

SISTEMA DE PREVISÃO DE ALCANCE SONAR PARA UM OCEANO HETEROGÊNICO E DISCRETO

Odmir Andrade Aguiar

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ DE COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA OCEÂNICA.

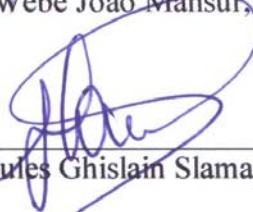
Aprovada por:



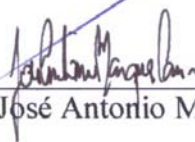
Prof. Carlos Eduardo Parente Ribeiro, D.Sc.



Prof. Webe João Mansur, Ph.D.



Prof. Jules Ghislain Slama, D.Sc.



Prof. José Antonio Marques Carrer, D.Sc.



Prof. William Soares Filho, D.Sc.

RIO DE JANEIRO , RJ – BRASIL

JANEIRO DE 2005

AGUIAR, ODMIR ANDRADE.

Sistema de Previsão de Alcance Sonar para um Oceano Heterogêneo e Discreto [Rio de Janeiro] 2005.

VII, 133 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, D.Sc., Engenharia Oceânica, 2005)

Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE

1. Acústica Submarina. 2. Modelos Acústicos. 3. Oceanografia Física

I. COPPE/UFRJ II. Título (série)

À Luciana, minha mulher amada.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Odair e Rany, pelo apoio moral e financeiro que me deram para o desenvolvimento desta tese.

Aos meus filhos, Juliana e João Pedro, pela paciência e compreensão dispensadas durante o período que levei para o desenvolvimento desta tese.

Ao meu orientador Prof. Carlos Eduardo Parente Ribeiro pela amizade, paciência e confiança durante a realização desta tese.

Ao Prof. João Marcos De Camillis Gil e ao Capitão-de-Fragata Antonio Fernando Garcez Faria pela ajuda fornecida durante a redação final deste trabalho.

A todo o pessoal do Programa de Engenharia Oceânica, em especial às Sr^{as}. Gleice e Nilda, pelo carinho e atenção que me dispensaram durante a realização do curso.

Aos servidores civis e militares do Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO) pelo auxílio na obtenção dos dados oceanográficos.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D.Sc.)

SISTEMA DE PREVISÃO DE ALCANCE SONAR PARA UM OCEANO HETEROGÊNIO E DISCRETO

Odmir Andrade Aguiar

Janeiro/2005

Orientador: Carlos Eduardo Parente Ribeiro

Programa: Engenharia Oceânica, Área de Engenharia Costeira & Oceanográfica

Este trabalho desenvolve um modelo de propagação acústica a partir de uma nova abordagem da Teoria de Raios. Além disso, desenvolve um modelo de previsão de alcance sonar, para uso naval, que é baseado no modelo de propagação acústica, gerando informações para o planejamento de operações navais ou para aplicação em decisões táticas durante o decorrer de uma operação naval. Diversos testes foram realizados, para a aferição e validação do sistema, partindo-se de dados reais fornecidos pela Marinha do Brasil. As previsões fornecidas pelo modelo foram comparadas com valores de primeiras detecções e mostraram que o modelo gera bons resultados.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D.Sc.)

SONAR DETECTION PREDICTION SYSTEM IN A DISCRETE AND HETEROGENEOUS OCEAN

Odmir Andrade Aguiar

January/2005

Advisor: Carlos Eduardo Parente Ribeiro

Department: Oceanic Engineering, Area of Coastal & Oceanographic Engineering

This work presents a model of acoustic propagation from a new approach to the Ray Tracing Theory. Furthermore, it develops a range prediction model for a sonar, for naval use, that is based on the model of acoustic propagation, generating information for the planning of tactical operations or for application in tactical decisions during a naval operation. Several tests were made, to validate the system, starting from real data sent by the Brazilian Navy. The predictions made by the model were compared to values of first detections and demonstrated that the model generates good results.

ÍNDICE DO TEXTO

1.0	INTRODUÇÃO	1
2.0	PARÂMETROS OCEANOGRÁFICOS	6
2.1	Temperatura e Salinidade	7
2.2	Fácies	12
2.3	Profundidade	13
2.4	Parâmetros Complementares e Decorrentes	14
3.0	MODELO DE PROPAGAÇÃO	17
4.0	MODELO DE PARÂMETROS SONAR	23
4.1	Parâmetros Sonar do Equipamento de Detecção	24
4.2	Modelo de Parâmetro Sonar do Ambiente	25
4.3	Modelo de Parâmetros Sonar do Alvo	26
5.0	MODELO DE PERDAS	30
5.1	Modelo de Espalhamento	31
5.2	Modelo de Absorção	34
5.3	Modelo de Reflexão	37
5.4	Modelo de Refração	39
6.0	MODELO DE PREVISÃO DE ALCANCE SONAR	42
7.0	AVALIAÇÃO DO SISTEMA	46
7.1	Situação Teórica	46
7.2	Resultados	47
7.3	Avaliação dos Resultados	51
7.4	Comparação com outros Sistemas	58
8.0	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	63
9.0	BIBLIOGRAFIA	65
ANEXO I - Código MATLAB[®] comentado do sistema de previsão de alcance sonar para um oceano heterogêneo discreto		67
ANEXO II - Gráficos do sistema de previsão de alcance sonar utilizados para a confecção das tabelas 4 e 5		93

1.0 - INTRODUÇÃO

Oceanografia é o nome genérico que se dá ao estudo científico dos oceanos e tem, dentre seus objetivos, chegar a uma descrição do comportamento das massas de água que compõem os oceanos e dos processos biogeoquímicos que neles ocorrem. Essa ciência tenta obter conhecimento suficiente para poder estimar o comportamento futuro, sem esquecer que os oceanos possuem um processo natural mutativo, que depende de uma quantidade gigantesca de parâmetros e relações e, assim sendo, nunca poderá ser totalmente modelado.

Composta classicamente por quatro áreas: física, química, geológica e biológica; a oceanografia é, relativamente a outras, uma ciência nova que vem tendo avanços significativos nas últimas décadas.

A acústica submarina, área da oceanografia física, se dedica ao estudo do comportamento das ondas sonoras que se propagam nos oceanos, e busca descrever o caminho percorrido pela onda sonora, sua interação com o meio e principalmente o alcance desta onda.

A opção de se adquirirem informações no meio líquido através de ondas mecânicas ao invés de ondas eletromagnéticas deve-se ao fato que estas últimas sofrem uma grande absorção durante a propagação.

A despeito do que George Pickard imaginava em meados do século passado, além das informações de distância/profundidade e velocidade (PICKARD, 1968), já se podem gerar imagens tridimensionais do fundo do mar por meio de modelos acústicos, em função do aprofundamento das pesquisas e das conquistas tecnológicas obtidas nas últimas três décadas do século XX.

O sonar (*sound navigation and ranging*) é um conjunto de equipamentos eletrônicos e mecânicos que tem como propósito principal, no modo ativo, a determinação da distância de um objeto ou do fundo marinho à embarcação que o transporta.

Apesar de seus múltiplos usos, neste trabalho o sonar será tratado como um equipamento de uso militar que tem como objetivo a detecção de navios e submarinos durante uma operação naval.

O uso do sonar como um equipamento militar demonstrou ser importante durante a Segunda Guerra Mundial permitindo a localização de submarinos, principal arma para ataque a navios, tornando-se um instrumento fundamental na manutenção do Poder Naval (N.A.S., 1998)

O estudo da propagação da onda sonora nos oceanos foi desenvolvido inicialmente com base na Teoria de Raios, a qual se baseia no caminho percorrido por raios pertencentes a um feixe sonoro e a partir do traçado destes raios aplicam-se os efeitos das interações com o meio.

Em baixas frequências (abaixo de 1 KHz, por exemplo), a Teoria de Raios cedeu lugar à Teoria dos Modos Normais e às soluções com as Equações Parabólicas (ROBINSON & LEE, 1994), que têm uma implementação mais simples, portanto um processamento mais rápido e, principalmente, porque estas teorias podem contemplar o efeito destrutivo/constutivo da interação de frentes de onda.

Por outro lado, o ensino e o desenvolvimento da Teoria de Raios nunca foi abandonado, pois ela é a que fornece um meio mais eficaz de apresentar visualmente o processo de propagação, porém ainda não foi utilizada em seu potencial máximo para o estudo da propagação em águas rasas, pois a complexidade dos algoritmos demanda equipamentos mais potentes para o processamento.

A aplicação naval (militar) do sonar utiliza frequências que variam normalmente entre 3 KHz e 14 KHz para sonares ativos, e entre 1,5 KHz e 2,5 KHz como frequências de escuta prioritárias para sonares passivos, objetivando a obtenção de informações confiáveis em uma área de cerca de 10 milhas de raio em torno do usuário, em águas rasas e profundas.

