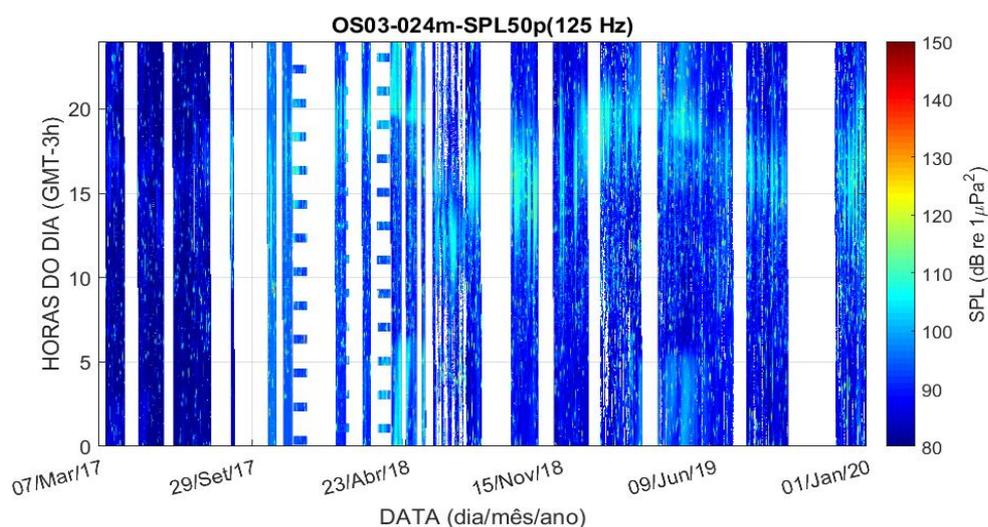


Figura III.2.3-2: SPL em dB re $1\mu\text{Pa}^2$, no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 125 Hz, em função do dia e hora da aquisição, para o OS3.

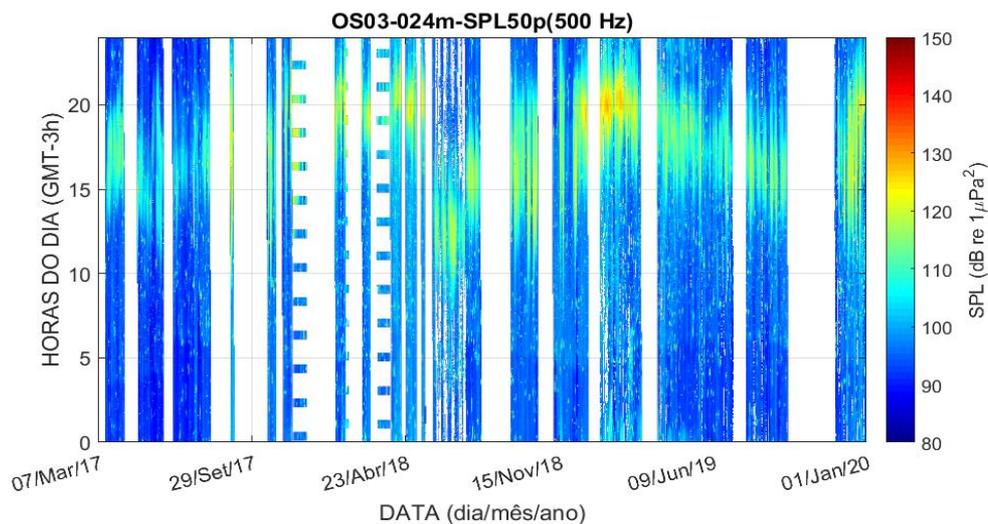


Figura III.2.3-3: SPL em dB re $1\mu\text{Pa}^2$, na no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 500 Hz, em função do dia e hora da aquisição, para o OS3.

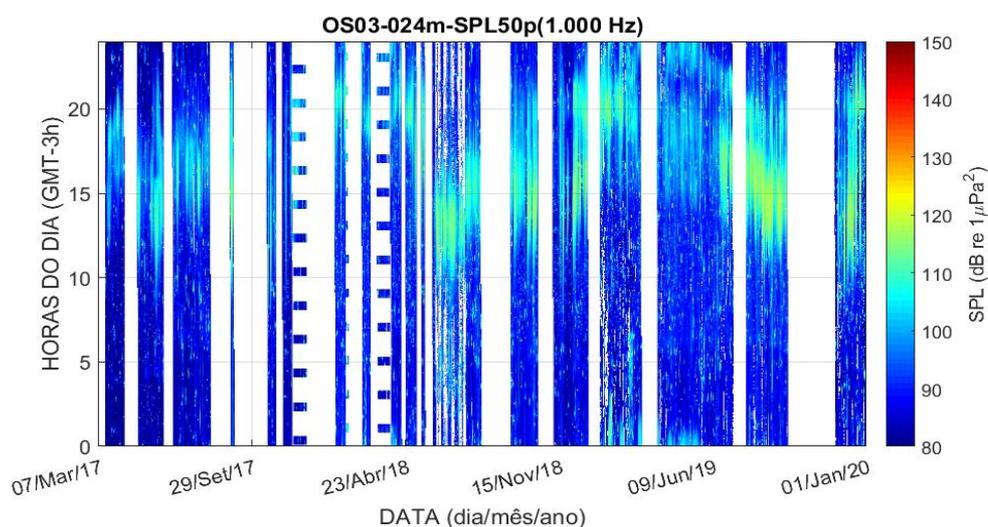


Figura III.2.3-4: SPL em dB re $1\mu\text{Pa}^2$, na no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 1.000 Hz, em função do dia e hora da aquisição, para o OS3.

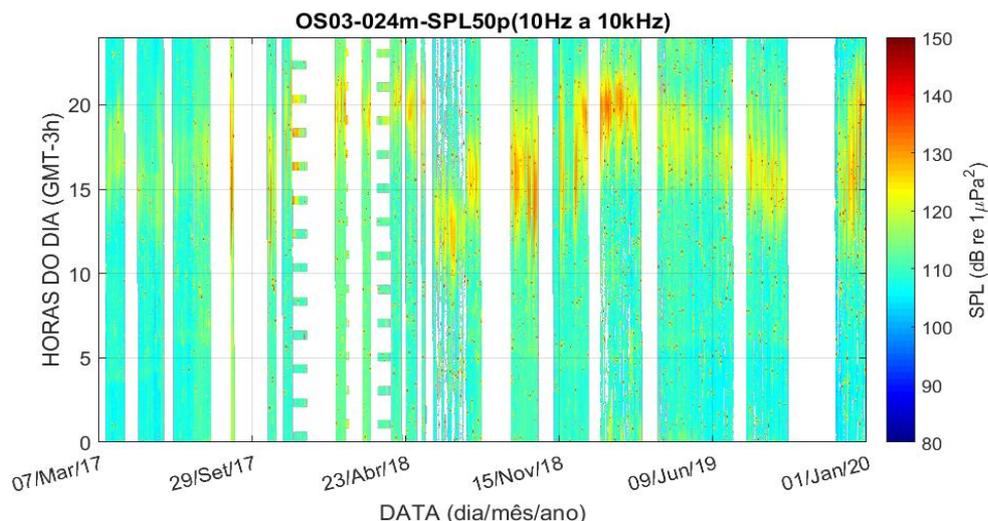


Figura III.2.3-5: SPL em dB re 1 μ Pa², na faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz, em função do dia e hora da aquisição, para o OS3.

Na Figura III.2.3-6 são apresentados, no gráfico de cima, o SPL_{50p}, o SEL_{24h_LF} e o SEL_{24h_MF} para o OS2 durante todo o período desde sua instalação inicial em março de 2017 a dezembro de 2019. A linha preta tracejada corresponde ao limiar do TTS, de 179 dB re 1 μ Pa², indicado por Finneran (2016) para o grupo LF de cetáceos. No gráfico de baixo, é apresentado o espectrograma criado a partir dos espectros de 1/3 de oitava.

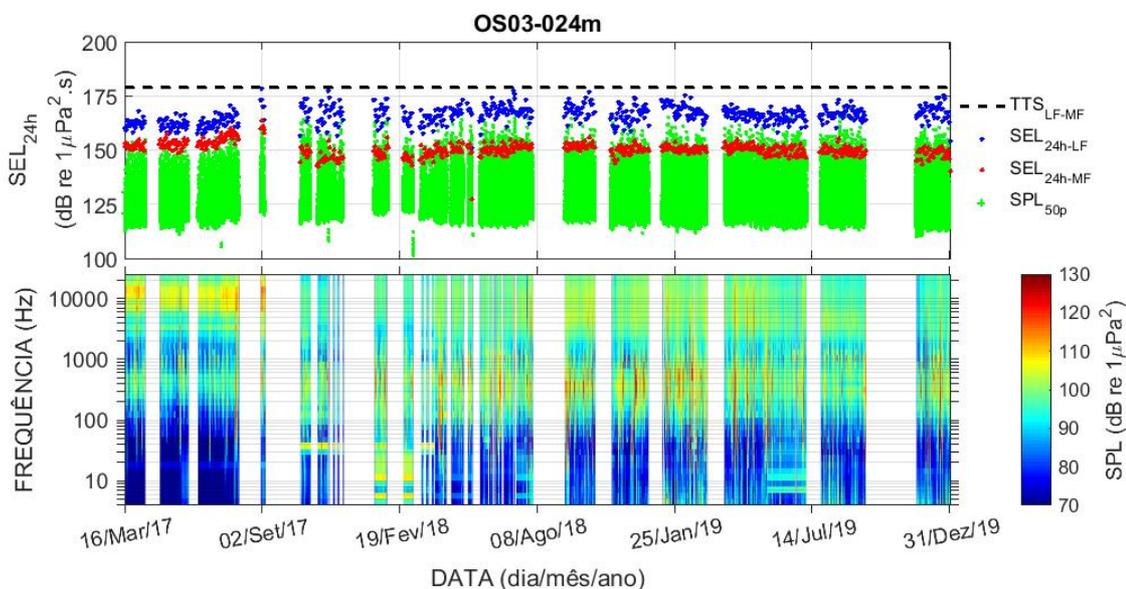


Figura III.2.3-6: OS3 nas campanhas de março de 2017 a dezembro de 2019.



Na Figura III.2.3-7 são apresentados os parâmetros espectrais para a campanha C22 do OS3, mostrando alguns ruídos típicos da região. Diferentemente das medições na Baía de Guanabara, não são observados os ruídos provocados pelo fluxo da maré com a regularidade observada lá. Na faixa de frequência abaixo de 100 Hz aparecem algumas elevações de energia (elipse preta) bem mais fracas do que as observadas na Baía de Guanabara e sem uma periodicidade clara. Esta diferença pode ser devida às diferenças entre os locais de medição, com o OS1 na entrada de uma baía fechada e o OS3 na entrada de um canal aberto nas duas extremidades. Na faixa de frequência entre 100 Hz e 1 kHz, aparecem os ruídos que podem ser associados, provavelmente, a coros de peixes. O ruído de tráfego de embarcações também aparece como linhas verticais entre 100 Hz e 10 kHz.

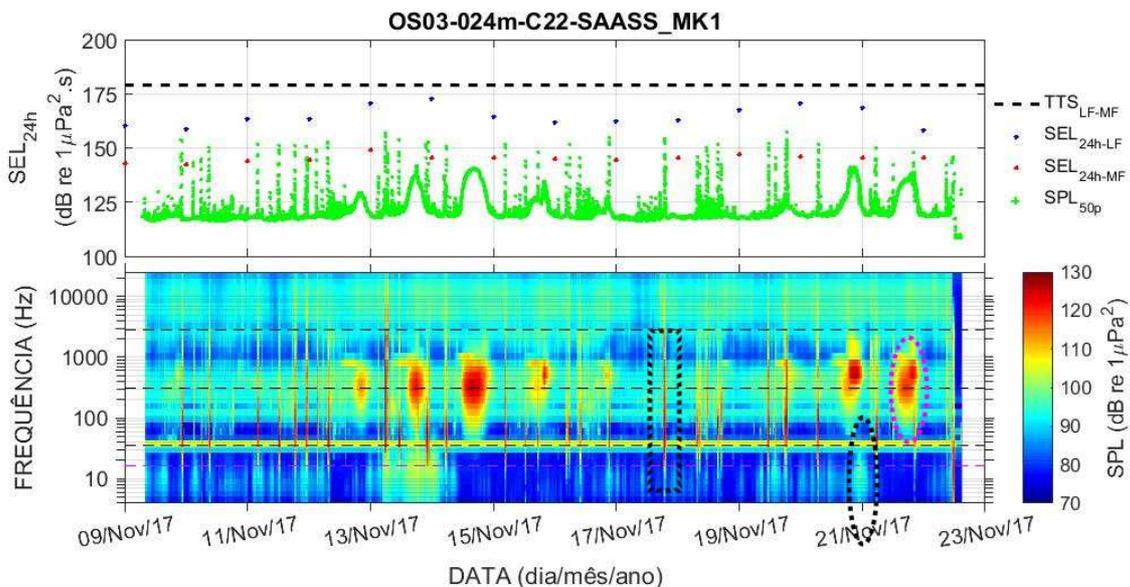


Figura III.2.3-7: OS3 na campanha C22.

Na Figura III.2.3-8 é mostrado um espectrograma com duração de 24 horas mostrando o ruído no OS3, com destaque para a região de baixa frequência em torno de 20 horas e outras duas regiões em torno de 1 kHz, provavelmente devida a coro de peixes (elipses magentas) e a elevação de energia correspondente à passagem de uma embarcação no meio do espectrograma (retângulo verde).



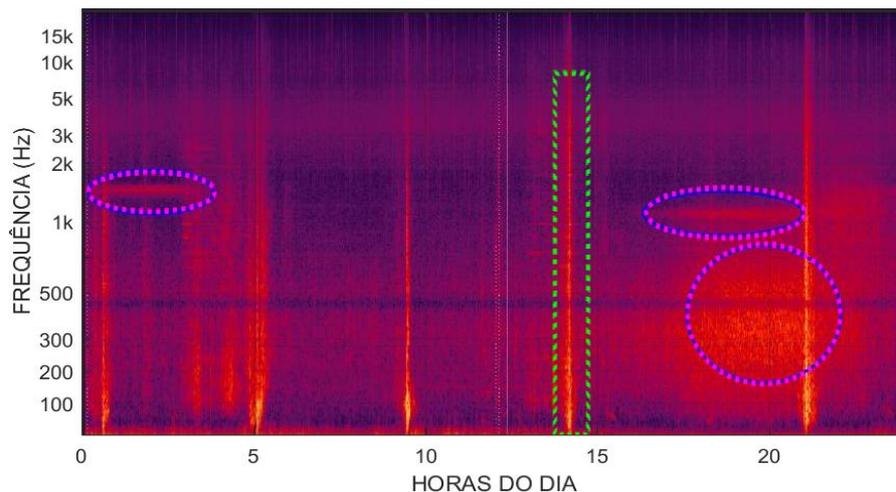


Figura III.2.3-8: Espectrograma dos sinais gravados no OS3 durante 24 horas, no dia 29 de julho de 2019.

III.2.4 Comparação entre OSs

A Figura III.2.4-1 mostra, por meio de *boxplots*, a comparação entre as medições feitas nos OS1, OS2 e OS3 no período de março de 2017 a dezembro de 2019, no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz. Nesta faixa de frequência, os níveis do ruído no OS1 são superiores aos níveis dos OS2 e OS3. Os níveis nos OS2 e OS3 são semelhantes. O grande número de pontos acima do intervalo de uma vez e meia a distância interquartil em todos os OSs referem-se, muito provavelmente, à passagem de navios a curta distância dos sensores.

A Figura III.2.4-2 e a Tabela III.1.2.4-1 mostram as medianas para os filtros de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz. Na tabela são apresentados, também, os resultados do teste estatístico (ANOVA) comparando as distribuições dos OS para cada frequência. Os dados dos OS são estatisticamente diferentes em todas as faixas de frequência.

Na faixa de frequência de 63 Hz, o OS1 é 12,3 dB mais ruidoso que o OS2 e 14,1 dB mais ruidoso do que o OS3. O OS2 é 1,8 dB mais ruidoso do que o OS3.



Na faixa de frequência de 125 Hz, o OS1 é 10,7 dB mais ruidoso que o OS2 e 13,0 dB mais ruidoso que o OS3. O OS2 é 2,3 dB mais ruidoso que o OS3.

Na faixa de frequência de 500 Hz, o OS1 é 6,1 dB mais silencioso que o OS2 e 4,2 dB mais ruidoso que o OS3. O OS2 é 10,3 dB mais ruidoso que o OS3.

Na faixa de frequência de 1.000 Hz, o OS1 é 0,5 dB mais ruidoso que o OS2 e 7,1 dB mais ruidoso que o OS3. O OS2 é 6,6 dB mais ruidoso que o OS3.

O OS1 é o mais ruidoso das três posições onde os OSs estão instalados, com o OS2 apenas um pouco mais ruidoso que o OS3. A exceção ocorre apenas para a frequência de 500 Hz, onde os níveis do OS2 são mais altos do que no OS1. Um motivo para isto pode ser o ruído associado provavelmente a coros de peixes que no OS1 ocorrem em uma faixa de frequência abaixo de 200 Hz (veja Figura III.2.1-7) enquanto no OS2 ocorrem com predominância na faixa de 500 Hz (veja Figura III.2.2-7).

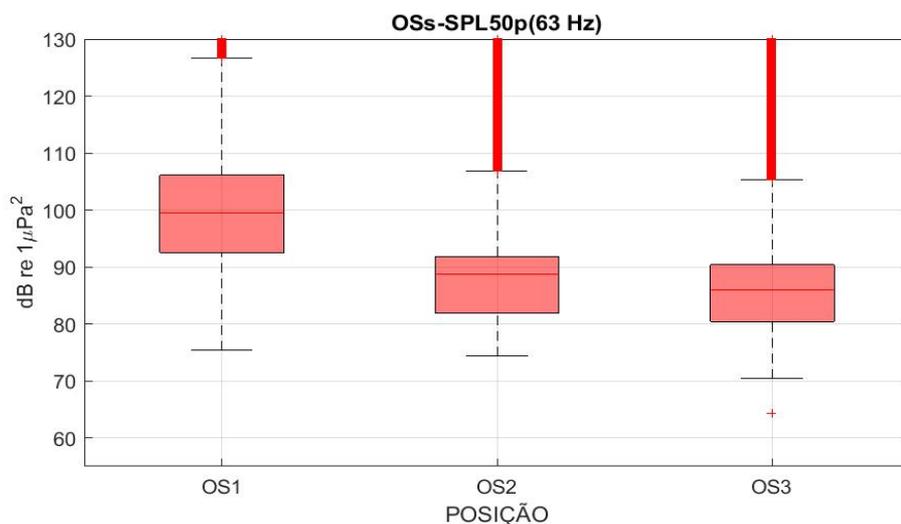


Figura III.2.4-1: Comparação entre os OS1, OS2 e OS3, em cada ano, de 2017 a 2019, para o filtro de 1/3 de oitava centrado em 63 Hz.

