

Modelagem Acústica Ambiental

Anexo II.8.11-1 - Modelagem Acústica Ambiental



global environmental solutions

**WesternGeco - Aquisição Sísmica *Wide Azimuth*
Modelagem de Ruído Subaquático**

WesternGeco

**Maio 2019
SLR Project No.: 201.19065.00000**



AQUISIÇÃO SÍSMICA *WIDE AZIMUTH* - WESTERNGECO

MODELAGEM DE RUÍDO SUBAQUÁTICO

SLR Project No.: 201.19065.00000

Preparado por:
SLR Consulting (Canada) Ltd.
200 – 1620 West 8th Avenue
Vancouver, BC V6J 1V4

for

WESTERNGECO SERVIÇOS DE SISMICA LTDA

BRASIL

1 de Maio 2019

Preparado por:

Revisado por:

Justin Eickmeier, Ph.D.
Consulting Scientist

Briony Croft, Ph.D., P.Eng.
Principal, Acoustical Consultant

CONFIDENCIAL

Distribuição:

1 cópia - WESTERNGECO SERVIÇOS DE SISMICA LTDA
1 cópia - SLR Consulting (Canada) Ltd.

SUMÁRIO EXECUTIVO

A WesternGeco (WG) está em processo de Licenciamento de atividade de pesquisa sísmica marítima *Wide Azimuth Acquisition* (WAZ) no Brasil. A SLR Consulting (Canadá) Ltda. (SLR) foi contratada pela WesternGeco para realizar a modelagem de decaimento sonoro para a pesquisa proposta, a fim de prever níveis únicos de exposição sonora, cumulativa e outros parâmetros relevantes na área proposta para a pesquisa.

Este relatório detalha o estudo de modelagem de ruído subaquático que foi realizado para a pesquisa proposta e inclui quatro componentes de modelagem:

- Modelagem de fonte sonora, ou seja, modelagem das emissões de energia de som dos arranjos de fontes *eSource* propostos, incluindo assinatura de campo distante e densidade espectral de potência, bem como o padrão de feixe de cada matriz de origem;
- Modelagem de curto alcance, ou seja, previsão dos níveis de ruído recebidos ao longo de um intervalo de quatro quilômetros da fonte, para avaliar o impacto potencial de ruído imediato de alto risco, no que se refere às espécies de interesse da fauna marinha para cada disparo da matriz da;
- Modelagem de longo alcance, ou seja, previsão dos níveis de ruído recebidos ao longo de um intervalo de mais de cem quilômetros, a partir dos locais de origem dos arranjos, a fim de avaliar o potencial impacto de ruído do levantamento à longas distâncias, e
- Modelagem cumulativa, ou seja, previsão dos níveis acumulados de exposição sonora ao longo de um período de 24 horas, para avaliar o potencial impacto cumulativo do ruído, para os grupos de mamíferos marinhos, devido a múltiplos disparos sucessivos do arranjo de fontes.

A pesquisa utiliza quatro arranjos de fontes sonoras *eSource* de 5.085 polegadas cúbicas (CUI) a serem colocadas em quatro navios separados por uma distância de 1.400 metros. Cada arranjo de fontes, consiste de 24 unidades de ar comprimido e500A ativas, em profundidade de 9 m e pressão de operação de 2.000 libras por polegada quadrada (PSI). Os quatro arranjos de fontes serão disparados sequencialmente. A modelagem da fonte mostra que para um único disparo, o nível de pressão sonora de pico é 256,0 dB re 1 μ Pa @ 1m, o nível de pressão sonora pico a pico é 263,0 dB re 1 μ Pa @ 1m, o nível de pressão sonora média quadrada é 253,6 dB re 1 μ Pa @ 1m e o nível de exposição sonora (SEL) é 235,7 re μ Pa² · s @ 1m.

A modelagem da fonte demonstra que o ruído gerado pela tecnologia *eSource*, (de fonte sonora controlada por largura de banda) é concentrado em baixas frequências, menores que 200 Hz. Um declínio rápido nos níveis de ruído da fonte espectral é evidente para frequências superiores a 200 Hz.

A modelagem de longo alcance indica que o ruído se propaga a longas distâncias, particularmente na superfície. No entanto, a análise dos efeitos de propagação em diferentes frequências indica que a maior parte da energia está em frequências muito baixas, menores que 200 Hz. Na maioria das frequências mais altas, os níveis de ruído de uma fonte sísmica aparecerão em “bandas” para serem similares aos níveis do ambiente entre 40 e 60 km da fonte. Além de 100 km, o nível de ruído em grande parte da coluna de água estará abaixo de níveis sonoros naturais do ambiente.

Este relatório identifica as zonas estimadas de impacto para mamíferos marinhos, com referência a níveis de orientação para limite de mudanças permanente e temporário, considerando tanto os níveis máximos de ruído de disparos individuais, quanto potenciais exposições cumulativas durante um período indicativo de 24 horas, que constitui o pior caso teórico.

ÍNDICE

1.0	INTRODUÇÃO	1
1.1	Descrição do projeto	1
1.2	Estrutura do relatório	2
2.0	GUIA DE AVALIAÇÃO DE RUÍDO	3
2.1	Limites de avaliação de ruído	3
2.2	Sensibilidades auditivas de mamíferos marinhos e funções de ponderação auditiva	5
2.3	Grupos de mamíferos marinhos de interesse para esta avaliação	6
2.4	Zonas de impacto	6
3.0	MODELAGEM DE ARRANJO DE FONTES DE AR COMPRIMIDO	7
3.1	Configuração do arranjo de fontes de ar comprimido	7
3.2	Metodologia da modelagem	8
3.2.1	Assinaturas nocionais	9
3.2.2	Assinaturas de campo distante	9
3.2.3	Padrões de raios	9
3.3	Resultados da modelagem	10
3.3.1	Assinaturas nocionais	10
3.3.2	Assinaturas de campo distante e densidade espectral de potência	10
3.3.3	Padrões de raios	11
3.4	Discussão do tipo de fonte eSource em comparação com fontes de ar comprimido convencionais	13
4.0	MODELAGEM DE DECAIMENTO	14
4.1	Parâmetros de entrada de modelagem	14
4.1.1	Batimetria	14
4.1.2	Perfil de velocidade do som	15
4.1.3	Modelo geoacústico do fundo do mar	15
4.2	Metodologias e procedimentos detalhados de modelagem	16
4.2.1	Modelagem de curto alcance	16
4.2.1.1	Metodologia e procedimento de modelagem	16
4.2.1.2	Cenários de modelagem	17
4.2.2	Modelagem de longo alcance	17
4.2.2.1	Metodologia e procedimento de modelagem	17
4.2.2.2	Cenário de modelagem	17
4.2.3	Modelagem de SEL cumulativa	18
4.2.3.1	Cenário modelado	18
4.2.3.2	Metodologia e procedimento de modelagem	19
4.2.4	Estimados de Pk SPLs, Pk-Pk SPLs e RMS SPLs – metodologia a partir de SELs modelados	20
4.2.4.1	SEL e Pk SPL/ Pk-Pk SPL	20
4.2.4.2	SEL e RMS SPL	21
4.3	Validação do modelo	22
5.0	RESULTADOS DA MODELAGEM	23
5.1	Modelagem de curto alcance - SEL	23
5.2	Resultados da modelagem de curto alcance - outros parâmetros	25
5.3	Modelagem de Longo Alcance	26
5.4	Modelagem de SEL cumulativa	24
5.5	Zonas de impacto	24

5.5.1 Zonas de impacto - exposição imediata de pulsos únicos.....	24
5.5.2 Zonas de impacto - exposição cumulativa de múltiplos pulsos	25
5.5.3 Zonas de impacto - perturbação comportamental intercalar do NMFS.....	26
6.0 SUMÁRIO	27
7.0 REFERÊNCIAS.....	28
APÊNDICE A	A 30
TERMINOLOGIA ACÚSTICA.....	A 30

TABELAS

Tabela 1	Grupos auditivos de mamíferos marinhos (do NMFS, 2018)	4
Tabela 2	Limites para o início de LPM e LMT com fontes impulsivas	4
Tabela 3	Limites acústicos submarinos interinos para perturbação comportamental	5
Tabela 4	Parâmetros para as funções de ponderação auditiva	5
Tabela 5	SELS globais de fontes de ar convencional e eSource 3.147 CUI sob diferentes sistemas de ponderação de frequência (Li e Bayly, 2017)	14
Tabela 6	Parâmetros geoacústicos para o modelo de fundo de argila proposto.....	15
Tabela 7	Detalhes da localização da fonte única selecionada para a modelagem de longo alcance	18
Tabela 8	Os SELs, Pk SPLs, Pk-Pk SPLs e RMS SPL máximos na coluna de água para todos os azimutes como uma função da distância do arranjo de fontes para duas profundidades	26
Tabela 9	Zonas de impacto de pulsos únicos para LMP e LMS de mamíferos marinhos	25
Tabela 10	Zonas de mamíferos marinhos com impacto cumulativo de múltiplos impulsos para LMP e LMT.....	26

FIGURAS

Figura 1	Área operacional de aquisição total (polígono amarelo) e Área Prioritária (polígono branco)	1
Figura 2	Funções de ponderação auditiva para grupos auditivos funcionais de mamíferos marinhos.....	6
Figura 3	Arranjo de navios e configuração de cabo.....	7
Figura 4	Configuração de cada um dos quatro arranjos de fontes de ar eSource e500A de 5.085 CUI.....	8
Figura 5	Assinatura nocional para o arranjo de fontes de ar 5,085 CUI eSource (e500A)	10
Figura 6	A assinatura de campo distante na direção vertical descendente (superior) e sua densidade espectral de potência (inferior) para o arranjo de fontes de 5.085 CUI eSource (e500A).....	11

Figura 7	Padrões de raios de campo distante para o arranjo de fonte de ar de 5.085 CUI eSource (e500A), em função de orientação. (a) O plano horizontal com 0 grau correspondente à direção in-line; (b) O plano vertical para a direção in-line; (c) O plano vertical para a direção cross-line. O ângulo de declive de 0 graus corresponde à direção vertical descendente.....	12
Figura 8	Padrões de feixe de campo distante no plano horizontal para arranjos convencionais (esquerda) e eSource (direita), de Li e Bayly (2017)	13
Figura 9	Imagens batimétricas dentro e ao redor da área operacional da pesquisa	14
Figura 10	Perfil de velocidade de som típico (todas as estações) na área do projeto....	15
Figura 11	Duas linhas de pesquisa representativas - Locais de modelagem de fonte de longo alcance 1, 2 e 3	18
Figura 12	Fatores de conversão SEL para RMS SPL como uma função dos intervalos horizontais do arranjo de fontes	19
Figura 13	SELs máximos previstos na coluna de água em função do azimuth e da faixa horizontal do centro do arranjo, profundidade da água de 1.100 m.....	22
Figura 14	SELs máximos previstos em toda a coluna de água para todos os azimuths em função da faixa (0 a 4 km) dos locais de origem com profundidades de água de 1.100m (azul), 1.800m (vermelho), 2.500m (verde) e 3.200m (preto).....	23
Figura 15	Composto de espectros de ruído ambiente de Wenz (1962)	25
Figura 16	Exemplo de SELs modelados versus alcance e profundidade ao longo de uma propagação devida a sudeste (azimute = 150°) a partir do local de origem L2. (a) SEL global (soma de todas as frequências até 2 kHz). (b) - (e) contribuição das bandas de frequências individuais da terceira oitava para o SEL global recebido, indicando que a energia sonora dominante que se propaga a longas distâncias é inferior a 100 Hz.....	27
Figura 17	Exemplo de SELs modelados versus alcance e profundidade ao longo de uma propagação devida a sudeste (azimute = 180°) a partir do local de origem L2. (a) SEL global (soma de todas as frequências até 2 kHz). (b) - (e) contribuição das bandas de frequências individuais da terceira oitava para o SEL global recebido, indicando que a energia sonora dominante que se propaga a longas distâncias é inferior a 100 Hz.....	21
Figura 18	Exemplo de SELs modelados versus alcance e profundidade ao longo de uma propagação devida a sudeste (azimute = 210°) a partir do local de origem L2. (a) SEL global (soma de todas as frequências até 2 kHz). (b) - (e) contribuição das bandas de frequências individuais da terceira oitava para o SEL global recebido, indicando que a energia sonora dominante que se propaga a longas distâncias é inferior a 100 Hz.....	22

APÊNDICE

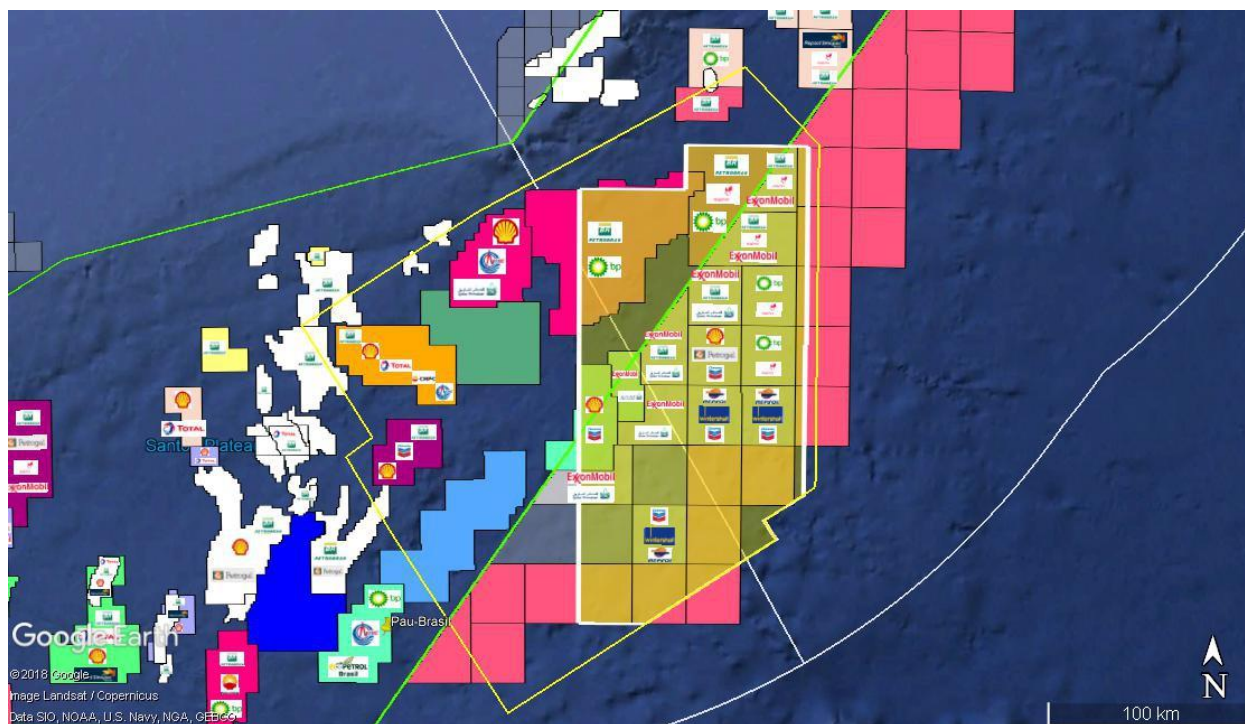
Apêndice A	Terminologia acústica
------------	-----------------------

1.0 INTRODUÇÃO

1.1 Descrição do projeto

A WesternGeco está em processo de Licenciamento para atividade de pesquisa sísmica marítima *Wide Azimuth* (WAZ) no Brasil. A área operacional proposta e a área prioritária são mostradas na **Figura 1**.

Figura 1 Área operacional de aquisição total (polígono de linha amarela) e Área Prioritária (polígono de linha branca)



A *SLR Consulting (Canada) Ltd* (SLR) foi contratada pela WesternGeco para realizar um estudo de modelagem de decaimento sonoro (MDS) para a pesquisa proposta, a fim de auxiliar na avaliação do impacto potencial de ruído, nas espécies de interesse da fauna marinha. Este estudo de modelagem de decaimento sonoro tem como objetivo atender às exigências do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA).

