

Estudo de Impacto Ambiental para a Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-sal da Bacia de Santos – Etapa 4

Relatório Técnico da Modelagem Acústica Submarina

**Revisão 00
Fevereiro / 2025**



E&P

ÍNDICE GERAL

| | | |
|---------|--|----|
| I | Introdução..... | 1 |
| I.1 | Objetivo e Estrutura do Relatório..... | 1 |
| II | Materiais e Métodos | 2 |
| II.1 | Área de Estudo..... | 2 |
| II.2 | Metodologia | 4 |
| III | Cenários Sintéticos da Modelagem | 7 |
| III.1 | Fontes Pontuais (Plataformas de Produção)..... | 9 |
| III.2 | Fontes Móveis (Embarcações)..... | 10 |
| III.3 | Construção dos Cenários | 14 |
| III.3.1 | Cenário 1 – Paisagem Acústica Atual (2023) | 14 |
| III.3.2 | Cenário 2 – Ano de 2025 a 2033 | 16 |
| IV | Resultados e Discussão | 26 |
| V | Considerações Finais | 35 |
| VI | Referências Bibliográficas | 37 |
| VII | Equipe Técnica..... | 39 |
| VII.1 | Petrobras..... | 39 |
| VII.2 | Instituto de Pesquisas da Marinha (IPqM)..... | 40 |



FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura II.1-1: Região da Bacia de Santos, mostrando os limites geográficos da bacia..... | 2 |
| Figura II-2: Regiões de Interesse e densidade de navegação referente a embarcações a serviço da PETROBRAS. | 4 |
| Figura III-1: <i>Coordenadas dos projetos do ETAPA 4 – Fonte PETROBRAS</i> | 8 |
| Figura III.1-1: Exemplo de espectro de 1/3 de oitava utilizado como nível níveis da fonte para UM do tipo FPSO. | 9 |
| Figura III.2-1: Espectros de 1/3 de oitava utilizados como nível da fonte nas simulações dos diferentes tipos de navios: AHTS, LH, PSV, UT, SDSV RVS e PLSV..... | 11 |
| Figura III.3.1-1: Mapa com a posição das plataformas no mês de julho de 2022. | 15 |
| Figura III.3.1-2: Mapa da densidade de registros AIS para diferentes tipos de embarcação no ano base de 2022 – Fonte PETROBRAS..... | 16 |
| Figura III.3.2-1: Rotas sintéticas das embarcações de apoio, referentes à fase de instalação e operação, entre as áreas de atracação e os projetos de DP do Etapa 4. As rotas sintéticas foram desenhadas com base na densidade de registros de AIS para o ano de 2022. | 18 |
| Figura III.3.2-2: Rotas sintéticas entre os terminais de São Sebastião (TEBIG) e da Baía de Ilha Grande (TEBIG) e os projetos de DP do Etapa 4, referentes aos navios aliviadores. As rotas sintéticas foram desenhadas com base na densidade de registros de AIS para o ano de 2022. | 19 |
| Figura III.3.2-3: Exemplo de geração de registro sintético de AIS para uma viagem completa de navio entre a área portuária da Baía de Guanabara (RJ) e o DP de Mero FR. O mapa mostra a posição do navio ao longo da rota de navegação e ao longo do tempo, conforme a escala de | |

cores. O quadro inferior mostra em detalhe a variabilidade de posição simulada para o navio quando em operação no entorno da unidade. 20

Figura III.3.2-4: Exemplo de geração de registro sintético de AIS para uma viagem completa de navio entre a área portuária da Baía de Guanabara (RJ) e o DP de Mero FR. À esquerda: série temporal de velocidade (acima) e rumo (abaixo); à direita: histogramas de velocidade (acima) e rumo (abaixo). 21

Figura III.3.2-5: Densidade de registros de AIS sintéticos para as fontes móveis no período de 2025 a 2033 referentes aos navios de apoio à fase de instalação. 22

Figura III.3.2-6: Densidade de registros de AIS sintéticos para as fontes móveis no período de 2025 a 2033 referentes aos navios de apoio à fase de operação..... 23

Figura III.3.2-7: Densidade de registros de AIS sintéticos para as fontes móveis no período de 2025 a 2033 referentes aos navios aliviadores. 24

Figura IV-1: Mapa com a média anual de ruído para o ano de 2023 a uma profundidade de 50 metros e frequência de 63 Hz..... 26

Figura IV-2: Mapas de ruído anual médio: evolução do ruído modelado a partir das fontes incrementadas no Etapa 4 (anos 2025-2033). 28

Figura IV-3: Mapas do ruído anual de 2025 a 2033, gerados pelas fontes incrementadas entre 2026 e 2033 somados ao ruído médio de 2023.... 29

Figura IV-4: Evolução temporal do ruído médio anual de 2025 a 2033 para as regiões R1, R2, R3 e R4. O gráfico foi gerado a partir do ruído médio produzido pelas fontes incrementadas entre os anos de 2025 e 2033 somado ao ruído médio do ano de 2023. 30

Figura IV-5: Mapa referente às diferenças dos níveis de ruído médio anual entre os anos de 2033 e 2023. Os retângulos indicam as regiões de análise adotadas nos RT do PMPAS-BS. 31

Figura IV-6: Evolução temporal do incremento no nível de ruído (SPL médio anual) entre os anos de 2023 a 2033 nas regiões R1 (azul), R2



(vermelha), R3 (verde) e R4 (amarela), tendo como referência o ano
de 2023. 32




Coordenador da Equipe




Técnico Responsável

RT-Modelagem
Acústica

Revisão 00
02/2025

TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela III-1: Cronograma referente aos projetos que compõem o Etapa 4 (Fonte PETROBRAS)..... | 7 |
| Tabela III.2-1: Previsão do número de embarcações incrementais para atendimento aos projetos do Etapa 4 durante a fase de operação dos projetos..... | 12 |
| Tabela III.2-2: Previsão do número de atracações incrementais na área portuária da Baía de Guanabara (RJ) durante a fase de operação dos projetos..... | 12 |
| Tabela III.2-3: Previsão do número de operações de alívio e de navios aliviadores necessários durante a fase de operação dos projetos. | 13 |
| Tabela III.2-4: Premissas adotadas na geração de dados sintéticos de AIS para os navios aliviadores. | 13 |
| Tabela III.2-5: Estimativa do número de embarcações incrementais para atendimento aos projetos do Etapa 4 durante as distintas etapas da fase de instalação (pré-ancoragem, ancoragem e interligação dos poços)..... | 14 |
| Tabela III.3.2-1: Estatísticas dos registros de AIS históricos do ano de 2022 utilizados na geração dos dados sintéticos. | 17 |

I INTRODUÇÃO

Este relatório descreve os resultados obtidos com simulações de propagação de ruído hidroacústico na Bacia de Santos considerando a ampliação das atividades da PETROBRAS conforme previsto para o Projeto Etapa 4 do Polo Pré-Sal.

I.1 OBJETIVO E ESTRUTURA DO RELATÓRIO

Este documento apresenta uma descrição e análise do ruído submarino gerado por cenários sintéticos que simulam a ampliação das atividades no que diz respeito à operação da PETROBRAS na Bacia de Santos, conforme previsto para a Etapa 4 do Polo Pré-sal.

Para cumprir o objetivo proposto, o presente relatório está estruturado em cinco capítulos. O Capítulo II apresenta a área de estudo e uma breve descrição da metodologia utilizada. O Capítulo III descreve os dois cenários considerados na modelagem de incremento de ruídos: o cenário 1, relacionado a situação atual do ruído na bacia (cenário de referência); e o cenário 2, elaborado a partir dos incrementos previstos para novas fontes fixas (plataformas) e móveis (navios) no horizonte de 2025 a 2033. O Capítulo IV apresenta os resultados obtidos e suas análises e o Capítulo V as considerações finais.

II MATERIAIS E MÉTODOS

II.1 ÁREA DE ESTUDO

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

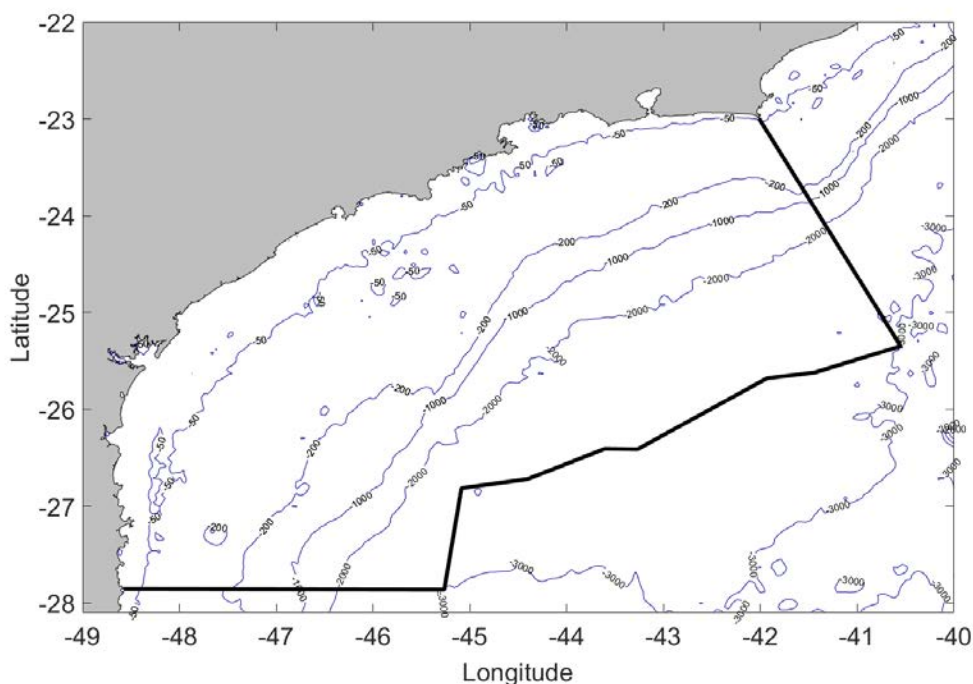


Figura II.1-1: Região da Bacia de Santos, mostrando os limites geográficos da bacia.

Dentro desta região oceânica, foram selecionadas quatro regiões, de aproximadamente 12.000 km² (quadrado de 1° de latitude por 1° de longitude)

cada, com o objetivo de caracterizar situações distintas de exposição a fontes de ruído antropogênico:

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

A **Figura II.1-2** mostra estas quatro regiões de interesse e as densidades de navegação computadas a partir de dados *do Automatic Identification System* (AIS) para o ano de 2023, no âmbito do Projeto de Monitoramento do Tráfego de Embarcações da Bacia de Santos (PMTE-BS).