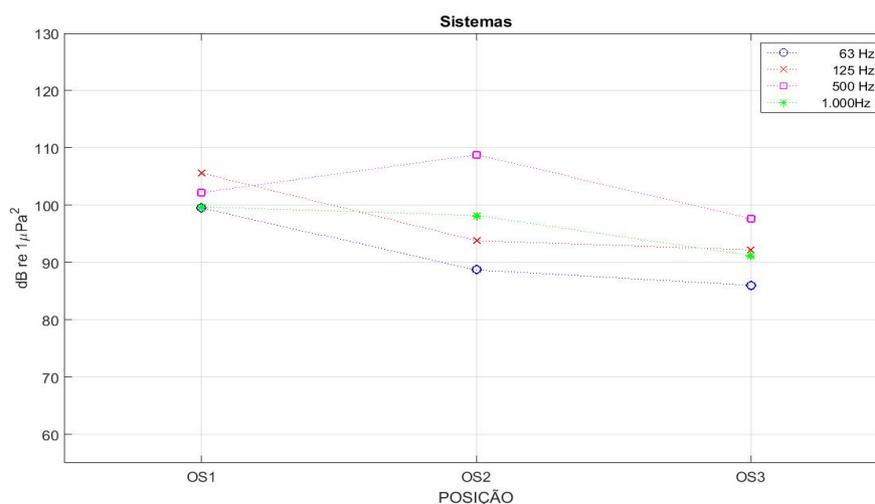


Figura III.2.4-2: Comparação das medições dos OS1, OS2 e OS3 para os filtros de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz.

Tabela III.2.4-1: Medianas para os dados os OSs nos filtros de 1/3 de oitava centrados nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz. O teste estatístico ANOVA aplicado por frequência teve os seguintes resultados, todos com $p=0,0000$: 63 Hz – $F= 739.947,5$, 125 Hz – $F= 658.831,6$, 500 Hz – $F= 478.780,4$, 1.000 Hz – $F= 181.082,5$.

	OS1	OS2	OS3
63 Hz	99,5	88,7	86,0
125 Hz	105,6	93,8	92,2
500 Hz	102,2	108,8	97,6
1.000 Hz	99,7	98,2	91,2

A Figura III.2.4-3 e Tabela III.2.4-2 mostram as medianas para os 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 e 2019. Na tabela são apresentados, também, os resultados do teste estatístico (ANOVA) comparando as distribuições dos OS para cada frequência. Os dados dos OS são estatisticamente diferentes nos três anos para cada posição.

Na frequência de 63 Hz, houve redução dos níveis de ruído em todos os anos. As maiores diferenças encontradas foram entre os anos de 2017 e 2019 para o OS3, onde houve uma redução de 6,6 dB; e entre os anos de 2017 e 2019 para o OS2, onde houve uma redução de 5,2 dB. Para o OS1 a redução entre 2017 e 2019 foi de 1,9 dB.



Na frequência de 125 Hz, também houve redução dos ruídos em todos os OSs entre 2017 e 2019, embora para os OS1 e OS3 houve um aumento no ano de 2018 em relação ao ano de 2017. As maiores diferenças encontradas foram entre os anos de 2018 e 2019 no OS1, com uma redução de 2,5 dB; e entre os anos de 2018 e 2019 no OS2, com uma redução de 1,2 dB. Para o OS2, a redução entre 2017 e 2019 foi de 0,4 dB.

Na frequência de 500 Hz, houve um aumento de ruído entre 2017 e 2018 e uma redução de 2018 para 2019 em todos os OSs. No OS1, o aumento foi de 2,4 dB, seguido de uma redução de 1,1 dB. No OS2, o aumento foi de 1,1 dB e a redução de 2,2 dB. No OS3, o aumento foi de 4,4 dB e a redução de 1,1 dB.

Na frequência de 1.000 Hz, as maiores diferenças encontradas foram entre os anos de 2017 e 2019 para o OS3, com um aumento de 5,6 dB; e entre 2017 e 2018 para o OS1, de 4,1 dB. No OS2, houve redução entre os anos de 2017 e 2018 de 1,4 dB seguida de um aumento de 0,4 dB entre 2018 e 2019.

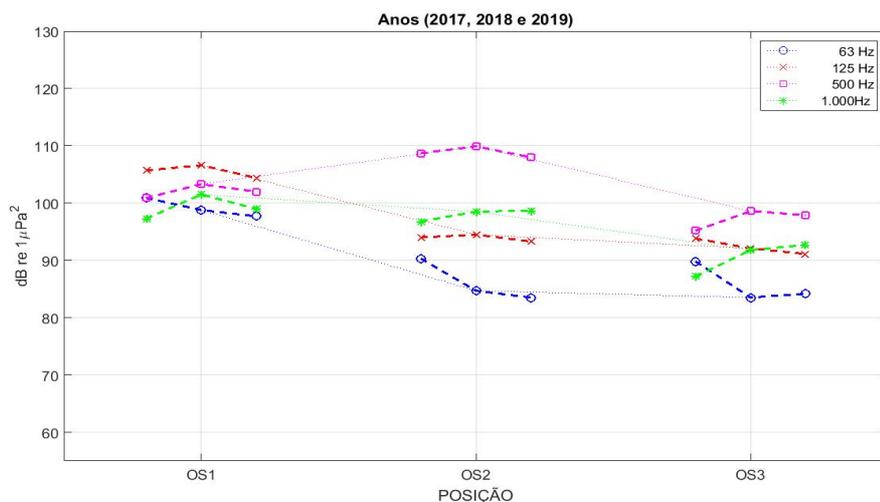


Figura III.2.4-3: Comparação entre os OS1, OS2 e OS3, em cada ano, de 2017 a 2019, para o filtro de 1/3 de oitava centrado nas frequências de 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz e 1.000 Hz.

Tabela III.2.4-2: Medianas para os dados os OSs 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 e 2019. O teste estatístico ANOVA aplicado por frequência teve os seguintes resultados, todos com $p=0,0000$: 63 Hz – $F= 226.718,6$, 125 Hz – $F= 168.660,4$, 500 Hz – $F= 132.867,0$, 1.000 Hz – $F= 60.174,4$.

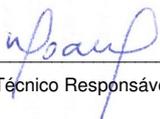
	OS1			OS2			OS3		
	2017	2018	2019	2017	2018	2019	2017	2018	2019
63 Hz	100,9	98,8	97,7	90,3	84,7	83,5	89,8	83,5	84,2
125 Hz	105,7	106,6	104,4	94	94,5	93,3	93,8	92,1	91,1
500 Hz	100,9	103,3	102	108,7	109,9	108	95,2	98,6	97,9
1.000 Hz	97,3	101,5	99	96,8	98,5	98,7	87,2	91,8	92,7

Em todos os OSs observou-se uma redução do ruído na faixa de frequência de 63 Hz, que chegou a mais de 6 dB Hz no OS3. Na frequência de 125 Hz, também houve redução em todos os OSs, mas a redução máxima foi de 2,5 dB no OS1. Na frequência de 500 Hz, o aumento máximo foi de 2,4 dB para o OS1. Na frequência de 1.000 Hz, o OS3 teve um aumento de 5,6 dB entre 2017 e 2019 e o OS1 teve um aumento de 4,1 dB de 2017 para 2018.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

4º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2020

III.2.5 Detecção de Embarcações nos OSs

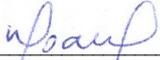
Em todas as gravações realizadas nos OSs, foram feitas detecções das embarcações que passaram próximo o suficiente do ponto de instalação do observatório que permitisse um aumento do nível de ruído medido. A Tabela III.2.5-1 apresenta o número de detecções de passagem de embarcações nas campanhas de gravação efetuadas nos OS1, OS2 e OS3. No total, foram detectadas 41.639 passagens de embarcações nas 41.790,2 horas gravadas nas campanhas apresentadas, sendo 25.969 detecções em 13.910,0 horas no OS1, na Baía de Guanabara, 5.756 em 12.847,2 horas no OS2, na Baía de Ilha Grande e 10.114 em 15.033,0 horas no OS3, no Canal de São Sebastião. Baseado nestas detecções, observa-se que a Baía de Guanabara é a área mais movimentada, com uma média de 44,8 detecções por dia. A segunda área é o Canal de São Sebastião, com média de 16,1 detecções por dia e por último fica a Baía de Ilha Grande, com média de 10,8 detecções por dia.

O número de detecções obtido não representa exatamente o número de embarcações individuais detectadas. Pode ocorrer de uma mesma embarcação ser detectada mais de uma vez nos OSs. Para identificar as embarcações, foi feita a correlação dos tempos das detecções com informações do sistema AIS (do inglês, *Automatic Identification System*). Foi possível correlacionar 8.750 detecções com o AIS de embarcações, correspondendo a 1.641 diferentes embarcações. O maior número de detecções correlacionadas com o AIS ocorreu na Baía de Guanabara, com 7.927 detecções, seguido pela Baía de Ilha Grande, com 483 detecções e pelo Canal de São Sebastião, com 340 detecções. Destas embarcações com AIS, foram detectadas 3.519 a serviço da PETROBRAS na Baía de Guanabara, 1 na Baía de Ilha Grande e 206 no Canal de São Sebastião. Isto mostra que há uma presença considerável de embarcações a serviço de terceiros nestas regiões costeiras.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

4º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2020

Tabela III.2.5-1: Número de embarcações detectadas em cada lançamento.

Campanha / Local	Número de embarcações	Com AIS	Navio BR	Tempo de gravação (horas)*	Total de embarcações / dia
L01 - BG	516	209	140	360	34,4
L03 - SB	387	3	0	607	15,3
L04 - BG	2399	350	296	1.079,80	53,3
L06 - SB	486	34	13	854,5	13,7
L07 - BG	2374	513	367	1.123,80	50,7
L09 - IG	532	21	0	1.019	12,5
L10 - SB	488	2	2	691,8	16,9
L12 - IG	387	2	0	1.004,10	9,3
L13 - SB	403	20	17	521,7	18,5
L14 - IG	620	99	0	1.175,10	12,7
L15 - SB	52	12	8	115,3	10,8
L16 - BG	198	41	12	83,1	57,2
L17 - BG	321	34	17	141,5	54,4
L18 - BG	367	117	42	167,4	52,6
L20 - SB	154	1	1	299,3	12,3
L22 - SB	221	18	12	316,8	16,7
L23 - BG	213	28	11	91,2	56,1
L24 - SB	118	2	1	108	26,2
L25 - BG	723	291	163	825,6	21,0
L26 - IG	1154	63	0	1.177,20	23,5
L27 - BG	749	200	88	323,6	55,6
L29 - SB	327	9	8	645	12,2
L30 - IG	241	9	0	122	47,4
L32 - BG	526	93	36	337,1	37,4
L34 - BG	490	53	25	329,6	35,7
L35 - SB	136	1	0	100,5	32,5
L36 - IG	536	53	0	982,2	13,1
L37 - BG	0	419	182	501,4	0,0
L38 - SB	692	1	1	853,5	19,5
L39 - BG	1134	328	12	640,2	42,5
L40 - BG	546	243	15	331,5	39,5
L41 - SB	640	19	8	1.088,50	14,1
L42 - BG	1824	803	383	753,5	58,1
L43 - IG	31	9	0	77	9,7
L44 - IG	27	8	0	108	6,0
L45 - IG	442	86	1	1.182,20	9,0
L46 - BG	238	30	10	88	64,9
L47 - BG	547	298	138	294,3	44,6
L48 - SB	317	19	8	502,6	15,1
L49 - SB	368	2	2	895,3	9,9
L50 - BG	2558	1301	600	1.385,50	44,3
L52 - SB	685	15	12	1.112,00	14,8
L53 - BG	3111	655	258	1.404,00	53,2
L54 - IG	597	6	0	1.018,80	14,1
L55 - SB	1175	47	30	1.321,90	21,3
L58 - IG	403	49	0	1.093,30	8,8
L59 - SB	881	20	14	1.162,00	18,2
L60 - IG	245	13	0	921,3	6,4
L61 - SB	1092	48	32	1.516,50	17,3
L62 - BG	2888	432	147	1.543,90	44,9
L63 - IG	442	20	0	1.335,10	7,9
L64 - SB	667	59	33	1.321,70	12,1
L65 - IG	99	45	0	1.631,90	1,5



Campanha / Local	Número de embarcações	Com AIS	Navio BR	Tempo de gravação (horas)*	Total de embarcações / dia
L66 - SB	0	0	0	0	****
L67 - BG	2739	530	183	1.431	45,9
L68 - SB	825	8	6	999,1	19,8
L69 - BG	1508	959	394	674	53,7
TOTAIS	41.839 (BG=25.969, IG=5.756, SB=10.114)	8.750 (BG=7.927, IG=483, SB=340)	3.728 (BG=3.519, IG=1, SB=206)	41.790,2 (BG=13.910,0, IG=12.847,2, SB=15.033,0)	24,0 (BG=44,8, IG=10,8, SB=16,1)

* O tempo de gravação utilizado para a detecção de embarcações é menor do que o tempo total gravado, mostrado na tabela devido ao fato de algumas campanhas terem usado mais de um gravador instalados em paralelo, sendo usados os sinais de apenas um deles para a detecção.

A Figura III.2.5-1 mostra o número de detecções de embarcações obtidas por dia de gravação, para os OS1, OS2 e OS3, permitindo visualizar melhor as detecções realizadas nos três observatórios. Os tempos onde o número de detecções é zero corresponde, provavelmente, a trechos onde não houve gravação acústica. Como destacado acima, a maior parte das detecções ocorreu no OS1, na Baía de Guanabara.

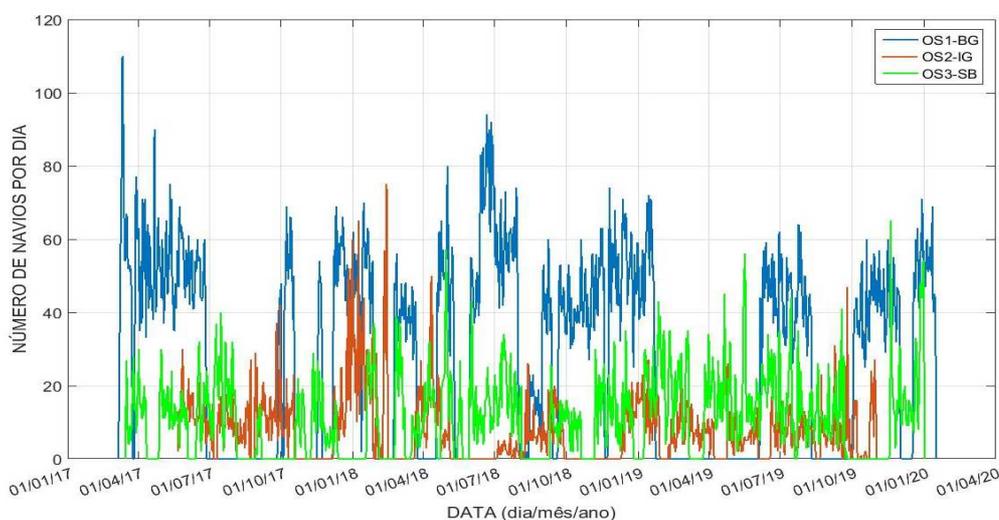


Figura III.2.5-1: Número de navios detectados por dia nos OS1, OS2 e OS3.



III.3 BIOFONIA

III.3.1 Detecção de Biofonia nos Gliders

A detecção da biofonia foi realizada, inicialmente, de forma manual, seguindo procedimentos descritos em Frouin-Mouy *et al.* (2016), onde é indicado que uma análise de 5% dos dados permite se obter uma boa estimativa da presença de animais marinhos durante as medições. Estas detecções foram usadas para o desenvolvimento, configuração e teste de detectores automáticos que são responsáveis pela detecção em todos os dados gravados.

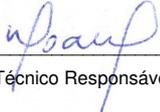
Posteriormente, foi selecionado o programa PAMGuard para detectar assobios, gemidos e grunhidos, fazendo sua configuração a partir das informações obtidas nas detecções manuais. A Figura III.3.1-1 apresenta uma tela do PAMGuard com um mapa de dados. Este mapa apresenta a contagem das detecções realizadas por frequências (escala vertical) e por intervalo de tempo (escala horizontal). Na figura, estão apresentadas cerca de 2,5 horas e o intervalo de tempo usado na contagem foi de um minuto. O gráfico superior apresenta a detecção de gemidos, numa escala de frequência de 0 a 3 kHz. O gráfico inferior apresenta a detecção de assobios e sons pulsados, numa escala de frequência de 0 a 60 kHz. Na figura é apresentado um trecho com detecção de assobios no canto direito do gráfico inferior, com duração em torno de 60 minutos. No canto direito do gráfico superior, é apresentado um trecho com detecção de gemidos, com duração em torno de 30 minutos.

A partir deste mapa de dados, foram definidos os tempos de início e fim dos trechos com detecções. Estes tempos foram usados para recortar os trechos de áudio correspondentes.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

4º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2020

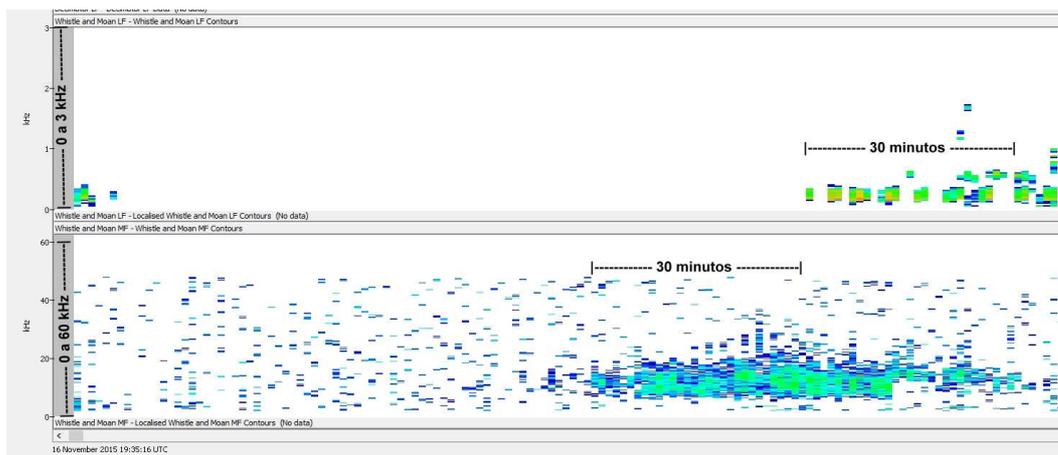


Figura III.3.1-1: Tela do PAMGuard mostrando o contador de detecções. O período analisado foi de 2,5 horas.

A Figura III.3.1-2 apresenta um espectrograma de um trecho do sinal que gerou o gráfico da Figura III.3.1-1, mostrando assobios e cliques. A escala de frequência, no eixo vertical, é de 0 a 62,5 kHz e a escala de tempo, no eixo horizontal, é de 16 segundos.