No Termo de Referência 002/2018, o IBAMA solicita no item *II.8.11. Modelagem Acústica Ambiental*:

Considerando as especificidades da tecnologia Wide Azimuth apresentada e das fontes sonoras do tipo eSource, deve ser realizada uma modelagem computacional detalhada do decaimento sonoro das fontes e da dispersão sonora da atividade nas mesmas condições climáticas e épocas do ano em que a atividade ocorrerá, considerando as características locais de propagação (profundidade e tipo de fundo, caminhos de propagação locais relacionados a estratificação térmica, características de canais naturais ou SOFAR) desde a fonte sonora até um raio em que os níveis de ruído gerados sejam próximos aos níveis sonoros naturais do ambiente.

Os resultados acústicos obtidos devem ser integrados a dados bióticos disponíveis para a região bem como relativos à biologia das espécies que ali ocorrem. Deve ser indicado o grau de molestamento e de exposição progressiva e cumulativa a que as espécies estarão submetidas. Um relatório contendo os resultados desta modelagem, com a devida discussão dos resultados, deve ser apresentado no âmbito do Estudo Ambiental de Sísmica.

Este estudo MDS prevê níveis de ruído recebidos usando várias métricas, necessárias para avaliar os potenciais impactos sobre os mamíferos marinhos. Estes são, os níveis de exposição sonora (SEL) de pulsos individuais dos arranjos de ar, os níveis cumulativos de exposição sonora de múltiplos pulsos ao longo de 24 horas (SEL24hr), níveis de pressão sonora de pico (SPLs Pk) e níveis de pressão sonora quadrática média (RMS SPLs). Os níveis de ruído recebidos são calculados para locais dentro e adjacentes à área da pesquisa. São determinadas as distâncias da fonte a vários limites indicando os efeitos potenciais do ruído, nos grupos de mamíferos marinhos.

Este relatório identifica apenas os níveis de ruído físico e as distâncias dos limites de impacto definidos.

1.2 Estrutura do relatório

Este estudo MDS inclui os seguintes componentes de modelagem:

- Modelagem de fonte sonora, ou seja, modelagem das emissões de energia sonora dos arranjos de eSource e500A de 5.085 polegadas cúbicas (CUI) propostas, incluindo a assinatura de campo distante e sua densidade espectral de potência, bem como a configuração de raios do arranjo de fontes;
- Modelagem de curto alcance, ou seja, previsão dos níveis de ruído, recebidos em uma distância de quatro quilômetros dos locais de origem dos arranjos assumidos, a fim de avaliar o impacto de potencial alto, para as espécies de interesse da fauna marinha, referente a cada disparo do arranjo de fontes;
- Modelagem de longo alcance, ou seja, previsão dos níveis de ruído recebidos em uma faixa de mais de cem quilômetros, a partir dos locais de origem dos arranjos assumidos, a fim de avaliar o impacto potencial do ruído da pesquisa, em distâncias longas;
- Modelagem da exposição ao ruído cumulativo, i.e. previsão dos SELs cumulativos ao longo de um período de 24 horas para localizações receptoras dentro da área de pesquisa proposta, para avaliar o potencial impacto acumulado do ruído em grupos de mamíferos marinhos devido a múltiplos disparos sucessivos do arranjo de fontes.

A **Seção 2.0** do relatório fornece critérios de avaliação de impacto de ruído para grupos de mamíferos marinhos.

A **Seção 3.0** do relatório detalha a metodologia, o procedimento e os resultados de modelagem para o arranjo de fontes.

A **Seção 4.0** do relatório detalha, os métodos e procedimentos associados à modelagem de decaimento sonoro de curto e longo alcance, bem como a modelagem cumulativa da exposição ao ruído.

A **Seção 5.0** do relatório apresenta os principais resultados de modelagem e as zonas estimadas de impacto para os diferentes grupos de mamíferos marinhos.

A **Seção 6.0** do relatório fornece discussões e resumos do estudo do MDS.

A **Seção 7.0** fornece referências relevantes, citadas ao longo do relatório

2.0 GUIA DE AVALIAÇÃO DE RUÍDO

A fim de fornecer uma avaliação objetiva e quantitativa dos níveis de ruído, relacionados ao projeto, é necessário poder estimar, medir ou prever os seguintes parâmetros:

- O nível de ruído da fonte e suas características temporais e espectrais;
- A transmissão ou perda de propagação, ou seja, a taxa na qual o som da fonte é atenuado, à medida que se propaga debaixo d'água;
- A largura de banda de audição ou sensibilidade da espécie em questão;
- O limite de ruído, isto é, o nível de som em que um determinado efeito, como mudança de comportamento, dano auditivo ou lesão, é experimentado por uma espécie em particular.

Os dois primeiros parâmetros definem o nível de som em todos os pontos na água para as várias atividades operacionais. A largura de banda de audição e o limiar de ruído são usados para indicar os efeitos potenciais do ruído em mamíferos marinhos e diferirão para espécies distintas, indivíduos diferentes dentro de uma mesma espécie e até mesmo para um indivíduo em momentos diferentes, mas são geralmente considerados de maneira conservadora.

O efeito potencial do ruído em um animal depende do nível de exposição ao ruído. Em níveis moderados de exposição, o ruído pode causar uma mudança no comportamento animal. Em níveis de exposição mais altos, o ruído pode induzir uma redução temporária ou permanente na sensibilidade auditiva, ou seja, limite de mudança temporária (LMT) ou limite de mudança permanente (LMP). O efeito da exposição ao ruído geralmente depende de vários fatores relacionados às características físicas e espectrais do som (por exemplo, intensidade, pico de pressão, frequência, duração, ciclo de atividade) e relacionados ao animal em questão (por exemplo, audição, sensibilidade, idade, sexo, estado comportamental, exposições prévias). O tipo e o nível do impacto também dependem se o ruído consiste em sons contínuos de pulso único, pulso múltiplo ou não pulsado.

As definições dos termos acústicos utilizados ao longo deste relatório são fornecidas no **Apêndice A**.

2.1 Limites de avaliação de ruído

O IBAMA não fornece limites específicos para uso na avaliação de impactos de ruídos subaquáticos na fauna marinha. Para esta avaliação, é utilizada a orientação sobre os limites acústicos para ferimentos e distúrbios causados aos mamíferos marinhos, fornecidos pelo Serviço Nacional de Pesca Marinha (NMFS sigla em inglês) e da Administração Nacional Oceânica e Atmosférica dos EUA (NOAA sigla em inglês).

A diretriz relevante é o *Memorando Técnico NMFS-OPR-59 2018 Revisão para: Orientações técnicas para avaliar os efeitos do som antropogênico sobre os mamíferos marinhos (Versão 2.0) limites subaquáticos para o Início dos impactos permanentes e/ ou temporários*. Esta orientação técnica fornece limiares acústicos para ajudar a quantificar o potencial de LMP.

Uma abordagem de dupla métrica é usada para sons impulsivos, considerando o nível de exposição sonora cumulativa e o nível pico de som. Diferentes limites e funções de ponderação auditiva são fornecidos para diferentes grupos de audição de mamíferos marinhos, que são definidos na Orientação Técnica (NMFS, 2018).

A faixa de audição generalizada de cada grupo é reproduzida na **Tabela 1**. Os limites de LMP correspondentes a cada grupo de audição, relevantes para o ruído impulsivo, como o produzido por um levantamento sísmico marinho, são mostrados na **Tabela 2**.

Tabela 1 Grupos auditivos de mamíferos marinhos (do NMFS, 2018)

Grupos auditivos	Gama de audição generalizada
Cetáceos de frequência baixa (LF)	7 Hz to 35 kHz
Cetáceos de frequência meia (MF)	150 Hz to 160 kHz
Cetáceos de frequência alta (HF)	275 Hz to 160 kHz
Pinnípedes Phocídeos debaixo d'água (PW)	50 Hz to 86 kHz
Pinnípedes Otariídeos debaixo d'água (OW)	60 Hz to 39 kHz

Tabela 2 Limites para o início de LPM e LMT com fontes impulsivas

Grupo auditivo	Dano (Início LMP)		Limites Acústicos de Início do LMT	
	Pk SPL dB re 1 μ Pa	Weighted SEL _{24hr} dB re 1 μ Pa ² ·s	Pk SPL dB re 1 μ Pa	Weighted SEL _{24hr} dB re 1 μ Pa ² ·s
Cetáceos de frequência baixa (LF)	219	183	213	168
Cetáceos de frequência meia (MF)	230	185	224	170
Cetáceos de frequência alta (HF)	202	155	196	140
Pinnípedes Phocídeos debaixo d'água (PW)	218	185	212	170
Pinnípedes Otariídeos debaixo d'água (OW)	232	203	226	188

O *NMFS Technical Guidance* (2018) não fornece informações sobre limites para os efeitos comportamentais. Os limites subaquáticos provisórios do NMFS para efeitos comportamentais, para fontes de ruído impulsivo, são mostrados na **Tabela 3**.

Tabela 3 Limites acústicos submarinos interinos para perturbação comportamental

Definição de critério	Limite
Interrupção comportamental por ruído impulsivo	160 dB _{rms}

Notes: dB referenciado a 1 micro Pascal (re: 1μPa).

Todos os limites são baseados nos níveis *root mean square (rms)* e são de banda larga (não ponderados).

O limite de 160 dB pode ser ligeiramente ajustado se os níveis de ruído de fundo forem iguais ou superiores a este nível.

2.2 Sensibilidades auditivas de mamíferos marinhos e funções de ponderação auditiva

Animais marinhos não ouvem igualmente bem, em todas as frequências, dentro de sua faixa de audição funcional. Os potenciais efeitos do ruído nos animais, dependem de quão bem os animais podem ouvir. A ponderação de frequência é um método para compensar quantitativamente a frequência de sistemas sensoriais (Southall *et al*, 2007).

A Orientação Técnica do NMFS (NMFS, 2018) adota as funções de ponderação auditiva recomendadas pela Finneran (2015 e 2016), que são expressas como:

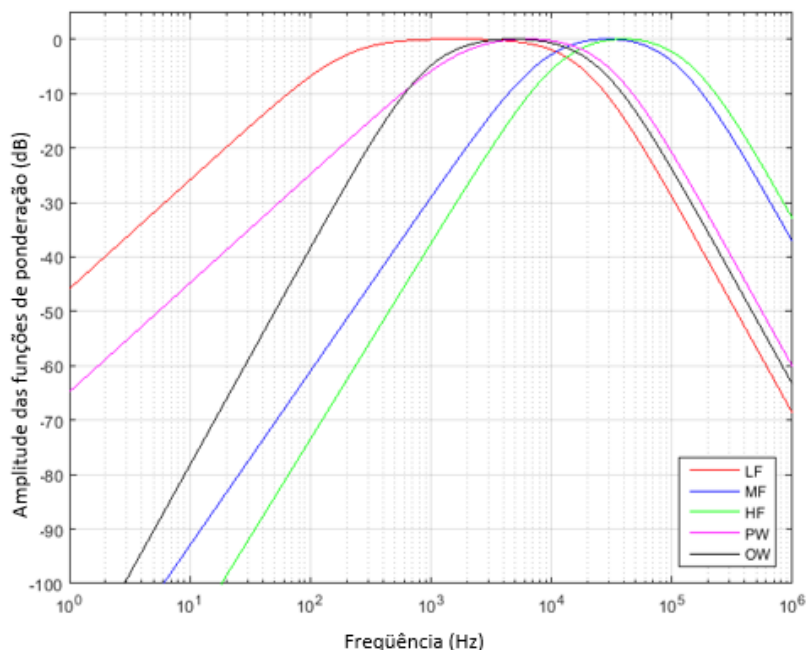
$$W(f) = C + 10 \log_{10} \left\{ \frac{(f/f_1)^{2a}}{[1+(f/f_1)^2]^a [1+(f/f_2)^2]^b} \right\} \quad (2.1)$$

A **Tabela 4** lista os parâmetros de ponderação auditiva para cada grupo de audição funcional de mamíferos marinhos. As correspondentes funções de ponderação auditiva para todos os grupos ouvintes são apresentadas na **Figura 2**.

Tabela 4 Parâmetros para as funções de ponderação auditiva

Grupo de audição de mamíferos marinhos	a	b	f ₁ (Hz)	f ₂ (Hz)	C (dB)
Cetáceos de frequência baixa (LF)	1.0	2	200	19,000	0.13
Cetáceos de frequência meia (MF)	1.6	2	8,800	110,000	1.20
Cetáceos de frequência alta (HF)	1.8	2	12,000	140,000	1.36
Pinnípedes Phocídeos debaixo d'água (PW)	1.0	2	1,900	30,000	0.75
Pinnípedes Otariídeos debaixo d'água (OW)	2.0	2	940	25,000	0.64

Figura 2 Funções de ponderação auditiva para grupos auditivos funcionais de mamíferos marinhos



2.3 Grupos de mamíferos marinhos de interesse para esta avaliação

A WesternGeco informou que as espécies de mamíferos marinhos presentes na área de estudo incluem cetáceos de baixa, média e alta frequência. Não esperam ser prevista ocorrência de pinnípedes na área de estudo.

2.4 Zonas de impacto

Os níveis de ruído recebidos podem ser previstos, utilizando níveis de fonte conhecidos, em combinação com modelos de perda de transmissão de propagação de som, entre as localizações da fonte e do receptor. As zonas de impacto podem ser determinadas pela comparação dos níveis recebidos previstos com os critérios de exposição ao ruído.

As zonas de impacto previstas, definem a pegada ambiental das atividades geradoras de ruído e indicam os locais, em que as atividades podem ter um impacto adverso sobre as espécies de interesse da fauna marinha. Neste relatório, as zonas de impacto são definidas da seguinte forma:

- Para impacto imediato de pulsos únicos - a zona de impacto representa a distância horizontal máxima de qualquer arranjo de fontes,
- Para impacto cumulativo de um cenário típico de operação de levantamento - a zona de impacto, representa a distância horizontal perpendicular máxima de uma linha de levantamento ativa.

Em todos os casos, as zonas de impacto são determinadas, de maneira conservadora, usando o nível máximo de ruído previsto na coluna de água, para determinar o tamanho da zona de impacto. Como os níveis de ruído variam com a profundidade, em qualquer local, haverá áreas

na coluna de água, dentro da zona de impacto identificada, que estão expostas a níveis de ruído mais baixos do que o implícito pelas zonas de impacto identificadas, que são o pior caso.

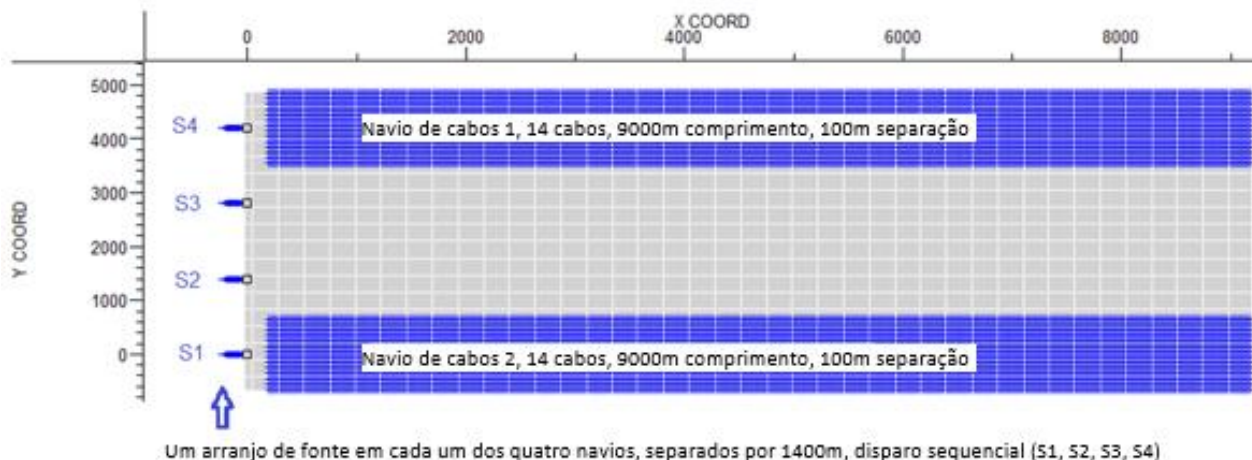
3.0 MODELAGEM DE ARRANJO DE FONTES DE AR COMPRIMIDO

3.1 Configuração do arranjo de fontes de ar comprimido

São quatro, os arranjos de fontes sonoras do tipos *eSource*, de 5.085 polegadas cúbicas (CUI) propostos para esta pesquisa, que serão colocados em cada uma das embarcações, conforme mostrado na **Figura 3**.