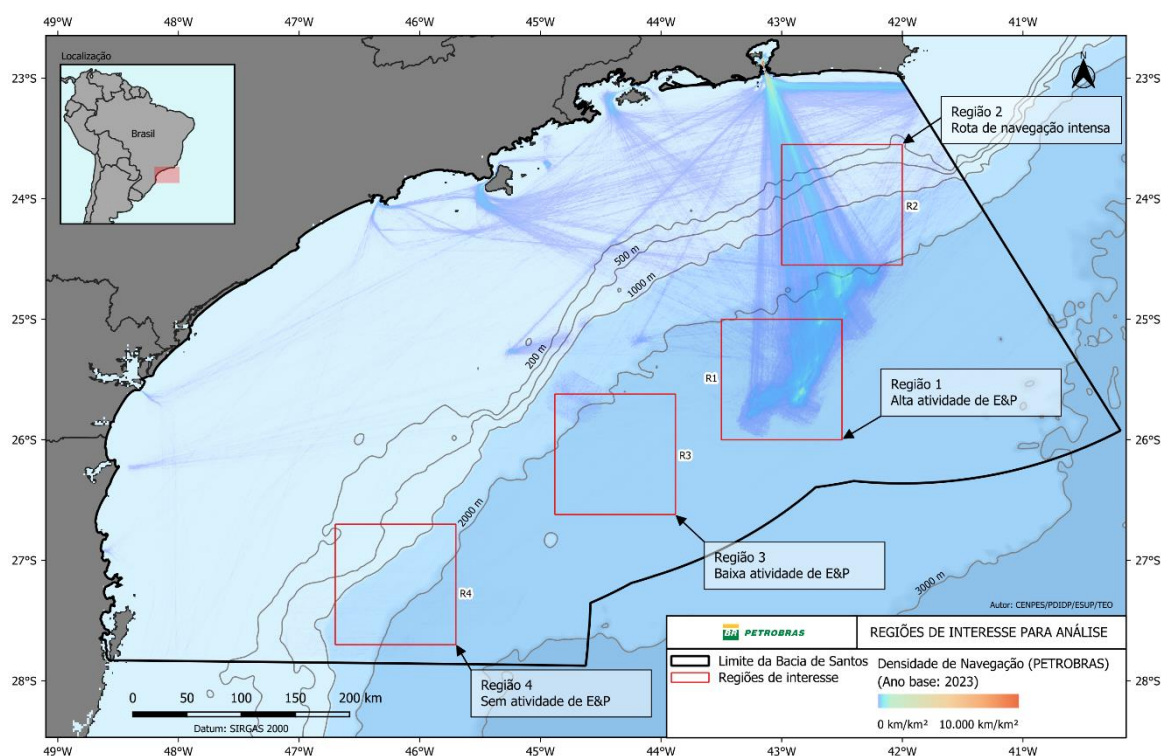


Figura II.1-2: Regiões de Interesse e densidade de navegação referente a embarcações a serviço da PETROBRAS.

II.2 METODOLOGIA

A modelagem de ruídos apresentada neste relatório foi realizada utilizando o Sistema de Modelagem Acústica Submarina (SIMAS), desenvolvido pelo Projeto de Monitoramento da Paisagem Acústica Submarina da Bacia de Santos (PMPAS-BS). Para avaliar a influência da ampliação das atividades da PETROBRAS na Bacia de Santos, ou seja, o adensamento de unidades de produção e o aumento da presença de navios nesta região, foram criados cenários sintéticos que representassem a dinâmica do tráfego de embarcações e a instalação de novas unidades de produção na região dos projetos do Etapa 4.

O SIMAS é capaz de simular a propagação simultânea de diversas fontes acústicas antrópicas, tais como o ruído irradiado por navios e plataformas de petróleo. O efeito aditivo destas fontes é computado de forma a gerar o campo mais fidedigno possível de ruído no interior do oceano.



Como parâmetros de entrada, o SIMAS necessita das seguintes informações:

- Coordenadas das fontes sonoras em cada instante de tempo (registros AIS – *Automatic Identification System*);
- Assinatura acústica das fontes (navios e unidades estacionárias de produção);
- Campos tridimensionais de temperatura e salinidade (TS) para estimativa da velocidade do som usada no cálculo da propagação;
- Topografia de fundo; e
- Propriedades geoacústicas do fundo marinho (coeficientes de atenuação e velocidade do som no sedimento).

Neste trabalho, a topografia de fundo, as assinaturas acústicas representativas dos diversos tipos de navios e unidades de produção, bem como os parâmetros geoacústicos do sedimento de fundo são os mesmos utilizados nas modelagens acústicas e descritos com detalhes no Relatório Técnico do Sistema de Modelagem Acústica Submarina - PMPAS-BS (PETROBRAS/IPqM, 2024), elaboradas no âmbito do PMPAS-BS. Os perfis TS dos cenários futuros (2025 em diante) foram estimados a partir de médias mensais da reanálise GLORYS, elaborada e disponibilizada pelo CMEMS (*Copernicus Marine and Environment Services*), considerando o período de 1993 até 2020¹. Já os registros das posições dos navios ao longo do tempo foram sintetizados através da metodologia descrita em detalhes no item III.3.2.

A modelagem de propagação acústica foi realizada para a frequência centrada em 63 Hz do filtro de 1/3 de oitava, na camada de 50 m de profundidade. A escolha desta faixa de frequência se deve ao fato de que a contribuição do ruído antropogênico, particularmente de plataformas de E&P e navios, é dominante nesta faixa do espectro em relação a fontes de ruído de origem natural (Kuperman e Roux, 2007), seguindo o que preconizam as diretrizes internacionais para monitoramento e modelagem da paisagem acústica submarina (Dekeling *et al.*,

¹ Os dados da reanálise GLORYS são disponibilizados publicamente e podem ser acessados a partir do seguinte endereço:

https://data.marine.copernicus.eu/product/GLOBAL_MULTIYEAR_PHY_001_030/services.

2014). Além disso, a energia acústica em baixas frequências sofre menos perdas por propagação (Erbe e Thomas, 2022), o que resulta em um cenário mais crítico em relação ao alcance do ruído irradiado.

Em relação à camada de 50 m, a escolha dessa profundidade se deve ao fato das fontes modeladas estarem em superfície, sendo a camada de 50 m menos sujeito aos ruídos induzidos por ondas e ventos. Além disso, como a linha isobatimétrica de 50 m fica próxima da costa, essa profundidade confere uma maior cobertura espacial da área modelada da Bacia de Santos.



III CENÁRIOS SINTÉTICOS DA MODELAGEM

Os 10 projetos de Desenvolvimento da Produção (DP) previstos no Etapa 4 e considerados nas simulações são apresentados na **Figura III-1** e **Tabela III-1**.

Tabela III-1: Cronograma referente aos projetos que compõem o Etapa 4 (Fonte PETROBRAS).

| PROJETO | LONGITUDE | LATITUDE | INSTALAÇÃO | INÍCIO PRODUÇÃO | FIM PRODUÇÃO |
|--------------|-----------|----------|------------|--------------------|-----------------|
| Aram 1 | -530247 | -7157192 | set/29 | out/32 | 2056 |
| Atapu 2 | -761941 | -7236005 | out/27 | dez/28 | 2058 |
| Búzios 9 | -763745 | -7262895 | nov/25 | jun/26 | 2055 |
| Búzios 10 | -752965 | -7279462 | out/25 | nov/26 | 2055 |
| Búzios 11 | -761926 | -7259070 | jun/26 | mai/27 | 2055 |
| Búzios 12 | -746063 | -7273304 | abr/30 | abr/31 | 2055 |
| Mero FR | -784649 | -7272818 | mai/25 | fev/26 | 2029 |
| Mero 5 | -784642 | -7272480 | jun/30 | abr/32 | 2048 |
| Revit I Tupi | -731503 | -7179987 | jan/29 | fev/30 | 2060 |
| Sépia 2 | -749272 | -7211640 | ago/28 | jul/29 | 2058 |

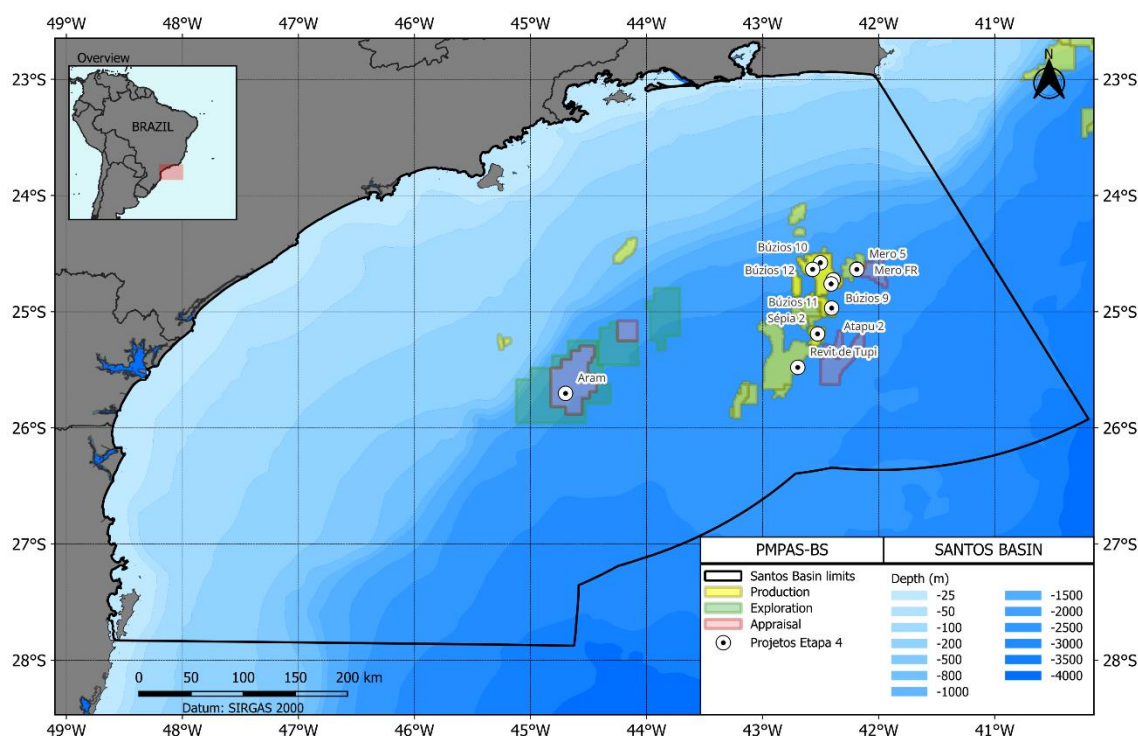


Figura III-1: Coordenadas dos projetos do ETAPA 4 – Fonte PETROBRAS

Foram criados cenários sintéticos de modelagem para simular o nível de ruído produzido pelas plataformas e embarcações através do SIMAS, onde foi considerado como ruído de base pré-existente (cenários de referência) o campo médio do ruído modelado no ano de 2023, o ano completo mais recente disponível na data de início deste trabalho. As futuras Unidades Marítimas (UM) e o tráfego de navios de apoio e aliviadores foram adicionados ano a ano, de acordo com suas datas de início de instalação e o quantitativo de navios previstos mês a mês para cada projeto, resultando em mapas do nível de ruído característico e possibilitando a estimativa dos níveis de ruído incrementais relativos aos níveis médios atuais (2023). As plataformas foram consideradas fontes pontuais e as embarcações fontes móveis obedecendo o mesmo procedimento aplicado aos dados de entrada do SIMAS. Neste trabalho foi utilizada a mesma resolução de grade adotada na execução e apresentação dos resultados das simulações realizadas no âmbito do PMPAS-BS, que é de 1/6 de grau.

III.1 FONTES PONTUAIS (PLATAFORMAS DE PRODUÇÃO)

A unidade de produção de óleo e gás utilizada no Projeto ETAPA 4 será o navio-plataforma do tipo FPSO (*Floating, Production, Storage and Offloading*). Uma assinatura acústica típica deste tipo de instalação marítima, estimada a partir de medições *in situ* realizadas pelo Petrobras em parceria com o IPqM na Bacia de Campos e de dados de literatura (PETROBRAS, 2009), foi utilizada na modelagem de propagação.

A **Figura III.1-1** mostra o espectro de 1/3 de oitava dos níveis sonoros a 1 m da fonte (*Source level*) adotada para um FPSO padrão. Para simplificar o processo de modelagem, esta assinatura acústica, representativa de uma UM em fase de produção, foi adotada desde o início da data de instalação.