O desenvolvimento de algoritmos, como os desta tese, baseados na Teoria de Raios que possibilitam uma boa representação dos efeitos da propagação das ondas

sonoras no mar associado a computadores com alta capacidade de processamento permitiu que a utilização da Teoria de Raios seja retomada para o estudo da propagação sonora.

A aplicação principal do objeto deste trabalho é o desenvolvimento de um sistema de previsão de alcance sonar, que seja confiável e de rápido processamento, para a instalação em navios da Marinha do Brasil, com vistas a subsidiar a tomada de decisão em uma operação naval que envolva ações anti-submarino.

Esta tese tratará de um modelo 2D de previsão de alcance sonar, a partir de uma nova abordagem sobre a Teoria de Raios, que será apresentada no Capítulo 3, tendo acoplado a ele um banco de dados georeferenciado de informações oceanográficas.

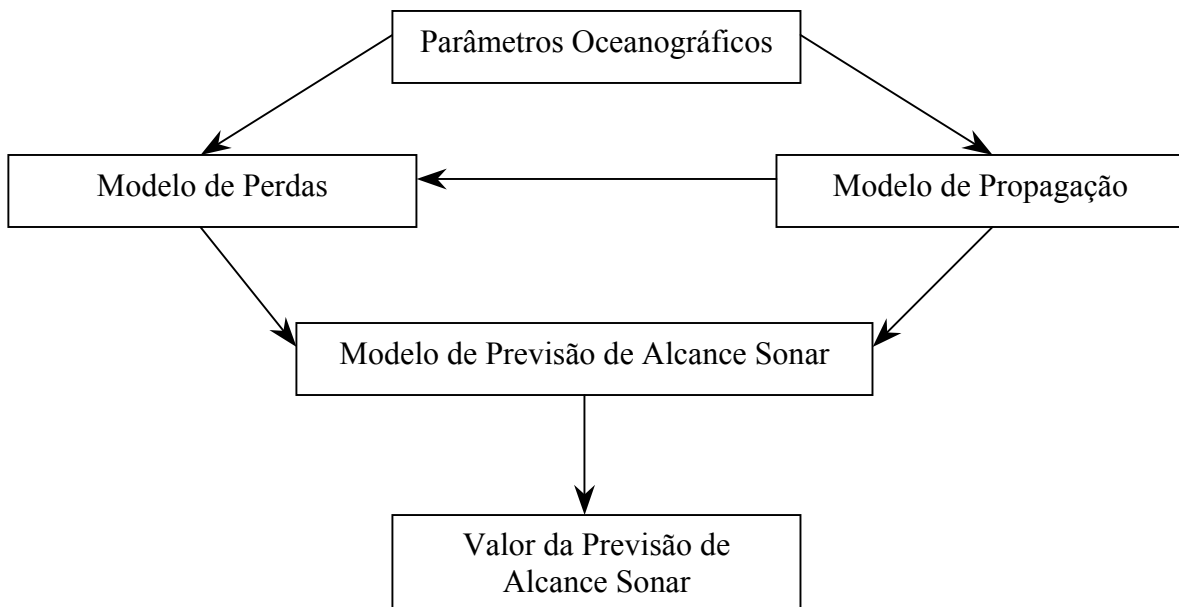


Figura 1 – Diagrama de blocos do Sistema de Previsão de Alcance Sonar

Nos capítulos desta tese, serão apresentados separadamente os referenciais teóricos e as metodologias de cada bloco descrito na Figura 1, empregados no desenvolvimento do algoritmo final do Sistema de Previsão de Alcance Sonar.

No Capítulo 2, será apresentada a base de dados com os parâmetros oceanográficos necessários ao processamento dos Modelos de Perdas e de Propagação,

descrevendo suas principais características e a metodologia empregada para o seu tratamento.

A nova abordagem desenvolvida para a aplicação da Teoria de Raios será apresentada no Capítulo 3.

O Capítulo 4 tratará da modelagem de parâmetros sonar.

Baseado em leis físicas consolidadas, será apresentado, no Capítulo 5, o Modelo de Perdas, abrangendo as perdas por espalhamento, absorção, reflexão e refração.

Os códigos apresentados nos capítulos de 2 a 5 fazem parte do sistema de previsão de alcance sonar, cujo modelo de previsão de alcance terá sua metodologia apresentada no Capítulo 6.

O sistema de que trata esta tese foi desenvolvido durante cerca de 5 anos, é fruto de um interesse pessoal desenvolvido pelo autor na área de propagação acústica, o qual vislumbrou a viabilidade de gerar e compilar este tipo de conhecimento no Brasil, tendo como motivação básica contribuir para o desenvolvimento da tecnologia necessária para o aparelhamento dos navios da Marinha do Brasil.

Pode-se afirmar que o sistema desenvolvido neste trabalho tem uma perspectiva holística e trata de um sistema não-isolado aberto, pois possui propriedades que não são somente frutos de seus modelos individualmente e apresenta relações de troca com o meio onde ocorre a propagação.

Segundo a classificação de Chorley & Kennedy (*apud* CHIRSTOFOLETTI, 1999) o sistema pode ser considerado de processo-resposta, isto é, indica o processo e representa a forma para obter a resposta a um determinado efeito; quanto à tipologia é certamente análogo abstrato, matemático e estocástico, pois fundamenta-se na perspectiva de representar um fenômeno específico, tendo seus modelos sido desenvolvidos separadamente, buscando a compreensão das partes para modelar o todo, estando neles incluídos a aplicação de idealizações dos fenômenos acústicos e a agregação de componentes aleatórios, dados observados e experimentações.

O sistema descrito nesta tese, embora apresente metodologias inéditas, utiliza instrumentos clássicos sobre o assunto, apresentando como destaque a adequação da Teoria de Raios e do cálculo de perdas por transmissão para um oceano heterogêneo.

Os pontos de inovação deste trabalho estão contidos em todos os seus capítulos, sendo importante destacar a metodologia de processamento de dados oceanográficos (Capítulo 2), a formulação com base em Δx em para a propagação da onda (Capítulo 3), o estabelecimento de fórmulas para alguns parâmetros sonar (Capítulo 4), a envoltória do modelo de perdas (Capítulo 5) e a metodologia de cálculo e apresentação das previsões de alcance (Capítulo 6).

2.0 - PARÂMETROS OCEANOGRÁFICOS

Desde os primeiros estudos feitos por Colladon e Sturm sobre a propagação do som no Lago Genebra, há quase dois séculos (CLAY & MEDWIN, 1977), passando pelo desenvolvimento do primeiro equipamento para detecção de alvos através de ondas sonoras no mar, idealizado por Richardson em 1912 (URICK, 1983), o conhecimento dos parâmetros oceanográficos se mostrou de vital importância para a obtenção de uma estimativa do comportamento das ondas sonoras no meio marinho.

Com o advento da informática e o desenvolvimento de bases de dados que suportam processamentos iterativos, foi possível uma melhor acesso às informações disponíveis de parâmetros oceanográficos.

As bases de dados brutos utilizadas nesta tese não sofreram nenhum tipo de tratamento ou filtragem, com vistas à preservação das características do litoral brasileiro, o qual apresenta uma grande variabilidade dos parâmetros oceanográficos.

Tratamentos com base em desvio padrão ou em limites máximos e mínimos de parâmetros oceanográficos não se mostraram confiáveis quando se tem uma massa de dados que contenha informações de todo o litoral brasileiro (AGUIAR, 1998); tais tratamentos somente se mostram válidos em litorais com uma menor variabilidade como ocorre na Inglaterra e nos Estados Unidos da América.

Este capítulo é dedicado ao conhecimento da estruturação e manipulação destes parâmetros para a utilização nos modelos de propagação e de perdas a serem apresentados nos Capítulos 3 e 5.

O termo “oceano heterogêneo e discreto”, constante do título deste trabalho, tem suporte na metodologia de utilização dos parâmetros oceanográficos neste sistema de previsão de alcance sonar, que busca expressar da maneira mais fiel possível a variabilidade do meio marinho durante a propagação da onda sonora.

2.1 - Temperatura e Salinidade

Os dados brutos de temperatura e salinidade de toda a Margem Continental Brasileira foram fornecidos pelo Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO), que é operado pelo Centro de Hidrografia da Marinha (CHM), que é subordinado à Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil, sendo aproximadamente 2 milhões de informações coletadas, recebidas no seguinte formato:

DATA - LATITUDE - LONGITUDE - PROFUNDIDADE - TEMPERATURA – SALINIDADE

A latitude e a longitude foram fornecidas em graus, minutos e segundos, a profundidade em metros, a temperatura em graus Celsius e a salinidade em partes por milhão.