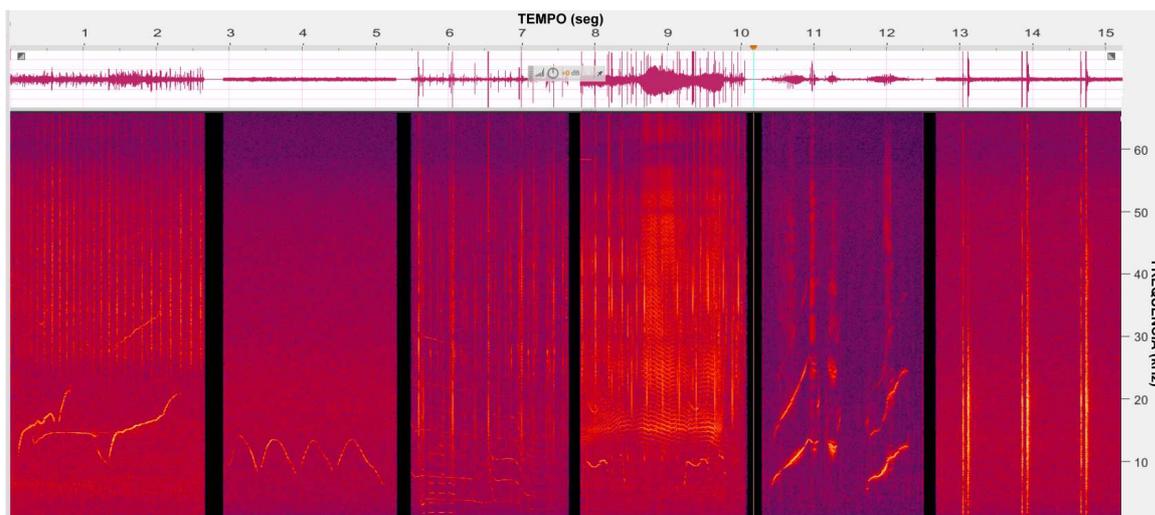


Figura III.3.1-2: Espectrograma mostrando trechos de sinal com assobios e cliques.

A Figura Figura III.3.1-3 apresenta dois espectrogramas mostrando trechos de sinais com gemidos e grunhidos. A escala de frequência, no eixo vertical dos espectrogramas é de 0 a 3 kHz. As escalas de tempo, no eixo horizontal, são de 1 minuto no espectrograma superior e de 24 segundos no espectrograma inferior.



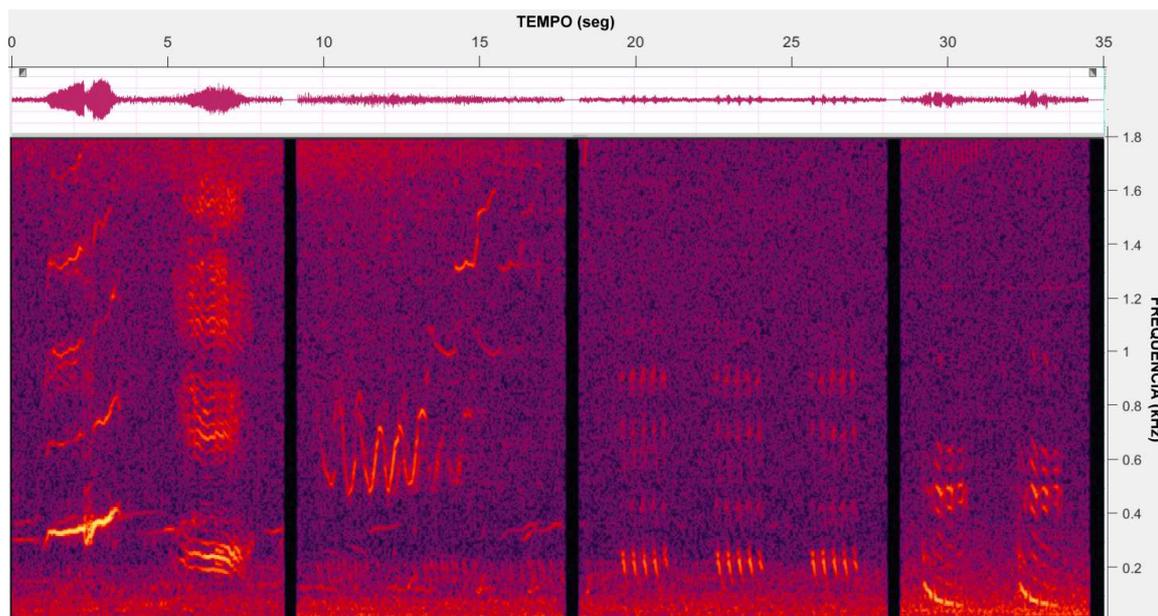


Figura III.3.1-3: Espectrogramas mostrando trechos de sinal com gemidos e grunhidos.

Estes procedimentos foram usados, inicialmente, para a detecção de vocalização nas gravações feitas pelos *gliders*, sendo analisados dados até a campanha C20. A tabela apresenta os tempos de detecção obtidos nestas campanhas. Foram detectados um total de 7.306 minutos de assobios, 20.247 minutos de gemidos e 6.899 minutos de grunhidos.

Tabela III.3.1-1: Tempos das detecções de cada tipo de vocalização, em minutos, nas campanhas C01 a C20 do glider.

Campanha	Tempo Assobios (tAs)	Tempo Gemidos (tGm)	Tempo Grunhidos (tGr)
C01	610	292	226
C02	0	0	10
C03	264	0	0
C05	879	928	154
C06	275	841	860
C07	293	722	1.292
C08	702	180	88
C09	1.562	464	687
C10	40	33	56
C11	485	0	0
C12	208	0	0
C13	0	0	0
C15	480	365	494
C16	239	3.364	1,249
C17	548	7.557	454
C18	466	1.929	405
C19	242	3.568	628
C20	310	4	296
Totais	7.603	20.247	6.899



CBZ
Coordenador da Equipe



ufbau
Técnico Responsável

4º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2020

Os recortes de sinais foram feitos em cada mergulho, nos trechos onde os mapas de dados do PAMGuard indicavam a provável existência de vocalização. Um ou mais trechos foram marcados nestes mergulhos, totalizando os tempos apresentados na tabela. A Figura III.3.1-4 apresenta um mapa de dados do PAMGuard de um mergulho, onde é possível ver trechos com detecções, marcados em vermelho.

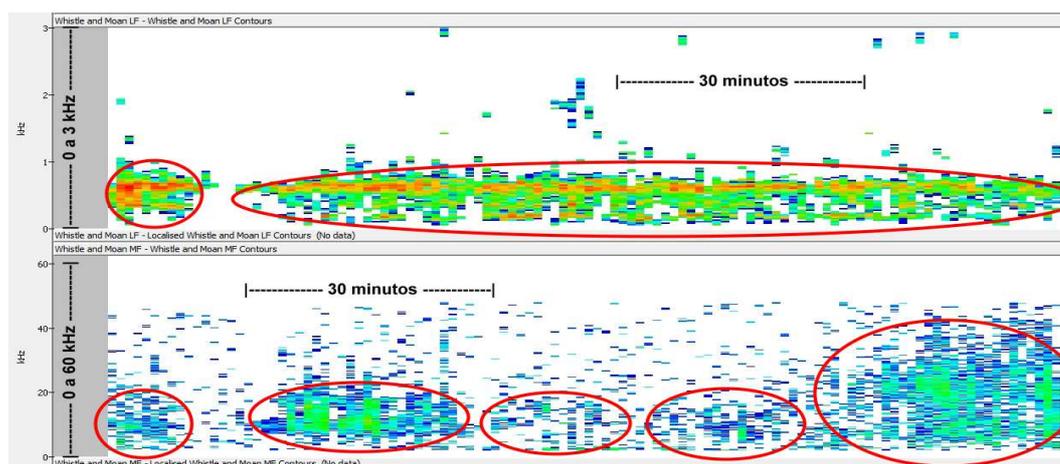


Figura III.3.1-4: Mapa de dados do PAMGuard para o mergulho 02 da campanha C05, mostrando possíveis detecções de vocalização (elipses vermelhas) tanto em baixas frequências (gráfico superior) quanto em médias frequências (gráfico inferior).

O PAMGuard fornece para os mapas de dados um contador do número de detecções obtidas por hora de gravação. Embora este contador não separe as detecções de diferentes espécies, ele serve como uma avaliação preliminar do processo de detecção e para dar uma ideia da distribuição temporal destas detecções. Na Figura III.3.1-5 é mostrado o número de detecções diárias contabilizadas usando as informações horárias do PAMGuard. Nos gráficos, são mostrados os tempos de gravação dos *gliders* das campanhas C01 a C20, usadas para a detecção das vocalizações. Existem intervalos grandes sem dados entre as campanhas C01 e C02, quando houve um tempo maior para o relançamento do *glider* após ele ser recolhido; entre as campanhas C03 e C05, quando o *glider* lançado na campanha C04 foi perdido; e entre as campanhas C12 e C15, quando o *glider* lançado na campanha C13 não gravou corretamente e o *glider* da campanha C14 foi perdido. Tanto para as detecções em baixa frequência quanto para as detecções em média frequência, o maior número de detecções ocorreu no período entre julho e janeiro de cada ano. Uma análise



mais criteriosa destas informações, incluindo a separação dos dados por espécies será feita pela equipe do Projeto de Monitoramento de Cetáceos (PMC-BS).

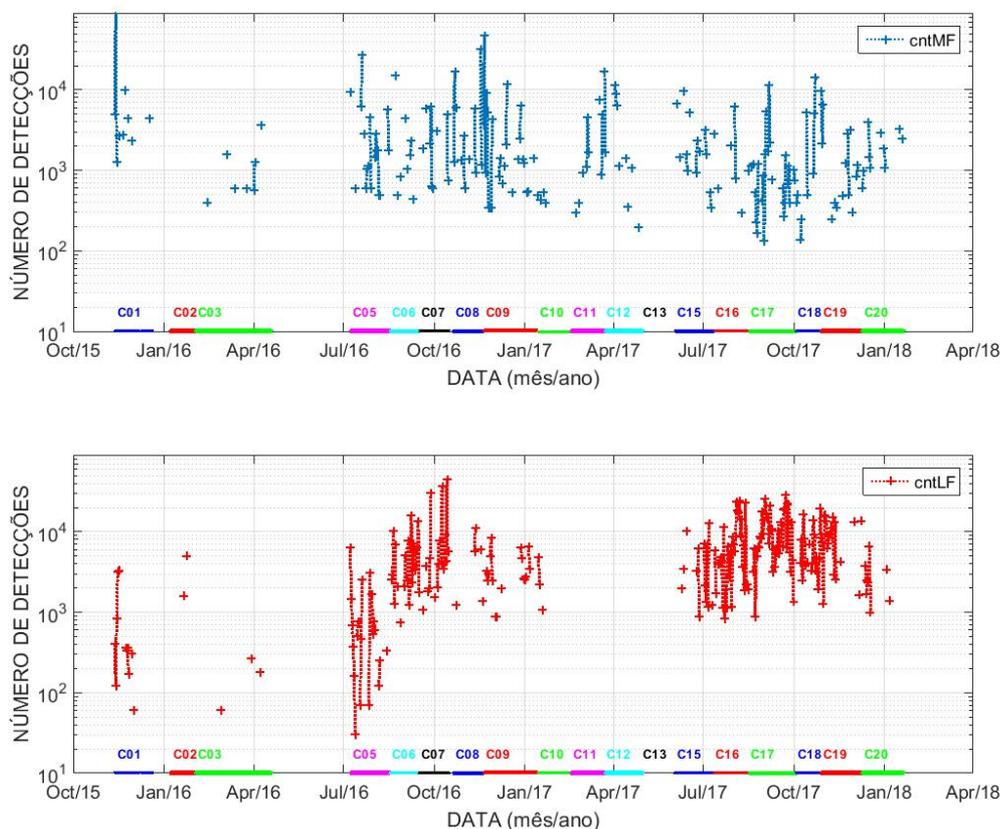


Figura III.3.1-5: Número de detecções obtidas por dia pelo PAMGuard, para o detector de média frequência (MF – linha azul) e para o detector de baixa frequência (LF - linha vermelha). Na parte de baixo dos gráficos são mostrados os tempos de gravação de cada campanha do glider usada na detecção.

III.3.2 Detecção de Biofonia nas LFI's x Gliders

Foi feita uma análise comparativa das detecções de vocalizações nas gravações de áudio dos *gliders* e das LFI's. Para isto, primeiro foi avaliada a posição relativa entre estes sistemas de aquisição durante sua operação no PMPAS-BS. Os *gliders* começaram a operar em dezembro de 2015, enquanto a primeira campanha das LFI só iniciou em setembro de 2017. A Figura III.3.2-1 apresenta as linhas do tempo para as LFI's nas campanhas C01 a C04 e para os



gliders nas campanhas C17 a C38, que foram quando os dois sistemas operaram simultaneamente.

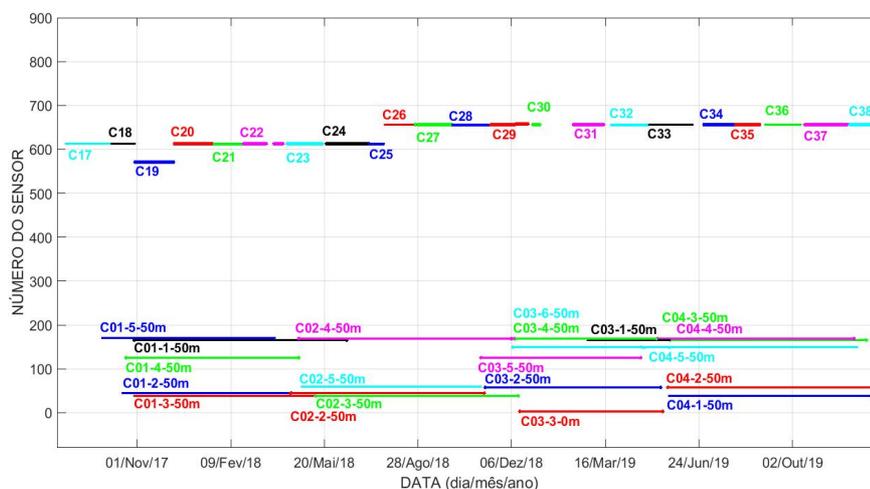


Figura III.3.2-1: Linhas do tempo para *gliders* nas campanhas C17 a C38, na parte de cima (número de sensor > 500) e para LFIs nas campanhas C01 a C04, na parte de baixo do gráfico (número de sensor < 200).

Para este período, foi calculada a distância do *glider* às LFIs. A Tabela III.3.2-1 mostra a distância mínima que o *glider* passou da posição de cada LFI, indicando, também, qual a campanha em que isto ocorreu. A menor distância de todas ocorreu na campanha C29, com o *glider* passando a cerca de 600 metros da linha FA02. A linha FA04 foi a que ficou mais distante dos *gliders*, com uma distância mínima perto de 98 km. Como a linha FA02 se encontra em uma região com maior atividade de E&P, foi selecionada para a comparação a linha FA03, na qual o *glider* passou a um pouco mais de 5 km da posição dela na campanha C34. Além disso, a campanha C34 ocorreu no Outono/Inverno de 2019, sendo a época esperada para a migração de baleias na Bacia de Santos.

Tabela III.3.2-1: Distância mínima do *glider* à posição das LFIs, com indicação da campanha do *glider* em que isto ocorreu.

Linha considerada	Distância (km)	<i>Glider</i> mais próximo
LFI-FA01	10,88	C24
LFI-FA02	0,58	C29
LFI-FA03	5,28	C34
LFI-FA04	98,45	C37
LFI-FA05	7,58	C28
LFI-FA06	33,68	C31



A Figura III.3.2-2 apresenta o mapa da Bacia de Santos, mostrando a trajetória feita pelo *glider* na campanha C34 e a posição da linha FA03. Na Figura III.3.2-3, é mostrada a distância do *glider* à posição da linha FA03 e a intensidade da corrente oceânica no período de 30 de junho a 21 de julho de 2019. A análise das detecções ocorreu entre os dias 8 e 14 de julho de 2019, onde ocorreram detecções tanto no *glider* quanto na LFI. O trecho destacado corresponde a um período de um dia onde foi feita uma análise mais detalhada. A distância mínima entre os dois sistemas ocorreu um pouco antes dos trechos analisados, mas naquele momento, não houve detecção de vocalização significativa para esta análise. A distância entre os dois sistemas durante o período analisado de seis dias ficou entre 25 e 40 km. A intensidade da corrente oceânica variou entre 5 e 20 cm/s.

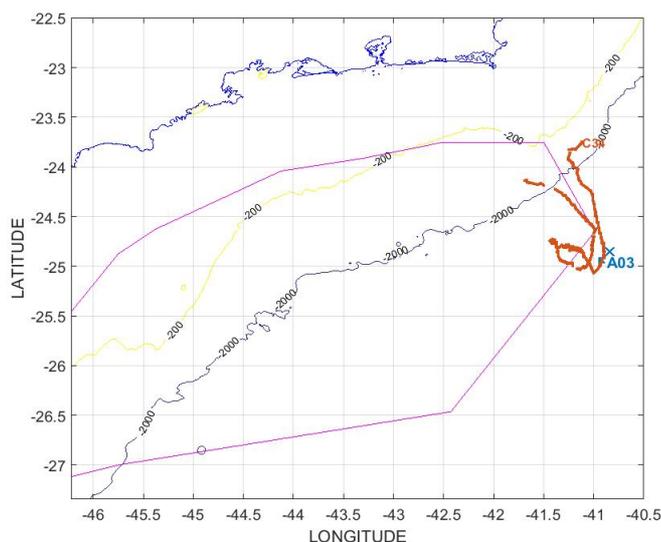


Figura III.3.2-2: Mapa da Bacia de Santos mostrando a trajetória percorrida pelo glider na campanha C34 e a posição da linha FA03.



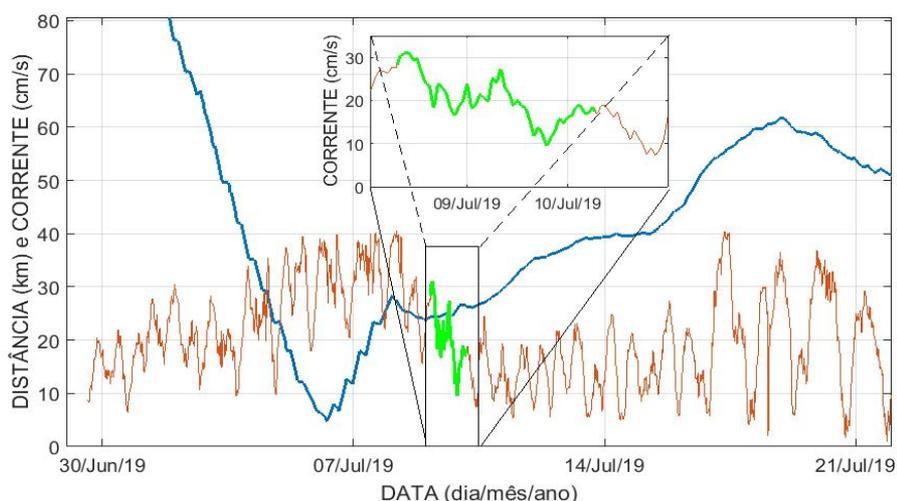


Figura III.3.2-3: Distância do glider na campanha C34 à posição da linha FA03 (azul) e intensidade de corrente medida na posição da linha, a 50 m de profundidade (vermelho). A parte destacada do gráfico corresponde ao período de um dia usado na comparação.