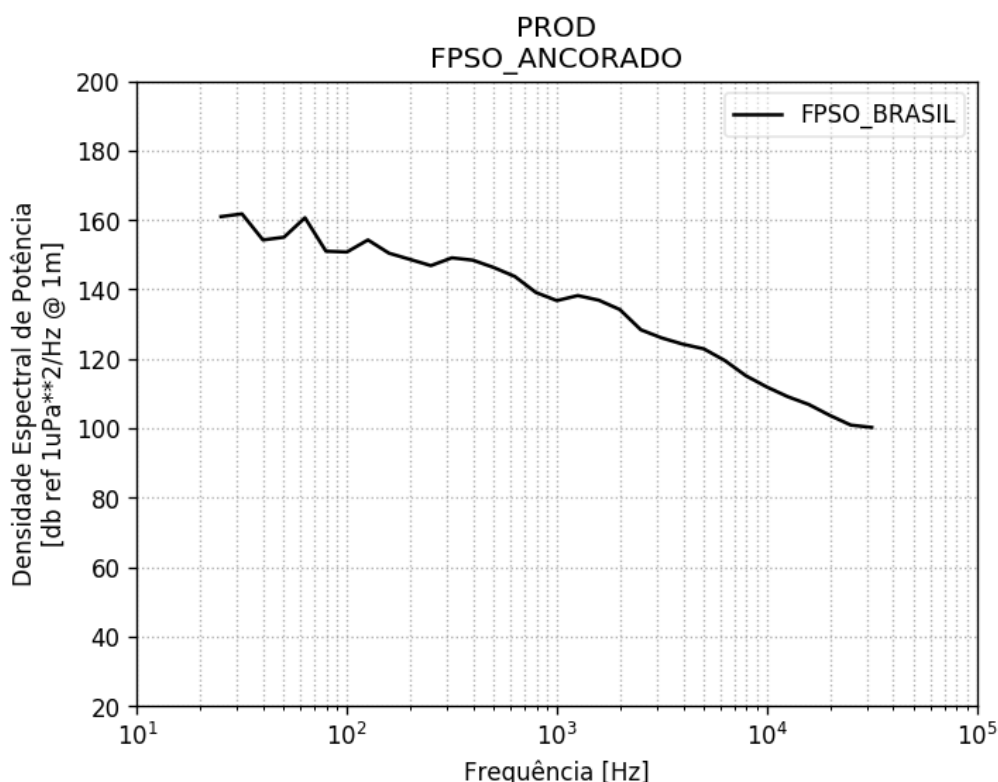


Figura III.1-1: Exemplo de espectro de 1/3 de oitava utilizado como nível níveis da fonte para UM do tipo FPSO.

III.2 FONTES MÓVEIS (EMBARCAÇÕES)

Os navios de apoio aos projetos do Etapa 4 serão utilizados tanto na fase de instalação quanto na fase de operação. Para cada navio considerado na simulação, são necessários registros de posição, isto é, longitude e latitude da fonte em cada instante de tempo. O sistema de modelagem também considera assinaturas acústicas típicas, de acordo com o porte de cada um dos navios utilizados. No caso do Etapa 4, está prevista a utilização das seguintes tipologias de navios de apoio às atividades de E&P:

- AHTS (*Anchor Handling Tug Supply*)
- LH (*Line Handling Vessel*)
- PSV (*Platform Supply Vessel*)
- UT (*Underwater Technology Vessel*)
- SDSV (*Shallow Dive Support Vessel*)
- RSV (*ROV Support Vessel*)
- PLSV: (*Pipe Laying Support Vessel*)
- TANKER: (navio de alívio)

A **Figura III.2-1** ilustra as assinaturas acústicas adotadas para as diferentes tipologias de navios envolvidos nas fases de instalação e operação dos projetos do Etapa 4.

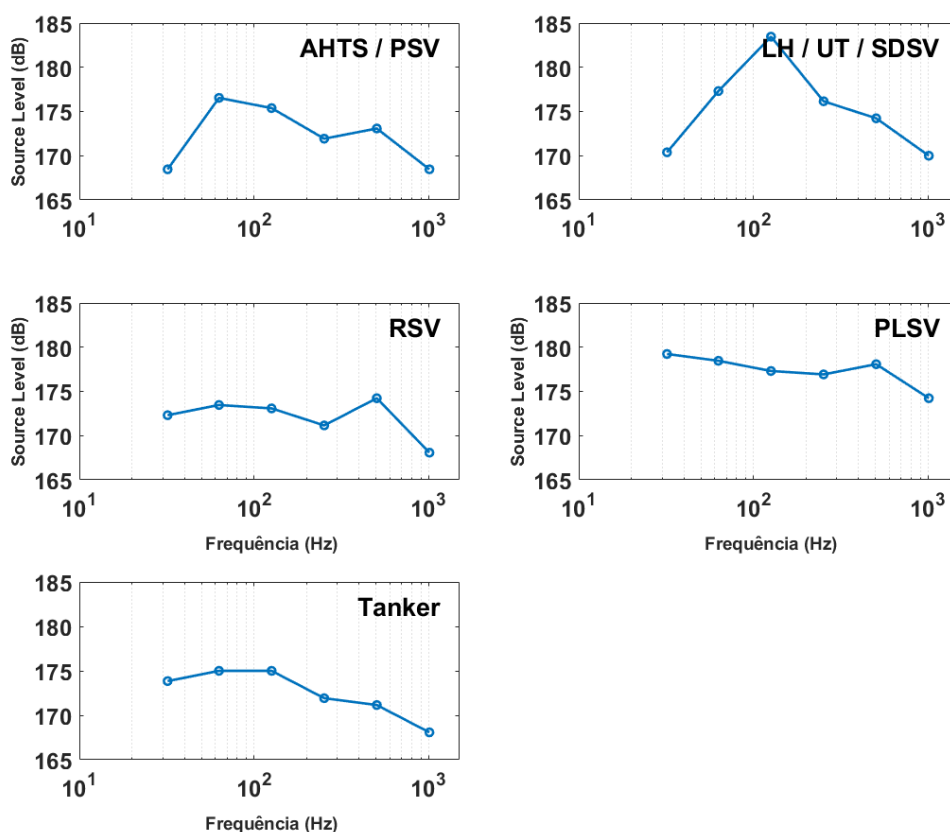


Figura III.2-1: Espectros de 1/3 de oitava utilizados como nível da fonte nas simulações dos diferentes tipos de navios: AHTS, LH, PSV, UT, SDSV RVS e PLSV.

Como a modelagem acústica considera cenários futuros, os dados referentes às fontes móveis foram gerados a partir da previsão do número de embarcações incrementais de cada projeto. Estas estimativas foram fornecidas pela área de Controle e Dimensionamento *Offshore* da gerência executiva de Logística de E&P da PETROBRAS.

Durante a fase de operação dos projetos de DP, está previsto o incremento de navios a partir do ano de 2025 (ver Tabela III.2-1). Nesta fase haverá a utilização da área portuária da Baía de Guanabara (RJ) por todos os navios de apoio. O número de atracações previstos é apresentado na Tabela III.2-2.

Tabela III.2-1: Previsão do número de embarcações incrementais para atendimento aos projetos do Etapa 4 durante a fase de operação dos projetos.

| TIPO DE EMBARCAÇÃO | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 | 2033 |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| AHTS | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| LH | 0 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| UT | 0 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| PSV | 0 | 2 | 4 | 4 | 6 | 7 | 8 | 10 | 10 |

Tabela III.2-2: Previsão do número de atracações incrementais na área portuária da Baía de Guanabara (RJ) durante a fase de operação dos projetos.

| TIPO DE EMBARCAÇÃO | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 | 2033 |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| AHTS | 0 | 24 | 24 | 24 | 48 | 48 | 48 | 48 | 48 |
| LH | 0 | 24 | 48 | 48 | 48 | 48 | 48 | 48 | 48 |
| UT | 0 | 84 | 168 | 168 | 252 | 252 | 252 | 252 | 252 |
| PSV | 12 | 161 | 282 | 312 | 426 | 504 | 576 | 684 | 720 |

O incremento do número de navios aliviadores também está previsto durante a fase de operação dos projetos e foi incorporado ao cenário de modelagem prognóstica. Tendo em visto o histórico recente de movimentação deste tipo de navio, foi adotada como premissa a utilização dos terminais de São Sebastião (TEBAR) e Ilha Grande (TEBIG) como destino e origem das operações de alívio, sendo o total de operações de alívio igualmente divididos entre os dois terminais. A previsão do número de operações de alívio e navios aliviadores necessários ao atendimento do Etapa 4 e as premissas fornecidas para geração de dados sintéticos de AIS relativo a navios aliviadores são resumidos nas Tabelas III-5 e III-6.

Tabela III.2-3: Previsão do número de operações de alívio e de navios aliviadores necessários durante a fase de operação dos projetos.

| Variável prevista | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 | 2033 |
|-------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Nº de alívios incrementais | 0 | 103 | 193 | 218 | 283 | 308 | 347 | 411 | 462 |
| Nº de aliviadores necessários | 0 | 3 | 4 | 5 | 6 | 6 | 7 | 9 | 9 |

Tabela III.2-4: Premissas adotadas na geração de dados sintéticos de AIS para os navios aliviadores.

| Premissas | |
|--|---------------------------|
| Número de alívios por projeto por ano | 52 |
| Duração da viagem aliviador* ² (dias) | 6,08 |
| Dias por ano | 365 |
| Nº de alívios por navio por ano | 60 |
| Nº de alívios por navio por trimestre | 14 |
| % de alívios incrementais por terminal | TEBAR (50%) / TEBIG (50%) |

A fase de instalação dos projetos compreende três etapas com características distintas de uso de embarcações: a pré-ancoragem do FPSO, onde é feito o lançamento das estacas torpedo por navios do tipo AHTS com apoio de navios RSV ou AHTS com ROV a bordo; a ancoragem, onde é realizada a instalação dos tramos de poliéster por navios AHTS e suporte com ROV a partir de navios RSV; e a interligação dos poços, que envolve a operação de navios AHTS, RSV, SDSV e PLSV.

Para a fase de instalação foi fornecida uma estimativa do número de embarcações envolvidas em cada uma destas três etapas. A área de atracação da Baía de Guanabara (RJ) será utilizada como base de apoio em todas as etapas da fase de instalação dos projetos.

² Consiste nas etapas de navegação para a UM, carregamento, navegação para o terminal, descarregamento e liberação.

Também foram fornecidas premissas para estimativa da duração destas etapas e do número de viagens de cada navio. A duração da etapa de pré-ancoragem de cada DP foi estimada em 60 dias e a de ancoragem em 14 dias. Já para o período de interligação de poços foi fornecido o tempo médio gasto por cada tipo de embarcação em suas respectivas operações: AHTS – lançamento de torpedos (1.7 dias/poço); PLSV – interligação das linhas (60 dias/poço); RSV – mapeamento das interligações (36 dias/poço) e SDSV – *pull in* para conexão das linhas (9 dias/poço). Assim, a duração total da atividade é função do número de poços de cada DP.

Tabela III.2-5: Estimativa do número de embarcações incrementais para atendimento aos projetos do Etapa 4 durante as distintas etapas da fase de instalação (pré-ancoragem, ancoragem e interligação dos poços).

| TIPO DE EMBARCAÇÃO | ATIVIDADE | PORTO BASE | NÚMERO DE EMBARCAÇÕES NA ATIVIDADE |
|--------------------|------------------------|-------------------|------------------------------------|
| AHTS | Pré-Ancoragem do FPSO | Baía de Guanabara | 3 |
| AHTS | Ancoragem do FPSO | Baía de Guanabara | 7 |
| PLSV | Interligação dos Poços | Baía de Guanabara | 1 |
| RSV | | | 1 |
| AHTS | | | 1 |
| SDSV | | | 1 |

III.3 CONSTRUÇÃO DOS CENÁRIOS

III.3.1 Cenário 1 – Paisagem Acústica Atual (2023)

O objetivo deste primeiro cenário é obter uma estimativa do nível de ruído atual e utilizado como referência na estimativa de incrementos decorrentes dos projetos do Etapa 4.

Neste estudo foi utilizado como referência e inicialização a média anual do SPL do ano de 2023, calculado a partir das posições das plataformas (**Figura**



III.3.1-1) e dos registros AIS de todos os navios, o que é ilustrado para algumas tipologias na **Figura III.3.1-2**.