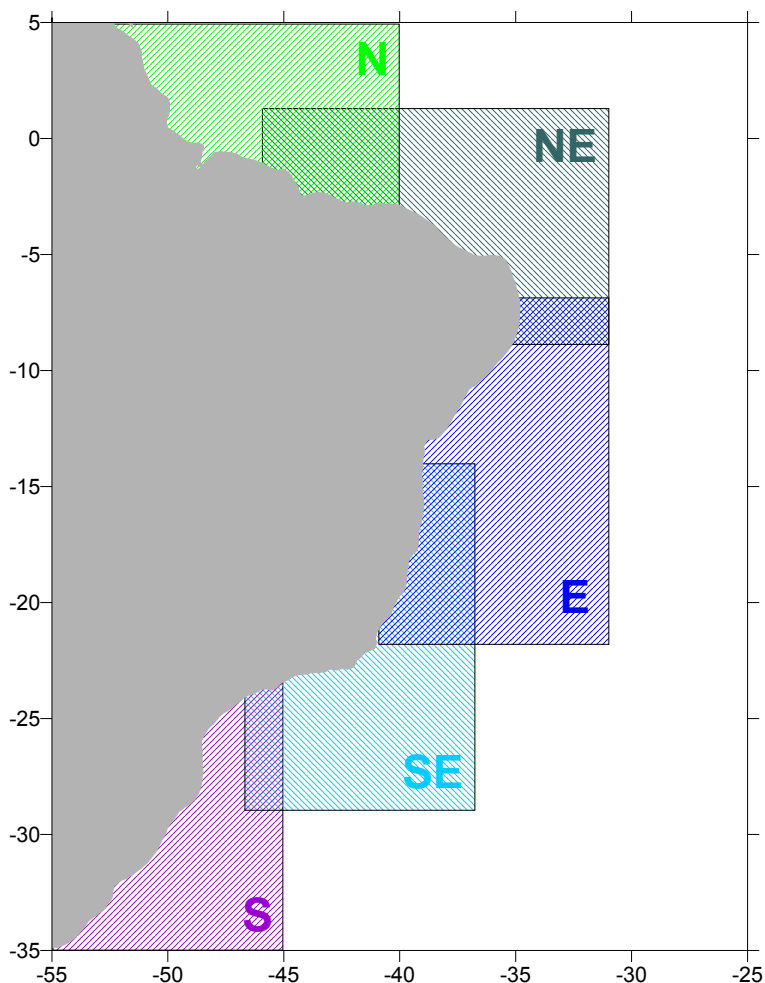


Figura 2 – Divisão do litoral brasileiro utilizada para a confecção da base de dados

Para a utilização dos dados nos modelos de propagação e de perdas, inicialmente foi feita a transformação da data, preservando-se somente a informação sobre o mês em que foi coletada.

Por existirem poucos dados disponíveis, o sistema utiliza o cálculo de médias trimestrais, que representam as estações do ano, isto é, os meses de dezembro, janeiro e fevereiro são os que compõem o verão, e assim por diante.

Os valores de latitude e longitude foram transformados para graus, com a precisão do milésimo do grau, isto é, o valor fornecido de 23° 35' 30" S foi transformado para -23,592°.

Os valores de profundidade foram tabulados em múltiplos de 5 metros, sendo este valor decorrente de testes com diversos intervalos maiores que 5 metros os quais não proporcionavam resultados satisfatórios para a remontagem dos perfis médios de temperatura e salinidade, pois não conseguiam representar corretamente a variabilidade vertical relacionada com as termoclinas sazonais e o efeito gerado pelas embocaduras dos rios e braços de mar.

Após estas padronizações, foi feita uma separação dos dados por regiões conforme a Figura 2, com a intenção de diminuir o tempo de processamento, pois o sistema lê toda a base de dados para selecionar quais serão utilizados no processamento, tendo como base os estudos contidos no Macrodiagnóstico da Zona Costeira do Brasil na Escala da União (M.M.A., 1996).

Em virtude de os modelos utilizarem a média de valores dos parâmetros oceanográficos, não foi feito nenhum tratamento adicional na base de dados de temperatura e salinidade a fim de minimizar a probabilidade de exclusão de dados significativos no cálculo dos valores médios durante o processamento.

O sistema utiliza, para o estabelecimento dos parâmetros oceanográficos a serem processados, uma técnica que poderia ser chamada de “média móvel centrada” (AGUIAR, 2004); que é a obtenção de médias em torno de pontos geográficos determinados, que neste caso fazem parte da trajetória da onda.

Os valores da base de dados utilizados para se realizar a média são aqueles que estiverem contidos em quadrado centrado no ponto determinado e com lado igual a uma milha (Figura 3).

A técnica utilizada para a obtenção dos valores médios faz com que dois pontos distantes de uma milha náutica apresentem diferentes valores de temperatura e salinidade, garantindo assim uma melhor caracterização do ambiente oceânico e, por conseqüência, das características da propagação acústica.

A quantidade destes pontos, que serão utilizados pelo modelo de propagação, depende exclusivamente da distância determinada para que se calcule a propagação da onda, e cada dois pontos destes determina uma “**faixa**”, isto é, uma porção de oceano que terá seus valores interpolados.

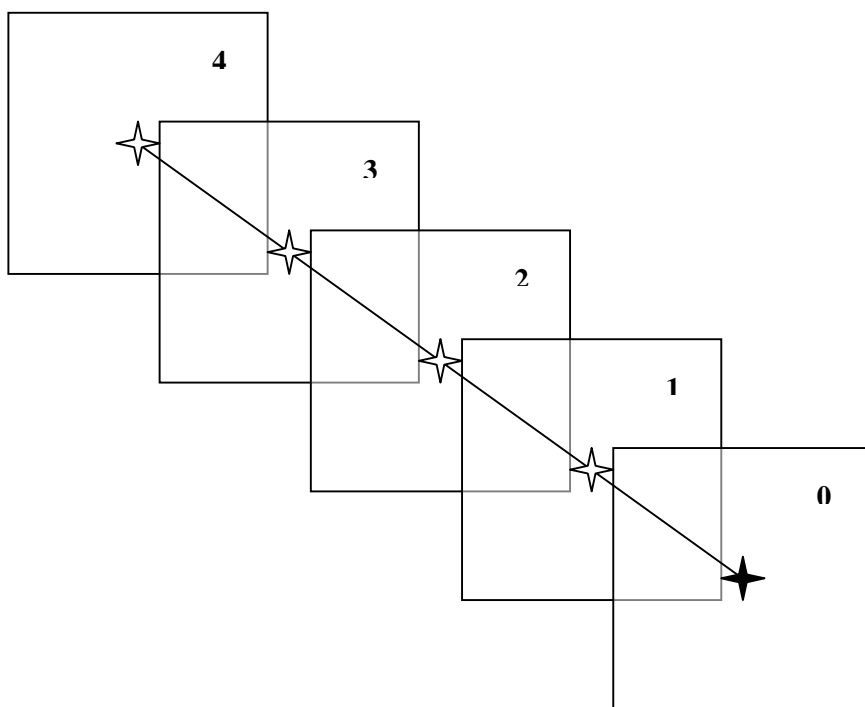


Figura 3 – Esquema ilustrando as áreas utilizadas para a obtenção de valores médios para cada ponto (◆) a partir da base de dados.

Como as variações de temperatura e salinidade têm comportamento conhecido em um perfil, como a presença de termoclinas, não se mostrou necessário manter-se durante o processamento as informações associadas a todas as profundidades, portanto

são armazenadas informações TS de profundidades específicas que possam reconstruir o perfil (Figuras 4 a 6).

Os valores dessas profundidades são determinados por uma seqüência exponencial que é calculada a partir da profundidade máxima do perfil, estabelecendo assim o que aparece como “**corte**” nas linhas de programação, sendo a região entre dois “**cortes**” definida como “**camada**”, que possui gradiente constante.

Por meio de testes, foi determinado que o número ótimo de “**cortes**” é entre 6 e 9, dependendo da profundidade máxima.