A detecção foi feita na faixa de frequência de 0 a 3 kHz, buscando vocalizações de misticetos, utilizando o programa PAMGuard. Para a LF03 foram utilizados os dados acústicos gravados na profundidade de 50 m. Outras profundidades e mesmas comparações com outras linhas deverão ser feitas posteriormente. Após a detecção, foi selecionado um trecho em que houve detecções tanto para o *glider* quanto para a LFI. A Figura III.3.2-4 apresenta o mapa de dados gerado pelo PAMGuard para as gravações do *glider* entre os dias 08 a 14 de julho de 2019. Os trechos com cores branco/azul/verde representam os trechos com gravação e as cores indicam possíveis detecções feitas pelo PAMGuard. Os trechos em verde correspondem a situações com grande número de detecções e são os pontos de interesse na seleção das vocalizações. Os trechos em cinza correspondem aos tempos em que o *glider* não estava gravando. A estratégia do *glider* nesta campanha foi de gravar em torno de três horas e então interromper a gravação por um período que variou entre duas e seis horas.

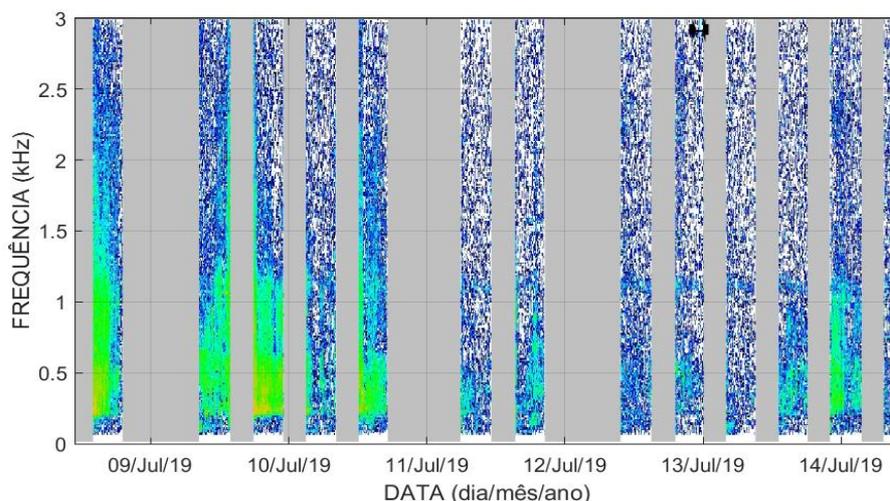


Figura III.3.2-4: Mapa de dados gerado pelo PAMGuard mostrando as detecções obtidas no trecho de cerca de seis dias para o glider, entre os dias 08 e 14 de julho de 2019.

A Figura III.3.2-5 apresenta o mapa de dados gerado pelo PAMGuard para as gravações da linha FA03 no mesmo período apresentado na Figura III.3.2-4. A estratégia de gravação para as LFIs foi diferente da realizada nos *gliders*, com gravações de um pouco mais de um minuto a cada 10 minutos.

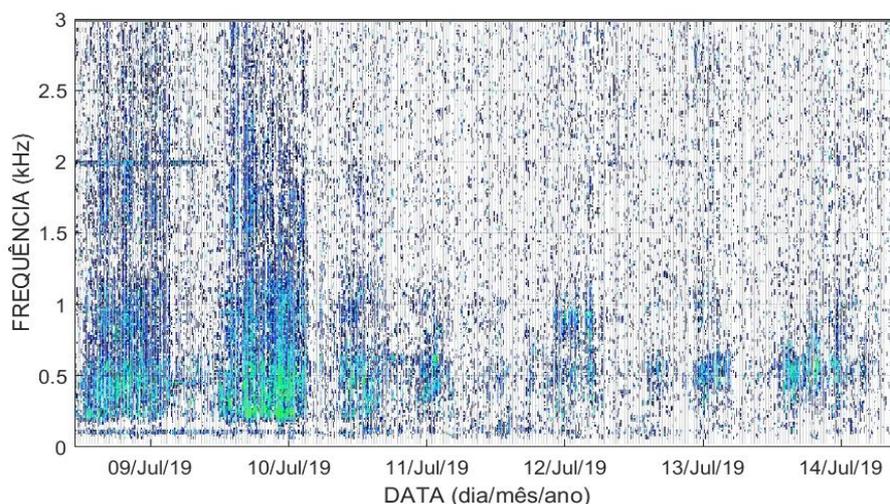


Figura III.3.2-5: Mapa de dados gerado pelo PAMGuard mostrando as detecções obtidas no trecho de cerca de seis dias para a LFI FA03, na profundidade de 50 m.

A Figura III.3.2-6 mostra o mapa de dados de um trecho de um dia para o *glider*, mostrando o trecho onde ocorreu muitas detecções.

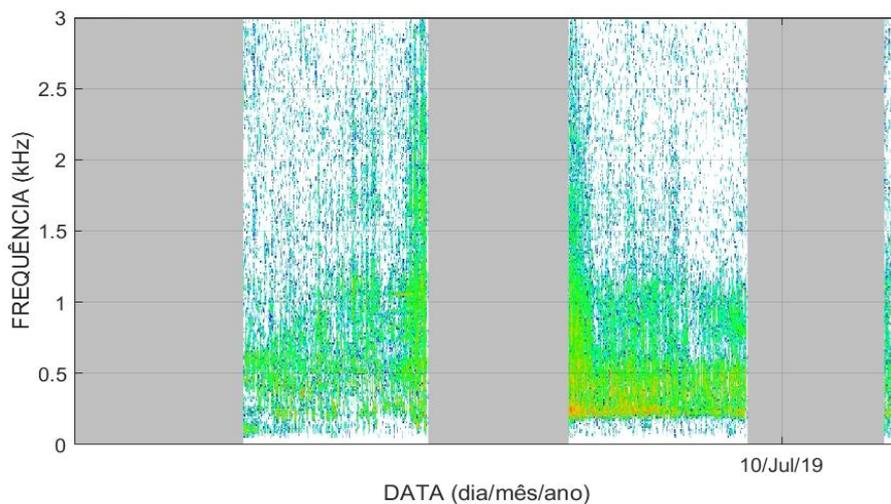


Figura III.3.2-6: Mapa de dados gerado pelo PAMGuard mostrando as detecções obtidas no trecho de cerca de um dia para o glider.

A Figura III.3.2-7 mostra o mapa de dados para o mesmo período para a LFI. Devido à distância entre os sistemas neste período, não é esperado que eles detectem os mesmos sinais e as análises feitas levam em consideração apenas qualitativamente o potencial de cada sistema. A primeira diferença importante observada está associada à programação da gravação nos equipamentos. O *glider* grava trechos contínuos de até três horas, ficando sem gravar por tempos que variam entre algumas poucas horas até mais de seis horas. Já a LFI grava trechos de 84 segundos a cada 10 minutos. A estratégia do *glider* permite analisar mais adequadamente um trecho de sinal, mas pode perder trechos importantes enquanto não está gravando. A LFI não permite uma análise tão detalhada de um trecho, podendo inclusive perder eventos de curta duração, mas permite mapear os sinais mais importantes, com duração maior, durante todo o tempo.



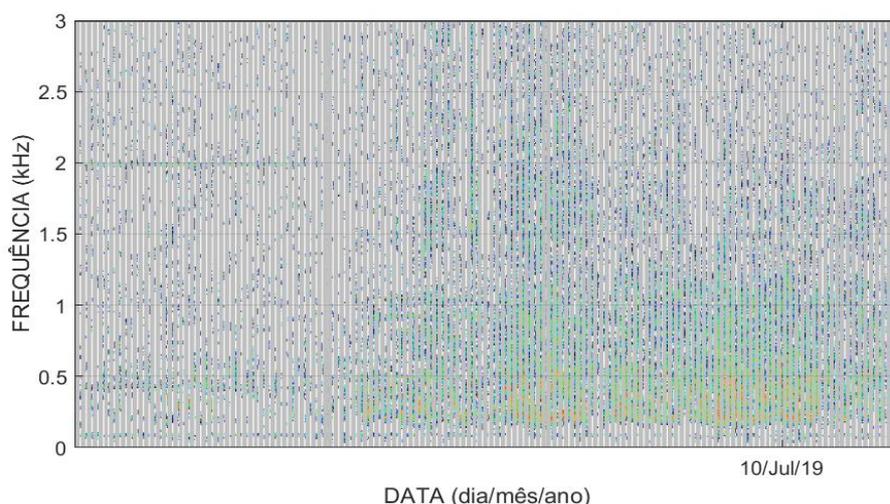


Figura III.3.2-7: Mapa de dados gerado pelo PAMGuard mostrando as detecções obtidas no trecho de cerca de um dia para a LFI FA03, na profundidade de 50 m.

A segunda diferença está relacionada à mobilidade dos sistemas. A LFI é fixada em uma posição específica, monitorando apenas aquela região. O *glider* se movimenta no meio, podendo percorrer grandes distâncias em trajetórias pré-programadas, sendo possível, mesmo, usar sua comunicação por satélite toda a vez que retorna à superfície para reprogramar esta trajetória em tempo quase real.

A terceira diferença tem a ver com a presença de ruídos que interfiram na detecção. Tanto no *glider* quanto nas LFIs aparecem ruídos do próprio sistema que interferem na detecção. Nos *gliders*, o acionamento de bombas e motores internos usados no controle da sua navegabilidade geram ruídos significativos no sinal gravado, embora estes ruídos sejam esporádicos e sua presença seja registrada. Nas LFIs, tem ocorrido a presença de ruídos causados pela própria linha devido à passagem da corrente oceânica por ela. Estes ruídos variam na forma como são gerados e na faixa de frequência em que ocorrem. Podem ser ruídos de batidas entre os componentes das linhas, rangidos, vibrações e outros. Eles aparecem predominantemente em baixa frequência, abaixo de 1 kHz, mas podem ocorrer até perto de 10 kHz. A Figura III.3.2-8 mostra um espectrograma criado pelo PAMGuard durante a detecção feita na gravação do *glider*, na faixa de frequência de 0 a 3 kHz. As linhas azuis correspondem a detecções que são, depois, usadas para criar os mapas de dados das detecções. Na Figura III.3.2-9



é apresentado o espectrograma criado para uma gravação da LFI, também na faixa de frequência de 0 a 3 kHz, mostrando um exemplo de ruído induzido na própria linha pela passagem da corrente oceânica. No caso apresentado, o ruído aparece como linhas verticais no espectrograma e dificultam ou mesmo impede a detecção de vocalizações na gravação.

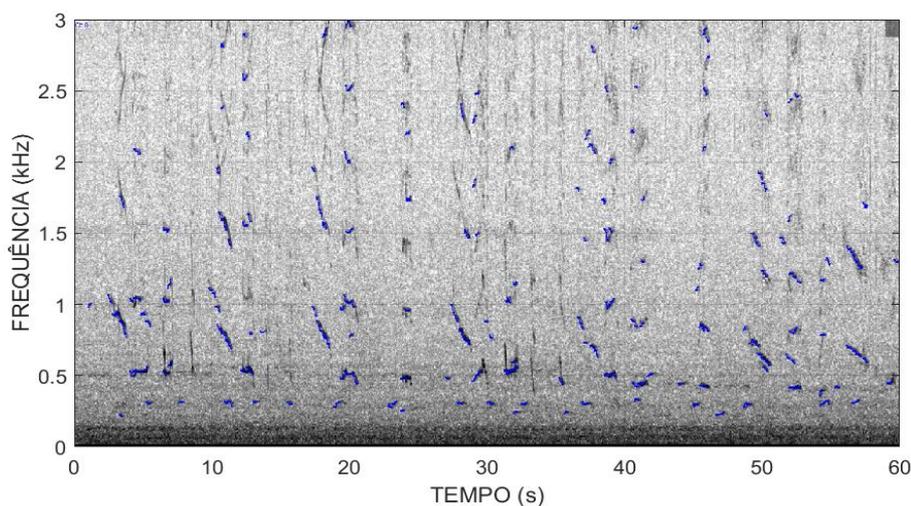


Figura III.3.2-8: Espectrograma com duração de 60 segundos gerado pelo PAMGuard durante o processo de detecção das vocalizações na faixa de baixa frequência para o glider.

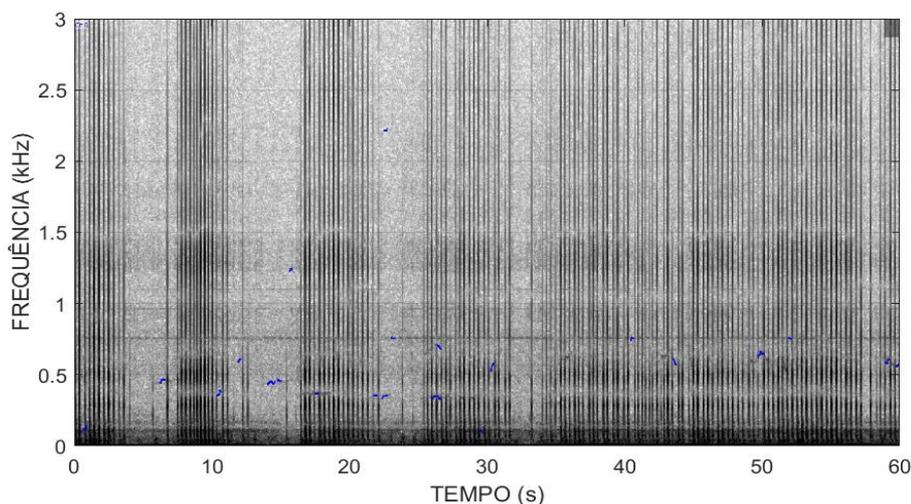


Figura III.3.2-9: Espectrograma com duração de 60 segundos gerado pelo PAMGuard durante o processo de detecção das vocalizações, na faixa de baixa frequência para a linha FA03.

Em resumo, os sinais gravados tanto pelos *gliders* quanto pelas LFI são adequados para a detecção de vocalização de cetáceos. Da forma como estão sendo usadas atualmente, haverá uma maior dificuldade na detecção usando as linhas de fundeio a 200 m e a 50 m quando a velocidade de corrente oceânica aumentar, devido ao aumento do ruído da própria linha.

III.3.3 Integração com o PMC-BS

Dentre os objetivos do PMPAS-BS, consta a transferência para o Projeto de Monitoramento de Cetáceos (PMC-BS) de registros de vocalização obtidos pelos seus sistemas de aquisição. Em reuniões realizadas entre as equipes de ambos os projetos, com a intermediação da PETROBRAS, foi definido um procedimento para esta transferência, que consta dos seguintes pontos principais:

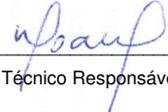
1. Os registros acústicos gravados por *gliders*, LFI e OS serão processados buscando detectar as vocalizações de cetáceos ali presentes;
2. Para cada trecho contendo detecções, serão recortadas amostras de sinal representativas das vocalizações encontradas, e estas amostras serão enviadas para o PMC-BS, junto com outras informações que permitam uma avaliação do potencial daquele trecho conter sinais de qualidade adequada para a inclusão na sonoteca do PMC-BS;
3. Após a análise das amostras e das outras informações enviadas, o PMC-BS solicita o envio de trechos completos de detecções para o processamento final e inclusão na sonoteca;
4. Para melhorar a eficiência na detecção das vocalizações feitas pelo PMPAS-BS, o PMC-BS irá enviar as vocalizações catalogadas na sonoteca e as informações que possibilitem ajustes nos detectores utilizados.

Foi definido que o foco principal deve ser na detecção e separação das vocalizações em baixas frequências, que são típicas em mysticetos, já que as gravações feitas pelo PMC-BS não são adequadas para a detecção destas vocalizações. Dessa forma, haverá uma complementariedade entre os projetos, o que será detalhado nos relatórios anuais do PMC-BS encaminhados ao




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

4º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2020

IBAMA. Além disso, as vocalizações de mysticetos são mais estereotipadas e permitem a identificação das espécies mesmo sem haver a sua visualização.

No processo de detecção desenvolvido no PMPAS-BS, já é feita a detecção e separação de sinais dos tipos “assobios” e “gemidos”, com bons resultados, sendo obtidos também, resultados razoáveis com a detecção de “grunhidos” e de “sons pulsados”. A detecção está sendo expandida para abranger os “cliques”.

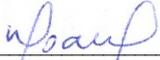
Até o momento, foram transferidas para o PMC-BS amostras recortadas de oito campanhas dos *gliders* (campanhas C01 a C03 e C05 a C09), cobrindo o período que vai de novembro de 2015 a janeiro de 2017. Também foram enviados os trechos completos com detecções solicitadas para a campanha C01.

Dos 187 mergulhos do *glider* na campanha C01 com gravação, 37 (19.8%) apresentaram detecções de possíveis sons biológicos, totalizando 18,8 horas de sinal. Estes dados já foram analisados pela equipe do PMC-BS, sendo constatada a viabilidade de processamento e formatação dos dados enviados pelo PMPAS-BS nas bases da sonoteca do PMCBS. Desta forma, o PMPAS-BS poderá contribuir para o conhecimento da diversidade de cetáceos na Bacia de Santos, por meio de registros acústicos na Bacia de Santos, e, em consequência, poderá contribuir de forma complementar ao diagnóstico da ocorrência das espécies desenvolvido pelo PMC-BS, sobretudo em relação aos mysticetos que são sub registrados pela técnica de Monitoramento Acústico Passivo – MAP empregada no PMC-BS.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

4º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2020

IV SISTEMA DE MODELAGEM ACÚSTICA SUBMARINA - SIMAS

O Sistema de Modelagem Acústica Submarina – SIMAS – é uma ferramenta para a previsão da paisagem acústica submarina que utiliza um modelo de propagação acústica baseado em modos normais, tendo como entrada os dados do sistema de identificação automática de navios (AIS), assinatura acústica dos navios, dados oceanográficos e geofísicos. O objetivo é o desenvolvimento e implementação de um modelo computacional de ruído oceânico em um domínio tridimensional para a Bacia de Santos, mas que pode ser empregada nas principais bacias sedimentares marítimas brasileiras (Bacias de Santos, Campos e Espírito Santo). Este sistema está sendo ajustado e validado com dados acústicos obtidos em campo, e tem por objetivo auxiliar no acompanhamento do ruído na região e apoio no gerenciamento das estratégias que visem o controle deste ruído. Um bom funcionamento do modelo pode reduzir a necessidade de medições contínuas de longo prazo.