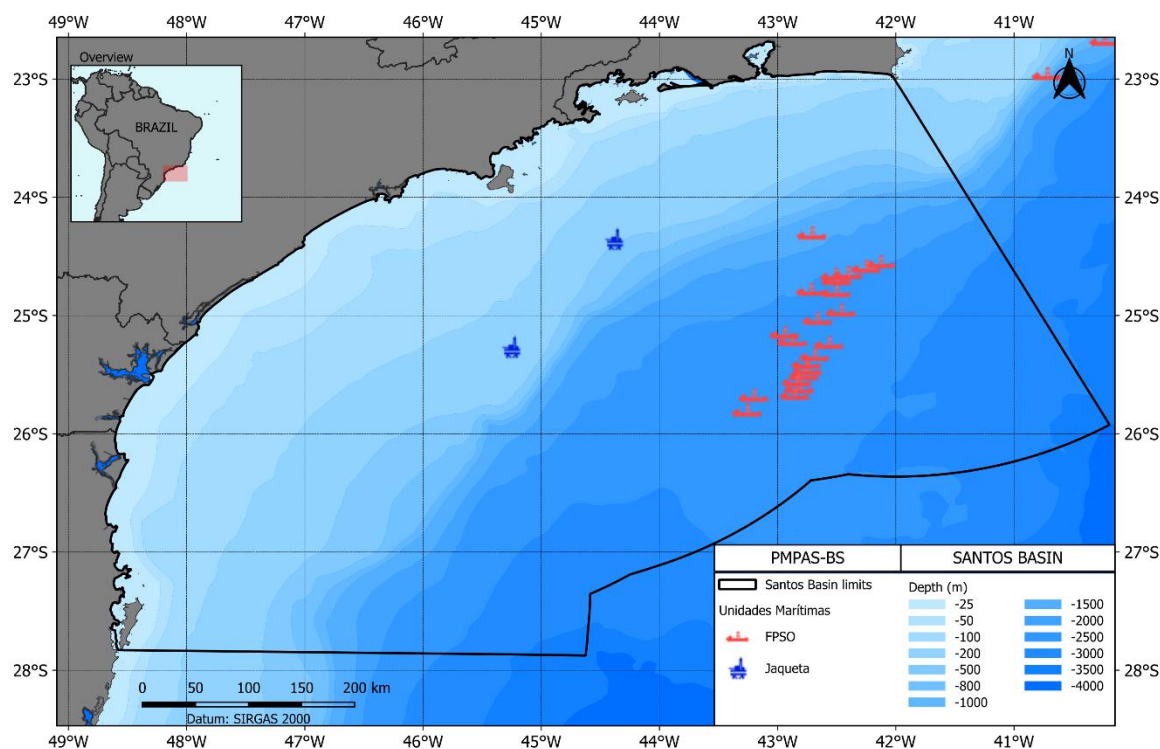


Figura III.3.1-1: Mapa com a posição das plataformas no mês de julho de 2022.

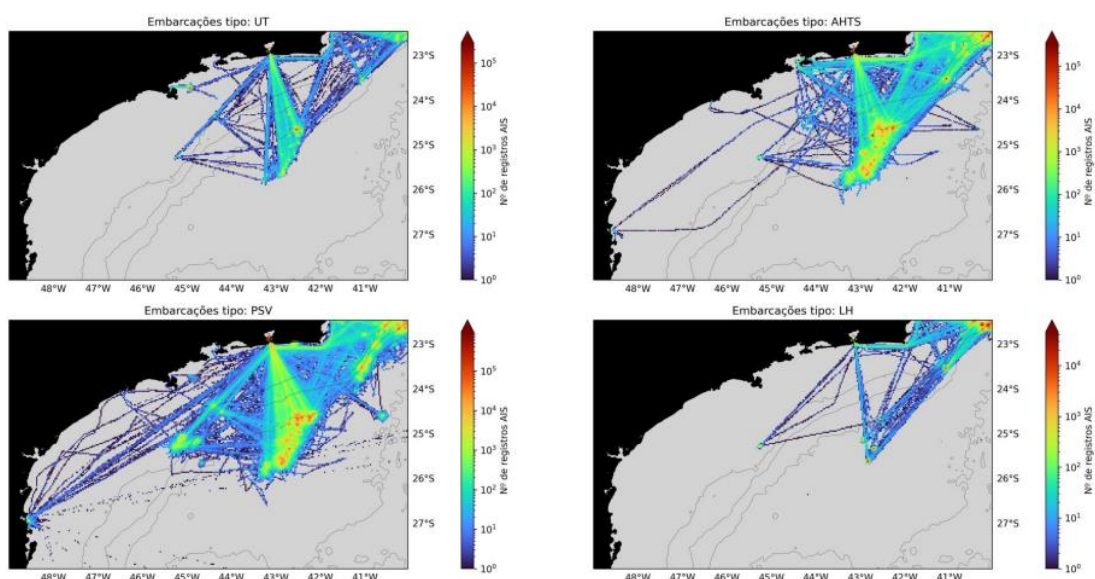


Figura III.3.1-2: Mapa da densidade de registros AIS para diferentes tipos de embarcação no ano base de 2022 – Fonte PETROBRAS.

III.3.2 Cenário 2 – Ano de 2025 a 2033

Neste cenário são consideradas a entrada das fontes pontuais fixas adicionais (FPSO's), de acordo com as datas de início de instalação apresentadas na **Tabela III-1**, e os registros de AIS sintéticos, isto é, de tempo, longitude e latitude, das fontes móveis (embarcações).

O primeiro passo para geração dos registros sintéticos de AIS consistiu em estimar velocidades típicas de cada tipo de navio utilizado. Os registros de AIS do ano base de 2022 foram recuperados e classificados em três grupos distintos.

O primeiro se refere aos instantes em que os navios se encontram atracados ou fundeados na área portuária, isto é, quando suas coordenadas se encontram dentro da Baía de Guanabara. O segundo grupo se refere aos navios que estão se deslocando entre as bases de apoio e as unidades marítimas de produção na região do pré-sal da Bacia de Santos. Estes registros foram filtrados selecionando aqueles com rumo (φ) aproximadamente nos quadrantes NNW ($320^\circ \leq \varphi < 360^\circ$ | $0^\circ \leq \varphi \leq 20^\circ$) e SSE ($140^\circ \leq \varphi \leq 200^\circ$) e com coordenadas no interior de uma região que engloba as principais rotas de navegação identificadas nos dados históricos de AIS (polígono verde tracejado na **Figura III.3.2-1**). Um terceiro grupo se refere aos instantes em que os navios estão operando com coordenadas dentro

de um polígono que abrange o entorno das plataformas do pré-sal (polígono preto tracejado na **Figura III.3.2-1**).

A partir desta seleção, foram estimadas estatísticas para as velocidades de trânsito, fundeio/atracamento e operação, bem como a duração típica das viagens e dos períodos de atracamento. Também foi estimada a frequência com que os dados de AIS são registrados. A **Tabela III.3.2-1** resume os valores obtidos.

Tabela III.3.2-1: Estatísticas dos registros de AIS históricos do ano de 2022 utilizados na geração dos dados sintéticos.

| Tipo de navio | Velocidade | Tempo entre registros AIS | Duração dos eventos de operação | Duração dos eventos de atracação | Raio máximo de variação de posição |
|---------------|--------------------------------|---------------------------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| AHTS | Trânsito: $4,6 \pm 0,9$ m/s | 5,0 min \pm 60 s | 12,5 dias | 1,5 dias | Operação: 5 km Atracação: 500 m |
| | Atracação: $0,7 \pm 0,25$ m/s | | | | |
| | Operação: $0,01 \pm 0,005$ m/s | | | | |
| LH | Trânsito: $3,6 \pm 0,5$ m/s | 5,0 min \pm 60 s | 12,5 dias | 1,5 dias | Operação: 5 km Atracação: 500 m |
| | Atracação: $1,0 \pm 0,25$ m/s | | | | |
| | Operação: $0,01 \pm 0,005$ m/s | | | | |
| UT | Trânsito: $6,4 \pm 1,2$ m/s | 5,0 min \pm 60 s | 2,5 dias | 1 dia | Operação: 5 km Atracação: 500 m |
| | Atracação: $0,8 \pm 0,25$ m/s | | | | |
| | Operação: $0,01 \pm 0,005$ m/s | | | | |
| PSV | Trânsito: $4,7 \pm 1,0$ m/s | 5,0 min \pm 60 s | 2,75 dias | 1 dia | Operação: 5 km Atracação: 500 m |
| | Atracação: $0,45 \pm 0,25$ m/s | | | | |
| | Operação: $0,01 \pm 0,005$ m/s | | | | |
| TANKER | Trânsito: $5,75 \pm 0,65$ m/s | 5,0 min \pm 60 s | 3,75–5,25 dias | 1,5 dias | Operação: 1,5 km Atracação: 500 m |
| | Atracação: $0,1 \pm 0,15$ m/s | | | | |
| | Operação: $0,01 \pm 0,005$ m/s | | | | |

A segunda etapa na geração dos dados consistiu no desenho das rotas de navegação entre as áreas portuárias e os projetos de DP do Etapa 4. As rotas observadas nos registros históricos de AIS (**Figura III.3.1-2**) foram utilizadas como guias para o traçado da ligação entre as áreas de atracação e as coordenadas das plataformas. A Figura III-6 ilustra as rotas de navegação desenhadas para geração dos dados sintéticos dos navios de apoio à fase de operação e instalação



e a **Figura III.3.2-2** mostra as rotas sintetizadas para modelagem do ruído dos navios aliviadores.

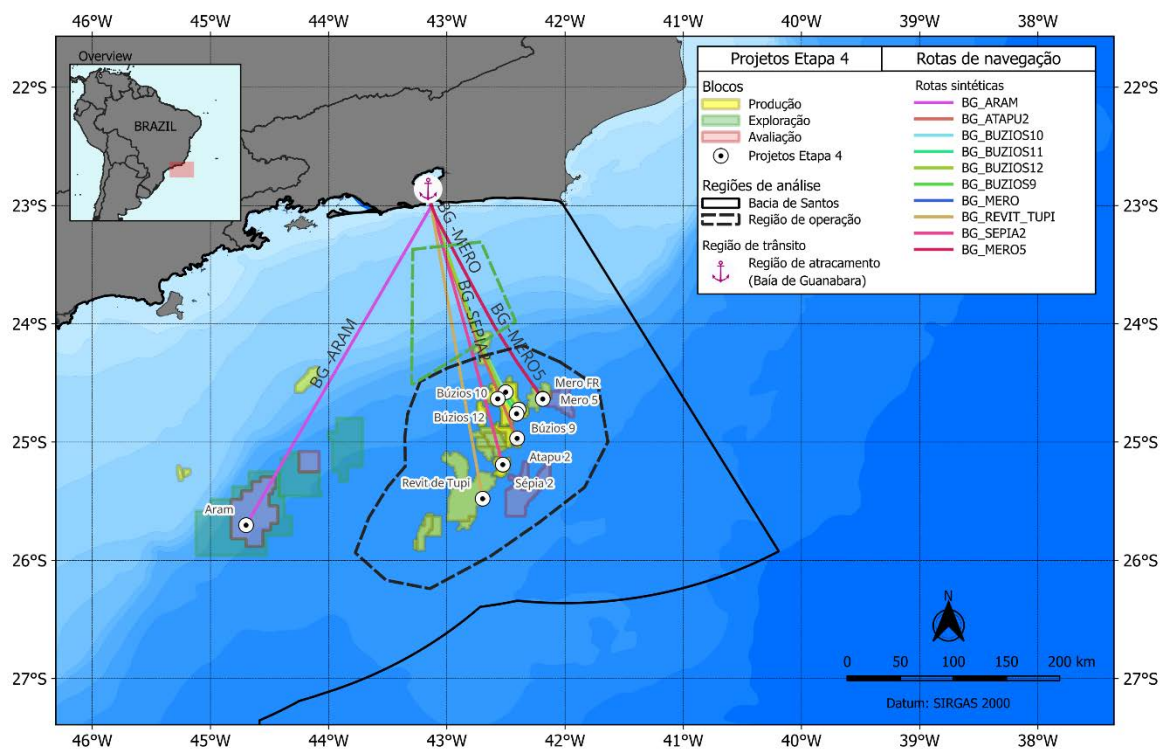


Figura III.3.2-1: Rotas sintéticas das embarcações de apoio, referentes à fase de instalação e operação, entre as áreas de atracação e os projetos de DP do Etapa 4. As rotas sintéticas foram desenhadas com base na densidade de registros de AIS para o ano de 2022.