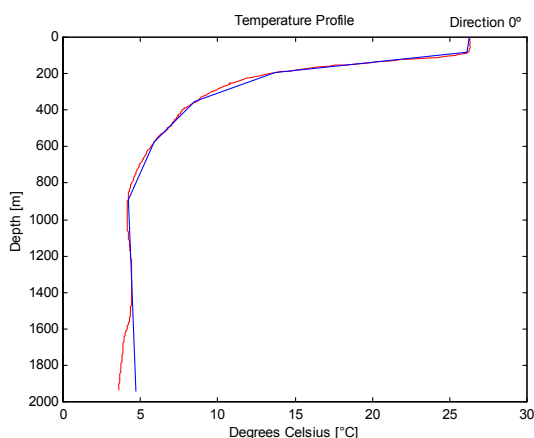


Figura 4 – Gráfico de perfis médio (—) e reconstruído (—) de temperatura de um extremo de “**faixa**”

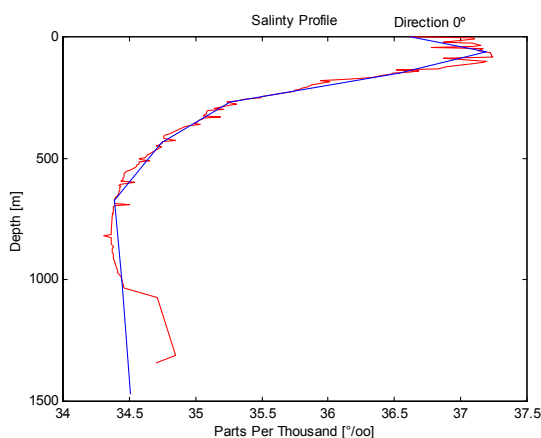


Figura 5 – Gráfico de perfis médio (—) e reconstruído (—) de salinidade de um extremo de “**faixa**”

Esta seqüência exponencial foi criada para que se pudessem preservar as características das feições oceanográficas (camada de mistura e termoclinas) e ter a capacidade de representá-las com fidelidade.

O modelo em questão obtém valores médios dos parâmetros oceanográficos a cada milha, afastando-se do ponto onde se gerou a onda nas direções norte, leste, sul e oeste. Interpolando esses valores, é possível criar um oceano heterogêneo e discreto, onde se dará a propagação.

Como se trata de uma análise discreta da propagação acústica, foi necessário estabelecer um intervalo de amostragem, o qual será chamado de “**passo**”, que após exaustivos testes teve seu valor ótimo estipulado em cerca de 34 metros.

Um valor de “**passo**” maior que 34 metros iria possibilitar que um raio, durante a propagação, percorresse mais de uma “**camada**”, gerando uma falha no processamento, e um “**passo**” menor iria gerar ganhos que não compensariam a sobrecarga de processamento.

Neste ponto poder-se-ia questionar qual a diferença entre a abordagem inovadora do “**passo**” e a clássica abordagem “*range dependent*”, porém devemos considerar o fato de que a segunda abordagem obriga que vários passos do processamento se dê com os mesmos valores de parâmetros oceanográficos (ver Capítulo 3).

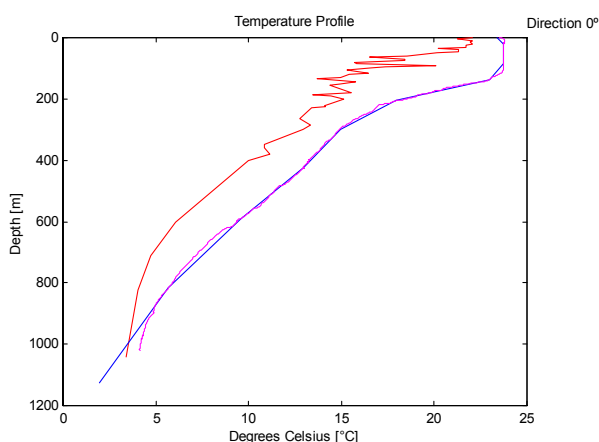


Figura 6 – Gráfico de perfis do XBT (—), médio (—) e reconstruído (—) de temperatura de um extremo de “**faixa**”

Este “**passo**” será o valor de incremento horizontal fixo durante o cálculo da trajetória dos raios e da determinação das perdas durante a propagação, garantindo que as condições oceanográficas sejam alteradas a cada iteração, gerando um oceano heterogêneo e discreto.

Além disso, o modelo de propagação desenvolvido pode aceitar como perfil médio de temperatura, para todas as áreas, um valor obtido através de um batitermógrafo descartável (XBT), o que melhora consideravelmente os resultados da previsão de alcance (Figura 6).

A utilização do XBT não compromete a heterogeneidade inerente a este sistema, pois ainda que o perfil de temperatura seja único para todas as direções e distâncias, as informações de salinidade e fácies permanecem diferentes a cada “**passo**” no processamento.

2.2 – Fácies

Fácies, no contexto da oceanografia geológica, são o conjunto das características litológicas observáveis em uma rocha consideradas a partir do ponto de vista de sua gênese ou, ainda, o conjunto de características mineralógicas e estruturais de uma rocha (BELOV & KOMAROV, 1998).

A base de dados geológicos consiste em aproximadamente 2.500 amostras, as quais originalmente apresentavam, além das coordenadas geográficas do local de obtenção, os percentuais de argila, silte, areia e cascalho da amostra e a sua análise granulométrica.

A partir desta base de dados foi criada uma segunda base de dados, também geograficamente referenciada, com os valores de densidade da amostra e velocidade de propagação do som na amostra, tendo como base os valores da tabela abaixo (CLAY & MEDWIN, 1977, MUEHE, 1994).

	Densidade	Velocidade de propagação do som
Argila	1,420 g/cm ³	1505 m/s
Silte	1,430 g/cm ³	1519 m/s
Areia	1,980 g/cm ³	1742 m/s
Cascalho	2,030 g/cm ³	1836 m/s

Tabela 1 – Valores de densidade e de velocidade de propagação do som em sedimentos

Esta segunda base de dados é operada durante o processamento dos modelos utilizando a técnica, anteriormente descrita, de “média móvel centrada” para garantir a propagação em um oceano heterogêneo e discreto.

Os valores de latitude e longitude foram tratados do mesmo modo descrito no item 2.1.

Caso o sistema não encontre dados suficientes para obter os valores locais médios ele atribui os valores de 1820 g/cm³ e 1675 m/s para aquele ponto, valores estes que representam a média global de valores na plataforma continental.

2.3 – Profundidade

Durante a execução desta tese, foi notada a necessidade de uma base batimétrica independente para o processamento do modelo de propagação.

Inicialmente, foi tentada a utilização do valor máximo de profundidade dos perfis TS escolhidos para se obter a “média móvel centrada”, o que se revelou um erro devido à grande variabilidade de valores que ocorrem na quebra da plataforma continental e em regiões de cadeias de montanhas submersas.

Uma malha batimétrica, com um intervalo de 4,8 milhas náuticas, foi gerada a partir dos valores máximos de profundidade dos perfis TS, e é com base nesta malha

que se interpolam os valores de profundidade local para cada um dos “**passos**” durante o processamento do modelo.

Os valores de latitude e longitude desta malha são armazenados em graus, com precisão ao milésimo.

Apesar dos esforços realizados, ainda não estava disponível no Centro de Hidrografia da Marinha, nem no Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira, uma malha georeferenciada com melhor precisão para ser utilizada no modelo, cabendo ressaltar que estes dados são sigilosos.

2.4 - Parâmetros Complementares e Decorrentes

Durante a inicialização do sistema, é solicitada ao usuário a inserção do valor de estado do mar e de velocidade do vento, uma vez que estes parâmetros influenciam diretamente no espalhamento de superfície.

Embora exista uma relação entre estes parâmetros, os dois valores são pedidos para minimizar possíveis erros de observação, já que a percepção do usuário sobre o estado do mar pode ser prejudicada devido ao caturro e ao balanço, influenciando assim de maneira decisiva na qualidade do resultado do modelo.

A partir da informação do estado do mar, podem-se obter os valores referentes à velocidade do vento e da altura das ondas pelas seguintes fórmulas (APEL, 1987):

$$V_v = 2,2966.EM_B + 1,3412 \text{ [m/s]} \quad (1)$$

$$H = 0,6042.(EM_B)^2 + 0,5696.EM_B + 0,719 \text{ [ft]} \quad (2)$$

onde:

V_v = Velocidade do vento, em m/s;

H = altura das ondas, em pés

EM_B = Estado do mar, na escala Beaufort.

Caso haja incongruência entre o estado de mar e a velocidade do vento, o sistema assume uma média de valores, entre os inseridos e os obtidos pela Fórmula 1.