Os documentos “*Monitoring Guidance for Underwater Noise in European Seas*”, partes II e III (Dekeling *et al.*, 2013, 2014b), fornecem orientações importantes sobre o desenvolvimento, implementação, validação e calibração de modelos de ruído oceânico, citando inclusive exemplos de modelos desenvolvidos em águas territoriais de diversos países.

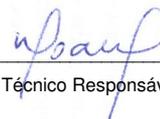
A região oceânica objeto deste desenvolvimento inicial do modelo computacional de ruído oceânico está compreendida entre as latitudes 20° S e 30° S, e longitude 39° W e a linha de costa sul-sudeste brasileira. O SIMAS tem a capacidade de simular a propagação de fontes acústicas antrópicas, tais como ruído irradiado por navios e plataformas de petróleo, assim como de fontes ambientais (ruído gerado pela ação de ventos e ondas de superfície). O efeito aditivo destes diversos fatores é levado em consideração, como forma de gerar o campo mais fidedigno possível do ruído no interior do oceano.

Os produtos do SIMAS são mapas do ruído oceânico (1/6°x1/6°) produzidos por fontes antrópicas (navios, plataformas, etc.) e ambientais (ondas, ventos) nas faixas de 63 Hz e 125 Hz das bandas de 1/3 de oitava com caracterização do ruído SPL (dB re 1 μPa^2) por mês, nas estações do ano: Verão




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

4º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2020

(Janeiro, Fevereiro, Março), Outono (Abril, Maio, Junho), Inverno (Julho, Agosto, Setembro) e Primavera (Outubro, Novembro, Dezembro) e anualmente. A resolução de 1/6° vem sendo adotada como referência para representação e análise espacial de resultados gerados pelos projetos ambientais regionais desenvolvidos pela PETROBRAS na Bacia de Santos, para os quais se busca uma integração de produtos e resultados.

IV.1 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

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

IV.2 VALIDAÇÃO

Para avaliação dos resultados obtidos pelo SIMAS, seus dados foram comparados com os dados medidos nos meses de janeiro e julho de 2016, levando em conta que estes são meses representativos do verão e do inverno, onde pode-se esperar maiores variações nas condições de ruído no meio. Para um melhor casamento dos dados modelados com os dados medidos, foram selecionados apenas os dados calculados pelo modelo no local mais próximo de onde houve uma medição, respeitando a resolução espacial de 1/6 de grau dos mapas gerados pelo modelo. A Figura IV.2-1 mostra um mapa com os dados medidos nos meses de janeiro e julho de 2016 e para todo o ano de 2016, na frequência de 63 Hz. A Figura IV.2-2 mostra a mesma representação para a frequência de 125 Hz.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

4º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2020

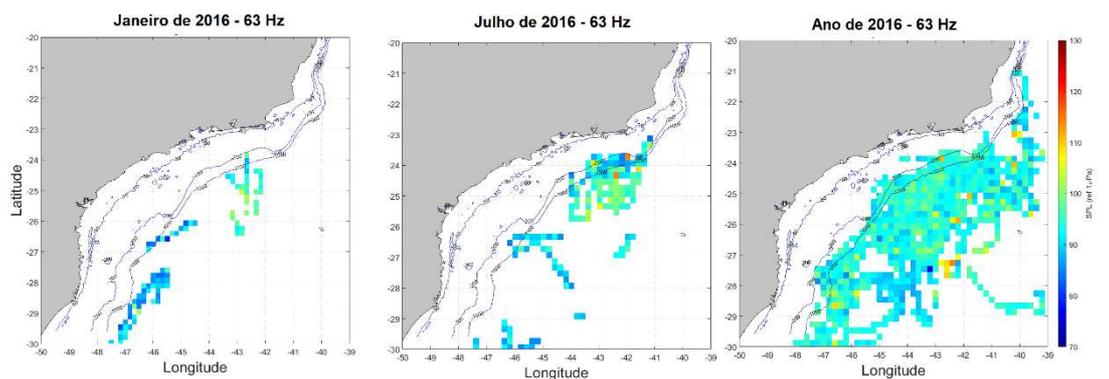


Figura IV.2-1: Mapa de ruído médio medido no ano de 2016, nos meses de janeiro (à esquerda), julho (no centro) e em todo o ano (à direita) para a frequência de 63 Hz na faixa de profundidade de 0 a 100 m.

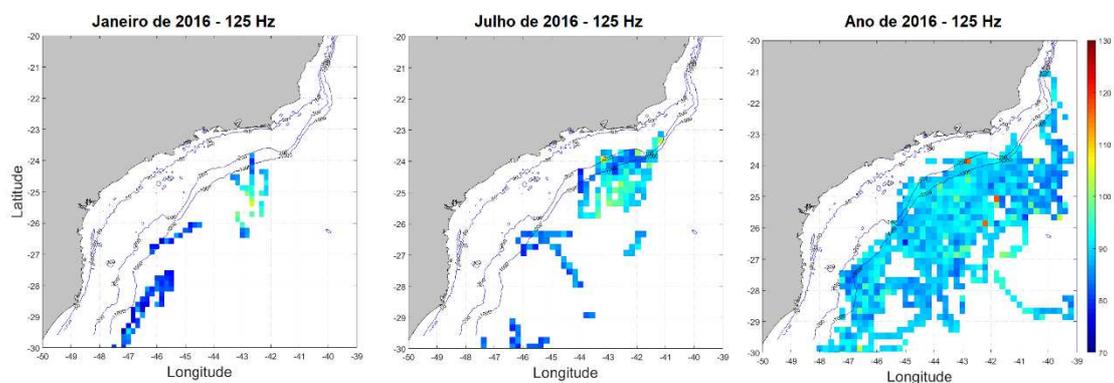


Figura IV.2-2: Mapa de ruído médio modelado no ano de 2016, nos meses de janeiro (à esquerda), julho (no centro) e em todo o ano (à direita) para a frequência de 125 Hz e faixa de profundidade de 0 a 100 m.

A Figura IV.2-3 mostra o mapa de ruído modelado médio para o mês de janeiro de 2016, na frequência de 63 Hz, do qual foram mostrados apenas os níveis de ruído correspondentes aos dados medidos em janeiro de 2016 (gráfico do centro).

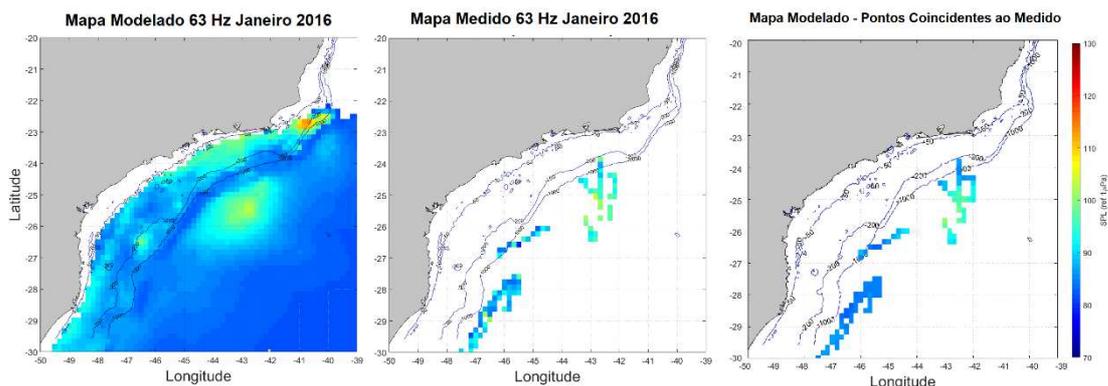


Figura IV.2-3: Mapa de ruído médio modelado para julho de 2016 na frequência de 63 Hz (à esquerda) e regiões que coincidem com aquelas dos dados medidos para a frequência de 63 Hz (no centro) e 125 Hz (à direita).

Os dados selecionados foram usados para calcular a diferença entre os níveis medidos e modelados em cada posição, sendo computados o erro médio quadrático (*root mean square error* - RMSE) e o erro de tendência (BIAS). Os dados foram organizados sequencialmente, a partir do ponto mais ao sul e a oeste e prosseguindo de oeste para leste e de sul para norte, para facilitar a visualização das diferenças entre os dados. Foi aplicada uma média móvel de cinco amostras para reduzir a variância dos dados e permitir observar as diferenças existentes.

A Figura IV.2-4 mostra os dados obtidos para o mês de janeiro de 2016 na frequência de 63 Hz e 125 Hz. O SPL para o dado medido para a frequência de 63 Hz (125 Hz, em parênteses) teve um mínimo de 79,3 dB re $1\mu\text{Pa}^2$ (71,3 dB re $1\mu\text{Pa}^2$) e um máximo de 104,3 dB re $1\mu\text{Pa}^2$ (105,4 dB re $1\mu\text{Pa}^2$), com uma média de 91,2 +/- 5,3 dB re $1\mu\text{Pa}^2$ (88,1 +/- 6,9 dB re $1\mu\text{Pa}^2$). Para o dado modelado, o SPL mínimo para a frequência de 63 Hz (125 Hz) foi de 82,6 dB re $1\mu\text{Pa}^2$ (85,0 dB re $1\mu\text{Pa}^2$) e um máximo de 100,7 dB re $1\mu\text{Pa}^2$ (103,2 dB re $1\mu\text{Pa}^2$), com uma média de 90,7 +/- 4,6 dB re $1\mu\text{Pa}^2$ (87,6 dB re $1\mu\text{Pa}^2$). O RMSE foi de 4,4 dB (4,6 dB) e o BIAS foi de -0,82 dB (-3,2 dB).

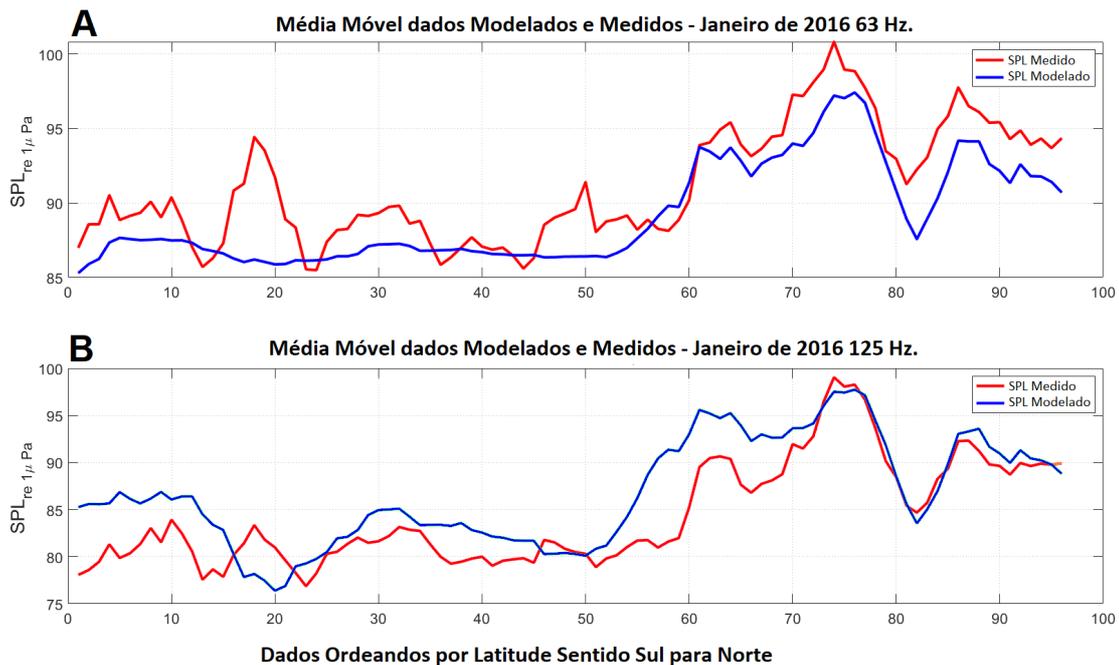


Figura IV.2-4: Comparação dos dados medidos e modelados para o mês de janeiro de 2016 nas frequências de 63 Hz em (A) e de 125 Hz em (B).

A Figura IV.2-5 mostra as curvas obtidas para a média móvel de cinco amostras dos dados medidos e modelados de julho de 2016, ordenados da mesma forma que foi feito para janeiro de 2016. Para a frequência de 63 Hz (125 Hz) o valor mínimo observado para o dado medido foi de 83,6 dB re 1 μPa^2 (77,5 dB re 1 μPa^2) e o valor máximo foi de 114,7 dB re 1 μPa^2 (108,7 dB re 1 μPa^2), com uma média de 99,3 +/- 6,4 dB re 1 μPa^2 (88,9 +/- 5,4 dB re 1 μPa^2). Para o dado modelado o SPL mínimo foi de 82,3 dB re 1 μPa^2 (85,0 dB re 1 μPa^2), o valor máximo foi de 102,1 dB re 1 μPa^2 (106,1 dB re 1 μPa^2), com uma média de 93,2 +/- 4,3 dB re 1 μPa^2 (87,6 +/- 4,5 dB re 1 μPa^2). O RMSE foi de 5,1 dB (6,7 dB) e o BIAS foi de -0,19 dB (-0,56 dB).

Para o dados acumulados no ano de 2016, o SPL medido para a frequência de 63 Hz (125 Hz) teve um valor mínimo de 71,9 dB re 1 μPa^2 (78,2 dB re 1 μPa^2) e um máximo de 121,7 dB re 1 μPa^2 (123,7 dB re 1 μPa^2) e uma média de 93,8 +/- 4,1 dB re 1 μPa^2 (90,2 +/- 4,1 dB re 1 μPa^2). O SPL modelado teve um valor mínimo de 81,9 dB re 1 μPa^2 (85,0 dB re 1 μPa^2) e um máximo de 114,7 dB re 1 μPa^2 (105,3 dB re 1 μPa^2), com uma média de 93,0 +/- 3,1 dB re 1 μPa^2 (87,0 +/- 4,2 dB re 1 μPa^2). O RMSE foi de 4,9 dB (6,7 dB) e o BIAS foi de -0,82 dB (-3,21 dB).

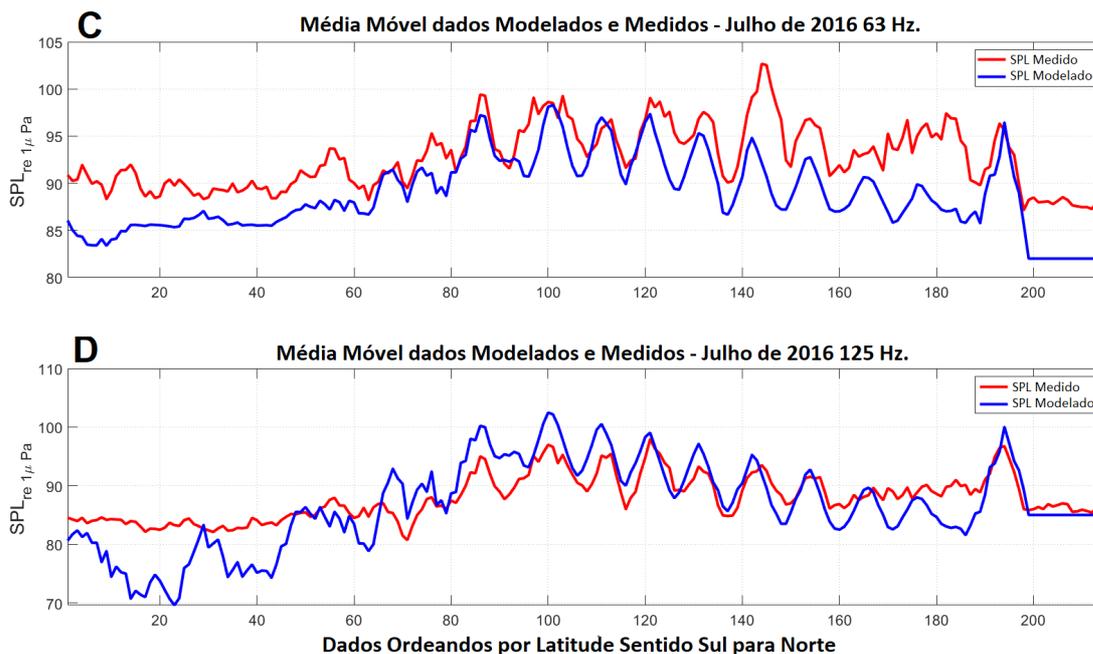


Figura IV.2-5: Comparação dos dados medidos e modelados para o mês de julho de 2016 nas frequências de 63 Hz em (C) e de 125 Hz em (D).

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. As comparações dos dados simulados com dados acústicos obtidos em campo permitiram calibrar e validar os resultados do modelo. Esta estratégia torna possível o ajuste de parâmetros acústicos usados no modelo, visando uma precisão cada vez maior dos resultados.

A medição do erro do modelo usando o parâmetro RMSE mostrou uma variação média em torno de 5 dB em ambas as frequências, enquanto o parâmetro BIAS apresentou valores negativos de até -3 dB. Estes valores mostram que ainda há ajustes a serem feitos no modelo e nos parâmetros de entrada do sistema, mas os resultados obtidos já são adequados para o acompanhamento da evolução dos ruídos. As diferenças encontradas são esperadas nesta fase do desenvolvimento e a tendência é que elas diminuam à medida que os ajustes sejam feitos. Outros modelos também apresentam estes erros, como pode ser visto em Farcas *et al.* (2020), onde o erro médio na frequência de 63 Hz foi de 5,3 dB.



IV.3 RESULTADOS OBTIDOS

O SIMAS permite a criação de mapas de ruído para a Bacia de Santos, usando como entrada dados do sistema de identificação automática de navios (AIS), assinatura acústica dos navios, dados oceanográficos e geofísicos. A Figura IV.3-1 mostra a posição das fontes no dia 31/01/2016 às 06:00h (esquerda), obtida através do AIS e os respectivos mapas do nível de ruído instantâneo para a banda de 1/3 de oitava nas frequências de 63 Hz (centro) e 125 Hz (direita), a 50 m de profundidade. Existe uma correspondência razoável entre as concentrações das fontes e os maiores níveis de ruído nos mapas.

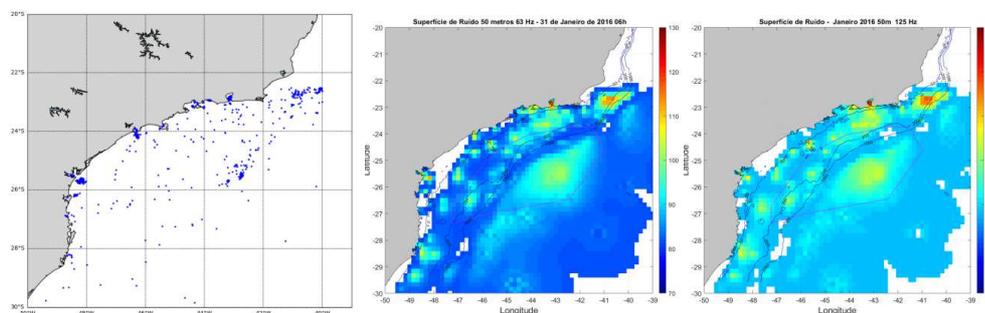


Figura IV.3-1: Posição AIS das fontes no dia 31/01/2016 às 06:00h (esquerda) e respectivos mapas do nível de ruído para a banda de 1/3 de oitava nas frequências de 63 Hz (centro) e 125 Hz (direita), a 50 m de profundidade.