A configuração de cada arranjo é mostrada na Figura 4. Cada matriz consiste de 24 unidades de ar comprimido e500A ativas, em profundidade aproximada de 9 metros e pressão de operação de 2.000 libras por polegada quadrada (PSI). Os quatro arranjos de fontes serão disparados sequencialmente, não sendo disparados no mesmo momento.

Figura 3 Arranjo de navios e configuração de cabo



- Um conjunto de assinaturas “nacional” para cada um dos elementos do arranjo; e
- A assinatura de campo distante do arranjo de fonte, incluindo seus padrões de diretividade/raios.

3.2.1 Assinaturas nocionais

As assinaturas nocionais são as formas de onda de pressão, de elementos de origem individuais, a uma distância de referência padrão de 1 m.

As assinaturas nocionais são modeladas usando o pacote de *software Gundalf Designer* (2018). O modelo de fonte *Gundalf* é desenvolvido com base na física fundamental da oscilação e radiação das bolhas da fonte, conforme descrito por Ziolkowski (1970). Cada caso de arranjo de fontes, considera as interações de pressão não linear entre os elementos do arranjo (Ziolkowski et al. 1982; Dragoset, 1984; Parkes et al., 1984; Vaage et al., 1984; Laws et al., 1988 e 1990).

O modelo resolve um conjunto complexo de equações diferenciais combinando transferência de calor e dinâmicas, e foi calibrado contra múltiplas medições de elementos de origem, não relacionados e *clusters* de interação para todos os tipos de fontes comuns, em uma ampla faixa de profundidades de colocação.

O modelo tem a capacidade de prever espectros de ruído com faixa de frequência de até dezenas de kHz. Para frequências acima de 1 kHz, os espectros modelados geralmente seguem uma aproximação de $1/f$ de atenuação (Landrø et al, 2011). Como as emissões de ruído do arranjo de fontes sonoras são predominantemente abaixo de centenas de Hz, a seção de resultados a seguir, demonstra apenas resultados de modelagem dentro da faixa de frequência abaixo de 1 kHz.

3.2.2 Assinaturas de campo distante

As assinaturas nocionais de todas as fontes sonoras no arranjo, são combinadas usando atrasos de fase apropriados, em três dimensões, para obter a assinatura de fonte de campo distante do arranjo. Este procedimento para combinar as assinaturas nocionais, para gerar a assinatura de origem de campo distante, é resumido da seguinte forma:

- As distâncias de cada fonte acústica individual, para o local nominal de recebimento do campo distante são calculadas. Um conjunto de receptor de 9 km de alcance é usado para o estudo atual;
- Os atrasos de tempo entre as fontes acústicas individuais e os locais receptores, são calculados a partir dessas distâncias, com referência à velocidade do som na água;
- O sinal em cada localização do receptor, de cada fonte acústica individual é calculado com o tempo de atraso apropriado. Esses sinais recebidos são somados para obter a assinatura geral do campo distante do arranjo para a direção de interesse; e
- A assinatura de campo distante também considera os efeitos de reflexão da superfície do oceano pela inclusão do “fantasma da superfície”. Uma fonte fantasma adicional é adicionada para cada elemento de fonte acústica usando um coeficiente de reflexão da superfície do mar de -1.

3.2.3 Padrões de raios

Os padrões de feixe da matriz de origem acústica são obtidos da seguinte forma:

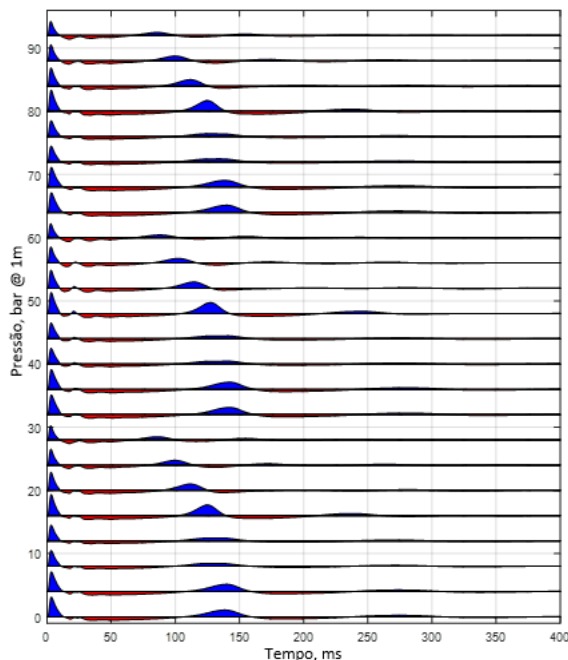
- As assinaturas de campo distante são calculadas para todas as direções da fonte usando incrementos de ângulo azimutal e de mergulho de 1 grau;
- A densidade espectral de potência (DEP) (dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s} / \text{Hz} @ 1 \text{ m}$), para cada forma de onda de assinatura de pressão é calculada usando a técnica “*Transformada de Fourier*”; e
- As DEPs de todas as formas de onda de assinatura, resultantes, são combinadas para formar o padrão de raios dependente de frequência para o arranjo.

3.3 Resultados da modelagem

3.3.1 Assinaturas nocionais

A **Figura 5** mostra as assinaturas de fonte de referência, para os quatro arranjos de fontes sonoras.

Figura 5 Assinatura nocional para o arranjo de fontes de ar 5.085 CUI eSource (e500A)

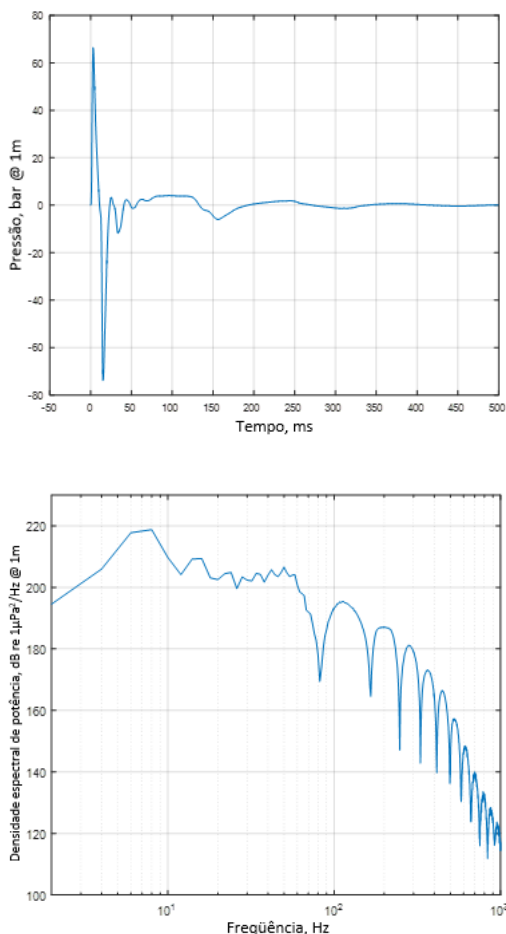


3.3.2 Assinaturas de campo distante e densidade espectral de potência

A **Figura 6** mostra a forma de onda, de assinatura de campo distante e sua densidade espectral de potência, simulada pelo *software Gundalf Designer*. As assinaturas são para a direção vertical descendente, com espectro (fantasma) de superfície incluído.

O resultado da modelagem de fonte, mostra que o nível de pressão sonora pico (Pk SPL) é de 66,4 bar (256,0 dB re 1 μPa a 1m). O nível de pressão sonora pico a pico (Pk-Pk SPL) 140,0 bar (263,0 dB re 1 μPa) @ 1m. O nível de pressão sonora quadrática média (RMS SPL) 253,6 dB re 1 μPa @ 1m (com uma duração de pulso de energia de 90%, de 18 milissegundos) e o nível de exposição sonora (SEL) 235,7 re $\mu\text{Pa}^2 \cdot \text{s} @ 1 \text{ m}$.

Figura 6 A assinatura de campo distante na direção vertical descendente (superior) e sua densidade espectral de potência (inferior) para o arranjo de fontes de 5.085 CUI eSource (e500A)



3.3.3 Padrões de raios

Os padrões de raios de campo, distante do arranjo das três seções transversais, são apresentados na **Figura 7**:

- O plano horizontal (isto é, ângulo de declive de 90 graus) com um ângulo azimutal de 0 grau, correspondendo à direção *in-line*;
- O plano vertical para a direção *in-line* (isto é, ângulo azimutal de 0 grau) com um ângulo de declive de 0 grau, correspondendo à direção vertical descendente; e
- O plano vertical para a direção *cross-line* (isto é, ângulo azimutal de 90 graus) com um ângulo de declive de 0 grau, correspondendo à direção vertical descendente.

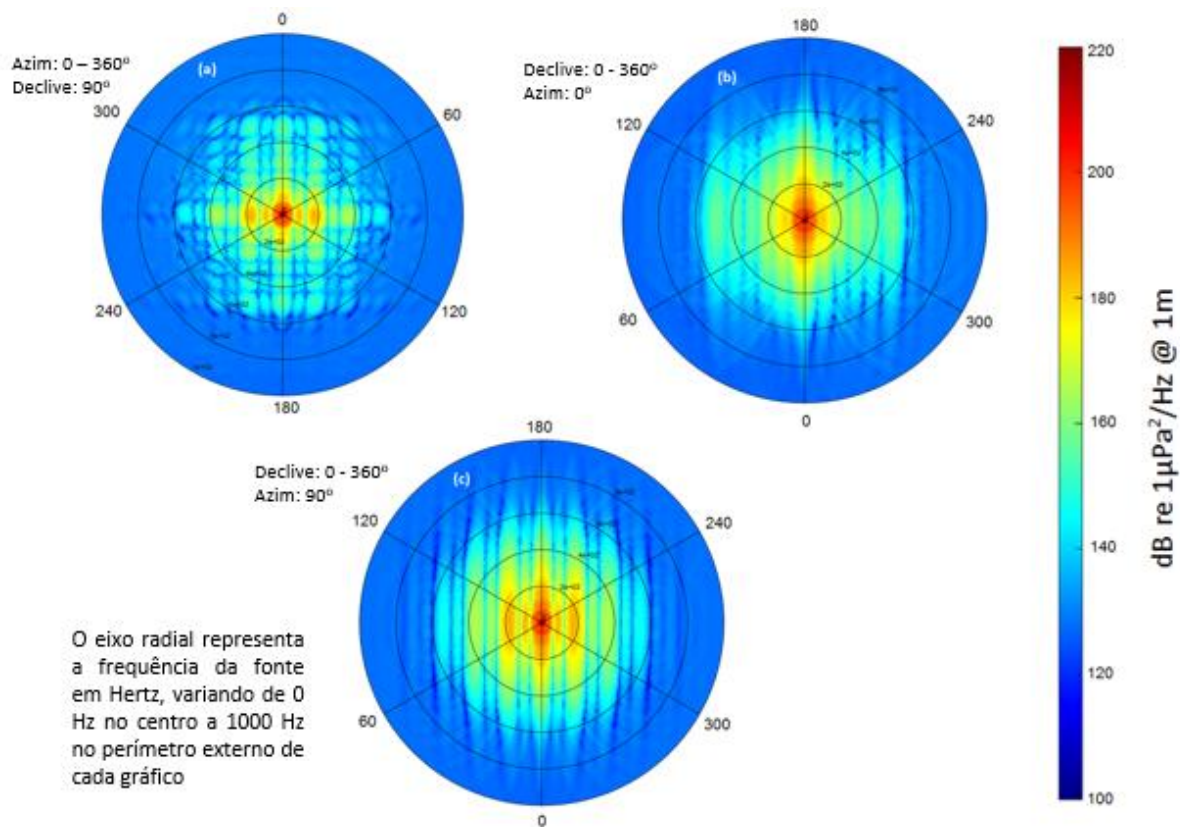
Os padrões de raios, na **Figura 7** Padrões de raios de campo distante para o arranjo de fonte de ar de 5.085 CUI eSource (e500A), em função de orientação. (a) O plano horizontal com 0

grau correspondente à direção *in-line*; (b) O plano vertical para a direção *in-line*; (c) O plano vertical para a direção *cross-line*. O ângulo de declive de 0 graus corresponde à direção vertical descendente.

, ilustram a forte dependência do ângulo e freqüência da radiação de energia do arranjo. O padrão de raios, do plano horizontal, mostra radiação de energia, relativamente mais forte, na direção *in-line* transversal, do que na direção *in-line*. Os padrões de raios dos planos verticais *in-line* e *cross-line*, têm a radiação mais forte na direção vertical.

Uma característica importante a ser observada é o rápido declínio nos níveis espectrais para frequências superiores a 200 Hz, o que é resultado da tecnologia de fonte com largura de banda controlada (*eSource*) (Li *et al*, 2017).

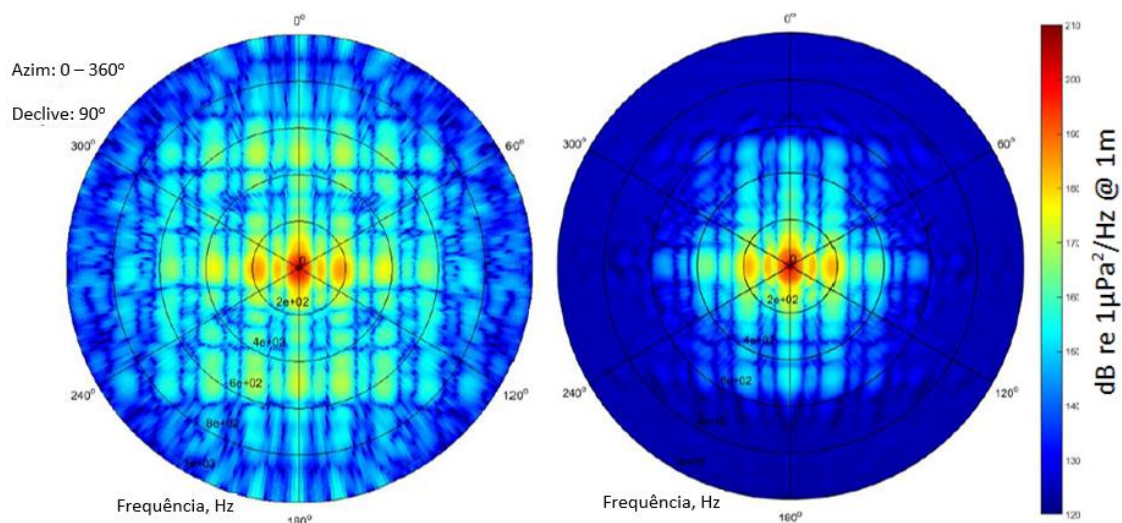
Figura 7 Padrões de raios de campo distante para o arranjo de fonte de ar de 5.085 CUI *eSource* (e500A), em função de orientação. (a) O plano horizontal com 0 grau correspondente à direção *in-line*; (b) O plano vertical para a direção *in-line*; (c) O plano vertical para a direção *cross-line*. O ângulo de declive de 0 graus corresponde à direção vertical descendente.