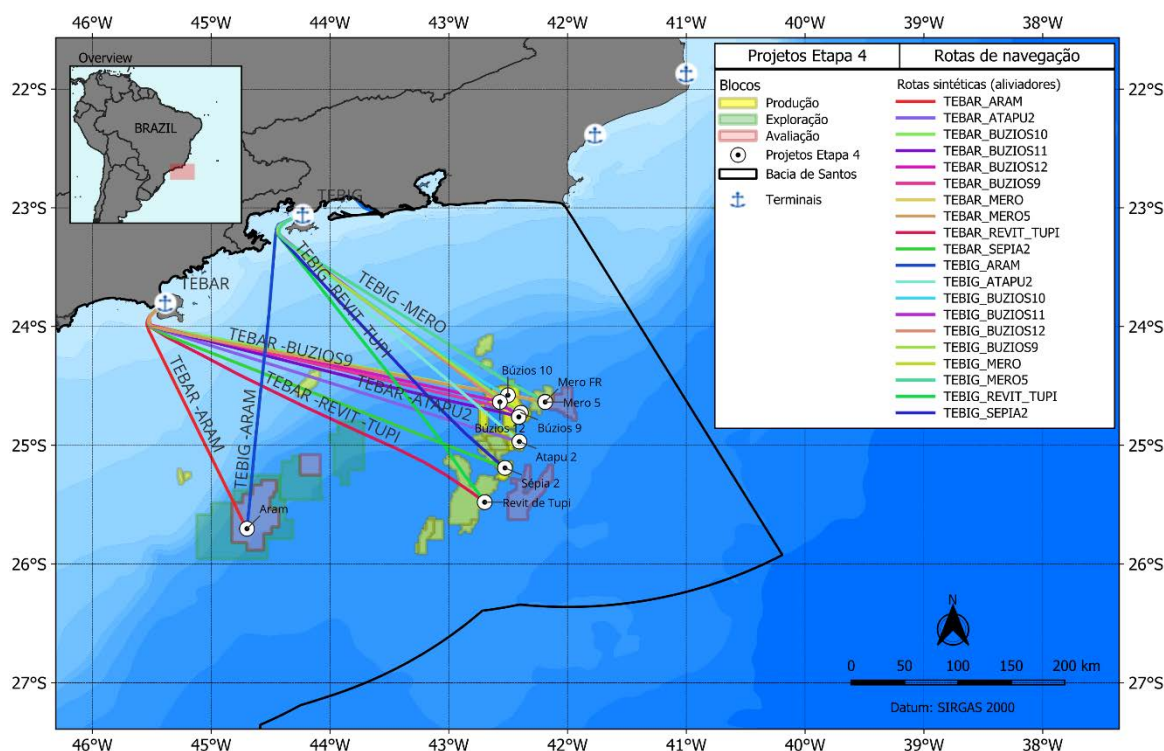


Figura III.3.2-2: Rotas sintéticas entre os terminais de São Sebastião (TEBIG) e da Baía de Ilha Grande (TEBIG) e os projetos de DP do Etapa 4, referentes aos navios aliviadores. As rotas sintéticas foram desenhadas com base na densidade de registros de AIS para o ano de 2022.

A terceira etapa para obtenção dos dados sintéticos consistiu no desenvolvimento e execução de um algoritmo que recebe como entradas a rota desejada (por exemplo, Baía de Guanabara (BG) ↔ Mero FR), a data inicial da viagem, os valores médios de velocidade de atracação, trânsito e operação do navio e a duração destas etapas. A rotina simula o deslocamento do navio retornando suas coordenadas geográficas (longitude, latitude), velocidade e rumo a cada instante de tempo. Este algoritmo considera a faixa de incerteza dos parâmetros (desvio padrão mostrado na **Tabela III.3.2-1**) para simular a variabilidade dos registros de AIS, conferindo maior realismo à simulação de propagação. A **Figura III.3.2-3** mostra um exemplo das posições geradas para uma única viagem (ida e volta) com duração de operação de cerca de 25 dias. A **Figura III.3.2-4** ilustra os registros sintéticos de velocidade e rumo gerados para o mesmo exemplo.

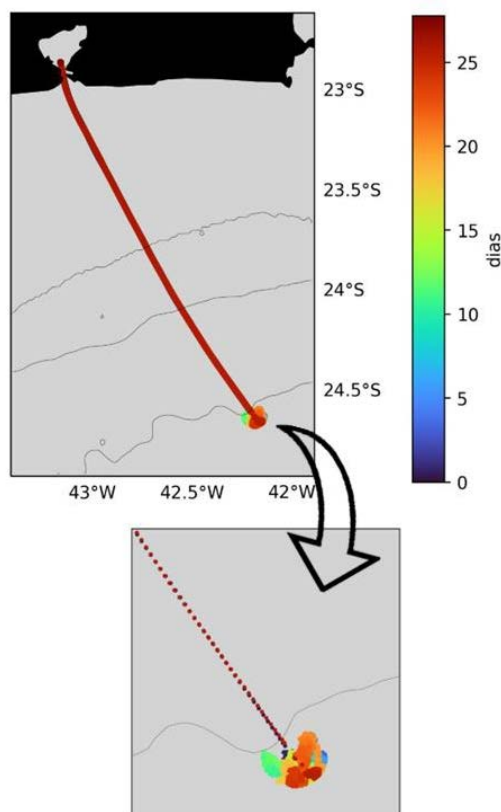


Figura III.3.2-3: Exemplo de geração de registro sintético de AIS para uma viagem completa de navio entre a área portuária da Baía de Guanabara (RJ) e o DP de Mero FR. O mapa mostra a posição do navio ao longo da rota de navegação e ao longo do tempo, conforme a escala de cores. O quadro inferior mostra em detalhe a variabilidade de posição simulada para o navio quando em operação no entorno da unidade.

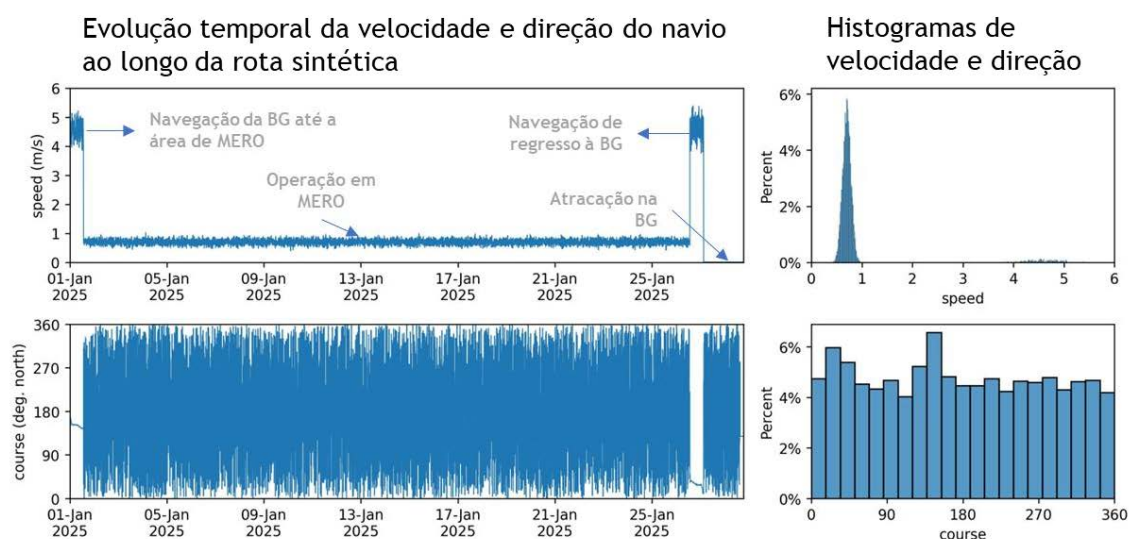


Figura III.3.2-4: Exemplo de geração de registro sintético de AIS para uma viagem completa de navio entre a área portuária da Baía de Guanabara (RJ) e o DP de Mero FR. À esquerda: série temporal de velocidade (acima) e rumo (abaixo); à direita: histogramas de velocidade (acima) e rumo (abaixo).

Considerando as premissas fornecidas para o número incremental de embarcações e a duração das operações e das etapas da fase de instalação foram gerados dados de AIS das fontes móveis para todo o período de 2025 a 2033.

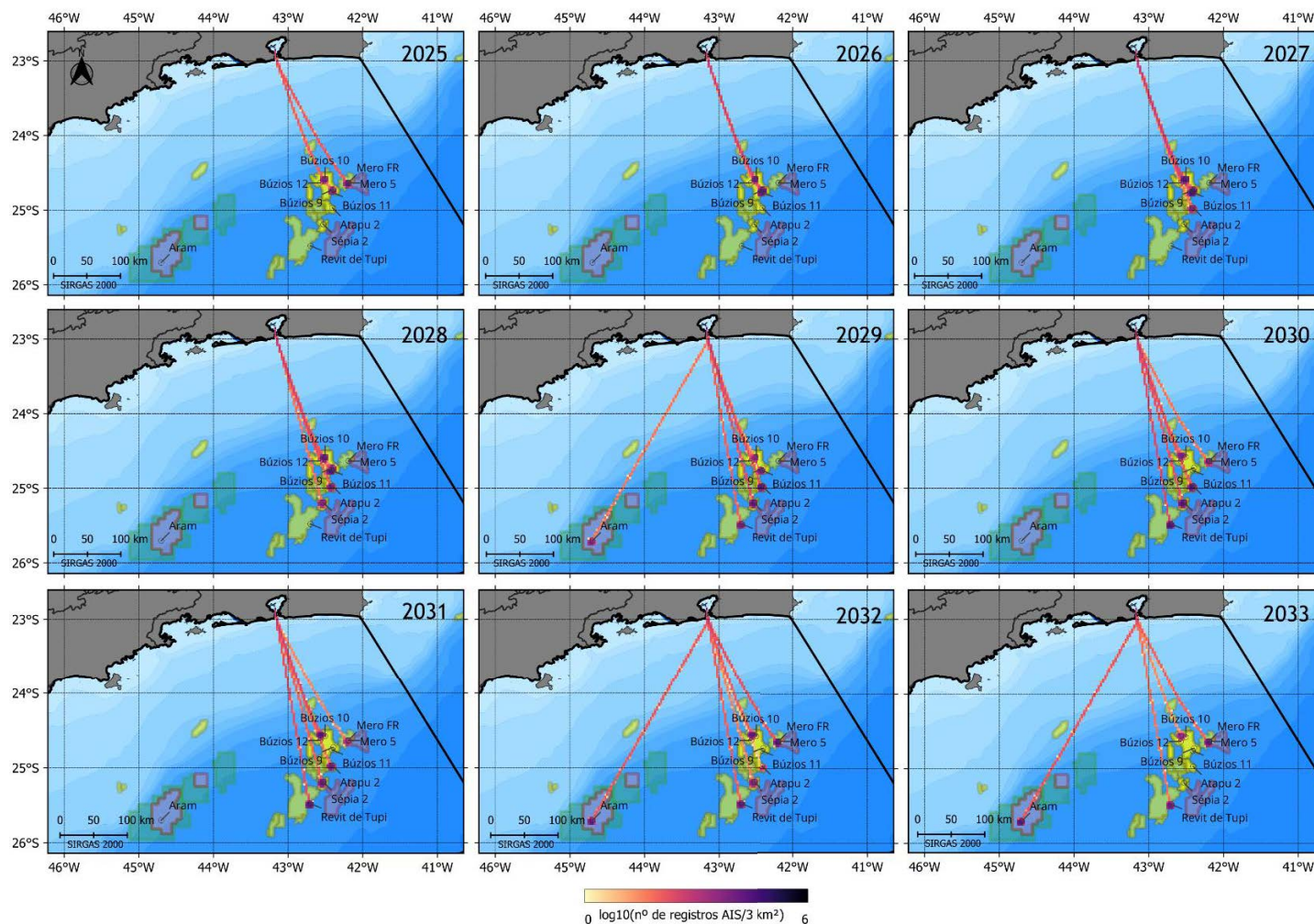


Figura III.3.2-5: Densidade de registros de AIS sintéticos para as fontes móveis no período de 2025 a 2033 referentes aos navios de apoio à fase de instalação.