A Figura IV.3-2 mostra um mapa da média do nível de ruído acumulado para a banda de 1/3 de oitava com frequência central de 63 Hz, a 50 m de profundidade para os anos de 2016, 2017 e 2018. Nestes mapas, é possível ver áreas com níveis mais elevados de ruído próximo à costa, devido ao tráfego de embarcações e mais distante da costa, na região onde se concentram as atividades de E&P da PETROBRAS.

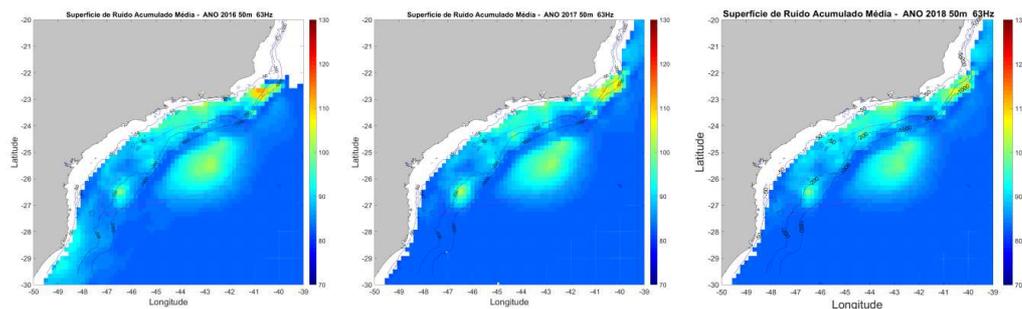


Figura IV.3-2: Mapa da média do nível de ruído acumulado para a banda de 1/3 de oitava na frequência central de 63 Hz, a 50 m, para os anos de 2016, 2017 e 2018.

A Figura IV.3-3 mostra um mapa da média do nível de ruído acumulado para a banda de 1/3 de oitava com frequência central de 125 Hz, a 1.000 m de profundidade para os anos de 2016, 2017 e 2018. Nestes mapas, é interessante ver a área de ruído no canto superior direito do mapa, e que não aparece na profundidade de 50 m, podendo ser causado por sons produzidos mais distante da região, mas que podem estar se propagando pelo canal sonoro profundo.

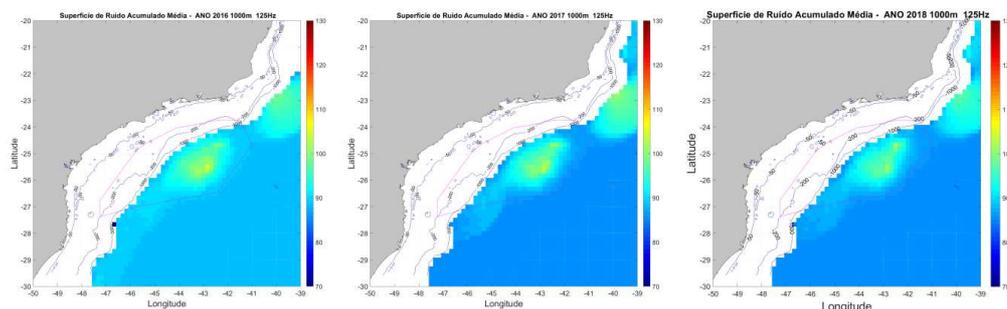


Figura IV.3-3: Mapa da média do nível de ruído acumulado para a banda de 1/3 de oitava com frequência central de 125 Hz, a 1.000 m de profundidade para os anos de 2016, 2017 e 2018.

A Figura III.3.3-4 mostra um mapa da média do nível de ruído acumulado do inverno para a banda de 1/3 de oitava com frequência central de 125Hz, a 200m de profundidade para os anos de 2016, 2017 e 2018. Estes mapas se assemelham aos mapas da Figura IV.3-2, para a profundidade de 50 m, não aparecendo a elevação de energia no canto superior direito vista nos mapas da Figura IV.3-3.

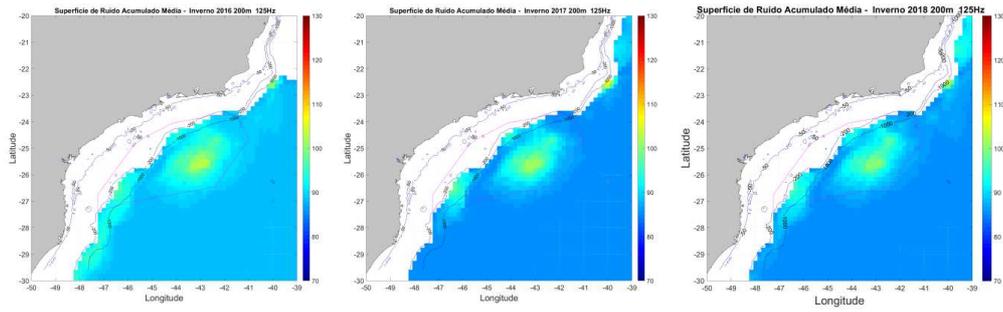
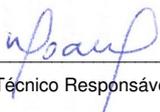


Figura III.3.3-4: Mapa da média do nível de ruído acumulado do inverno para a banda de 1/3 de oitava com frequência central de 125 Hz, a 200 m de profundidade para os anos de 2016, 2017 e 2018.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

4º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2020

V CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este relatório apresenta os resultados obtidos pelo projeto PMPAS-BS no período de novembro de 2015 a dezembro de 2019. Neste período, foram realizadas 16 campanhas de lançamento de perfiladores, com um total de 160 perfiladores lançados, 38 campanhas de lançamento e recolhimento de *gliders*; quatro campanhas de lançamento de LFIs, com seis linhas com gravação acústica; e 66 campanhas de lançamento e recolhimento de OSs. Foram gerados 2.227.957 arquivos de dados acústicos, correspondendo a 88.339,4 horas de gravação para os *gliders*, OSs e LFIs. Neste mesmo período, os perfiladores realizaram 37.652 mergulhos com um total de 164.900 janelas gravadas.

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 e R3, mostrando a região R3 mais ruidosa, seguida pela região R2 e, por último, a região R1. São comparados, também, os níveis de ruído em uma linha cruzando a Bacia de Santos, passando por trechos com menores níveis de ruído até trechos onde os níveis de ruído são altos. Foram encontradas diferenças de mais de 10 dB entre os trechos mais silenciosos e os mais ruidosos, dependendo da faixa de frequência analisada.

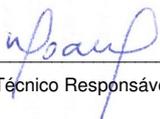
Os níveis de ruído da Bacia de Santos foram comparados com níveis de ruído obtidos em medições no Golfo do México (Haver *et al.*, 2018) e no Reino Unido (Merchant *et al.*, 2016). Os níveis obtidos na Bacia de Santos foram menores do que aqueles do Golfo do México e similares aos obtidos no Reino Unido.

A evolução dos níveis de ruído nos quatro anos de medição (2016 a 2019) 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 duas profundidades em até 2




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

4º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2020

dB, talvez devido à propagação de ruídos de baixa frequência pelo canal sonoro profundo (Canal SOFAR).

Foi feito um estudo piloto para avaliar a utilização de *gliders* para o monitoramento do ruído produzido por arranjos de canhões de ar em campanhas de prospecção sísmica. Os resultados obtidos mostraram que os *gliders* são uma boa opção para este tipo de levantamento, associando sua mobilidade com sua capacidade de gravação de sinais.

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, junto com a apresentação dos resultados da evolução temporal dos sinais gravados para as seis linhas (FA-01 a FA-06) em quatro ciclos de lançamento e recolhimento.

Os níveis de pressão sonora (SPL) obtidos pelo processamento dos dados acústicos mostraram uma forte sensibilidade ao fluxo de correntes marinhas. Ficou também evidente que existem problemas de vibração na linha de fundeio, que podem estar sendo causados pelo efeito do perfil de correntes marinhas sobre toda a extensão da linha, causando vibração localizada de seus componentes (conexões etc.) que geram ruídos captados pelos hidrofones. A utilização de um limiar da corrente para filtrar os dados gravados rejeitou uma grande quantidade de dados, restando para análise apenas 9% dos dados na profundidade de 50 m e 19% na profundidade de 200 m. Na profundidade de 950 m o resultado foi melhor, com 61,8% dos dados sendo aproveitados.

A comparação dos níveis de ruídos entre as linhas mostrou as linhas FA01 e FA02, instaladas em regiões com maior atividade de E&P, mais ruidosas do que as outras linhas. A linha FA03, instalada em uma região que foi considerada na época do planejamento como tendo pouca atividade de tráfego de embarcações e de atividades de E&P, se mostrou mais ruidosa do que as linhas FA04, FA05 e FA06.

As comparações entre as linhas nos anos de 2017 a 2019 mostraram um aumento na linha FA02 de até 4 dB nas frequências mais baixas e até 5 dB nas frequências maiores. Na linha FA03 observou-se um aumento de 3 dB na




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

4º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2020

frequência de 63 Hz. Nas outras linhas, a variação do ruído entre os anos foi pequena. As comparações entre as diferentes profundidades não mostraram nenhuma profundidade com aumento significativo e consistente nas linhas.

Foram calculados os SEL_{24h_LF} e SEL_{24h_MF} para cada linha. Suas distribuições ficaram abaixo do valor limiar do TTS, definido em Finneran (2016), exceto alguns valores extremos que podem ter sido causados pela passagem de embarcações próximo às linhas ou pelo ruído da própria linha induzido pela passagem da corrente oceânica, mesmo após a filtragem dos dados usando o limiar de 13 cm/s para a corrente oceânica.

Uma comparação entre os dados medidos pelas LFIs com aqueles obtidos por *gliders* e perfiladores mostraram que os sistemas chegaram a resultados próximos, permitindo que as medições destes sistemas possam ser usadas conjuntamente.

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, assim como a detecção de navios.

Nos três OSs, destacaram-se a contribuição para o ruído medido o ruído da passagem de embarcações e o ruído associado, provavelmente, a coros de peixes que ocorrem em horários específicos. Na Baía de Guanabara aparece um ruído de baixa frequência que parece estar associado a correntes associadas à maré. No Canal de São Sebastião este ruído também é observado, mas com uma intensidade bem menor e na Baía de Ilha Grande ele não aparece.

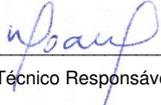
A Baía de Guanabara apresentou um número mais elevado de navios em relação à Baía de Ilha Grande e ao Canal de São Sebastião. Foram detectados ruídos de navios a serviço da PETROBRAS e de outras empresas, incluindo tráfego marítimo de lazer e turismo.

Uma contribuição dos sinais gravados nos OSs é a identificação do nível de ruído na fonte (**SL** = *Source Level*) de navios que serão modelados quando




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

4º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2020

estiverem em trânsito na Bacia de Santos, conforme Capítulo IV do presente relatório.

A comparação entre os níveis de ruído entre os três OSs mostrou o OS1 mais ruidoso, seguido do OS2 e por último o OS3. Na frequência de 500 Hz, no entanto, o OS2 é mais ruidoso do que o OS1, sendo que a causa provável é o ruído provocado pelo coro de peixes que no OS2 aparece em torno da faixa de frequência de 500 Hz, enquanto no OS1 ele aparece abaixo da frequência de 200 Hz.

Na comparação dos ruídos ao longo dos anos, as variações observadas mostram uma diminuição do nível de ruído na faixa de frequência de 63 Hz e 125 Hz para os três OSs. Nas frequências mais altas, não é possível afirmar que haja um aumento ou redução ao longo do tempo.

V.4 BIOFONIA

As medições realizadas com *gliders* como parte do monitoramento móvel foram usadas para a detecção de vocalizações de cetáceos, como apresentado na Seção III.3, por um período de dois anos e meio. Foram detectadas vocalizações de baixa frequência (LF), associadas provavelmente a misticetos e de média frequência (MF), associadas provavelmente a odontocetos. A maior parte da detecção ocorreu no período de junho a janeiro.

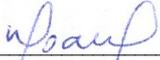
Também foram detectadas vocalizações utilizando gravações de uma LFI, para comparação com os dados dos *gliders*. Embora não tenha sido possível uma comparação quantitativa entre os sistemas, devido à distância entre eles no momento da análise (> 22 km), uma análise qualitativa mostrou que o *glider* permite uma análise mais completa de um trecho grande de sinal, de até três horas, mas pode ficar até mais de seis horas sem gravar. Já a LFI não permite uma análise contínua do sinal, devido a seu esquema de gravação em que é gravado um minuto de sinal a cada dez minutos, mas é possível estimar continuamente a quantidade de vocalizações.

O fato de o *glider* estar derivando com as correntes marinhas, à medida que realiza seu mergulho, atenua o efeito do ruído hidrodinâmico sobre o hidrofone, pois a velocidade relativa entre o fluido e o equipamento torna-se




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

4º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2020

menor. A adoção de velocidades de descida da ordem de 10 cm/s ou menores foi feita exatamente para atenuar ao máximo este ruído hidrodinâmico. Desta forma, torna-se mais fácil gravar e detectar ruídos de fontes biológicas, pois o sinal acústico de fundo não está contaminado pelo forte ruído de origem hidrodinâmica como ocorreu nas linhas de fundeio instrumentadas (LFIs).

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

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

V.5 **MODELAGEM DO RUÍDO ACÚSTICO NA BACIA DE SANTOS**

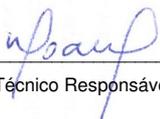
Os resultados obtidos com o desenvolvimento das ferramentas computacionais para modelagem do ruído acústico na região da Bacia de Santos e adjacências foram apresentados no Capítulo IV e são muito promissores. Estes modelos permitem a avaliação espacial e temporal do ruído ocasionado por diversas fontes 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*), já está em andamento e irá permitir uma avaliação da distribuição de




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

4º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2020

ruído na Bacia de Santos, permitindo o uso integrado de modelagem e medições para otimização futura do projeto PMPAS-BS.

V.6 PAISAGEM ACÚSTICA

O conjunto de dados coletados no âmbito do PMPAS-BS no período de 2015 a 2019 na sua vertente móvel e fixa nos revela uma visão espacial e temporal da paisagem acústica submarina da Bacia de Santos. A caracterização de três regiões com distintos níveis de atividades de E&P e navegação (R1, R2 e R3), em termos do nível de intensidade sonora (SPL), mostra que há um incremento de ruído em torno de 10 dB para as faixas de 63 e 125 Hz nas regiões R1 e R2, onde se concentram a maior parte das atividades da PETROBRAS e também a maior parte das medições acústicas. Mesmo com uma quantidade de dados muito inferior ao usado no presente relatório, esta tendência já vinha sendo apontada em análises estatísticas realizadas e apresentadas em outros relatórios técnicos desde o início do projeto.

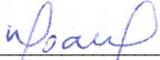
Em relação à distribuição do ruído na coluna d'água, os resultados mostraram que o ruído junto ao canal SONAR é um pouco mais elevado do que nas mais próximo à superfície em todas as regiões analisadas. A diferença é pequena, dando indícios de que o monitoramento em uma única faixa de profundidade intermediária, 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 2019 observou-se na linha FA02 um aumento de até 4 dB nas frequências de 63 Hz e 125 Hz e até 5 dB nas frequências de 500 Hz e 1.000 Hz, enquanto na linha FA03 ocorreu um aumento de 3 dB em 63 Hz. Nas outras linhas e frequências as variações de níveis entre os anos foi pequena ou não existiu. Apesar dos aumentos observados, os SEL_{24h_LF} e SEL_{24h_MF} obtidos nas LFI's estão ainda bem abaixo do valor de TTS indicado por Finneran (2016)




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

4º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2020

para os cetáceos dos grupos de baixa frequência (LF) e de média frequência (MF).

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.

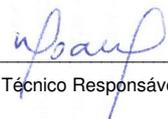
Ainda que haja um incremento do ruído, os valores medidos nas três áreas da Bacia de Santos são inferiores ao que se verifica em outras regiões do mundo em que há atividade de E&P como, por exemplo, no Golfo do México. Isto mostra que o nível de atividade e de desenvolvimento da indústria na Bacia de Santos está em um estágio inferior ao do Golfo do México.

Não obstante ser uma região acusticamente mais impactada, quando se compara a densidade amostral empregada em iniciativas de monitoramento da paisagem acústica submarina no Golfo do México, como relatado em Haver et al. (2018), com o PMPAS-BS, verifica-se que a densidade de fundeios acústicos é 36 vezes menor do que o que vem sendo empregado na Bacia de Santos. Além disso, as linhas possuem uma configuração bem mais simples do que a que vem sendo adotada aqui, com apenas um sensor na profundidade do canal SOFAR e com uma faixa dinâmica mais restrita. E, além do grande esforço amostral fixo, o PMPAS-BS ainda conta com todo o conjunto de dados de perfiladores e *gliders* acústicos.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

4º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2020

Tabela V.6-1: Comparativo do esforço amostral empregado no monitoramento fixo para monitoramento da paisagem acústica em diferentes regiões com o PMPAS-BS.

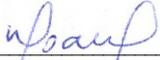
Região	Nº de fundeios	Área (km ²)	Densidade (km ² /fundeios)	Estudo
Pacífico profundo	3	44.327.425	14.775.808,33	
Costa oeste dos EUA	3	3.846.856	1.282.285,33	Haver <i>et al</i>
Costa leste dos EUA	4	7.592.479	1.898.119,75	(2018)
Golfo do México	1	1.645.037	1.645.037,00	
Bacia de Santos	6	276.326	46.054,33	PMPAS-BS

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 2019 (04 anos de dados acústicos medidos) já representam uma base robusta para definição dos principais aspectos da paisagem acústica submarina da Bacia de Santos, conforme gráficos e tabelas apresentados nos capítulos anteriores, e fornecem 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.). No futuro, com o aprimoramento e validação do modelo regional de propagação acústica SIMAS, a contribuição dos diversos atores poderá ser gradualmente avaliada.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

4º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2020

VI REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANSI (2004) *ANSI S1.11-2004 - Specification for octave-band and fractional-octave-band analog and digital filters.*

Bittencourt, L. *et al.* (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*. Elsevier Ltd, 142(October), pp. 58–68. doi: 10.1016/j.dsr.2018.10.006.

Campbell, D. (2018) *Estudo da paisagem acústica submarina na região do Arraial do Cabo, Rio de Janeiro, Brasil*. Universidade Federal Fluminense.

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

Colladon, J. D. and Sturm, J. K. E. (1827) 'Speed of sound in liquids', in *The compression of liquids (in French)*, pp. 236–257.

Dekeling, R. P. A. *et al.* (2013) 'Monitoring Guidance for Underwater Noise in European Seas. Part II - Monitoring guidance specification', *Jrc Scientific and Policy Reports*, (November), p. 47. doi: 10.2788/29293.