3.4 Discussão do tipo de fonte eSource em comparação com fontes de ar comprimido convencionais

A tecnologia de fonte de ar eSource foi desenvolvida com o objetivo de reduzir o impacto ambiental da pesquisa sísmica na vida marinha, controlando a largura de banda da fonte. O desenho das fontes de ar eSource destina-se a limitar as emissões de energia em frequências mais altas, mantendo a saída de largura de banda de baixa frequência que é crucial para a geração de imagens de levantamento sísmico. Li e Bayly (2017) investigaram as diferenças quantitativas entre fontes de ar convencionais e eSource. Algumas de suas descobertas são reproduzidas aqui para fornecer o contexto das características do arranjo de fonte eSource proposto para o programa WAZ do WesternGeco no Brasil. A **Figura 8** mostra uma comparação das frequências de emissões de ruído do eSource em comparação com um arranjo convencional do mesmo tamanho e configuração de Li e Bayly (2017). As emissões de ruído reduzidas do eSource em frequências acima de 200 Hz podem ser claramente vistas.

Figura 8 Padrões de feixe de campo distante no plano horizontal para arranjos convencionais (esquerda) e eSource (direita), de Li e Bayly (2017)



Nota: O eixo radial representa a frequência da fonte em *Hertz* variando de 0 Hz no centro a 1.000 Hz no perímetro externo de cada figura. Os resultados são para arranjos de 3,147 CUI.

A **Tabela 5** mostra uma comparação geral da SEL da fonte considerando vários sistemas de ponderação de sensibilidade auditiva em mamíferos marinhos, reproduzidos de Li e Bayly (2017). Esta tabela indica a redução efetiva no nível de ruído de fonte alcançado pelo eSource em relação aos três grupos de audição funcionais de mamíferos marinhos. O benefício é maior para os cetáceos de MF e de HF. Os resultados do audiograma para os cetáceos de LF na **Tabela 5** mostram um benefício maior do eSource do que o sugerido pelos resultados ponderados M. Essa avaliação usa ponderações M (Figura 2).

Tabela 5 SELs globais de fontes de ar convencional e eSource 3.147 CUI sob diferentes sistemas de ponderação de frequência (Li e Bayly, 2017).

Sistema de ponderação de frequência	SEL da fonte, dB re $1\mu\text{Pa}^2 \cdot \text{s}$ @ 1m					
	Funcion auditiva LF		Funcion auditiva MF		Funcion auditiva MF	
	Convencional	eSource	Convencional	eSource	Convencional	eSource
Sem ponderar	224.2	224.4	224.2	224.4	224.2	224.4
M	222.9	222.1	210.8	204.5	208.7	201.1
Naval tipo 2	206.7	205.6	194.3	188.0	189.2	181.7
Audiograma	213.4	209.6	167.0	155.6	156.9	143.9

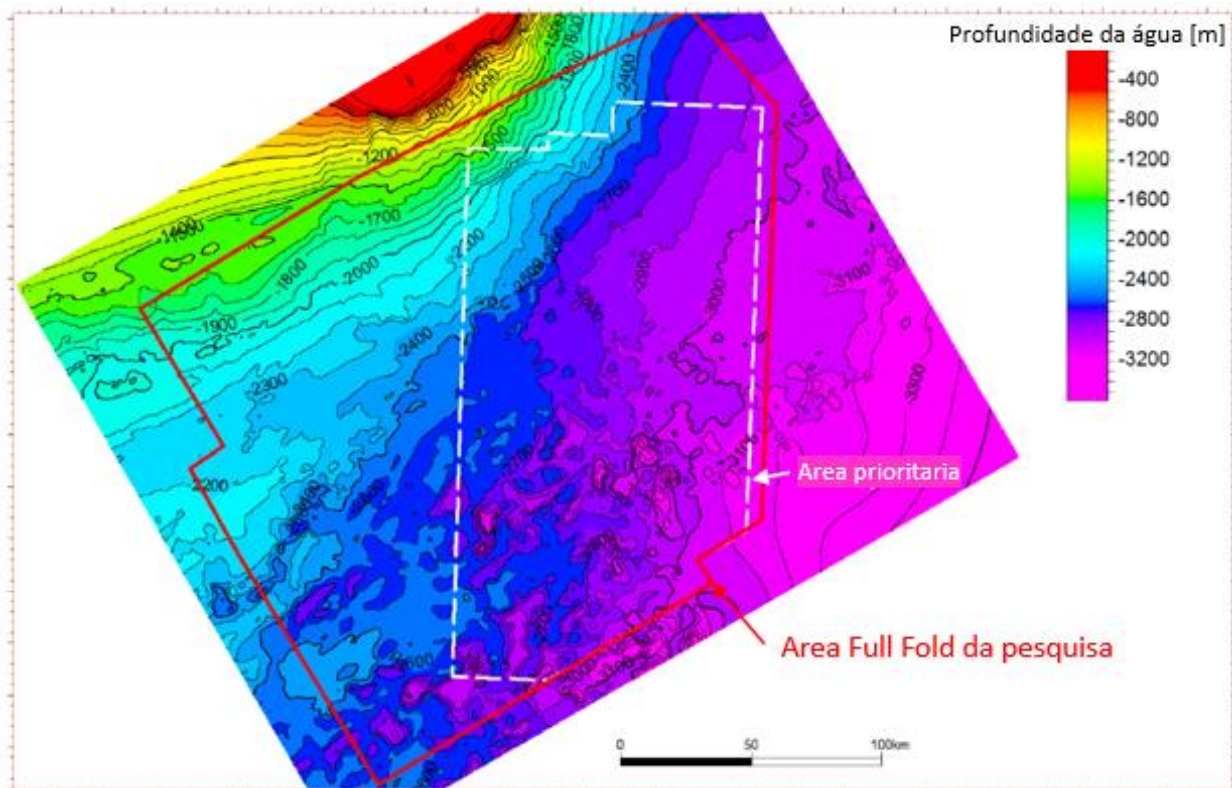
4.0 MODELAGEM DE DECAIMENTO

4.1 Parâmetros de entrada de modelagem

4.1.1 Batimetria

Os dados batimétricos utilizados para a modelagem da propagação do som foram fornecidos pela WesternGeco e estão apresentados na **Figura** .

Figura 9 Imagens batimétricas ao redor da área operacional da pesquisa.

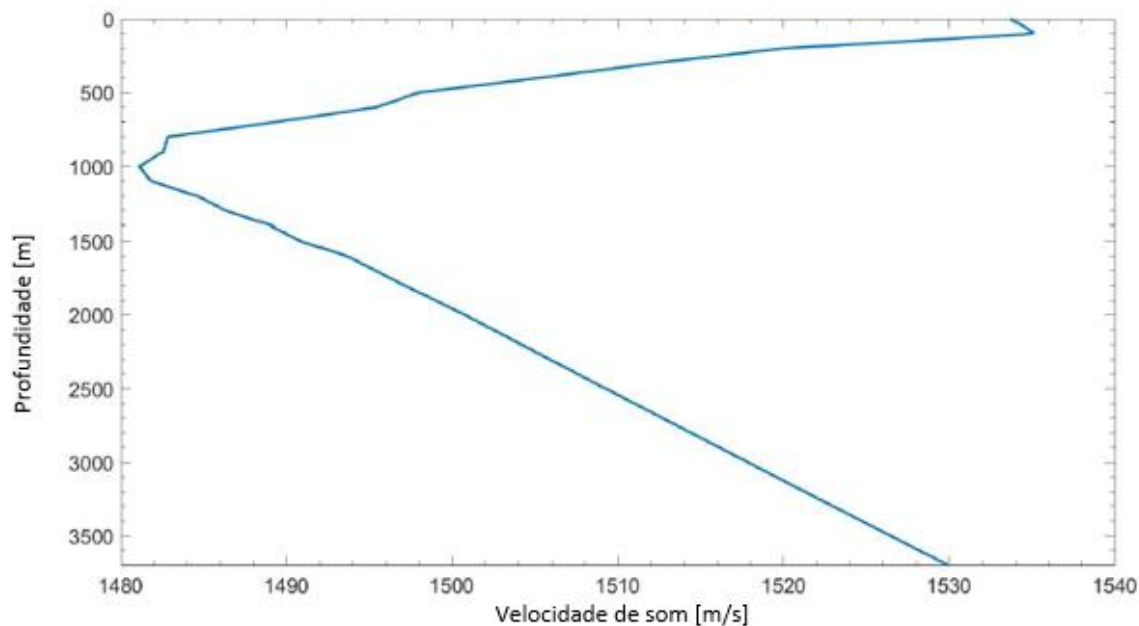


4.1.2 Perfil de velocidade do som

Os dados de temperatura e salinidade necessários para derivar os perfis de velocidade do som, foram obtidos a partir de um artigo de 2013 descrevendo a variabilidade do oceano, na Bacia de Santos (Belo e da Silveira 2013). Os perfis de velocidade do som foram derivados com base na “equação de Del Grosso” (Del Grosso, 1974).

A **Figura** apresenta os perfis de velocidade de som típicos neste local. A figura demonstra uma forte termoclina e superfície. Há pouca mudança na temperatura em uma base sazonal nesta latitude e, por essa razão, esse perfil de velocidade de som é considerado representativo das condições ao longo do ano. O duto de superfície favorece a propagação do som de uma matriz de fonte acústica próxima à superfície.

Figura 10 Perfil de velocidade de som típico (todas as estações) na área do projeto



4.1.3 Modelo geoacústico do fundo do mar

A WesternGeco forneceu dados litológicos, que indicaram que o fundo do mar ao longo da área do projeto é de argila, por profundidades de pelo menos 50m abaixo do fundo da água e na maioria dos locais que se estendem a profundidades consideravelmente maiores.

A **Tabela 6** apresenta propriedades geoacústicas para o modelo geoacústico proposto.

Tabela 6 Parâmetros geoacústicos para o modelo de fundo de argila proposto

Material do fundo do mar	Densidade (kg/m ³)	Parâmetros da Onda Compressional	
		Velocidade (m/s)	Atenuação (dB/λ)
Argila	1420	1520	0.2

4.2 Metodologias e procedimentos detalhados de modelagem

As subseções abaixo descrevem as metodologias e procedimentos de modelagem para prever SELs e níveis de ruído recebidos em outras métricas acústicas relevantes (ou seja, Peak SPLs e RMS SPLs), para um único disparo do arranjo de 5.085 CUI eSource (e500A), bem como para o SELs cumulativos dentro de um período de 24 horas, para um cenário de pesquisa típico assumido.

4.2.1 Modelagem de curto alcance

4.2.1.1 Metodologia e procedimento de modelagem

A modelagem de curto alcance é usada para modelar os SELs recebidos a uma distância próxima a cada fonte de ar, considerando o efeito de campo próximo do campo de som. Como tal, as previsões para o caso de curto alcance, são modeladas, adicionando ou reconstruindo as formas de onda do sinal recebido de unidades de fonte de ar comprimido individuais, dentro do arranjo.

O algoritmo de modelagem de integração de número de onda SCOOTER (Porter, 2010), é usado para calcular as funções de transferência (amplitudes e fases), entre as fontes e os receptores. O SCOOTER é um código de elementos finitos, para computação de campos acústicos, em ambientes independentes de intervalo. O método é baseado na computação direta da integral espectral e é capaz de lidar com um leito marítimo arbitrário, em camadas com características tanto elásticas, quanto fluidas.

Os seguintes procedimentos foram seguidos para calcular as SELs recebidas, para casos de curto alcance:

1. O algoritmo de modelagem SCOOTER é executado para frequências de 1 Hz a 1 kHz, em incrementos de 1 Hz. A profundidade da fonte é considerada como a profundidade do arranjo de 7,5 m. Uma grade de receptor de 1 m de alcance (alcance máximo 4,0 km), e 1 m de profundidade, é aplicada para os receptores selecionados. Para cada receptor em grade, o SEL recebido é calculado seguindo as etapas 2) a 5);
2. O intervalo da fonte para cada receptor é calculado, e a função de transferência entre a fonte e o receptor é obtida pela interpolação dos resultados produzidos pelo algoritmo de modelagem SCOOTER na Etapa 1). Esta interpolação envolve a amplitude e a fase da forma de onda do sinal, no domínio da frequência;
3. O sinal de domínio de frequência complexo, da forma de onda de assinatura nocional para cada elemento de fonte, é calculado via "*Transformada de Fourier*" e multiplicado pela função de transferência correspondente da Etapa 2) para obter a representação do domínio de frequência do sinal recebido do elemento da fonte;
4. A forma de onda, do sinal da fonte do arranjo, é reconstruída via, "*Transformada Inversa de Fourier*". As formas de onda de sinal recebida, de todas as fontes de ar no arranjo, são somadas para obter a forma de onda geral recebida; e
5. A forma de onda do sinal é quadrada e integrada ao longo do tempo, para obter o valor de SEL recebido. Alternativamente, o valor SEL também pode ser calculado, através da integração da densidade de potência de energia (ESD), sobre a frequência na Etapa 3).

4.2.1.2 *Cenários de modelagem*

Os dados de entrada de modelagem para o caso de modelagem de curto alcance, como o perfil de velocidade do som e os modelos geoacústicos do fundo do mar, foram detalhados na Seção 4.1. Para analisar as variações de SEL recebidas com as mudanças de profundidade da água, a modelagem foi realizada para quatro casos de profundidade, cobrindo as faixas de profundidade ao longo de toda a área de levantamento (ou seja, 1.100 m, 1.800 m, 2.500 m e 3.200 m).

4.2.2 **Modelagem de longo alcance**

4.2.2.1 *Metodologia e procedimento de modelagem*

A modelagem de longo alcance geralmente envolve fatores ambientais complexos e variáveis (como perfis de velocidade de som e variações batimétricas), ao longo de uma extensa faixa de ambiente de propagação de som e requer um algoritmo de previsão de modelagem eficiente com precisão razoável. Portanto, a predição de modelagem para o caso de longo alcance é realizada usando os níveis de fonte de campo distante das bandas de frequência de oitava e seus cálculos correspondentes de perda de transmissão.

O algoritmo de modelagem de equação parabólica de fluidos (PE) é usado para calcular a perda de transmissão entre a fonte e o receptor.

Os níveis de exposição sonora recebidos são calculados seguindo o procedimento abaixo:

- 1) Níveis de fonte de um terço de oitava para cada azimute a ser considerado, são obtidos integrando o espectro de fonte de plano horizontal, sobre cada banda de frequência e estes níveis são então corrigidos para os níveis de SEL;
- 2) A perda de transmissão é calculada em frequências centrais de banda, de um terço de oitava de 8 Hz a 1 kHz, com um alcance máximo de 200 km e em incrementos de azimute de 15 graus. A variação da batimetria ao longo de cada trilha de modelagem é obtida via interpolação, a partir do conjunto de dados de batimetria;
- 3) Os níveis de SEL de um terço da oitava e a perda de transmissão, são combinados para obter os níveis de SEL recebidos como uma função da amplitude, profundidade e frequência;
- 4) Os níveis gerais de SEL recebidos são calculados pela soma de todos os níveis de SEL da banda de frequência.

4.2.2.2 *Cenário de modelagem*

Um cenários de modelagem de longo alcance é proposto para os arranjos de 5.085 CUI eSource e500A. O local de origem, conforme descrito na **Tabela 7**, foi selecionado para a modelagem de longo alcance. Embora quatro arranjos separados, de fontes de disparo sequencial sejam usados (deslocamento lateral de 1400m), a distância entre as fontes, pode ser desconsiderada para fins de modelagem de longo alcance e, portanto, os resultados nesta seção foram calculados com base simplesmente no arranjo de fonte única que está ativa em qualquer momento.