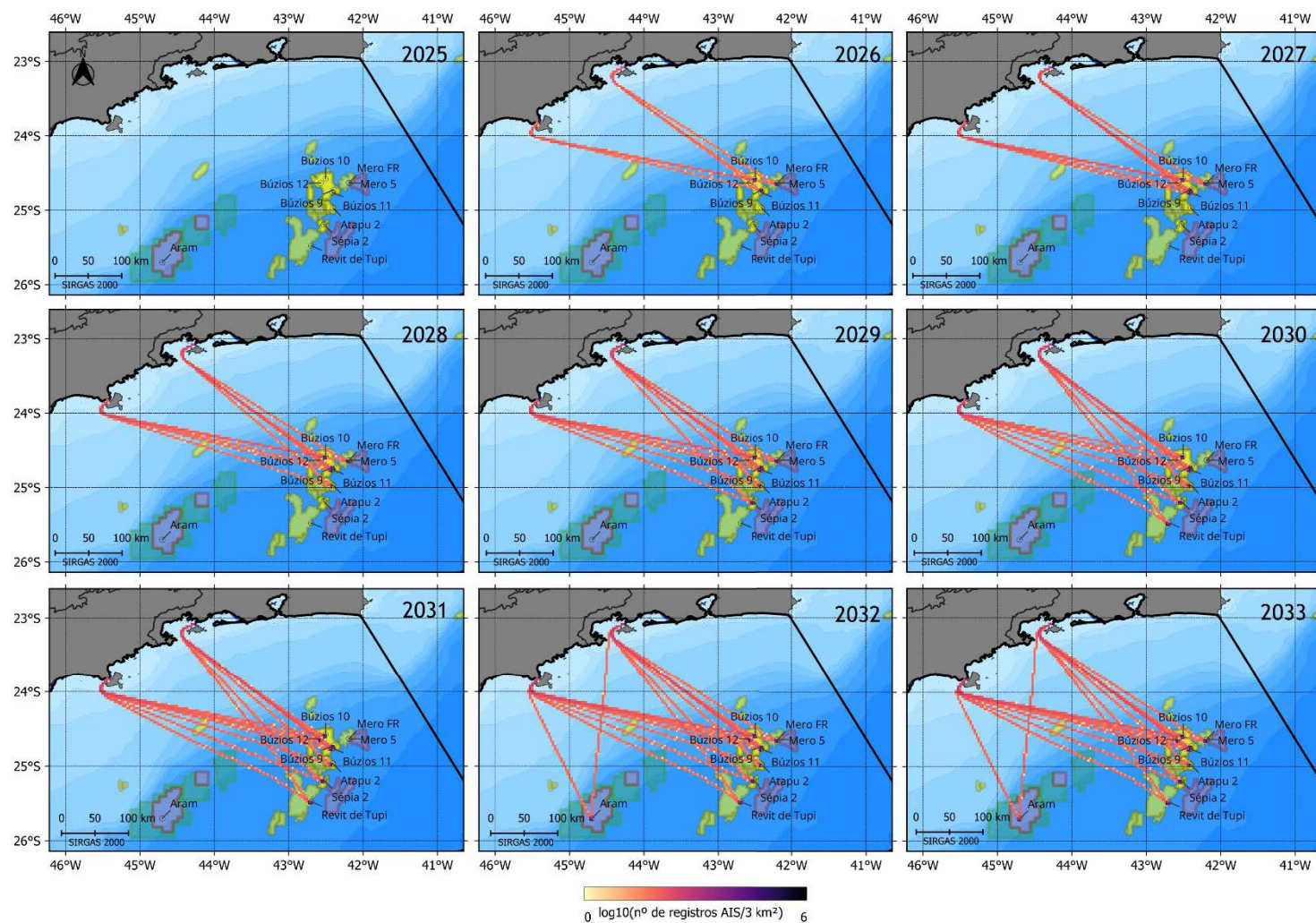


Figura III.3.2-7: Densidade de registros de AIS sintéticos para as fontes móveis no período de 2025 a 2033 referentes aos navios aliviadores.

É importante ressaltar que os dados sintéticos de AIS consideram as seguintes premissas e simplificações:

- A duração média das operações e das atracções de cada navio é ligeiramente ajustada a cada ano para que o número de atracções previsto seja atingido;
- As trajetórias dos navios são sempre da região de atracção (Baía de Guanabara, TEBAR, TEBIG) para a locação, e desta última de volta até a área portuária, não sendo consideradas viagens entre os projetos de DP;
- Os dados são gerados por ciclos de 1 ano, de modo que a posição da embarcação é sempre “reiniciada” no início de cada ano para o interior da Baía da Guanabara (TEBAR ou TEBIG, no caso dos aliviadores);
- Para a fase de operação, a lista de rotas de navegação a serem cumpridas por cada navio ao longo do ano considera os projetos já instalados e permanecem na listagem até o final do período simulado (2033), pois não foram fornecidas informações detalhadas sobre número de viagens por projeto por ano.

IV RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das simulações de propagação são apresentados na forma de mapas do nível de ruído (SPL médio anual). A **Figura IV-1** mostra o campo médio do SPL modelado para o ano de 2023, utilizado como referência para estimativa dos incrementos de ruído associados às atividades do Etapa 4.

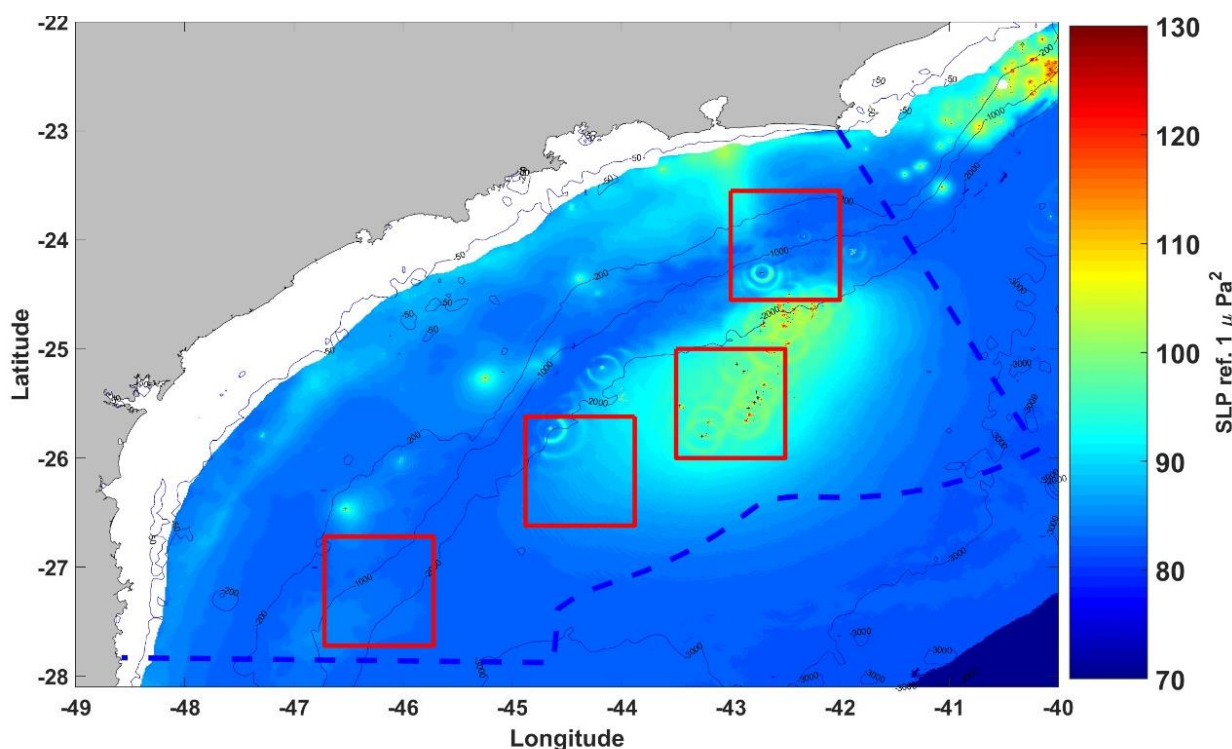


Figura IV-1: Mapa com a média anual de ruído para o ano de 2023 a uma profundidade de 50 metros e frequência de 63 Hz.

A **Figura IV-2** mostra a evolução do ruído anual de 2025 a 2033 das fontes incrementadas sempre levando em consideração o cronograma de instalação de cada plataforma.

É importante ressaltar que todas as simulações feitas pelo SIMAS foram para a frequência de 63Hz na profundidade de 50 m, conforme informado no item II.2 Metodologia. Nos mapas referentes aos incrementos anuais dos Projetos da ETAPA 4 (**Figura IV-2**), é possível observar que os níveis de ruído médio de cada

ano estão coerentes e compatíveis com as instalações das novas plataformas e intensificação de uso das rotas de navegação correspondente.

Os maiores níveis de ruído ocorrem no entorno das unidades marítimas e ao longo da trajetória dos navios entre as áreas de atracação e as plataformas, particularmente junto à convergência das rotas de navegação que ocorre na aproximação com a Baía de Guanabara, com os terminais de São Sebastião (TEBAR) e da Baía de Ilha Grande (TEBIG). Os valores de SPL nestas regiões variam de 85 dB a 96 dB para a rota de navegação e na faixa de 85 dB a 120 dB nas regiões onde se localizam as plataformas.

Os mapas apresentados na **Figura IV-3** mostram os níveis de ruído de base, referentes ao ano de 2023, acrescidos do ruído previsto para o período de 2025 a 2033 em função das plataformas e navios incrementais associados aos projetos do Etapa 4.

À primeira vista, comparando-se os mapas de ruído prognósticos nos anos de 2025 a 2033 com o ruído médio atual (ano base 2023) mostrado na **Figura IV-3**, os incrementos de ruído referentes ao Etapa 4 não aparentam ter efeitos significativos em escala regional sobre o ambiente acústico da Bacia de Santos. De fato, o efeito do ruído associado aos projetos do Etapa 4 tende a ser localizado e mais evidente em regiões de menor intensidade de atividades de E&P e navegação.