Dekeling, R. P. A. *et al.* (2014a) *Monitoring Guidance for Underwater Noise in European Seas. Part I: Executive Summary*. doi: 10.1111/j.1755-148X.2008.00479.x.

Dekeling, R. P. A. *et al.* (2014b) *Monitoring guidance for underwater noise in European seas - Part III - Background Information and Annexes*. doi: 10.2788/2808.

Erbe, C. *et al.* (2015) 'The marine soundscape of the Perth Canyon', *Progress in Oceanography*, 137(June), pp. 38–51. doi: 10.1016/j.pocean.2015.05.015.

Erbe, C. *et al.* (2016) 'The underwater soundscape around Australia', *2nd Australasian Acoustical Societies Conference, ACOUSTICS 2016*, 1(November),



pp. 8–17.

Farcas, A. *et al.* (2020) 'Validated shipping noise maps of the Northeast Atlantic', *Science of the Total Environment*. The Authors, 735(May), p. 139509. doi: 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. Available at: <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/1026445.pdf>.

Frouin-Mouy, H. *et al.* (2016) *Northeastern Chukchi Sea joint acoustic monitoring program 2014 – 2015*.

Gedamke, J. *et al.* (2016) *Ocean Noise Strategy Roadmap*, Noaa. Available at: <http://cetsound.noaa.gov/ons>.

Harris, S. A. and Radford, C. A. (2014) 'Marine Soundscape Ecology', pp. 1–9.

Haver, S. M. *et al.* (2018) 'Monitoring long-term soundscape trends in U.S. Waters: The NOAA/NPS Ocean Noise Reference Station Network', *Marine Policy*. Elsevier Ltd, 90(February), pp. 6–13. doi: 10.1016/j.marpol.2018.01.023.

Haver, S. M. *et al.* (2019) 'Comparing the underwater soundscapes of four U.S. National Parks and marine sanctuaries', *Frontiers in Marine Science*, 6(JUL), pp. 1–14. doi: 10.3389/fmars.2019.00500.

Hildebrand, J. (2009) 'Anthropogenic and natural sources of ambient noise in the ocean', *Marine Ecology Progress Series*, 395, pp. 5–20. doi: 10.3354/meps08353.

IPqM (2019) *Relatório Técnico PMPAS-BS - Nov/2015 a Dez/2018*. Rio de Janeiro.

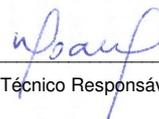
Jensen, F. B. *et al.* (2011) *Computational Ocean Acoustics*, *NASPA Journal*. New York, NY: Springer New York. Available at: <http://link.springer.com/10.1007/978-1-4419-8678-8>.

Klinck, H. *et al.* (2012) 'Near-real-time acoustic monitoring of beaked whales and




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

4º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2020

other cetaceans using a Seaglider™, *PLoS ONE*, 7(5), pp. 1–8. doi: 10.1371/journal.pone.0036128.

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

Medwin, H. and Clay, C. S. (1998) *Fundamentals of acoustics oceanography, The Journal of the Acoustical Society of America*. San Diego: Academic Press.

Merchant, N. D. *et al.* (2016) '2-Underwater noise levels in UK waters', *Scientific Reports*. Nature Publishing Group, 6(1), p. 36942. doi: 10.1038/srep36942.

Moreira, J. L. P. *et al.* (2007) 'Bacia de Santos', *Boletim de Geociencias da Petrobras*, pp. 531–549.

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*.

Pijanowski, B. C. *et al.* (2011) 'Soundscape ecology: The science of sound in the landscape', *BioScience*, 61(3), pp. 203–216. doi: 10.1525/bio.2011.61.3.6.

Ross, D. (1976) *Mechanics of underwater noise*. Pergamon Press.

Schafer, R. M. (1977) *The soundscape: our sonic environment and the tuning of the world*.

Southworth, M. (1969) 'The Sonic Environment of Cities', *Environment and Behavior*, 1(1), pp. 49–70. doi: 10.1177/001391656900100104.

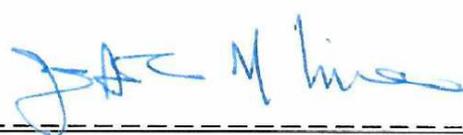
Strasberg, M. and Taylor, D. W. (1979) 'Nonacoustic noise interference in measurements of infrasonic ambient noise.', *Journal of the Acoustical Society of America*, 66(5), pp. 1487–1493. doi: 10.1121/1.383543.

Urlick, R. J. (1983) *Principles of Underwater Sound*. 3rd edn. Edited by D. Heiberg and J. Davis. McGraw-Hill Book Company.

Velleman, P. F. and Hoaglin, D. C. (1981) *Applications, Basics, and Computing of Exploratory Data Analysis*, Duxbury Press, Boston. Boston.

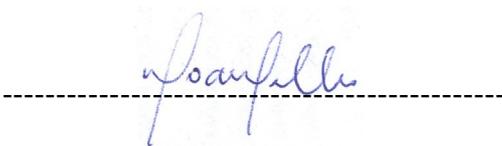


VII EQUIPE TÉCNICA**VII.1 PETROBRAS**

Profissional	José Antonio Moreira Lima
Unidade de Negócios	CENPES/PDDP/TEO
Registro no Conselho de Classe	CREA/BA 16.501-D
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	6963083
Responsável pela(s) Seção(ões)	V
Assinatura	
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)	V
Assinatura	



VII.2 INSTITUTO DE PESQUISAS DA MARINHA (IPQM)

Profissional	Cristiani Perrini Bodart
Empresa	IPqM
Registro no Conselho de Classe	CREA-RJ – 148.978-D
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	7222416
Responsável pela(s) Seção(ões)	Todas
Assinatura	
Profissional	William Soares Filho
Empresa	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 comas 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 em um 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 em um 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, fabricado pela empresa Kongsberg, que permitem a coleta contínua de dados oceanográficos de

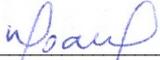


temperatura, condutividade e profundidade, usando um sensor de CTD (do inglês, *Conductivity, Temperature, Depth*), e sua transmissão ocorre quando o *glider* retorna à superfície. Os *Seagliders* também podem conduzir equipamento para monitoramento acústico passivo (**PAM**, do inglês *Passive Acoustic 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.


Coordenador da Equipe
Técnico Responsável4º Relatório
TécnicoRevisão 00
08/2020

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.

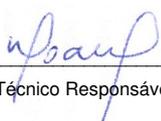
Os equipamentos são programados para gravação contínua ou pulsada dos sinais acústicos. A sua recuperação ou troca é realizada por mergulhadores, em intervalos da ordem de 45 a 60 dias.

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.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

4º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2020

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

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

Nas profundidades de 50 m, 200 m e 950 m, estão instalados equipamentos de monitoração acústica capazes de realizar gravações no modo pulsado, sendo programados para a gravação de 85 segundos de sinal a cada 10 minutos. As profundidades locais das linhas são apresentadas na Tabela A.2.2-1. 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.

Tabela A.2.2-1: Profundidade local das linhas de fundeio instrumentadas.

Linha de Fundeio	Profundidade Local (m)
FA-01	2.200
FA-02	2.000
FA-03	2.850
FA-04	1.100
FA-05	1.100
FA-06	1.100

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.

O posicionamento das linhas é definido pela PETROBRAS, sendo procurado atender o critério de monitorar regiões com atividades de produção (FA-01), em desenvolvimento da produção (FA-02), sem atividades de E&P (FA-03 e FA-04) e com tráfego marítimo para E&P (FA-05 e FA-06).

Os parâmetros espectrais obtidos para os dados acústicos gravados nas LFIs 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 sejam contaminados por fontes de ruído isoladas e identificáveis, como navios passando próxima das linhas ou mesmo o ruído próprio destas linhas, causado, por exemplo, pela vibração induzida por correntes oceânicas. Esta identificação é feita, para cada trecho de sinal gravado, usando-se detectores de passagem de embarcações e verificando se existe correlação entre o ruído medido e a velocidade da corrente oceânica. Caso uma destas condições 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.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

4º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2020

A.4 Georeferenciamento dos Dados Acústicos

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

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

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

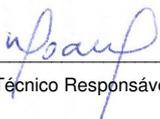
A.6 Sistema de Informações

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 em uma plataforma *web* com o apoio de um sistema de informação. Esses dados processados servirão 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.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

4º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2020

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 deverá armazenar também os resultados e mapas produzidos pelo sistema de modelagem de ruído ambiental, descrito na Seção IV.

As ferramentas sendo desenvolvidas para o **SIMMAO** facilitarão 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




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

4º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2020

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

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.

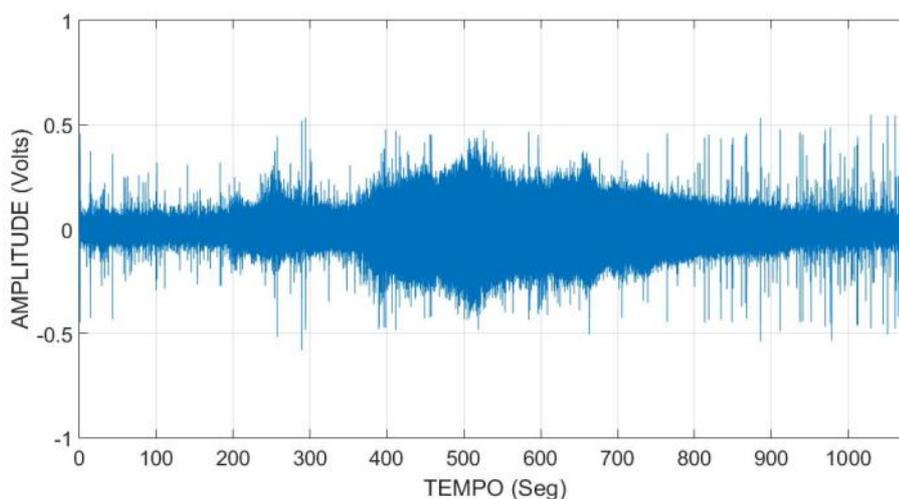
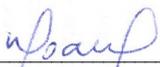


Figura A.7.2-1: Exemplo do sinal acústico durante a passagem de uma embarcação por um OS.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

4º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2020

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.

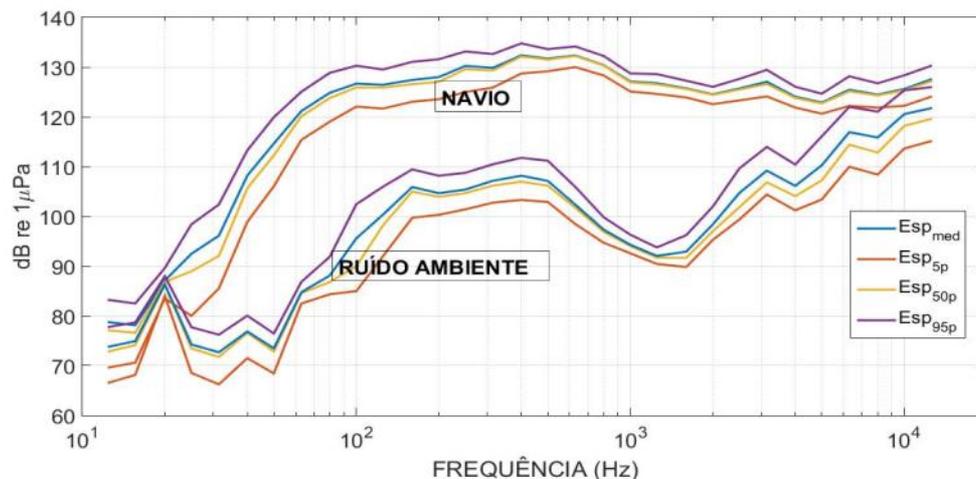


Figura A.7.2-2: Espectros obtidos antes e durante a passagem da embarcação.

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.

Foram implementados detectores pelo IPqM, que acompanha tons em um espectrograma, formando linhas ou contornos que podem ser associados a grunhidos, gemidos e assobios de cetáceos. Em paralelo com o

desenvolvimento dos detectores, foram feitas detecções manuais em um subconjunto das gravações para serem usadas na validação dos detectores.

Após a consolidação da metodologia a ser usada para a detecção, será necessário o desenvolvimento de programas específicos para agilização do processo de verificação de enorme volume de gravações disponíveis.

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 $SPL_{RMS \text{ Médio}}$, SPL_{MAX} e $SPL_{\text{pico-a-pico}}$.

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 (Jensen *et al.*, 2011; Dekeling *et al.*, 2014a). 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 (Ross, 1976; Jensen *et al.*, 2011). 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.



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.

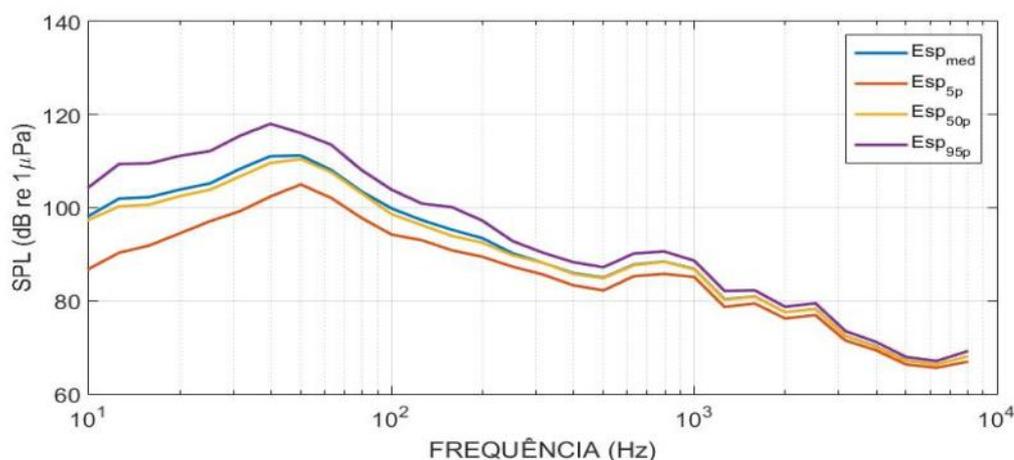


Figura A.7.5.1-1: Exemplo de espectro de SPL médio e nos percentis de 5%, 50% e 95%, transmitido por um perfilador, em 26/01/2017, para a profundidade de 183 m.

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.

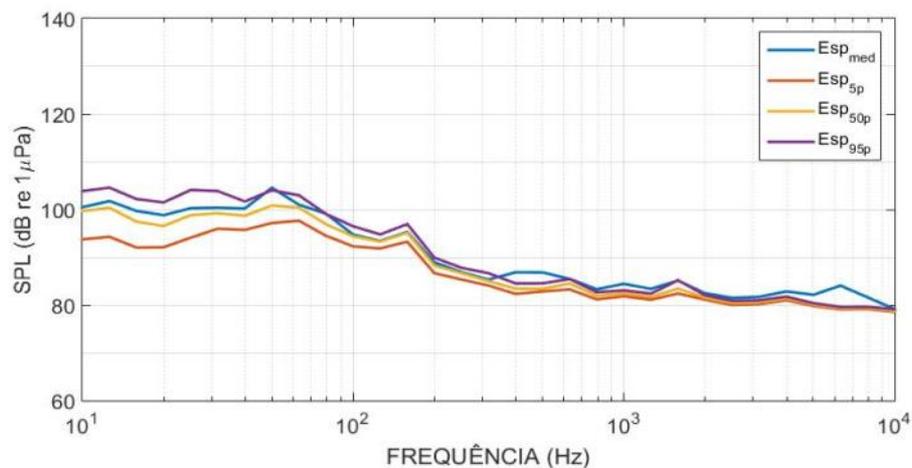


Figura A.7.5.2-1: Exemplo de espectro de SPL médio e nos percentis de 5%, 50% e 95%, calculado a partir de um sinal gravado por um *glider* em 14/11/2017, para a profundidade de 592 m.

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.



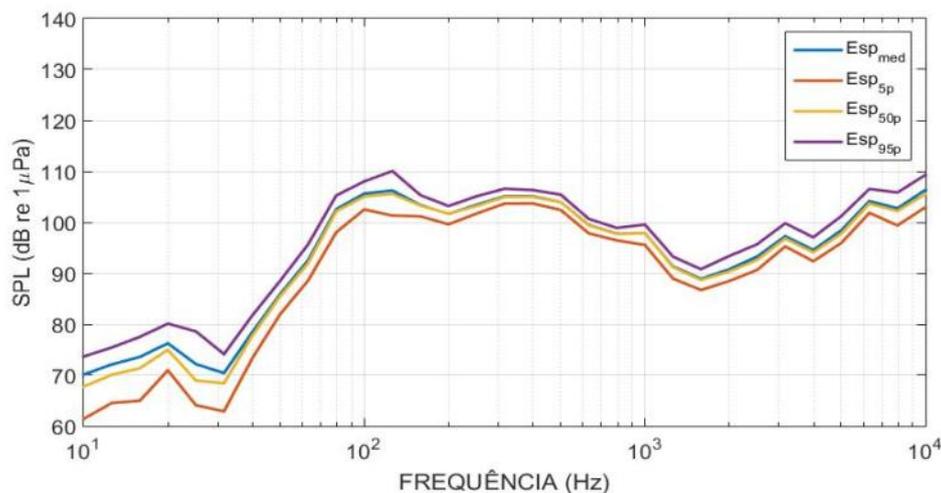


Figura A.7.5.3-1: Exemplo de espectro de SPL médio e nos percentis de 5%, 50% e 95%, calculado a partir de um sinal gravado em um OS em 17/07/2017, para a profundidade de 24 m.

A.7.5.4 Linhas de Fundeio Instrumentadas

No processamento dos dados advindos das LFI, 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.



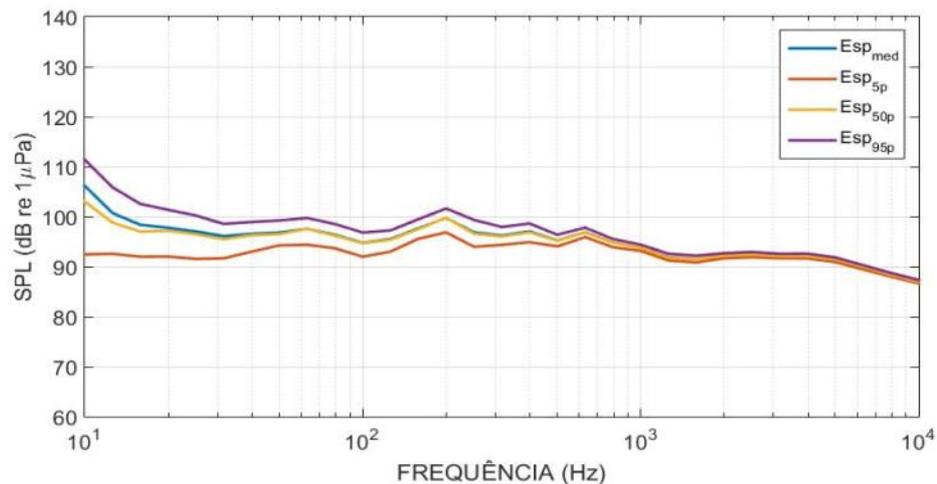


Figura A.7.5.4-1: Exemplo de espectro de SPL médio e nos percentis de 5%, 50% e 95%, calculado a partir de um sinal gravado em uma LFI em 26/11/2017, para a profundidade de 200m.