Tabela 7 Detalhes da localização da fonte única selecionada para a modelagem de longo alcance

Profundidade da água, m	Coordenadas [Easting, Northing]	Localização
2552	[262734.5, 7270551.1]	Representando um ponto central dentro da área prioritária

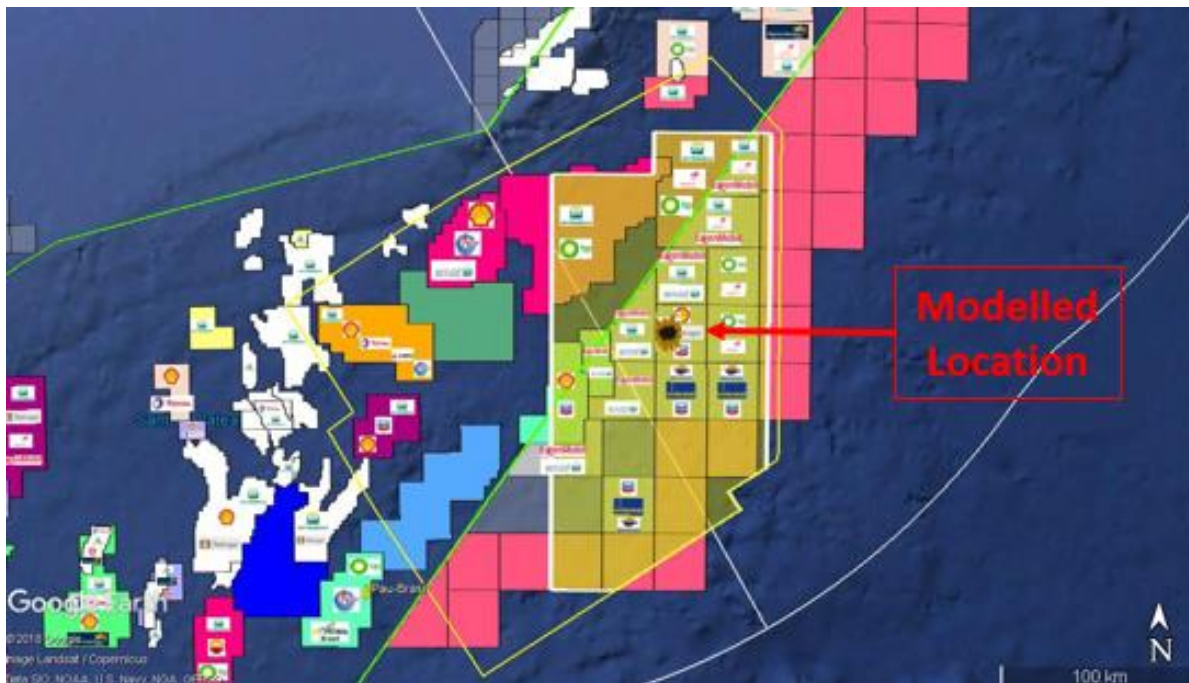


Figura 6 Local de modelagem de fonte de longo alcance

4.2.3 Modelagem de SEL cumulativa

4.2.3.1 Cenário modelado

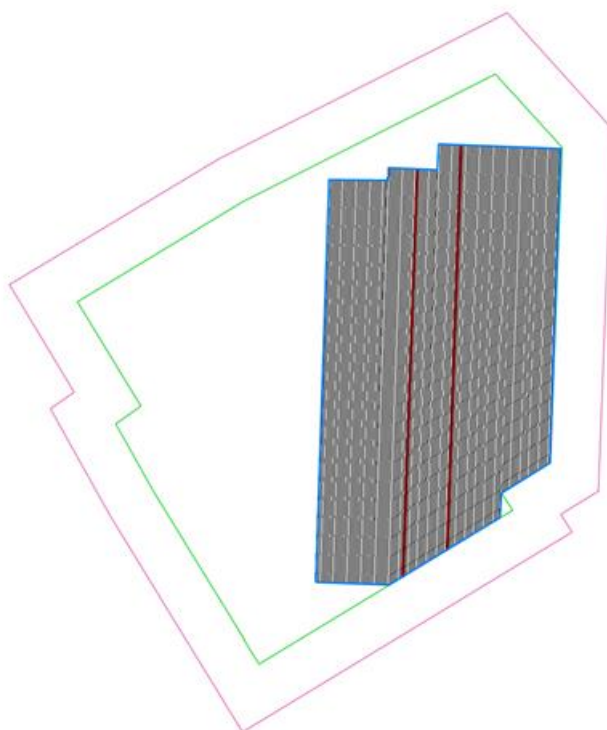
Foi informado que a pesquisa proposta tem o seguinte cronograma de pesquisa:

- Intervalo combinado de captura de levantamento, ao longo das 4 linhas de fonte de 8 segundos (velocidade da embarcação de 4,45 nós);
- Número de disparos por dia 10.800;
- Em 24 horas, um comprimento médio de linha de pesquisa de 198 km seria completado. Dois exemplos de linhas de pesquisa representativas são mostrados na **Figura** .

Com base no cronograma da pesquisa acima, uma linha de pesquisa representativa foi selecionada para um cálculo de ruído cumulativo indicativo. O local selecionado passa pelo local de modelagem de longo alcance (consulte a **Tabela 7**).

Embora haja alguma variação no impacto cumulativo com profundidade variável, a profundidade da água, em toda a área do projeto é consistentemente profunda e, portanto, espera-se que os resultados da modelagem cumulativa, desse único local, sejam razoavelmente indicativos de efeitos cumulativos na área de pesquisa mais ampla.

Figura 11 Duas linhas de pesquisa representativas – Locais de Modelagem de fonte de longo alcance 1, 2 e 3



4.2.3.2 Metodologia e procedimento de modelagem

O valor cumulativo do SEL é responsável pela energia acústica total recebida de todos os impulsos sísmicos dentro de um período específico de exposição (ou seja, 24 horas).

Os SELs cumulativos recebidos da linha representativa, são calculados em locais de grade individuais de cada disparo de pesquisa considerada, usando a metodologia e o procedimento de modelagem de longo alcance, conforme detalhado na Seção 4.2.2.1. Como o cálculo do SEL recebido de todos os 10.800 tiros de pesquisa individuais, seria excessivamente intensivo, os resultados foram calculados para um subconjunto de tiros ao longo da linha representativa, com o nível de ruído acumulado ajustado para adicionar os efeitos de tiros intermediários.

O SEL cumulativo em localizações de grade de recepção individuais é obtido pela soma da contribuição de SEL de todas os disparos da pesquisa ao longo da linha representativa. Para o

propósito de estimar impactos cumulativos, assume-se que todos os quatro arranjos de fontes estão localizados ao longo da mesma linha, ou seja, as compensações entre as quatro embarcações de origem são desconsideradas. Isso resulta em conservadorismo inerente na avaliação das distâncias para os limites sonoros cumulativos, particularmente próximo aos arranjos de fontes. Ao aumentar as distâncias das fontes, o efeito dessa simplificação é reduzido.

Essa abordagem, calcula a exposição cumulativa da fonte móvel em um ponto localizado diretamente na linha de origem. A partir desse ponto, a distância até os limites de exposição cumulativa é estimada usando um relacionamento de $15 \log R$ (R é a distância da linha de origem). Uma relação $15 \log R$ é considerada apropriada neste caso devido à propagação de longo alcance ampliada ao longo do duto de superfície, que resulta em propagação em distâncias maiores do que seria esperado em uma relação de perda esférica de $20 \log R$ (que é comumente aplicada em cenários de águas profundas).

4.2.4 Estimados de Pk SPLs, Pk-Pk SPLs e RMS SPLs – metodologia a partir de SELs modelados

Para sinais individuais recebidos emitidos por fontes impulsivas, como as sísmicas de ar, espera-se que as diferenças entre o SEL e outros parâmetros sonoros, como SPL / Pk-Pk SPL / RMS SPL, atinjam o pico no local de origem e diminua gradualmente com o recebimento de locais mais distantes do local de origem. Isso se deve à seguinte base:

- Teoricamente, o pulso de ar passa a aumentar os efeitos de distorção do guia de ondas (por exemplo, dispersão, efeitos de interferência, reflexos no fundo do mar e na superfície, diferenças de chegadas de tempo, etc.) com aumento da distância da fonte, o que afeta predominantemente as características temporais do pulso (duração de pulso estendida, etc. em vez dos níveis métricos baseados em energia (nível de pico mias baixo / nível pico-pico)
- A afirmação acima é suportada de forma confiável por numerosos estudos de pesquisa teóricos e empíricos, por exemplo os estudos relevantes de modelagem e mensuração de sinais de levantamentos sísmicos (por exemplo, Austin *et al*, 2013, Matthews e MacGillivray, 2013, Galindo-Romero *et al*, 2015, McCauley *et al*, 2000 e 2016) mostram que as diferenças entre os três parâmetros temporais Pk SPL, Pk-Pk SPL e RMS SPL) e SEL são cada vez maiores, nos receptores mais próximos do local de origem.

4.2.4.1 SEL e Pk SPL/ Pk-Pk SPL

Conforme apresentado na Seção 3.3.2, as diferenças entre o Pk SPL / Pk-Pk e o SEL da assinatura de campo distante do arranjo eSource (e500A) de 5.085 polegadas cúbicas (CUI), (a uma distância de referência de 1 m do centro da matriz), são 20,3 dB e 27,3 dB, respectivamente. Esses valores são tomados como os fatores de conversão, aplicados aos SELs, para calcular as Pk SPLs recebidas e as Pk-Pk SPLs sobre o intervalo de recebimento, próximo ao local de origem. Essa abordagem é considerada conservadora para estimar parâmetros acústicos relevantes, de campo próximo, com base nas previsões da SEL.

4.2.4.2 SEL e RMS SPL

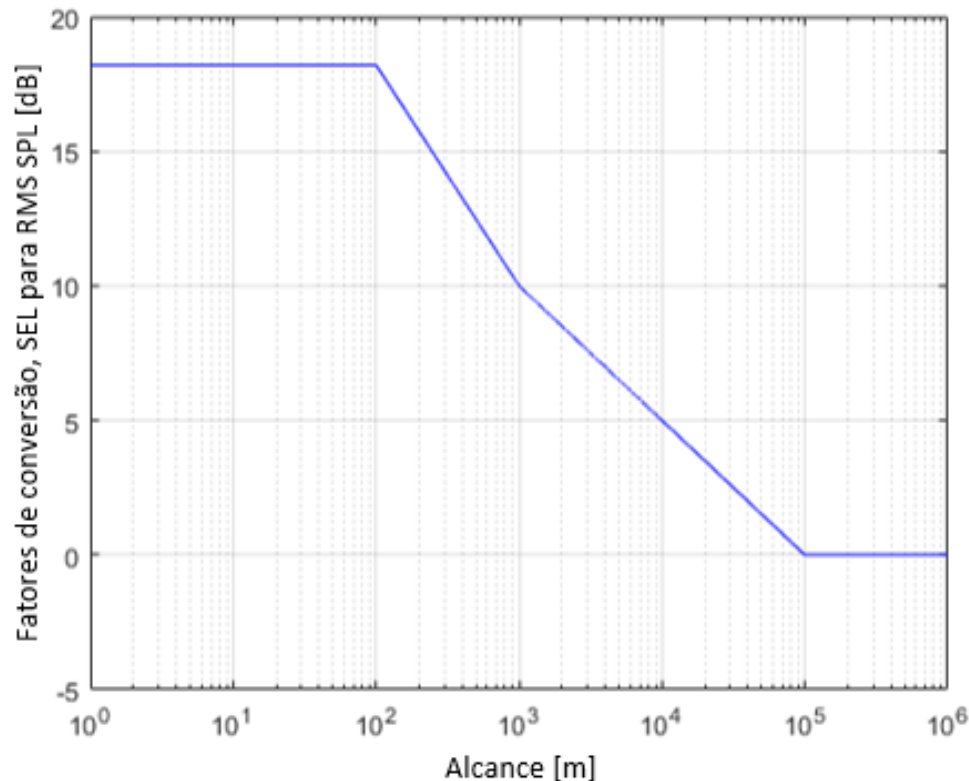
Estudos empíricos anteriores demonstram que às distâncias, relativamente próximas das fontes de ar (dentro de 1,0 km), a diferença entre SELs e RMS SPLs poderia estar entre 10 dB e 15 dB (Austin *et al*, 2013, McCauley *et al*, 2000,). As diferenças podem cair para menos de 5 dB, quando as distâncias são próximas a 10 km (Austin *et al*, 2013). Espera-se que as diferenças diminuam ainda mais, com as distâncias crescentes, além dos 10 km (Simon *et al*, 2018).

Para este projeto, as SPLs do RMS foram estimadas, com base nos seguintes fatores de conversão, a serem aplicados aos SELs modelados, dentro de diferentes faixas de distância, compilando de forma conservadora os resultados de modelagem do arranjo de fontes e acima dos resultados de medições anteriores:

- 0 - 100m, um fator de conversão de 18,2 dB. Esta é a diferença entre RMS SPL e SEL da assinatura de campo distante da arranjo eSource (e500A) de 5.085 polegadas cúbicas (CUI) conforme modelado na Seção 3.3.2;
- 100 - 1.000m, fatores de conversão de 18,2 dB a 10 dB, seguindo uma tendência logarítmica com a distância;
- 1.000 - 10.000m, fatores de conversão de 10 dB a 5 dB, seguindo uma tendência logarítmica com a distância;
- 10.000 - 100.000m, fatores de conversão de 5 dB a 0 dB, seguindo uma tendência logarítmica com a distância;
- > 100.000 m, fator de conversão de 0 dB.

Os fatores de conversão SEL a RMS SPL, como uma função das faixas horizontais do arranjo de fontes, são demonstrados na **Figura 7**.

Figura 7 Fatores de conversão SEL para RMS SPL como uma função dos intervalos horizontais do arranjo de fontes



4.3 Validação do modelo

Os seguintes exercícios de validação de modelo foram realizados em relação à modelagem do arranjo de fonte sonora de curto alcance e modelagem de longo alcance:

- O *software* de modelagem de origem, *Gundalf*, foi calibrado contra vários conjuntos de dados de assinaturas registradas em campo próximo e foi validado, em relação a outros modelos de assinaturas de arranjo de fontes de ar (Ainslie et al, 2016)
- O modelo de curto alcance e o modelo de longo alcance foram validados, a partir de alguns programas de medição acústica subaquática, realizados por terceiros independentes, resultados similares entre resultados modelados e medidos, sendo relatados (por exemplo, Simon *et al.* (2018) e Timothy (2018)).

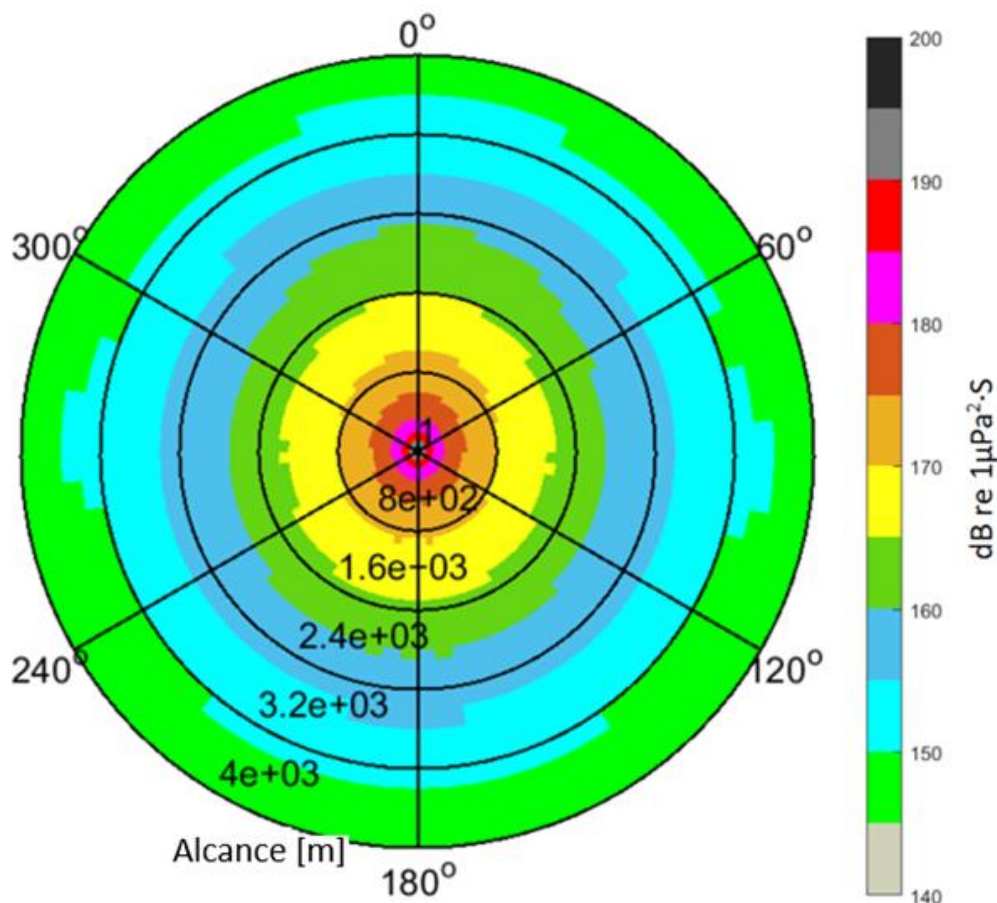
5.0 RESULTADOS DA MODELAGEM

Esta seção de relatório apresenta os resultados da modelagem em relação aos três componentes do MDS, ou seja, modelagem de curto alcance, modelagem de longo alcance e modelagem cumulativa de exposição a ruído.