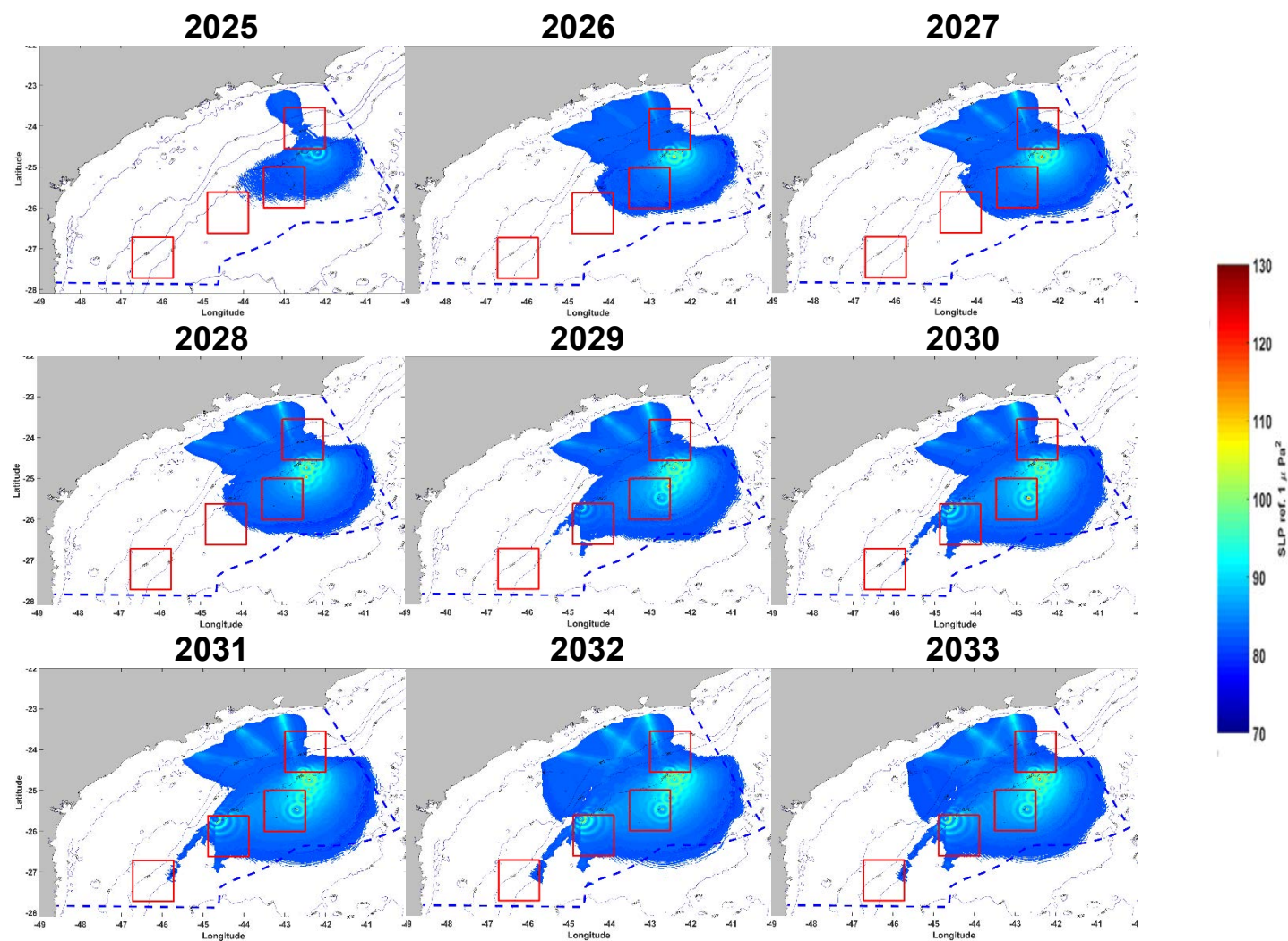


Figura IV-2: Mapas de ruído anual médio: evolução do ruído modelado a partir das fontes incrementadas no Etapa 4 (anos 2025-2033).

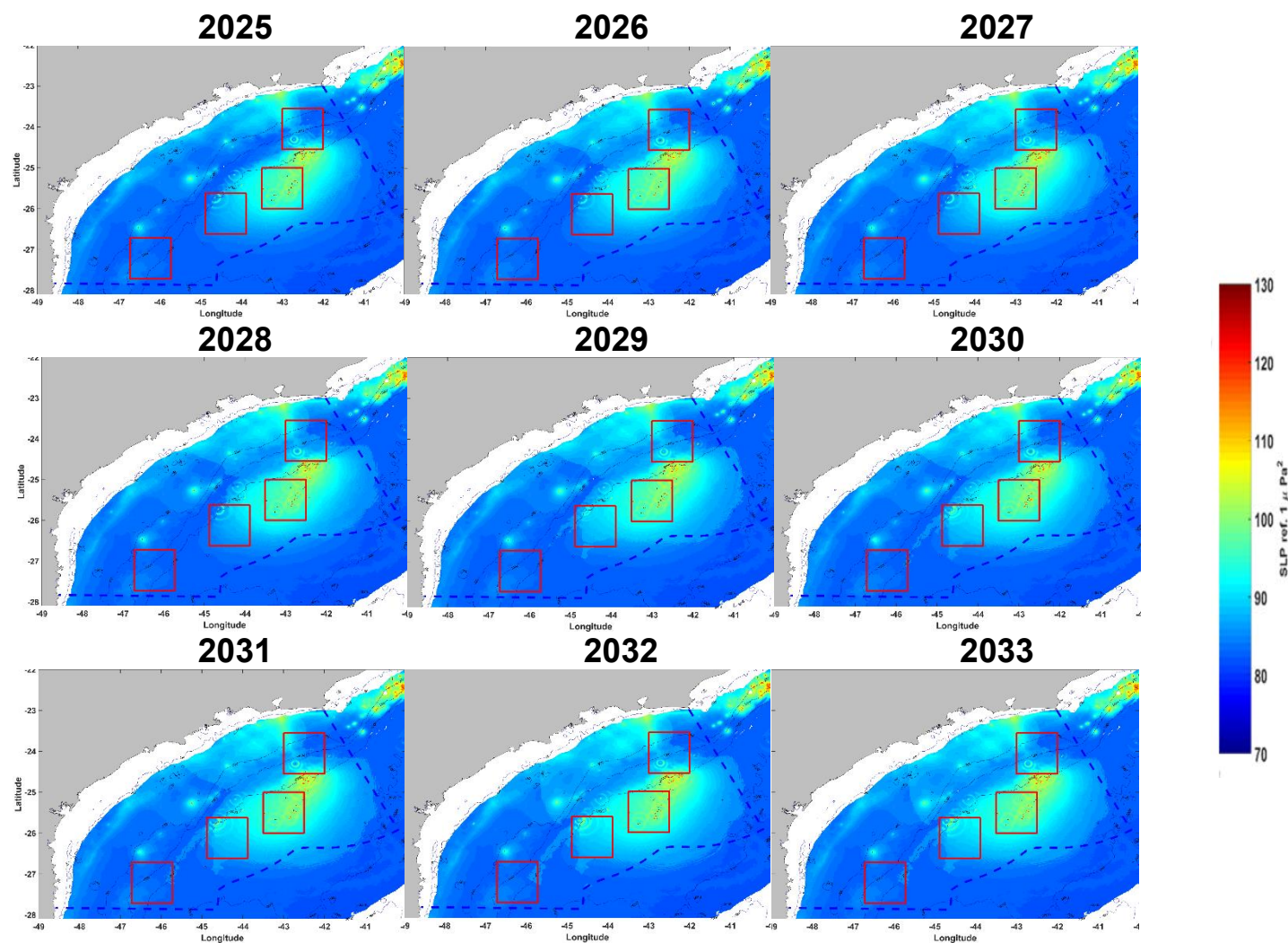


Figura IV-3: Mapas do ruído anual de 2025 a 2033, gerados pelas fontes incrementadas entre 2026 e 2033 somados ao ruído médio de 2023.

Observando os mapas de ruído médio anual (**Figura IV-3**) e estabelecendo uma comparação entre o período de 2025 a 2030, nota-se um incremento de ruído principalmente entre 24°S e 25°S e 43°W e 42°W, refletindo o aumento de atividades associados ao desenvolvimento dos projetos do ETAPA 4. Este mesmo comportamento é observado também nas regiões 2 e 3, embora com um percentual diferente em cada uma delas.

A evolução dos níveis médios de ruído nos anos de 2023 a 2033 (**Figura IV-4**) para as regiões R1, R2, R3 e R4 oscila ao longo dos anos. Há uma tendência de aumento do nível médio de ruído nas regiões R2 e R3, ao passo que nas regiões R1 e R4 não se observam tendências claras. Há uma ligeira elevação do nível de ruído entre os anos de 2029 e 2030, associada às instalações de Aram 1, Búzios 12, Mero 5 e Revit I de Tupi durante estes anos. O ano de 2032 também apresenta um pequeno aumento do nível de ruído, devido ao início das operações de Aram 1 e Mero 5 nesse período.

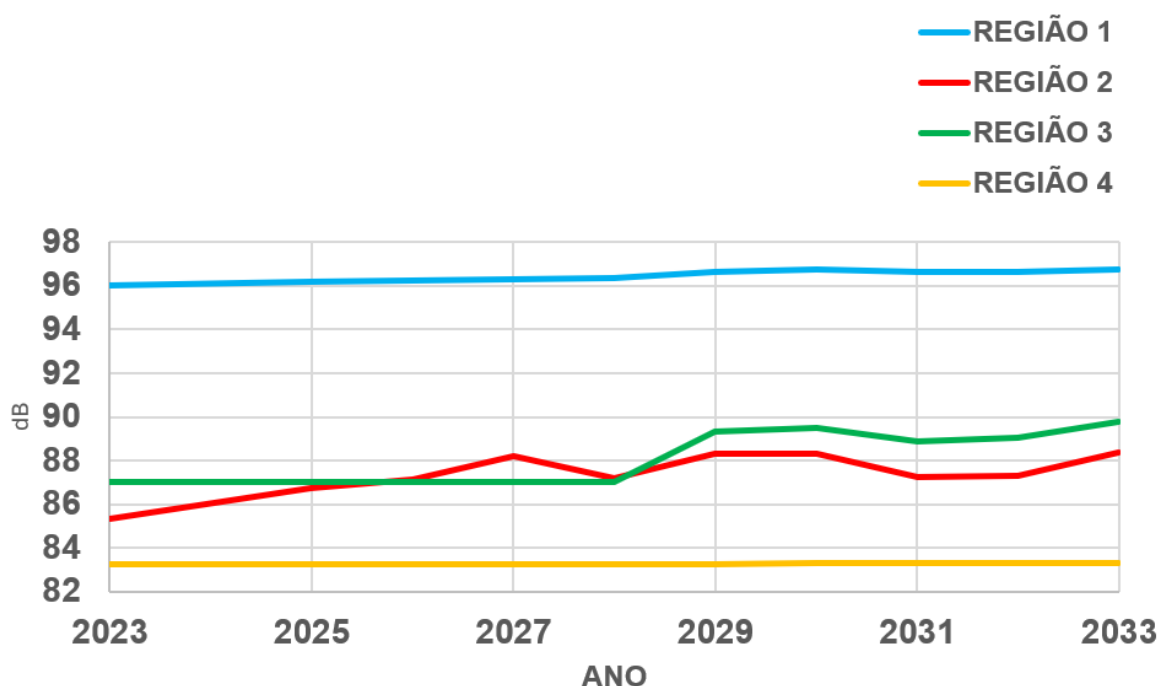


Figura IV-4: Evolução temporal do ruído médio anual de 2025 a 2033 para as regiões R1, R2, R3 e R4. O gráfico foi gerado a partir do ruído médio produzido pelas fontes incrementadas entre os anos de 2025 e 2033 somado ao ruído médio do ano de 2023.

A **Figura IV-5** mostra as diferenças entre o ruído médio previsto para o ano de 2033, ano de conclusão da implantação dos projetos de DP, e para o ano de 2023. Observa-se que as áreas de maior aporte de energia sonora se concentram próximo ao DP de Aram (R3), região que hoje se encontra em um estágio anterior de desenvolvimento das atividades de E&P em comparação àquele existente na região do cluster pré-sal (R1), como no entorno dos campos de Sapinhoá, Tupi, Sépia, Itapu, Búzios e Mero.