A velocidade do som na água, parâmetro decorrente basicamente da temperatura e da salinidade, é calculada através da fórmula de Medwin (CLAY & MEDWIN, 1977):

$$c = 1449,2 + 4,6T - 0,055T^2 + 0,00029T^3 + (1,34 - 0,010T).(S - 35) + 1,55 \cdot 10^{-5} \cdot \rho \cdot Z$$

[m/s] (3)

onde:

C = velocidade de propagação do som, em m/s;

T = temperatura, em °C;

S = salinidade, em partes por milhão; e

Z = profundidade, em m

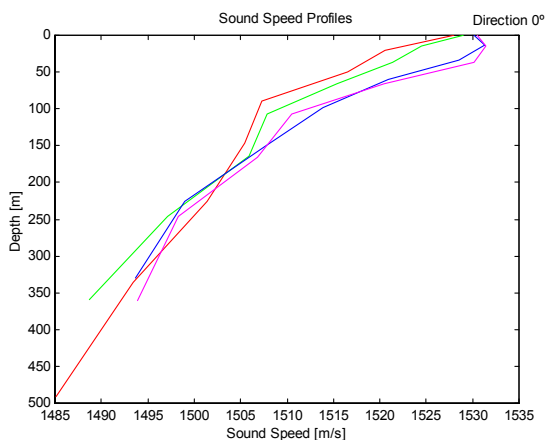


Figura 7 – Gráfico de perfis de velocidade do som nos extremos das “faixas”, gerados pelo sistema

A fórmula de Medwin foi escolhida por ser a única em que a faixa de valores dos parâmetros utilizados abrange a variabilidade do litoral brasileiro (AGUIAR, 1998, MIKHIN, 1996).

A partir dos perfis de velocidade obtidos no banco de dados, o sistema pode gerar o gráfico apresentado na Figura 7, o qual apresenta os valores de velocidade do som em função da profundidade nos extremos das “faixas”, seguindo a seguinte identificação de cores a partir da fonte emissora: azul, magenta, verde e vermelho.

Os valores de densidade da água, necessários para a determinação do coeficiente de reflexão, são calculados utilizando-se a seguinte formulação (apud ROBINSON & LEE, 1994):

$$\rho = 1000 - 0,093 + 0,8149S - 0,000482S^2 + 0,0000068S^3 \text{ [g/cm}^3\text{]} \quad (4)$$

onde:

ρ = densidade da água do mar, em g/cm³;

S = salinidade, em partes por milhão.

3.0 - MODELO DE PROPAGAÇÃO

Os modelos baseados na Teoria de Raios foram utilizados largamente durante a segunda metade do século XX; entretanto, perderam espaço para os modelos baseados em técnicas que proporcionavam um processamento mais rápido e em função de não obterem resultados precisos para a propagação em baixas frequências.

Apesar disto, os modelos baseados na Teoria dos Raios ainda são mais adequados para a utilização em curtas distâncias quando existem variações grandes ou bruscas das características do meio em que a onda se propaga.

A trajetória dos raios depende basicamente do efeito da refração e das condições de contorno existentes na superfície e no fundo.

Como será visto no Capítulo 5, no sistema que constitui este trabalho, o modelo de propagação será a base para o cálculo das perdas, o que proporciona contemplar um oceano heterogêneo.

Robert J. Urick, um dos maiores estudiosos de acústica submarina para o uso naval, na página 176 do seu livro *Principles of Underwater Sound* (1983) destaca que:

"Ray Theory is more convenient to use at short ranges, where the high-order images rapidly die out because of reflection losses and an increasingly great distance from the field point."

e define o limite desejável (r) para o uso de teorias, por meio da expressão abaixo:

$$r = \frac{H^2}{\lambda} \quad (5)$$

onde H é a profundidade local e λ é o comprimento de onda.

A partir da Fórmula 5 pode-se verificar que para uma frequência de 3 KHz em uma área com profundidade de 50 m, a Teoria dos Raios poderia ser usada para a

modelagem da propagação até uma distância de 2,7 MN da fonte, sendo o valor da velocidade do som na água igual a 1500 m/s.

		Frequência (KHz)/ comprimento de onda (m)				
		1,5	2,5	3,5	7	14
		1,00	0,60	0,43	0,21	0,11
Profundidade	60 m	1,9	3,2	4,5	9,1	18,1
	80 m	3,5	5,8	8,1	16,1	32,2
	120 m	7,8	13,0	18,1	36,3	72,6
	160 m	13,8	23,0	32,3	64,5	129,0
	200 m	21,6	36,0	50,4	100,8	201,6
	500 m	135,0	225,0	315,0	630,0	1.259,9
	1000 m	540,0	899,93	1.259,9	2.519,8	5.039,6

Tabela 2 – Valores máximos de distância a serem usados por modelos de propagação baseados na Teoria de Raios convencional

O sistema foi confeccionado tendo como hipótese básica a aplicação naval do sonar, para frequências maiores que 1,5 KHz, buscando prover informações em uma área com 10 milhas de raio em torno do usuário, em locais onde a profundidade for maior que 50 m.

Os valores em vermelho na Tabela 2 representam situações em que o sistema objeto desta tese não deveria ser utilizado caso não fossem implementadas as inovações nas modelagens constantes nos Capítulos 3 a 5 desta tese.

Os limites descritos no parágrafo anterior são frutos de pesquisas feitas no Comando da Força de Submarinos (ComForSub) e no Centro de Análise de Sistemas Operativos (CASOP), ambos órgãos da Marinha do Brasil.

A Teoria dos Raios convencional utiliza como limites do traçado os valores de profundidade onde ocorrem mudanças do gradiente de velocidade (Δz), mantendo constantes os parâmetros oceanográficos independentemente da variação na coordenada x (Δx).

$$\Delta x = \frac{\Delta z}{\tan(a_i)} \quad (6a)$$

Diferentemente do modelo clássico (Figura 8a), o modelo desenvolvido utiliza como limites do traçado, o valor do “passo” (Δx) (Figura 8b), onde é considerada a variação dos parâmetros oceanográficos de um modo discreto, obtendo como resultado a variação na coordenada z (Δz), conforme a expressão a seguir, onde a_i é o ângulo de incidência do raio.

$$\Delta z = \Delta x \cdot \tan(a_i) \quad (6b)$$

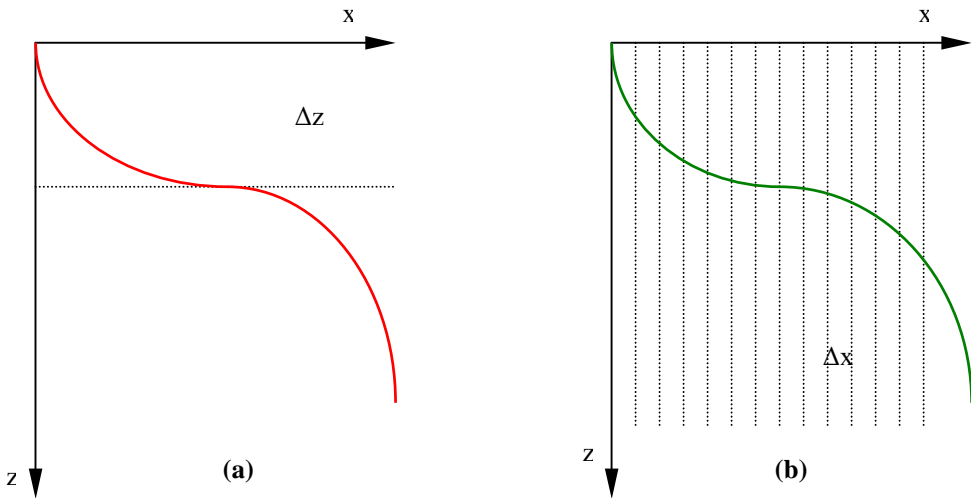


Figura 8 – Gráficos esquemáticos de trajetória dos raios produzido por um modelo com base iterativa em Δz (—) e por um modelo com base iterativa em Δx (—)

Em função do valor de Δz , verifica-se se ocorreu ou não a troca de “camadas”, representadas por linhas tracejadas na Figura 9 e, a seguir, se ocorreu ou não uma reflexão.

Caso ocorra uma reflexão, é retificado o valor de Δz e recalculado o valor de z antes de se prosseguir o processamento.

Durante o processamento são armazenadas as informações de valor de ângulo de incidência (a_i), de velocidade do som (c), da coordenada z , da ordenada x e distância percorrida pelo raio.

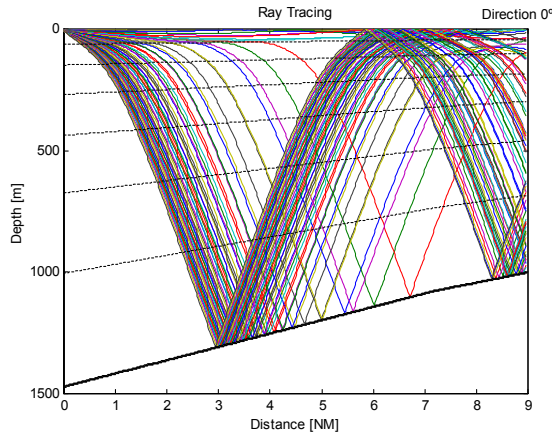


Figura 9 – Gráfico de trajetória dos raios produzido pelo modelo

Suponha-se um meio teórico no qual a propagação de uma onda sonora tivesse repetidas reflexões na superfície e que a distância entre os pontos de reflexão aumentasse continuamente devido a variação dos parâmetros oceanográficos (Figura 10).