5.1 Modelagem de curto alcance - SEL

Os SELs recebidos do arranjo eSource de 5.058 CUI, foram modelados para quatro casos de profundidade de água (ou seja, 1.100 m, 1.800 m, 2.500 m e 3.200 m). Tomando como exemplo, o caso de 1.100 m de profundidade, a **Figura 13** mostra o máximo de SELs recebidos na coluna de água para um único disparo em função do azimuth (0 - 360°) e da faixa horizontal de campo próximo do centro do arranjo (0 - 4km). A **Figura 13** ilustra SELs ligeiramente mais altas em determinados azimuths, particularmente ao longo dos azimuths de *cross-line*, como resultado da diretividade da matriz.

Figura 8 SELs máximos previstos na coluna de água em função do azimuth e da faixa horizontal do centro do arranjo, profundidade da água de 1.100 m.
Azimute de 0 grau corresponde à direção *in-line*.

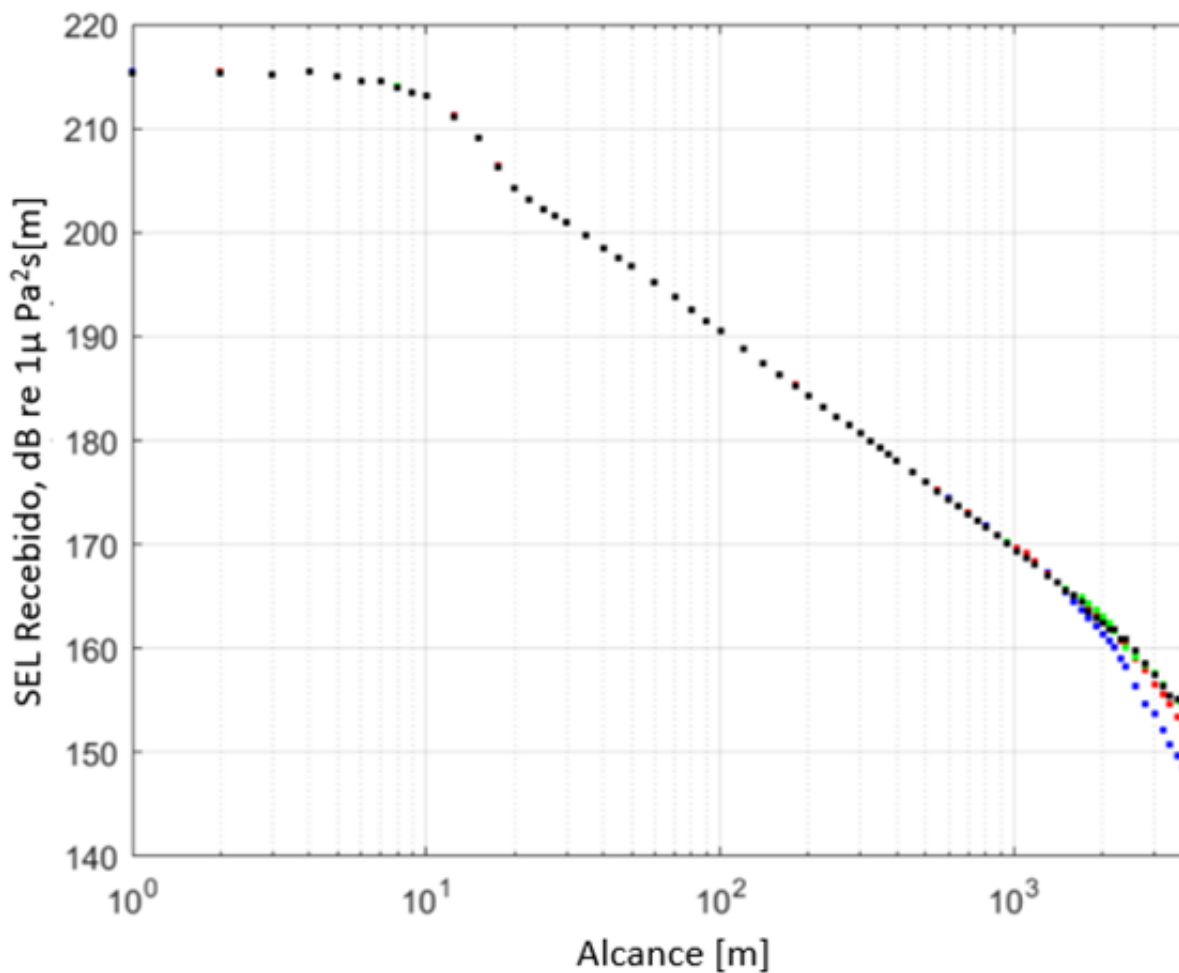


A **Figura 14** mostra um gráfico de dispersão das SELs máximas previstas ao longo da coluna de água para todos os azimutes como uma função da faixa horizontal (0 - 4 km) do arranjo de fontes. Os resultados são mostrados para todos os quatro casos de profundidade da água.

Em relação à **Figura 14**:

- Em distâncias horizontais próximas ao centro da matriz (<1,5 km), as SELs máximas recebidas são quase idênticas para todos os quatro casos de profundidade de água, devido aos SELs máximos sendo dominados pela energia acústica de chegada direta da fonte da matriz.
- Em distâncias horizontais mais distantes do centro do arranjo (> 1,5 km), os SELs máximos recebidos, são os mais baixos para a profundidade de água de 1.100 m, e a mais alta para 3.200 m de profundidade de água. Isto porque, para uma propagação sonora de campo relativamente distante, o campo sonoro de uma profundidade de água de 1.100 m tem a mais forte interação entre o som e o fundo do mar (com a presença de um perfil de velocidade de som de refração para baixo e fundo oceânico de argila, acusticamente absorvente). A interação entre o som e o fundo do mar está ficando mais fraca quando as profundidades da água são maiores que o eixo do canal SOFAR.

Figura 9 Os SELs máximos previstos em toda a coluna de água para todos os azimutes em função da faixa (0 a 4 km) dos locais de origem com profundidades de água de 1.100m (azul), 1.800m (vermelho), 2.500m (verde) e 3.200m (preto)



5.2 Resultados da modelagem de curto alcance - outros parâmetros

A **Tabela 8** descreve as SELs máximas previstas e as Pk SPLs estimadas, Pk SPLs, Pk-SPLs e RMS SPL na coluna de água para todos os azimutes em função da distância horizontal do arranjo de fontes para dois casos de profundidade de água (1.100 m e 3.200 m) como exemplos, com base nos resultados de modelagem de curto alcance da SEL, como na Seção 5.1 e abordagem de estimativa relevante, como na Seção 4.2.4.

Tabela 8 Os SELs, Pk SPLs, Pk-Pk SPLs e RMS SPL máximos na coluna de água para todos os azimutes como uma função da distância do arranjo de fontes para duas profundidades

Distância horizontal do arranjo de fontes, m	Os níveis máximos previstos através da coluna de água para todos os azimutes Profundidade de água de 1100 m e 3200 m							
	SEL,		Pk SPL,		Pk-Pk SPL,		RMS SPL,	
	dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\cdot\text{s}$		dB re 1 μPa		dB re 1 μPa		dB re 1 μPa	
	1.100 m	3.200 m	1.100 m	3.200 m	1.100 m	3.200 m	1.100 m	3.200 m
5		215		235		242		233
10		213		233		240		231
20		204		224		231		222
50		197		217		224		215
80		193		213		220		211
100		191		211		218		209
200		184		204		211		200
500		176		196		203		188
800		172		192		199		183
1,000	169	170	189	190	196	197	179	180
2,000	161	163	181	183	188	190	170	172
4,000	148	154	168	174	175	181	155	161

Observa-se que todos os resultados mostrados são não ponderados e não podem ser diretamente comparados com os limites de impacto para os mamíferos marinhos que envolvem ponderações de frequência para levar em consideração as sensibilidades de audição de mamíferos marinhos.

5.3 Modelagem de Longo Alcance

A **Figura 15** mostra um composto de espectros de ruído ambiente do oceano. Em frequências mais baixas em torno de 100 Hz, o ruído ambiente pode atingir níveis de ~ 90 dB re 1 Pa. Níveis mais altos de ruído ambiente são comumente medidos no oceano em frequências ainda mais baixas, enquanto em frequências mais altas a intensidade do ruído ambiente tende a ser um pouco menor.

A **Figura 16** à **Figura 17** mostram exemplos de propagação do som de longo alcance do levantamento sísmico, na forma de “fatias” verticais para baixo, através da coluna de água, ao longo de três azimutes diferentes, para fora de um local de fonte representativo L2. Esses números indicam que o ruído dos arranjos de fontes, se propaga a longas distâncias, particularmente no duto de superfície. No entanto, o exame dos efeitos de propagação em diferentes frequências, indica que a maior parte da energia está em frequências muito baixas, menores que 100 Hz. Em frequências mais altas, muito pouca energia se propaga a distâncias maiores e os níveis de som recebidos nessas bandas de frequência mais altas, são consideravelmente menores.

Na maioria das frequências mais altas, os níveis de ruído de uma fonte sísmica, aparecerão em “bandas”, para serem similares aos níveis do ambiente entre 40 e 60 km de alcance. Além de 100 km, o nível de ruído, em grande parte da coluna de água, estará abaixo dos níveis sonoros naturais de ruído ambiente. No entanto, efeitos de focalização do perfil de velocidade do som e diferenças na batimetria produzirão variação nos níveis modelados. Assim, esses resultados iniciais devem ser usados como estimativas até o relatório final estar completo.

Figura 10 Composto de espectros de ruído ambiente de Wenz (1962)

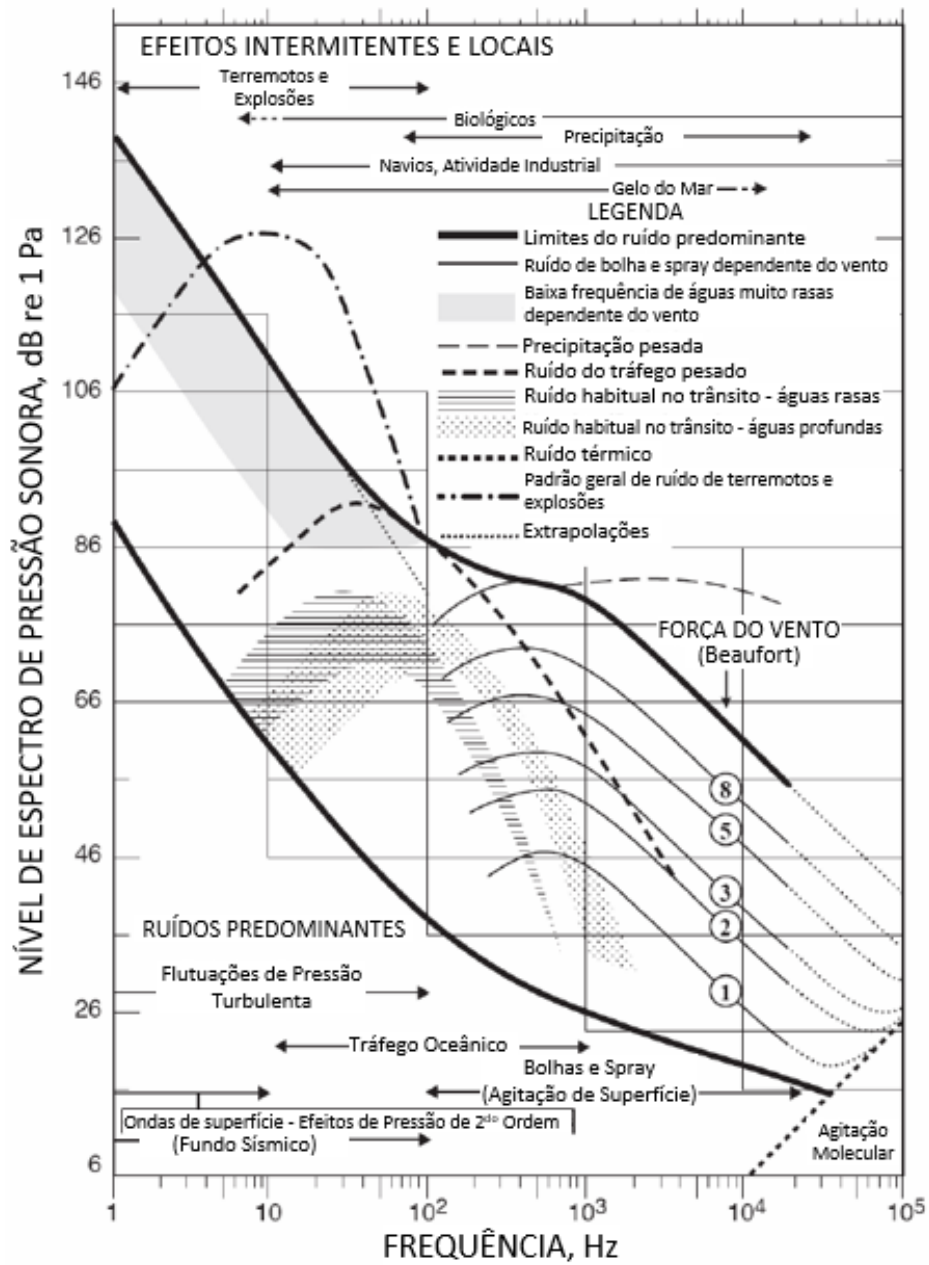


Figura 116 Exemplo de SELs modelados versus alcance e profundidade ao longo de uma propagação devida a sudeste (azimute = 150°) a partir do local de origem L2. (a) SEL global (soma de todas as frequências até 2 kHz). (b) - (e) contribuição das bandas de frequências individuais da terceira oitava para o SEL global recebido, indicando que a energia sonora dominante que se propaga a longas distâncias é inferior a 100 Hz.