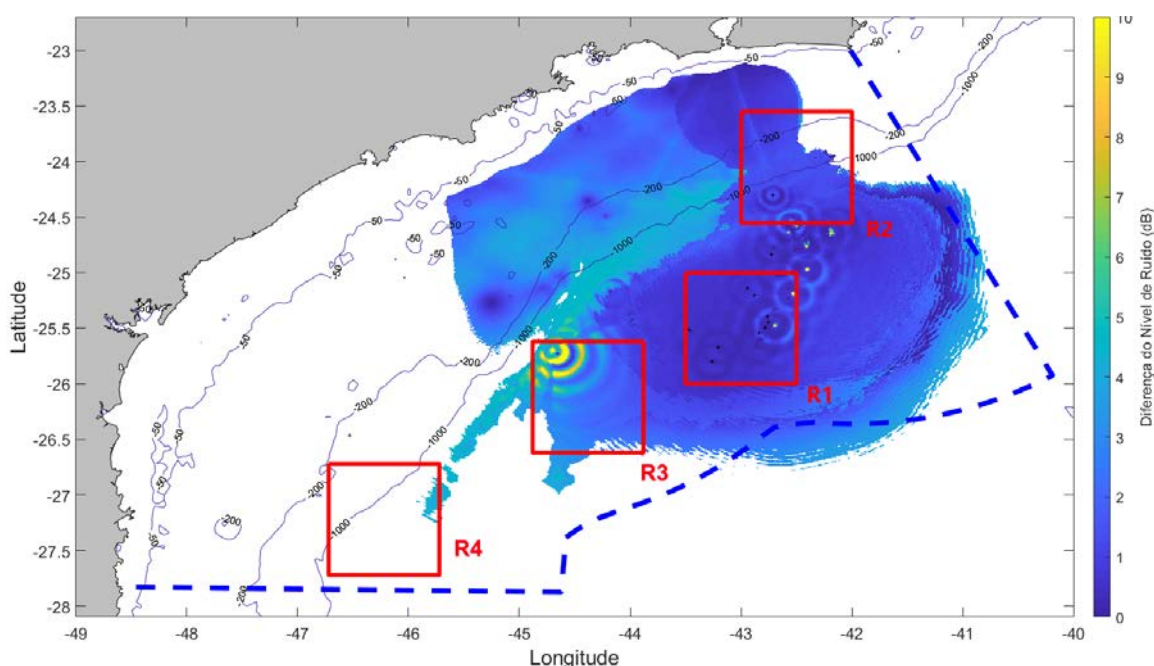


Figura IV-5: Mapa referente às diferenças dos níveis de ruído médio anual entre os anos de 2033 e 2023. Os retângulos indicam as regiões de análise adotadas nos RT do PMPAS-BS.

A **Figura IV-6** mostra a evolução da média anual dos níveis de ruído por região, tendo como base o ano de 2023. Os efeitos do ruído associado aos projetos do Etapa 4 ocorrem entre os anos de 2025 e 2033. Vale ressaltar que no ano de 2024 não existem incrementos de instalação de plataformas e alterações na navegação ou atracação em função dos projetos do Etapa 4.

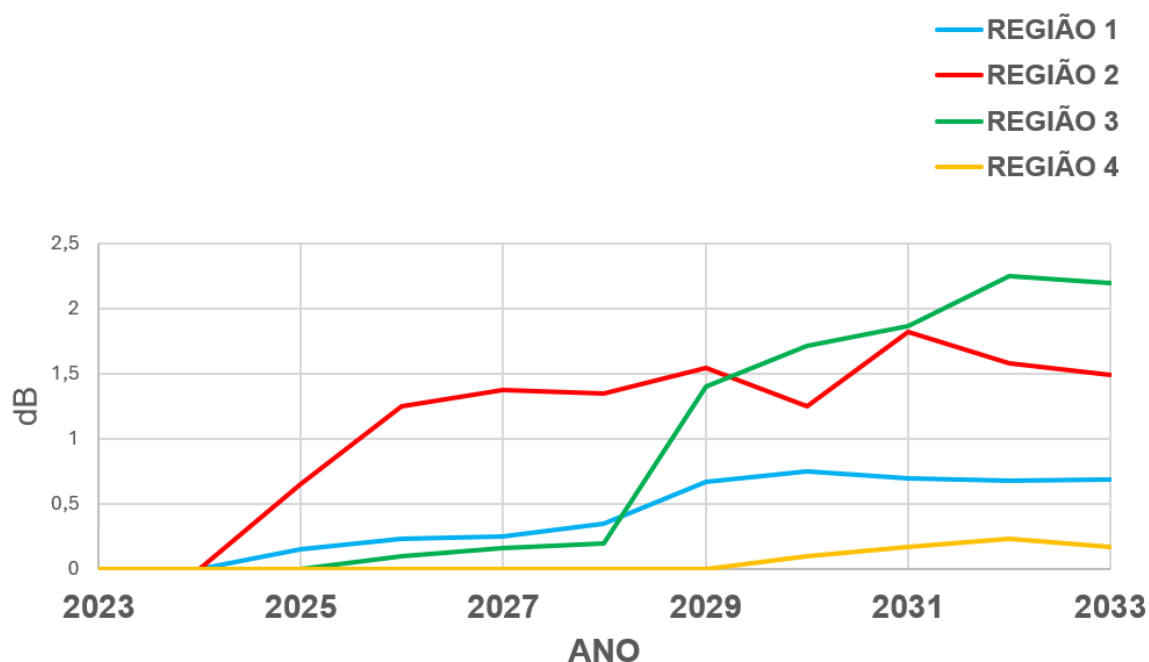


Figura IV-6: Evolução temporal do incremento no nível de ruído (SPL médio anual) entre os anos de 2023 a 2033 nas regiões R1 (azul), R2 (vermelha), R3 (verde) e R4 (amarela), tendo como referência o ano de 2023.

Em termos de regiões com características singulares quanto a presença de fontes antropogênicas, os incrementos médios no interior das regiões de análise³ R1, R2, R3 e R4, tradicionalmente utilizadas para monitorar a evolução do ruído nos RTs do PMPAS-BS, são pequenos. Tal aspecto é ilustrado na **Figura IV-6**, que mostra a evolução temporal da diferença relativa a 2023 do nível de ruído (médio anual) entre os anos de 2023 até 2033 nas regiões R1, R2, R3 e R4. O maior aporte é inferior a 3 dB e ocorre na região R3 sobretudo a partir do ano de 2029, quando há o início da instalação do DP de Aram. A despeito deste aumento, conforme indica na **Figura IV-4**, o ruído médio previsto para a região R3 ainda será cerca de 6 dB inferior aos níveis atuais modelados para a região R1 onde se concentra a maioria dos projetos de produção do polo pré-sal.

Para a região R1 e R2, esta última que concentra grande parte das rotas de navegação, os incrementos médios são mais graduais e atingem a faixa de 0,75

³ R1: região de intensa atividade de E&P; R2: região de intensa atividade de navegação; R3: região com pouca atividade de E&P e navegação; e R4: região sem atividades de E&P, mas com alguma atividade de navegação

a 2 dB. Colocando estes valores em contexto, a incerteza típica associada a um sistema de gravação acústica é da ordem de 1 dB (ROBINSON et. al., 2014), de modo que estes valores estariam no máximo 1 dB fora da faixa de incerteza mínima esperada para uma medição acústica. Adicionalmente, resultados apresentados no 8º RT do PMPAS-BS indicam que a variação máxima da mediana dos níveis de ruído em R1 e R2 entre anos consecutivos no período de 2016 a 2023 foi de 2,0 e 3,7 dB, respectivamente (PETROBRAS e IPqM, 2024). Assim, estes incrementos de 0,75 a 2,0 dB estariam dentro da faixa de variabilidade histórica do ruído nestas regiões, o que dificultaria a identificação de tendências de aumento do SPL, caso estes valores previstos se concretizem.

Por fim, na região R4 não foram encontradas diferenças significativas entre os níveis de ruído atuais e previstos.

Os resultados apresentados indicam a importância do conhecimento da previsão do nível de ruído ou de suas tendências, ajudando no planejamento e a verificação futura do comportamento e da evolução temporal destes ruídos.

V CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização da modelagem e o conjunto de resultados produzidos pelo SIMAS nestas simulações de cenários futuros no período de 2025 a 2033 contribuíram para a compreensão da variabilidade espacial e temporal do ruído hidroacústico dos projetos do Etapa 4 e de sua magnitude. Os mapas gerados fornecem uma visão abrangente da propagação do ruído e sua evolução durante os anos. Cabe ressaltar que este tipo de estudo de previsão de ruídos e a metodologia de geração de dados sintéticos de AIS é inédita, não tendo sido identificado trabalho análogo em estudos ambientais de outros projetos.

A análise dos resultados indica que os incrementos de ruído não têm efeitos significativos em escala regional sobre o ambiente acústico da Bacia de Santos, sendo localizados e mais evidentes em regiões de menor intensidade de atividades de E&P e navegação. Os maiores incrementos médios anuais foram identificados pontualmente no entorno de algumas plataformas e particularmente nas imediações do DP de Aram, que se encontra em uma área em estágio inicial de desenvolvimento das atividades de E&P em relação àquela existente no cluster Pré-sal da Bacia de Santos.

Em relação a regiões com níveis distintos de atividades antropogênicas, os valores de SPL nas regiões R1 e R2 apresentam um aumento gradual a partir dos anos de 2028 e 2029 na faixa de 0,5 a 2,0 dB, enquanto a região R3 mostra um aumento da ordem de 2,0 dB a partir de 2029, ano de instalação do DP de Aram. Por outro lado, na região R4 não foram encontradas diferenças significativas entre os níveis de ruído atuais e previstos.

Cabe ressaltar que estes resultados estão circunscritos às premissas e simplificações adotadas ao processo de sintetização de insumos para a simulação de propagação, de modo que os valores de incremento de ruído carregam incertezas e devem ser considerados com cautela. Não obstante, os padrões de variabilidade espacial e temporal do ruído apontados mostram-se consistentes com o cenário de aumento de atividades associadas aos projetos do Etapa 4.

VI REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

KUPERMAN, William A.; ROUX, Philippe. **Underwater acoustics. Springer Handbook of Acoustics**, p. 157-212, 2014.

PETROBRAS e IPqM. **8º Relatório Técnico do PMPAS-BS – Novembro/2015 a Dezembro/2023.** Projeto de Monitoramento da Paisagem Acústica Submarina da Bacia de Santos. 2024.

PETROBRAS. **Análise das medições de ruído hidroacústico.** RT TS 050/09. P&D de Produção, Tecnologia Submarina, CENPES. Dezembro, 2009.

PETROBRAS/IPQM. **Relatório Técnico do Sistema de Modelagem Acústica Submarina - PMPAS-BS.** Rio de Janeiro – RJ: IPqM, 2024


ROBINSON, S.P., Lepper, P. A. and Hazelwood, R.A. **Good Practice Guide for Underwater Noise Measurement**, National Measurement Office, Marine Scotland, The Crown Estate, NPL Good Practice Guide No. 133, ISSN: 1368-6550, 2014.

VII EQUIPE TÉCNICA

VII.1 PETROBRAS

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

VII.2 INSTITUTO DE PESQUISAS DA MARINHA (IPQM)

| | |
|--|--|
| Profissional | Alexandre Bazyl Zacarias de França |
| Unidade de Negócios | IPqM |
| Registro no Conselho de Classe | |
| Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental | 8018168 |
| Responsável pela(s) Seção(ões) | Todas |
| Assinatura |  |
| Profissional | Carlos Correa Junior |
| Unidade de Negócios | IPqM |
| Registro no Conselho de Classe | CREA-RJ – 81-1-03205-2-D |
| Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental | 8647815 |
| Responsável pela(s) Seção(ões) | Todas |
| Assinatura |  |

| | | | |
|--|--------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> Ministério do Meio Ambiente Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis CADASTROS TÉCNICOS FEDERAIS CERTIFICADO DE REGULARIDADE - CR </div>  </div> | | | |
| Registro n.º | Data da consulta: | CR emitido em: | CR válido até: |
| 8647815 | 07/02/2025 | 07/02/2025 | 07/05/2025 |
| Dados básicos: | | | |
| CPF: 636.810.997-15 | | | |
| Nome: CARLOS CORREA JUNIOR | | | |
| Endereço: | | | |
| logradouro: RUA GUAREI | | | |
| N.º: 96 | Complemento: APTO 103 | | |
| Bairro: ALTO | Município: TERESOPOLIS | | |
| CEP: 25960-720 | UF: RJ | | |
| Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental – CTF/AIDA | | | |
| Código CBO | Ocupação | Área de Atividade | |
| 2144-05 | Engenheiro Mecânico | Elaborar documentação técnica | |
| <p>Conforme dados disponíveis na presente data, CERTIFICA-SE que a pessoa física está em conformidade com as obrigações cadastrais do CTF/AIDA.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>O Certificado de Regularidade no CTF/AIDA não produz qualquer efeito quanto à qualificação e à habilitação técnica da pessoa física inscrita.</p> | | | |
| Chave de autenticação | | CLHISYD7HS5C58BN | |