Pode-se observar que um modelo de propagação que alterasse continuamente seus parâmetros oceanográficos traçaria o raio verde, enquanto um modelo *range dependent*, que trocaria os parâmetros oceanográficos a cada milha náutica, traçaria o raio vermelho.

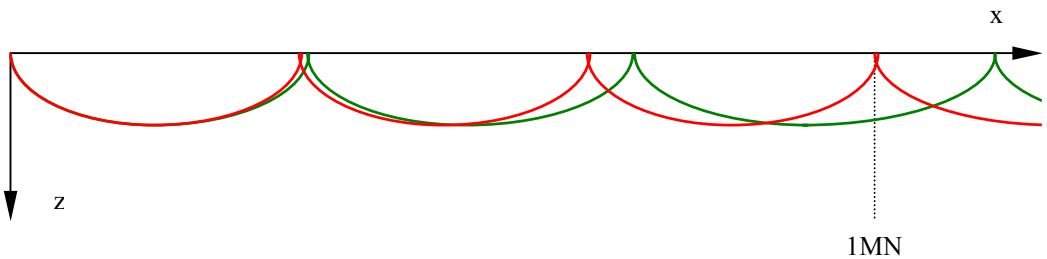


Figura 10 – Gráfico esquemático de trajetória dos raios produzido pelo modelo de passo (—) e por um modelo *range dependent* (—)

Analisando-se a Figura 10 pode-se concluir que a utilização de um valor de Δx pequeno o suficiente para garantir a propagação em um oceano heterogêneo é fundamental para um cálculo correto do comportamento da onda (raio).

Nas linhas de programação do MATLAB[®], constantes do Anexo I, pode-se compreender melhor a dinâmica do modelo e observar a inserção de oscilações aleatórias quando ocorrem as reflexões, e na Figura 11 pode-se ver seu diagrama de blocos simplificado.

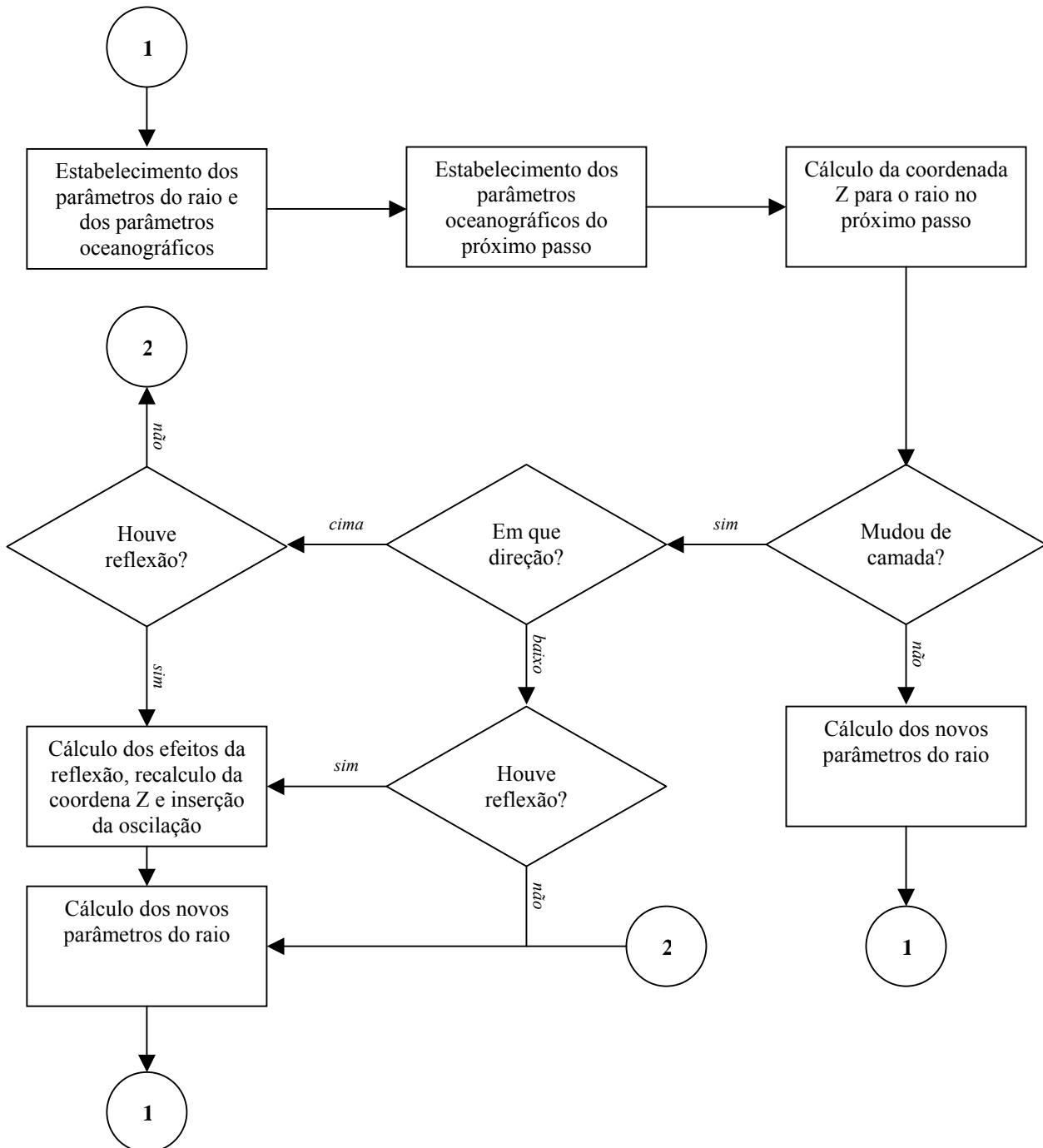


Figura 11 – Diagrama de blocos do Modelo de Propagação

Estas oscilações foram inseridas no modelo para tentar melhor reproduzir alguns dos efeitos, de codificação extremamente complexa, que nela ocorrem, sendo esta decisão fruto da leitura dos textos escritos por BELOV & KOMAROV (1998) e por ANDRONOV (1998).

As oscilações aleatórias, causadas entre outros fatores pela rugosidade da interface, embora tenham valores máximos pequenos, $\pm 0,375^\circ$ na reflexão de superfície e $\pm 0,125^\circ$ na reflexão de fundo, podem eventualmente ocasionar um colapso no modelo.

O colapso no modelo ocorria devido ao valor do ângulo da oscilação aleatória ter sinal contrário e mesma ordem de grandeza que o ângulo de incidência do raio, fazendo com que o raio permanecesse com a_i sempre muito próximo de zero.

4.0 – MODELO DE PARÂMETROS SONAR

São denominados parâmetros sonar os termos integrantes da equação sonar, a qual apresenta uma diferença entre o modo ativo e passivo, decorrente do percurso realizado pela onda sonora.

Os parâmetros sonar são características inerentes ao equipamento de detecção, ao meio ambiente onde ocorre a propagação e ao alvo a ser detectado.

A equação sonar utilizando-se o sonar ativo é (URICK, 1983):

$$EE = SL - 2TL + TS - (NL - DI + DT) \text{ [dB]} \quad (7)$$

onde:

EE = excesso de eco, valor que define a quantidade de energia que é recebida após refletir no alvo, expresso em dB.

SL = nível da fonte, valor que define a potência do equipamento sonar, medido a 1 metro de distância da fonte, expresso em dB re $1\mu\text{Pa}$.

TL = perdas por transmissão, valor que define a quantidade de energia perdida durante a transmissão, expresso em dB.

TS = capacidade de refletividade do alvo, expresso em dB.

NL = nível de ruído, é a soma dos valores dos níveis de ruído próprio e do ambiente ($NL_s + NL_e$), expresso em dB re $1\mu\text{Pa}$.

DI = índice de diretividade, é o valor referente ao poder de discriminação em marcação do equipamento de detecção, expresso em dB.

DT = limite de detecção, é o valor a partir do qual o equipamento sonar é capaz de detectar o alvo, expresso em dB.

A equação sonar para um sonar passivo é (URICK, 1983):

$$SE = SL - TL + TS - (NL - DI + DT) \text{ [dB]} \quad (8)$$

onde:

SE = excesso de sinal, valor que define a quantidade de energia que é recebida decorrente da geração de ruídos de um alvo, expresso em dB.