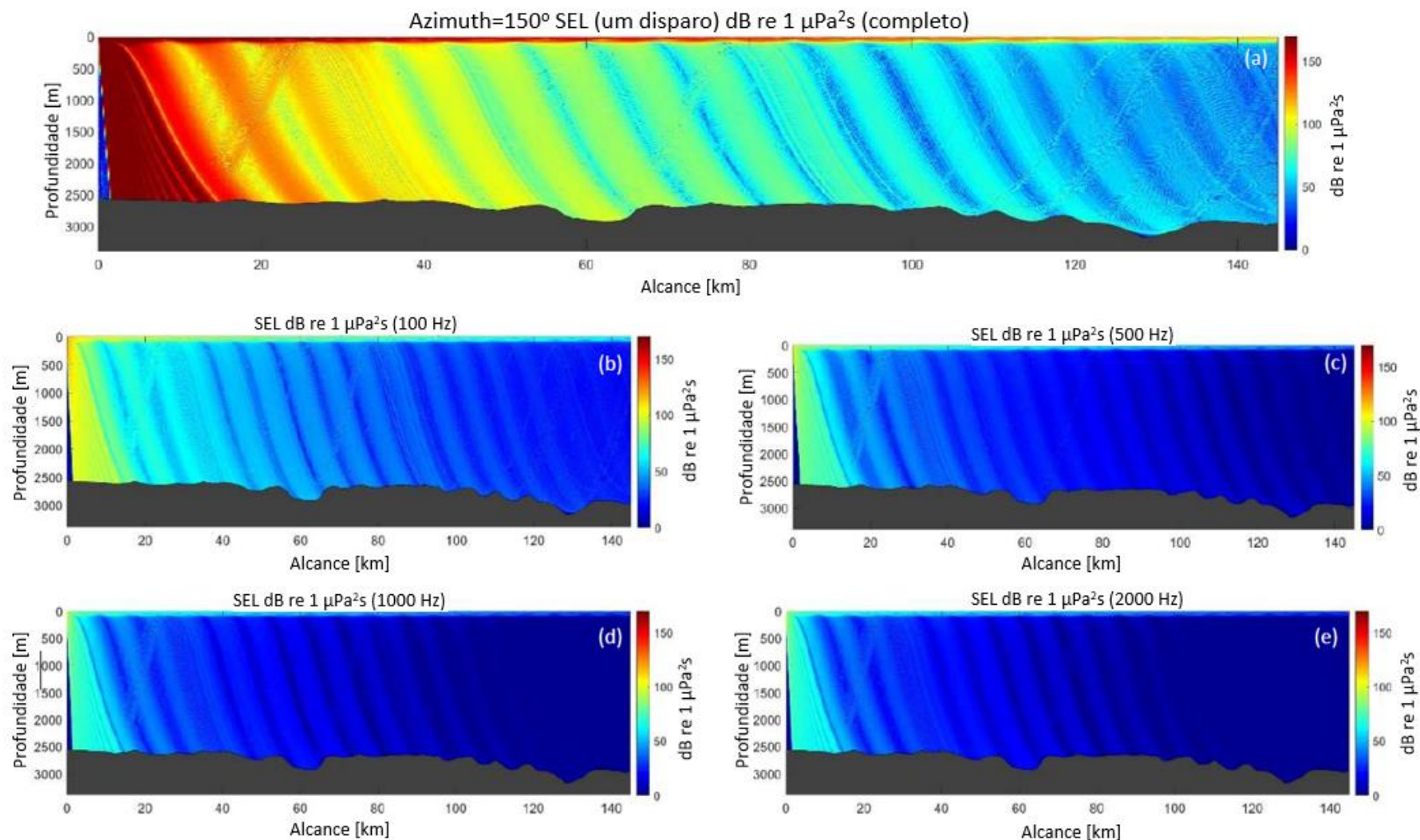


Figura 12 Exemplo de SELs modelados versus alcance e profundidade ao longo de uma propagação devida a sudeste (azimute = 180°) a partir do local de origem L2. (a) SEL global (soma de todas as frequências até 2 kHz). (b) - (e) contribuição das bandas de frequências individuais da terceira oitava para o SEL global recebido, indicando que a energia sonora dominante que se propaga a longas distâncias é inferior a 100 Hz.

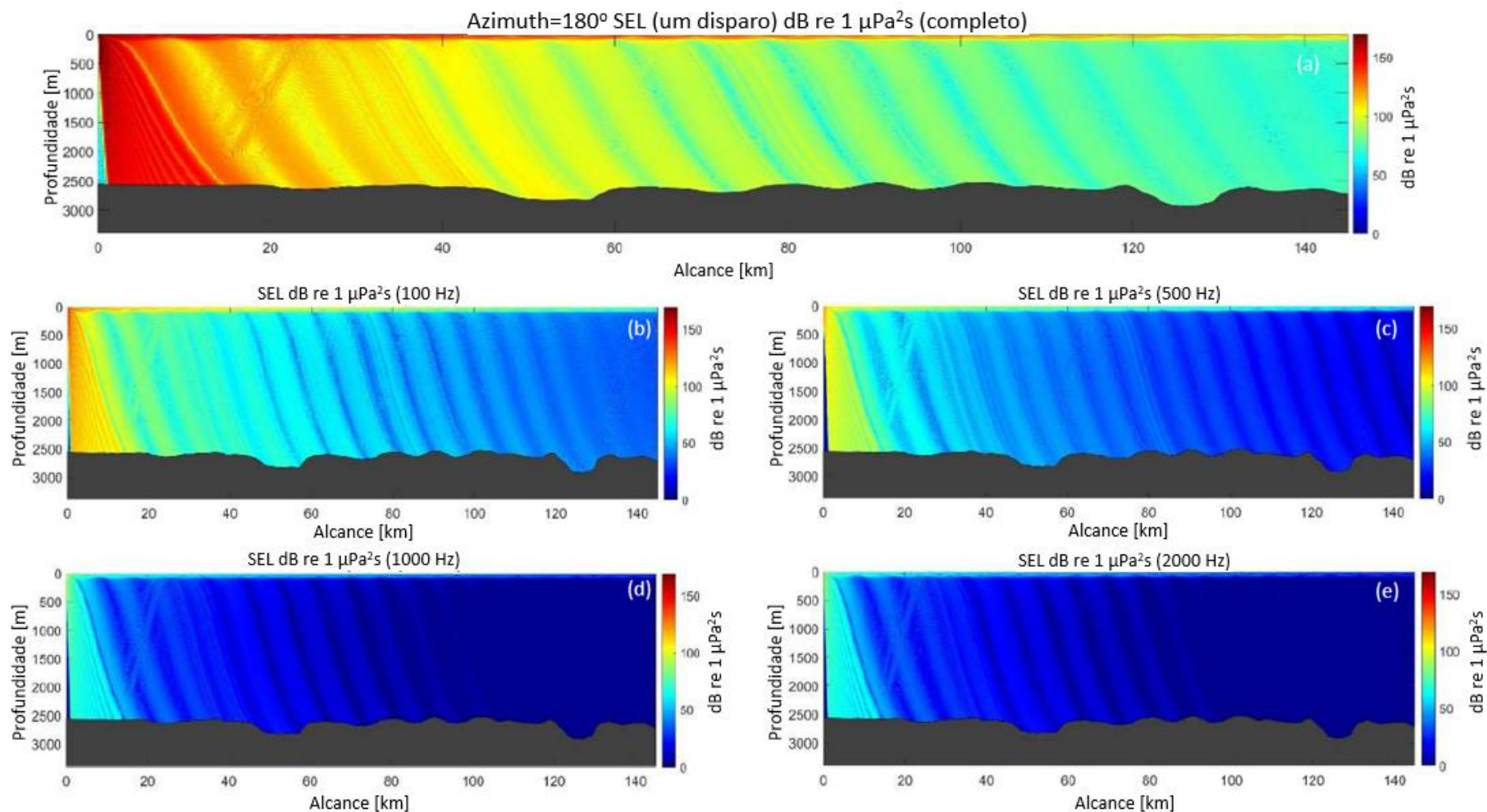
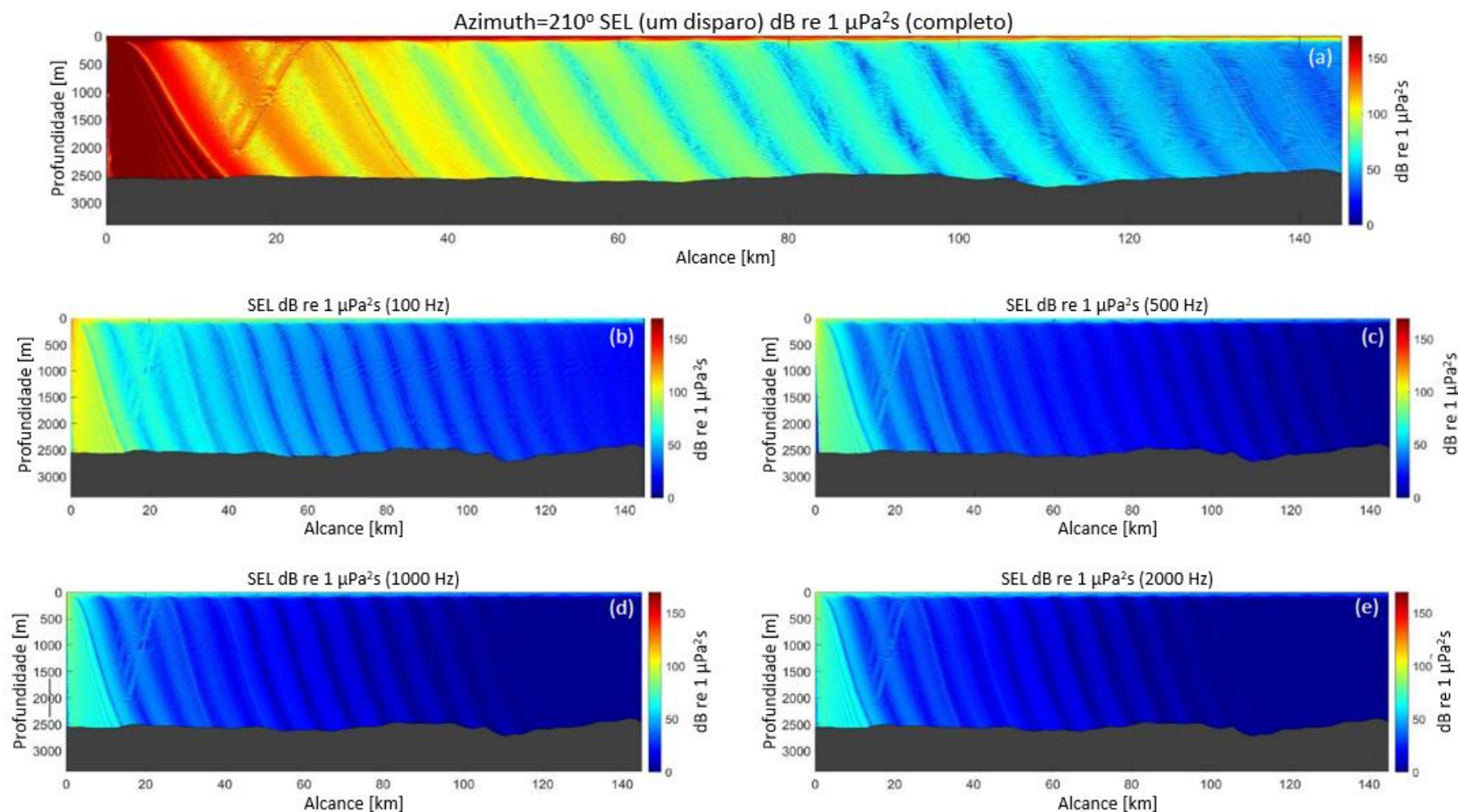


Figura 13 Exemplo de SELs modelados versus alcance e profundidade ao longo de uma propagação devida a sudeste (azimute = 210°) a partir do local de origem L2. (a) SEL global (soma de todas as frequências até 2 kHz). (b) - (e) contribuição das bandas de frequências individuais da terceira oitava para o SEL global recebido, indicando que a energia sonora dominante que se propaga a longas distâncias é inferior a 100 Hz.



5.4 Modelagem de SEL cumulativa

Como apresentado a partir dos resultados de modelagem de curto alcance na Seção 5.1, o nível de exposição sonora de um tiro do levantamento, a uma distância de 1,0 km é até 30 dB menor que um levantamento a uma distância próxima de 30 m do local de recepção. No entanto, com a localização de recepção perpendicular mais afastada das linhas de pesquisa, as diferenças de distância entre os disparos da pesquisa estão se tornam menores e as contribuições de exposição de som dos vários disparos adjacentes ao longo das linhas de pesquisa se tornam mais significativos.

A modelagem cumulativa de SEL foi realizada para um cenário típico de pesquisa de 24 horas, conforme descrito na Seção 4.2.3.1, com base na metodologia e procedimento de modelagem descritos na Seção 4.2.3.2, para casos ponderados de SEL24 com funções de ponderação de frequência de diferentes grupos de audição de mamíferos marinhos aplicados.

5.5 Zonas de impacto

Com base nos resultados da modelagem de decaimento sonoro apresentados acima, as zonas de impacto (isto é, a distância limite máxima horizontal) para as espécies de interesse da fauna marinha são resumidas nas seguintes sub-seções abaixo.

O 2018 NMFS Technical Guidance fornece "critérios métricos duplos", significando que tanto os impactos devidos ao pico de ruído (Pk SPL) quanto a exposição acumulada ao ruído (SEL24hr) devem ser considerados em relação ao impacto LMP e LMT para mamíferos marinhos.

As zonas de impacto também são discutidas para o impacto no comportamento de mamíferos marinhos usando os limites intermediários do NMFS.

5.5.1 Zonas de impacto - exposição imediata de pulsos únicos

As zonas de impacto baseadas em Pk SPL são estimadas e apresentadas na **Tabela 9** para efeitos de LMP e LMT em mamíferos marinhos. Como a água em toda a área do projeto é consistentemente profunda, quase não há variação nessas distâncias em toda a área do projeto.

Tabela 9 Zonas de impacto de pulsos únicos para LMP e LMS de mamíferos marinhos

Grupo de audição de mamíferos marinhos	Zonas de impacto – distâncias horizontais máximas da fonte aos níveis de limite de impacto			
	Dano (LMP) início		LMT início	
	Critério - Pk SPL dB re 1 µPa	Distância máxima do limite, m	Critério - Pk SPL dB re 1 µPa	Distância máxima do limite, m
Cetáceos de frequência baixa (LF)	219	38	213	75
Cetáceos de frequência meia (MF)	230	15	224	20
Cetáceos de frequência alta (HF)	202	250	196	500

Espera-se que os mamíferos marinhos experimentem uma mudança permanente do limite auditivo (LMP) em estreita proximidade com a matriz de origem, devido à exposição imediata a pulsos individuais. Com base em zonas de critérios estimados de impacto estimados por Pk-SPL como na Tabela 9, esta distância varia de 15 m para os cetáceos MF até aos 250 m para os cetáceos HF. Espera-se que as zonas de um limite mudança temporária (LMT) para mamíferos marinhos de todos os grupos de audição sejam de 20 a 500 m da fonte de matriz para todos os cenários de profundidade da água avaliados.

5.5.2 Zonas de impacto - exposição cumulativa de múltiplos pulsos

Conforme descrito na Seção 5.4, os campos sonoros cumulativos no SEL24hr não ponderado e no SEL24hr ponderado com funções de ponderação de frequência relevantes aplicadas são modelados com base em um cenário típico de operação de levantamento de 24 horas.

As zonas de impacto cumulativo (ou seja, as distâncias perpendiculares horizontais máximas das linhas de pesquisa avaliadas até os níveis de limiar de impacto cumulativo) são estimadas com base nos resultados de modelagem acima. A **Tabela 10** apresenta os efeitos cumulativos de LMP e LMT para mamíferos marinhos.

Entre os mamíferos marinhos de todos os três grupos de audição, os cetáceos de baixa frequência têm as maiores zonas de impacto LMP e LMT, como pode ser visto na **Tabela 10**. As zonas de impacto LMP estão previstas para se estender até 4 km da linha de pesquisa adjacente. O típico cenário de operação de pesquisa de 24 horas considerado, e as zonas de impacto LMT estão previstas para se estender até 40 km a partir das linhas de pesquisa adjacentes. Um modelo de perda de transmissão de $15 * \log(R)$ foi usado para determinar as distâncias máximas de limiar e algum conservadorismo é inerente às previsões devido à simplificação dos quatro arranjo de fontes a serem representadas ao longo de uma única linha.