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

A.7.6 Apresentação dos Dados e Resultados

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

A.7.6.1 Resolução Espacial Plana

Para o caso do monitoramento móvel (*gliders* e perfiladores), foi adotada a apresentação de densidade amostral e de SPL, em dB re $1\mu\text{Pa}^2$, com uma resolução espacial de 1/6 de grau (quadrados com cerca de 18,5 km de lado – 10 mn). A resolução de 1/6 de grau vem sendo adotada como referência para representação e análise espacial de resultados gerados pelos projetos ambientais desenvolvidos pela PETROBRAS na Bacia de Santos, para os quais se busca uma uniformidade na forma de sua apresentação.

A.7.6.2 Resolução Espacial Vertical

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




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

4º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2020

A.7.6.3 Resolução Espectral

A resolução espectral adotada é a de 1/3 de oitava. As bandas de 1/3 de oitava e suas frequências centrais consideradas são apresentadas na Tabela A.7.6.3-1. A largura das bandas de um filtro de 1/3 de oitava é proporcional à sua frequência central, podendo ser obtida multiplicando-se esta frequência por 0,2308 (ANSI, 2004).

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

#Banda	Freq. Central						
1	6,3	11	63,1	21	631,0	31	6.310
2	7,9	12	79,4	22	794,3	32	7.943
3	10	13	100	23	1.000	33	10.000
4	12,6	14	125,9	24	1.259	34	12.589
5	15,8	15	158,5	25	1.585	35	15.849
6	19,9	16	199,5	26	1.995	36	19.953
7	25,1	17	251,2	27	2.512	37	25.119
8	31,6	18	316,2	28	3.162	38	31698
9	39,8	19	398,1	29	3.981	39	39.906
10	50,1	20	501,2	30	5.012	40	50.238

A.7.6.4 Resolução Temporal

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

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

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



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.

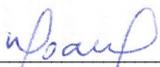
A.7.6.5 Densidade Amostral Espacial

Esta apresentação consiste em mostrar o número de medições válidas, em um 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)).




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

4º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2020

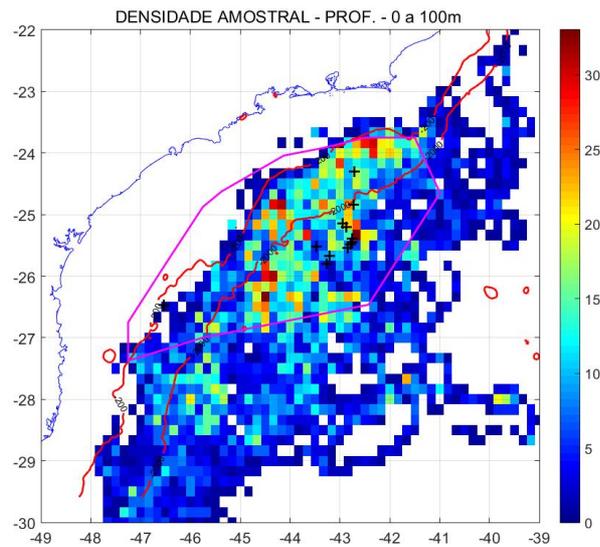


Figura A.7.6.5-1: Exemplo da distribuição espacial da Densidade Amostral para as profundidades entre 0 e 100 m.

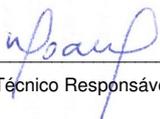
A.7.6.6 Nível de Pressão Sonora Espacial

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.




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

4º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2020

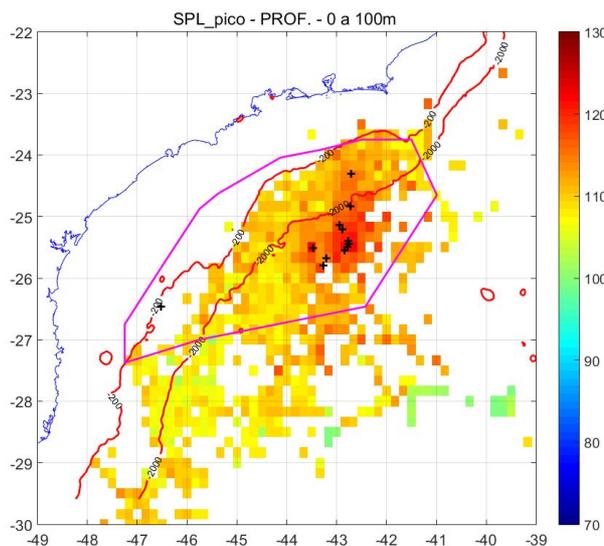


Figura A.7.6.6-1: Exemplo da distribuição espacial de SPL para as profundidades entre 0 e 100 m.

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.

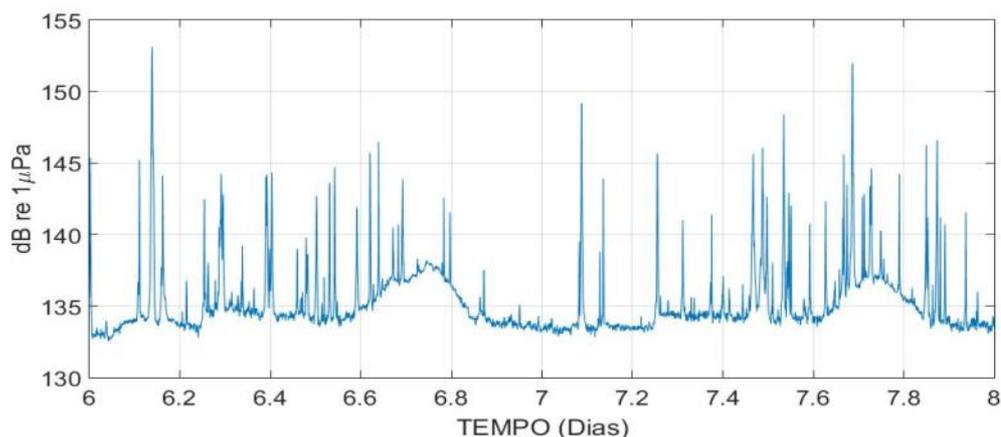


Figura A.7.6.7-1: Exemplo de apresentação do SPL em função do tempo, com resolução temporal de um minuto.

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 em um OS.

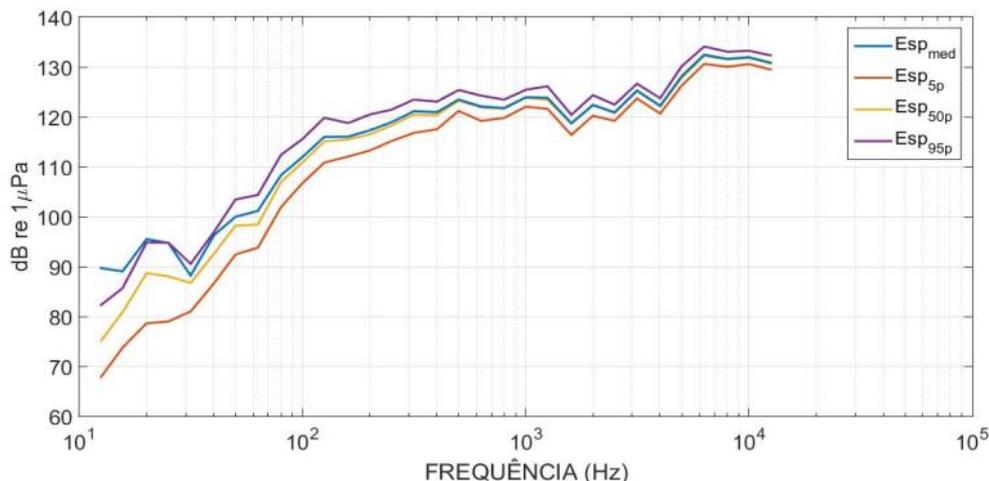


Figura A.7.6.8-1: Exemplo de espectro de 1/3 de oitava médio e nos percentis de 5%, 50% e 95% do ruído gravado em um OS.

A.7.6.9 Espectrogramas

Esta apresentação consiste em um 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.



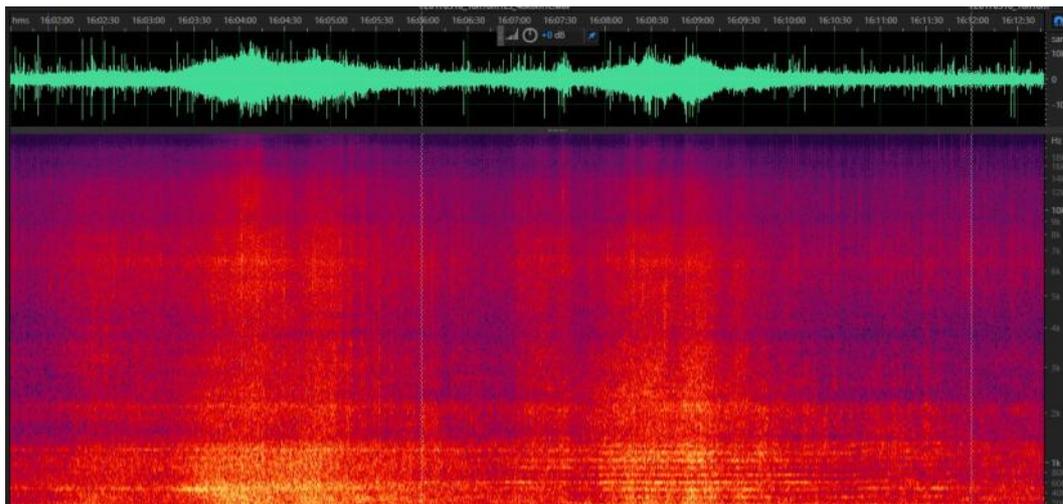


Figura A.7.6.9-1: Exemplo de um espectrograma correspondente a doze minutos de gravação em um trecho em que se pode observar a passagem de duas embarcações.

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 em um 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 em um meio (NOAA, 2016). No presente relatório, os dados obtidos são calculados utilizando a banda de frequência de 10 Hz a 10 kHz.

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

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

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, f1, f2, a e b apresentados nas duas primeiras linhas da Tabela A.7.6.10-1. Nesta tabela são apresentados, também, os limiares para o TTS e o PTS para os diversos grupos de mamíferos marinhos.

Tabela A.7.6.10-1: Sumário dos parâmetros da função de pesos e limiares de TTS e PTS. Os limiares do SEL estão em dB re $1\mu Pa^2.s$ e para SPL_{pico} em dB re $1\mu Pa^2$. A indicação (pond.) significa que para o cálculo do SEL o espectro deve ser ponderado pelos pesos obtidos com a Equação (A.7.6.10-1). No cálculo do SPL_{pico} não é feita a ponderação (Fonte: Finneran (2016)).

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

A Figura A.7.6.10-1 mostra os pesos para os diversos grupos de espécies de mamíferos marinhos calculados com a fórmula e tabela acima. Neste trabalho, foram usados apenas as curvas referentes aos grupos LF e MF.

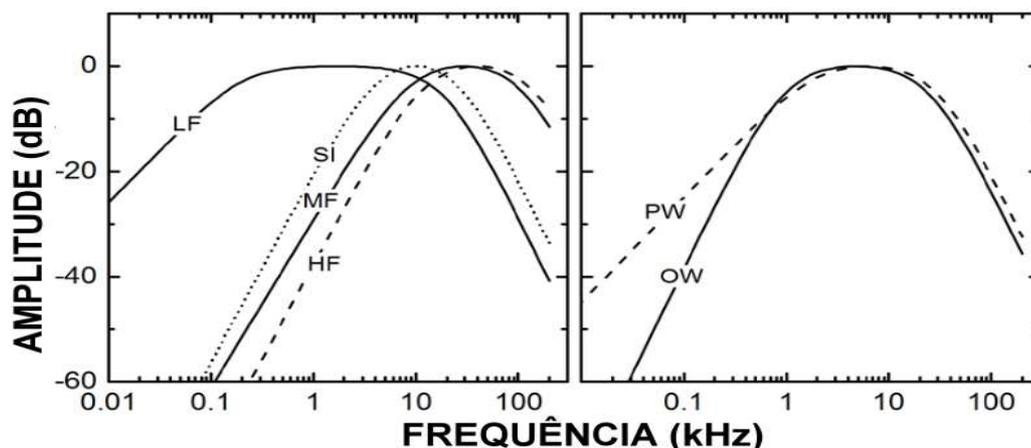


Figura A.7.6.10-1: Função de pesos para os grupos de espécies de mamíferos marinhos expostos ao ruído acústico submarino. Os parâmetros necessários para gerar as funções são fornecidos na Tabela A.7.6.10-1 (Fonte: Finneran (2016)).

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

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 and 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.

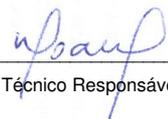
Antes da análise estatística, os dados são submetidos a um processo de qualificação onde valores espúrios são detectados e excluídos das análises seguintes, conforme descrito com detalhes no segundo relatório técnico do PMPAS-BS (IPqM, 2019). Os valores representados pelas cruces vermelhas citados acima 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 ($F = 25228$, $p=0,0000$).




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

4º Relatório
Técnico

Revisão 00
08/2020

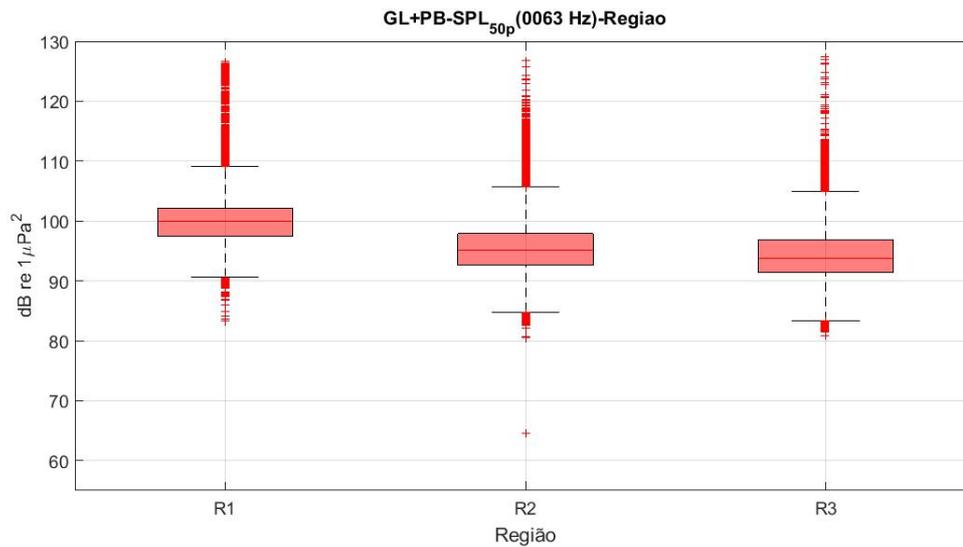


Figura A.7.6.11-1: Exemplo de comparação entre dados utilizando o boxplot. Neste caso, são comparados os níveis sonoros obtidos por gliders e perfiladores nas regiões R1, R2 e R3, no filtro de 1/3 de oitava centrado na frequência de 63 Hz.



Ministério do Meio Ambiente
Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
CADASTRO TÉCNICO FEDERAL
CERTIFICADO DE REGULARIDADE - CR



Registro n.º	Data da consulta:	CR emitido em:	CR válido até:
7222416	28/08/2020	28/08/2020	28/11/2020

Dados básicos:

CPF: 009.030.927-86
Nome: CRISTIANI PERRINI BODART

Endereço:

logradouro: RUA IPIRU
N.º: 2 Complemento:
Bairro: CACUIA Município: RIO DE JANEIRO
CEP: 21931-090 UF: RJ

Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental – CTF/AIDA

Código CBO	Ocupação	Área de Atividade
2145-05	Engenheiro Químico	Elaborar documentação técnica

Conforme dados disponíveis na presente data, CERTIFICA-SE que a pessoa física está em conformidade com as obrigações cadastrais do CTF/AIDA.

A inscrição no Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental – CTF/AIDA constitui declaração, pela pessoa física, do cumprimento de exigências específicas de qualificação ou de limites de atuação que porventura sejam determinados pelo respectivo Conselho de Fiscalização Profissional.

O Certificado de Regularidade emitido pelo CTF/AIDA não desobriga a pessoa inscrita de obter licenças, autorizações, permissões, concessões, alvarás e demais documentos exigíveis por instituições federais, estaduais, distritais ou municipais para o exercício de suas atividades, especialmente os documentos de responsabilidade técnica, qualquer o tipo e conforme regulamentação do respectivo Conselho de Fiscalização Profissional, quando exigíveis.

O Certificado de Regularidade no CTF/AIDA não produz qualquer efeito quanto à qualificação e à habilitação técnica da pessoa física inscrita.

Chave de autenticação	XC3ZTYD9ZILHYPRG
------------------------------	------------------



Ministério do Meio Ambiente
Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
CADASTRO TÉCNICO FEDERAL
CERTIFICADO DE REGULARIDADE - CR



Registro n.º	Data da consulta:	CR emitido em:	CR válido até:
355491	28/08/2020	28/08/2020	28/11/2020

Dados básicos:

CPF: 265.978.376-49
Nome: WILLIAM SOARES FILHO

Endereço:

logradouro: RUA JAIR RAMOS
N.º: 200 Complemento: BLOCO 2 APTO 207
Bairro: JARDIM GUANABARA Município: RIO DE JANEIRO
CEP: 21941-090 UF: RJ

Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental – CTF/AIDA

Código CBO	Ocupação	Área de Atividade
2143-30	Engenheiro Eletrônico de Projetos	Elaborar documentação técnica de sistemas e equipamentos elétricos, eletrônicos e de telecomunicações

Conforme dados disponíveis na presente data, CERTIFICA-SE que a pessoa física está em conformidade com as obrigações cadastrais do CTF/AIDA.

A inscrição no Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental – CTF/AIDA constitui declaração, pela pessoa física, do cumprimento de exigências específicas de qualificação ou de limites de atuação que porventura sejam determinados pelo respectivo Conselho de Fiscalização Profissional.

O Certificado de Regularidade emitido pelo CTF/AIDA não desobriga a pessoa inscrita de obter licenças, autorizações, permissões, concessões, alvarás e demais documentos exigíveis por instituições federais, estaduais, distritais ou municipais para o exercício de suas atividades, especialmente os documentos de responsabilidade técnica, qualquer o tipo e conforme regulamentação do respectivo Conselho de Fiscalização Profissional, quando exigíveis.

O Certificado de Regularidade no CTF/AIDA não produz qualquer efeito quanto à qualificação e à habilitação técnica da pessoa física inscrita.

Chave de autenticação	6B1WYJYFFKK5NUZL
------------------------------	------------------