4.1 – Parâmetros Sonar do Equipamento de Detecção

Os parâmetros SL , DI , DT e parte de NL são inerentes ao equipamento de detecção que se está utilizando, da plataforma que o transporta e da experiência do operador, sendo fornecidos ao sistema de previsão de alcance no momento em que se insere o código referente ao navio ou submarino com o qual se irá realizar o processamento.

Na Marinha do Brasil, o CASOP é o órgão responsável em medir e calcular os valores dos parâmetros do equipamento de detecção, sendo estes dados confidenciais.

Um parâmetro muito utilizado no meio naval é a figura de mérito (FOM) que é expresso por (IPQM, 2000):

$$FOM = SL - (NL - DI + DT) \text{ [dB]} \quad (9)$$

Este parâmetro, se considerarmos NL apenas como ruído próprio, agrega os parâmetros do equipamento de detecção, caracterizando um determinado sonar.

Parâmetros importantes que não fazem parte da equação sonar são a profundidade da fonte, a largura e posicionamento do feixe sonoro e a frequência central de transmissão para sonares ativos, cujos valores são informados diretamente ao sistema.

Os parâmetros são carregados de um arquivo onde o código do navio é o indexador sendo atrelados a ele os valores dos ângulos superior e inferior do feixe sonoro, da frequência central de emissão, da velocidade de cruzeiro, do nível da fonte, da profundidade da fonte, do nível de ruído próprio, de DI e de DT .

Além destes valores, o arquivo também fornece a informação sobre se o navio, ou submarino, estará operando no modo passivo ou ativo.

Caso o processamento escolhido seja no modo passivo, o sistema assume os valores de -40° e 40° para os ângulos superior e inferior do feixe sonoro, respectivamente.

Na detecção passiva, os valores da profundidade da fonte, nível da fonte e frequência central de transmissão dependem dos parâmetros do alvo.

4.2 – Modelo de Parâmetro Sonar do Ambiente

O nível de ruído do ambiente, que é parte do NL , foi modelado a partir do que Robert J. Urick descreveu em seu livro *Principles of Underwater Sound* (1983), onde analisa entre outros fatores o vento e o estado do mar.

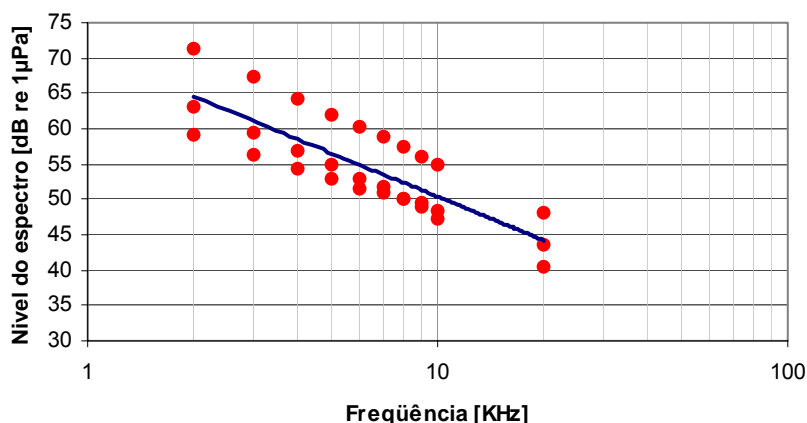


Figura 12 – Gráfico de ruído próprio *versus* velocidade, que serviu de base para a equação 10

Sendo diretamente proporcional ao estado do mar e inversamente à frequência central de transmissão pode-se obter a equação abaixo:

$$NL_e = 64,782 - 8,861 \cdot \log(F) + SS \text{ [dB re } 1\mu \text{ Pa]} \quad (10)$$

onde:

NL_e = nível de ruído do ambiente, em dB re 1μ Pa.

F = frequência central, em KHz.

SS = estado do mar, na escala Beaufort.

4.3 – Modelo de Parâmetros Sonar do Alvo

Durante a inicialização do sistema, é solicitado ao usuário que escolha qual tipo de alvo está pretendendo detectar; este dado é a informação utilizada para se modelar a capacidade de refletividade (TS).

A escolha consiste de duas informações: se o alvo é de superfície ou submarino e sua descrição específica.

São fornecidas as seguintes opções:

- alvo submarino
 - o submarino nuclear
 - o submarino convencional
 - o torpedo
 - o mina
- alvo de superfície
 - o corvetas, fragatas e destróieres
 - o aeródromos, cruzadores e encouraçados
 - o navios de guerra de pequeno porte
 - o navios mercantes e de passageiros

No caso de alvos de superfície, a modelagem de TS ainda depende se ele está ou não em comboio.

Para submarinos, que estejam apresentando um bordo, TS depende diretamente do raio do alvo (a) e de seu comprimento (L) e inversamente do comprimento de onda (λ) (URICK, 1983):

$$TS = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{aL^2}{2\lambda} \right) \text{ [dB]} \quad (11)$$

Caso estejam apresentando proa ou popa, tem seu valor reduzido aproximadamente à metade do calculado.

No caso específico da mina, TS é considerado igual a 10 dB e no caso do alvo submarino ser um torpedo TS é igual a -5 dB (URICK, 1983).

Para alvos de superfície, recorreu-se a dados obtidos em diversas campanhas realizadas durante a Segunda Guerra Mundial, onde os valores de TS variaram entre 5 e 16 dB, dependendo do tipo de navio (URICK, 1983).

A construção da fórmula utilizada do modelo foi baseada em um valor escolhido para cada uma das classes listadas anteriormente, e também contemplou a quantidade de navios que fazem parte do comboio.

$$TS = 1 + \frac{Sc}{2} + Nsc \text{ [dB]} \quad (12)$$

onde:

Sc = Classe do alvo de superfície: 10, para corvetas, fragatas e destróieres,
20, para aeródromos, cruzadores e encouraçados,

8, para navios de guerra de pequeno porte,

12, para navios mercantes e de passageiros.

Nsc = quantidade de navios no comboio

Quando se busca uma detecção passiva, o alvo ainda fornece informações que possibilitam a modelagem do nível da fonte, da profundidade da fonte e da frequência central.

Os valores de frequência central para a detecção passiva foram determinados com base em uma entrevista feita no Centro de Instrução e Adestramento Almirante Átila Monteiro Ache (CIAMA), órgão da Marinha do Brasil responsável pela formação

dos operadores sonar, sendo definidos como valores para o modelo a frequência de 1,5 KHz para alvos submarinos e de 2,5 KHz para alvos de superfície, escolha esta que está de acordo com as considerações feitas por HARRISON (1998), no seu artigo *Underwater Acoustical Modeling*.

Para se obter o valor de SL para a detecção passiva, utilizou-se como base o ruído próprio do alvo (NL_s), que basicamente varia de acordo com a sua velocidade (v), tanto para submarinos e quanto para navios.

No caso do alvo submarino ser uma mina, NL_s é nulo e, caso seja um torpedo, NL_s é igual a 140 dB re 1 μ Pa (URICK, 1983).

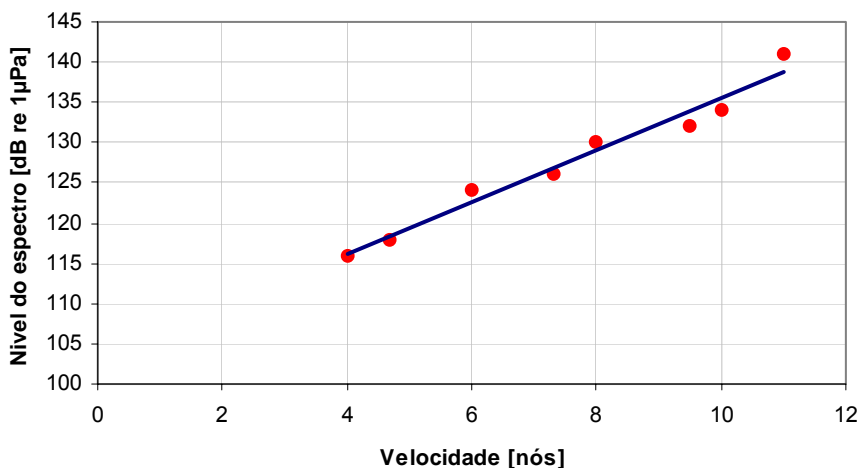


Figura 13 – Gráfico de ruído próprio *versus* velocidade, que serviu de base para a equação 13

Com base nos dados disponíveis (URICK, 1983) foi obtido o gráfico da Figura 13, aplicável a submarinos, que resultou na seguinte fórmula:

$$NL_s = 3,24.v + 103 \text{ [dB re } 1\mu\text{Pa]} \quad (13)$$

Uma correção de -0,25 dB é aplicada a alvos submarinos, reduzindo NL_s em função da cota em que se encontra o alvo; esta correção é devida ao aumento da pressão que faz com que o efeito da cavitação seja menor à medida que se aumenta a cota de operação.