Tabela 10 Zonas de mamíferos marinhos com impacto cumulativo de múltiplos impulsos para LMP e LMT

Grupo de audição de mamíferos marinhos	Zonas de impacto - distâncias horizontais máximas perpendiculares de linhas de pesquisa avaliadas a níveis cumulativos de impacto			
	Início Dano (LMP)		Início LMT	
	Critério – SEL _{24hr} Ponderado dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\cdot\text{s}$	Distância máxima do limite, m	Critério – SEL _{24hr} Ponderado dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\cdot\text{s}$	Distância máxima do limite, m
Cetáceos de frequência baixa (LF)	183	4.000	168	40.000
Cetáceos de frequência meia (MF)	185	-	170	75
Cetáceos de frequência alta (HF)	155	10	140	100

Deve-se observar que o nível de exposição cumulativa em um determinado local é modelado com base na suposição de que os animais não se movem e estão constantemente expostos ao ruído da fonte de ar da pesquisa em um intervalo fixo durante todo o período de 24 horas. No entanto, os mamíferos marinhos não ficariam no mesmo local durante todo o período e seria de esperar que se afastassem da fonte de ruído. Portanto, as zonas de impacto avaliadas para a lesão de mamíferos marinhos representam o pior cenário teórico.

5.5.3 Zonas de impacto - perturbação comportamental intercalar do NMFS

As distâncias para os limites acústicos submarinos intercalares do NMFS para perturbação comportamental de 160 dB RMS SPL podem ser determinadas a partir da última coluna e são da ordem dos 4000 m. Note-se que este limiar NMFS RMS SPL não é ponderado, e o conteúdo de frequência da fonte não é levado em consideração na determinação das distâncias em que a perturbação comportamental dos mamíferos marinhos pode ocorrer. Conforme discutido na Seção 3.4, o arranjo *eSource* foi projetado para minimizar as emissões de ruído nas frequências mais altas que se espera que sejam mais prejudiciais para os mamíferos marinhos. A Tabela 5 indica que, mesmo para os cetáceos LF, ponderar a fonte para considerar os audiogramas de mamíferos marinhos resulta em uma força de fonte efetiva (por pulso SEL) que pode ser em torno de 12-13 dB menor que a força da fonte não ponderada. Por esta razão, recomenda-se que as previsões da extensão da perturbação comportamental para os mamíferos marinhos com base na distância até ao limite não ponderado de 160 dB RMS SPL NMFS sejam interpretadas com cautela. O benefício do arranjo *eSource* em relação às fontes de ar comprimido convencionais não é evidente quando se usa um limite de interrupção de comportamento não ponderado.

6.0 SUMÁRIO

A WesternGeco está propondo um programa de pesquisa sísmica marítima *Wide Azimuth* no Brasil. Este relatório detalha o estudo de modelagem para decaimento sonoro, que foi realizado para a pesquisa proposta e inclui quatro componentes de modelagem - modelagem de arranjo de fontes, modelagem de curto alcance, modelagem de longo alcance e modelagem cumulativa de exposição sonora.

As fontes sonoras da pesquisa, são quatro arranjos *eSource* de 5.085 polegadas cúbicas (CUI) a serem colocadas em quatro embarcações, a cada 1400m de distância. Cada arranjo de fontes consiste de 24 unidades de ar comprimido *e500A* ativas, com uma profundidade de 9 m e uma pressão de operação de 2.000 libras por polegada quadrada (PSI).

Os quatro arranjos de fontes serão disparados sequencialmente. A modelagem da fonte mostra que para um único disparo, o nível de pressão sonora pico é 256,0 dB re 1 μ Pa @ 1m, o nível de pressão sonora pico a pico é 263,0 dB re 1 μ Pa @ 1m, o nível de pressão sonora quadrática média é 253,6 dB re 1 μ Pa @ 1m, e o nível de exposição sonora (SEL) é 235,7 re μ Pa² · s @ 1m.

A modelagem da fonte demonstra que o ruído gerado pela tecnologia *eSource* de largura de banda controlada, é concentrado em baixas frequências, menores que 200 Hz. Um declínio rápido nos níveis de ruído da fonte espectral é evidente para frequências superiores a 200 Hz.

A modelagem de longo alcance, indica que o ruído se propaga a longas distâncias, particularmente no duto de superfície. No entanto, a análise dos efeitos de propagação em diferentes frequências indica que a maior parte da energia está em frequências muito baixas, menores que 200 Hz. Na maioria das frequências mais altas, os níveis de ruído de uma fonte sísmica aparecerão em “bandas”, para serem similares aos níveis do ambiente, entre 40 e 60 km da fonte. Além de 100 km, o nível de ruído em grande parte da coluna de água estará abaixo dos níveis sonoros naturais de ruído.

Este relatório identifica as zonas estimadas de impacto para mamíferos marinhos, com referência a níveis de orientação, para limite de mudanças permanente e temporário, considerando tanto os níveis máximos de ruído de disparos individuais, quanto exposições cumulativas potenciais durante um período indicativo de 24 horas.

7.0 REFERÊNCIAS

- Ainslie, M. A., Laws, R. M., and Sertlek, H. O., International Airgun Modelling Workshop: Validation of source signature and sound propagation models – Dublin (Ireland), 16 July 2016 – problem description, IEEE J. Ocean. Eng., to be published.
- Austin, M., McCrodan, A., Wladichuk, J., 2013, Marine mammal monitoring and mitigation during Shell's activities in the Chukchi Sea, July–September 2013: Draft 90-Day Report. (Chapter 3) *In* Reider, H. J., L. N. Bisson, M. Austin, A. McCrodan, J. Wladichuk, C. M. Reiser, K.B. Matthews, J.R. Brandon, K. Leonard, et al, (eds.). *Underwater Sound Measurements*. LGL Report P1272D–2. Report from LGL Alaska Research Associates Inc., Anchorage, AK, USA, and JASCO Applied Sciences, Victoria, BC, Canada, for Shell Gulf of Mexico, Houston, TX.
- Belo, W.C. and da Silveira, I.C.A., 2013. The vertical variability of the ocean in Santos Basin. *Boletim de Geociencias - Petrobras*, v. 21, p. 39-62.
- Del Grosso, V. A., 1974, New equation for the speed of sound in natural waters (with comparisons to other equations), *J. Acoust. Soc. Am.* 56: 1084-1091.
- Dragoset, W. H., 1984, A comprehensive method for evaluating the design of airguns and airgun arrays, 16th Annual Proc. Offshore Tech. Conf. 3: 75-84.
- Finneran, J. J., 2015, Auditory weighting functions and TTS/PTS exposure functions for cetaceans and marine carnivores, San Diego: SSC Pacific.
- Finneran, J. J., 2016, Auditory weighting functions and TTS/PTS exposure functions for marine mammals exposure to underwater noise, Technical Report, 49 pp.
- Galindao-Romero, M., Lippert, T. and Gavrilov, A., 2015, Empirical prediction of peak pressure levels in anthropogenic impulsive noise. Part I: Airgun arrays signals. *J. Acoust. Soc. Am.* 138 (6), December: EL540-544.
- Gundalf Designer, Revision AIR8.1n, 30 March 2018, Oakwood Computing Associates Limited. (<https://www.gundalf.com/>).
- Hamilton, E. L., 1980, Geoacoustic modelling of the sea floor, *J. Acoust. Soc. Am.* 68: 1313:1340.
- Jensen, F. B., Kuperman, W. A., Porter, M. B. and Schmidt, H., 2011, *Computational Ocean Acoustics*, Springer-Verlag New York.
- Laws, R. M., Parkes, G. E., and Hatton, L., 1988, Energy-interaction: The long-range interaction of seismic sources, *Geophysical Prospecting*, 36: 333-348.
- Laws, M., Hatton, L. and Haartsen, M., 1990, Computer Modelling of Clustered Airguns, *First Break*, 8(9): 331-338.
- Li, B. and Bayly, M., 2017, Quantitative analysis of the environmental impact benefits of bandwidth-controlled marine seismic source technology, *Proceedings of Acoustics 2017*, 19-22 November 2017, Perth, Australia.

- Matthews, M. N. and Macgillivray, A. O., 2013, Comparing modeled and measured sound levels from a seismic survey in the Canadian Beaufort Sea, Proceedings of meetings on acoustics Acoustical Society of America, 2 – 7 June 2013, Montreal, Canada.
- McCauley, R. D., Duncan, A. J., Gavrilov, A. N. and Cato, D. H., 2016, Transmission of marine seismic survey, air gun array signals in Australian waters. Proceedings of ACOUSTICS 2016, 9-11 November 2016, Brisbane, Australia.
- McCauley R. D., Fewtrell J., Duncan A. J., Jenner, C., Jenner M. N., Penros J. D., Prince R. I. T., Adhitya A., Murdoch J. and McCabe K., 2000, Marine Seismic Surveys: Analysis and Propagation of Air Gun Signals, and Effects of Exposure on Humpback Whales, Sea Turtles, Fishes and Squid. Prepared for the APPEA. CMST, Curtin University.
- National Marine Fisheries Service. 2018. 2018 Revisions to: Technical Guidance for Assessing the Effects of Anthropogenic Sound on Marine Mammal Hearing (Version 2.0): Underwater Thresholds for Onset of Permanent and Temporary Threshold Shifts. U.S. Dept. of Commer., NOAA. NOAA Technical Memorandum NMFS-OPR-59, 167 p.
- Parkes, G. E., Ziolkowski, A. M., Hatton L. and Haugland T., 1984, The signature of an airgun array: computation from near-field measurements – practical considerations, Geophysics, 49: 105-111.
- Porter, M., 2010, Acoustics Toolbox in Ocean Acoustics Library (<http://oalib.hlsresearch.com/>).
- Simon, C., Matthew, P. and David, P., 2018, Results of deployment of acoustic monitoring equipment for Taranaki Ltd for 2018 Māui 4D Seismic Survey, Report No. PM-18-Shell-Report 3 Results of acoustic equipment deployment 2018 Māui 4D MSS-v1.1.
- Southall, B., Bowles, A., Ellison, W., Finneran, J., Gentry, R., Greene, C. Jr., Kastak, D., Ketten, D., Miller, J., Nachtigall, P., Richardson, W., Thomas, J., Tyack, P. (2007), Marine Mammal Noise Exposure Criteria: Initial Scientific Recommendations. Aquatic Mammals, 33(4), 411-521.
- Timothy A., 2018, private communication.
- Vaage, S., Strandness, S. and Utheim, T., 1984, Signatures from single airguns, Geophysical Prospecting, 31: 87-97.
- Wenz, G.M. Acoustic Ambient Noise in the Ocean: Spectra and Sources. Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 34, No. 12, 1962, pp. 1936-1956
- Ziolkowski, A. M., Parkes, G. E., Hatton, L. and Haugland, T., 1982, The signature of an airgun array: computation from near-field measurements including interactions, Geophysics, 47: 1413-1421.
- Ziolkowski, A. M., 1970, A method for calculating the output pressure waveform from an airgun, Geophys.J.R.Astr.Soc., 21: 137-161.

APÊNDICE A

Terminologia acústica

Aquisição Sísmica Wide Azimuth de WesternGeco
Modelagem de Ruído Subaquático

SLR Project No.: 201.19065.00000

APÊNDICE A

Terminologia acústica

Pressão Sonora	Um desvio da pressão hidrostática ambiente causada por uma onda sonora.
Nível de Pressão Sonora (SPL sigla em inglês)	A relação logarítmica da pressão sonora com a pressão de referência. A pressão subaquática de referência é $P_{ref} = 1 \mu\text{Pa}$
Raiz Quadrada Média de Nível de Pressão Sonora de (RMS SPL sigla em inglês)	A pressão de som quadrada média é a média da pressão quadrada sobre a duração do pulso. O nível de pressão sonora da raiz quadrada média é a relação logarítmica da raiz da pressão quadrada média com a pressão de referência. A duração do pulso é considerada como a duração entre os pontos de 5% e 95% na curva de energia cumulativa.
Nível de Pressão Sonora Pico (Peak SPL sigla em inglês)	O nível de pressão sonora pico-a-pico é a razão logarítmica da diferença entre a pressão máxima e a mínima sobre o evento de sinal impulsivo para a pressão de referência.
Nível de Pressão Sonora Pico-a-Pico (Peak-Peak SPL sigla em inglês)	O nível de pressão sonora pico-a-pico é a razão logarítmica da diferença entre a pressão máxima e a mínima sobre o evento de sinal impulsivo para a pressão de referência.
Nível de Exposição Sonora (SEL sigla em inglês)	O SEL é uma medida de energia. Especificamente, é o nível de dB da integral de tempo da pressão sonora instantânea quadrática normalizada para um período de 1 s.
Densidade Espectral de Potência (PSD sigla em inglês)	PSD descreve como a potência de um sinal é distribuída com frequência
Nível da Fonte (SL sigla em inglês)	O nível da fonte acústica é o nível referenciado a uma distância de 1m de uma fonte pontual.
Níveis de Banda de 1/3 de Oitava	A energia de um som é dividida em uma série de bandas de frequência adjacentes, cada uma com 1/3 de largura de oitava
Perfil de velocidade de som	Um gráfico da velocidade do som na coluna de água em função da profundidade.



global environmental solutions

Calgary, AB

1185-10201 Southport Rd SW
Calgary, AB T2W 4X9
Canada

Tel: (403) 266-2030

Fax: (403) 263-7906

Edmonton, AB

6940 Roper Road
Edmonton, AB T6B 3H9
Canada

Tel: (780) 490-7893

Fax: (780) 490-7819

Grande Prairie, AB

10015 102 Street
Grande Prairie, AB T8V 2V5
Canada

Tel: (780) 513-6819

Fax: (780) 513-6821

Kamloops, BC

8 West St. Paul Street
Kamloops, BC V2C 1G1
Canada

Tel: (250) 374-8749

Fax: (250) 374-8656

Kelowna, BC

200-1475 Ellis Street
Kelowna, BC V1Y 2A3
Canada

Tel: (250) 762-7202

Fax: (250) 763-7303

Markham, ON

200 - 300 Town Centre Blvd
Markham, ON L3R 5Z6
Canada

Tel: (905) 415-7248

Fax: (905) 415-1019

Nanaimo, BC

9-6421 Applecross Road
Nanaimo, BC V9V 1N1
Canada

Tel: (250) 390-5050

Fax: (250) 390-5042

Ottawa, ON

400 – 2301 St. Laurent Blvd.
Ottawa, ON K1G 4J7
Canada

Tel: (613) 725-1777

Fax: (905) 415-1019

Prince George, BC

1586 Ogilvie Street
Prince George, BC V2N 1W9
Canada

Tel: (250) 562-4452

Fax: (250) 562-4458

Regina, SK

1048 Winnipeg Street
Regina, SK S4R 8P8
Canada

Tel: (306) 525-4690

Fax: (306) 525-4691

Saskatoon, SK

620-3530 Millar Avenue
Saskatoon, SK S7P 0B6
Canada

Tel: (306) 374-6800

Fax: (306) 374-6077

Toronto, ON

36 King Street East, 4th Floor
Toronto, ON M5C 3B2
Canada

Tel: (905) 415-7248

Fax: (905) 415-1019

Vancouver, BC (Head Office)

200-1620 West 8th Avenue
Vancouver, BC V6J 1V4
Canada

Tel: (604) 738-2500

Fax: (604) 738-2508

Victoria, BC

Unit 303 – 3960 Quadra Street
Victoria, BC V8X 4A3
Canada

Tel: (250) 475-9595

Fax: (250) 475-9596

Winnipeg, MB

1353 Kenaston Boulevard
Winnipeg, MB R3P 2P2
Canada

Tel: (204) 477-1848

Fax: (204) 475-1649

Whitehorse, YT

6131 6th Avenue
Whitehorse, YT Y1A 1N2
Canada

Tel: (867) 689-2021

Yellowknife, NT

Unit 44, 5022 49 Street
Yellowknife, NT X1A 3R8
Canada

Tel: (867) 765-5695