A partir de vários gráficos (URICK, 1983), pode-se formular uma única equação para NL_s que atenda a todos os navios de superfície e comboios:

$$NL_s = 0,05.v^2 - 0,27.v + 110 + N_{sc} \text{ [dB re } 1\mu\text{Pa]} \quad (14)$$

No modo passivo, os valores de profundidade da fonte são definidos no caso de alvos submarinos por informação do usuário e no caso de alvos de superfície em função da classe do alvo (Sc).

5.0 – MODELO DE PERDAS

O termo “perda”, em propagação acústica, considera todo e qualquer fenômeno que produza a redução da intensidade acústica de uma onda sonora (HALL, 1987).

Ao se afastar da fonte transmissora, a onda sonora sofre os fenômenos de refração, reflexão, espalhamento, absorção, difração e reverberação.

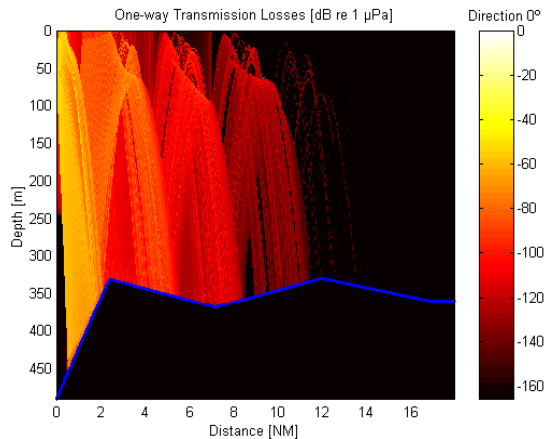


Figura 14 – Gráfico de perdas por transmissão produzido pelo modelo no modo passivo.

Neste modelo de perdas, são considerados apenas os quatro primeiros fenômenos, sendo que a soma dos efeitos da refração e da absorção respondem por quase todas as perdas (URICK, 1983).

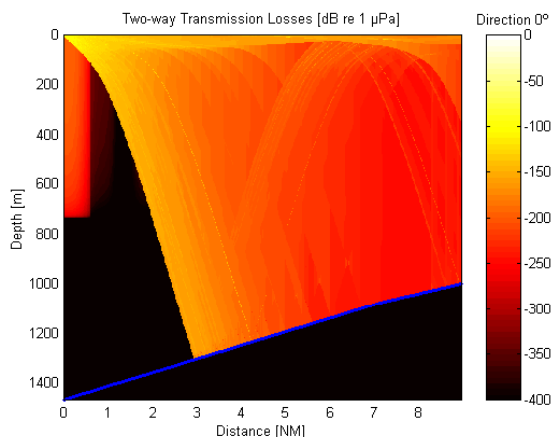


Figura 15 – Gráfico de perdas por transmissão produzido pelo modelo no modo ativo.

Os efeitos da reverberação foram desconsiderados por serem de ordem de grandeza inferior aos outros e pelo fato de que sua implementação no modelo aumentaria consideravelmente o tempo de processamento.

A difração é um fenômeno pelo qual uma onda é distorcida por um obstáculo, sendo este um objeto pequeno que está em sua trajetória ou uma fenda que permita apenas a passagem de parte da frente de onda; como tais obstáculos não são comuns em área de operação de navios e submarinos, o efeito deste fenômeno não foi considerado de modo explícito (VDOVICHEVA *et al.*, 1998).

A difração, neste sistema, não tem um modelo próprio sendo seus efeitos contemplados através do algoritmo de “**cortes**” e “**camadas**” para o estabelecimento dos parâmetros oceanográficos e criação de um oceano heterogêneo (Capítulo 2), fazendo com que seja possível se estabelecer a propagação além de elevações do fundo marinho.

Em virtude de o modelo utilizar a soma incoerente, isto é, não ter a capacidade de computar as variações de fase na soma de frentes de onda, não é considerado o efeito construtivo/destrutivo dessas interações.

Diferentemente de outros sistemas numéricos que utilizam malhas construídas independentemente do fenômeno estudado, este modelo tem como base da sua malha as trajetórias dos raios e o passo horizontal fixo, os quais delimitam as células nas quais é aplicada a lei de conservação de energia.

5.1 – Modelo de Espalhamento

Espalhamento é um fenômeno que exprime o desvio de parte da energia sonora da frente de onda em várias direções, quando ocorre uma reflexão.

Uma parte da energia refletida e da energia transmitida não seguem o caminho previsto na teoria de Rayleigh (RAYLEIGH, 1945), espalhando-se em torno do ponto de reflexão.

Mesmo havendo uma reflexão total de uma frente de onda, ainda assim haverá uma perda por espalhamento; tal efeito permanece devido ao fato da interface não constituir uma camada homogênea, sendo que quanto maior a rugosidade e a impedância entre os meios, maior é o efeito do espalhamento.

No espalhamento de superfície, o efeito é calculado em função da rugosidade da superfície do mar que é estimada em função da altura das ondas (BURDIC, 1984), que por sua vez é obtida pelo estado do mar e pela velocidade do vento inseridos pelo usuário; e em função da frequência do pulso sonoro.

Já o espalhamento de fundo tem seu efeito calculado em função da composição geológica das fácies, em função da impedância entre os meios (BURDIC, 1984).

As formulações abaixo, que foram implementadas em linhas de programação, transcrevem este fenômeno, quando ocorre a reflexão na superfície:

$$M = h \cdot f \quad (15)$$

$$A_s = |0,0021 \cdot M^2 + 0,331 \cdot M - 0,0046| \text{ [dB]} \quad (16)$$

$$C_{AS} = 10^{(-A_s/10)} \quad (17)$$

onde:

M = coeficiente de Marsh;

h = altura da onda, em pés;

f = frequência central de transmissão, em KHz;

A_s = atenuação em virtude do espalhamento na superfície, em dB; e

C_{AS} = coeficiente de atenuação em virtude do espalhamento na superfície.

e quando ocorre a reflexão no fundo são:

$$R_r = \frac{\rho_F \cdot C_F}{\rho_A \cdot C_A} \quad (18)$$

$$A_F = -20 \cdot \log_{10} \left(\frac{R_r - 1}{R_r + 1} \right) [\text{dB}] \quad (19)$$

$$C_{AF} = 10^{(-A_F/10)} \quad (20)$$

onde:

R_r = coeficiente de espalhamento no fundo;

ρ_F = densidade do sedimento, em g/cm³;

C_F = velocidade do som no sedimento, em m/s;

ρ_A = densidade da água, em g/cm³;

C_A = velocidade do som na água, em m/s;

A_F = atenuação em virtude do espalhamento no fundo, em dB; e

C_{AF} = coeficiente de atenuação em virtude do espalhamento no fundo.

Foi desenvolvida uma rotina no MATLAB[®], utilizada somente para o modo ativo, que possibilita a re-inserção de parte das energias espalhadas na superfície e no fundo.

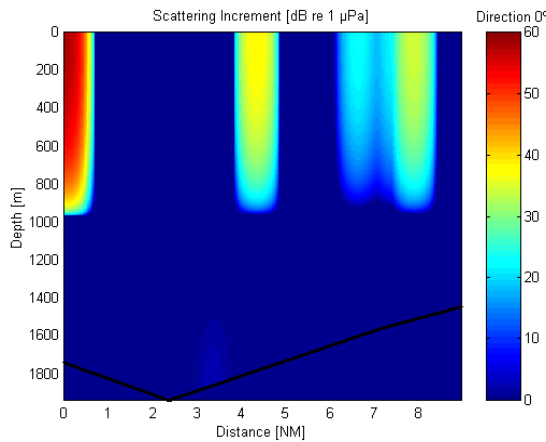


Figura 16 – Gráfico de acréscimo de intensidade sonora devido ao espalhamento

Embora a quantidade de energia espalhada seja muito pequena, a rotina garante que o efeito de retro-espalhamento seja contemplado no modelo, visto que é um efeito bem conhecido dos operadores de sonar.

Parte da quantidade de energia perdida no espalhamento volta ao sistema através de um algoritmo que inicialmente calcula o coeficiente geral de perdas de propagação e

o aplica à quantidade de energia espalhada, em cada local que ocorreu uma reflexão, tentando, com isso, replicar todos os efeitos decorrentes da propagação para esta parcela de energia.

Este valor corrigido é retornado na forma de uma dispersão esférica de energia, que tem centro nas coordenadas onde ocorreram as reflexões, tendo maior intensidade no centro.

O decaimento da quantidade de energia re-inserida no sistema é regido pela metade de uma curva normal, a qual tem como referência a maior quantidade de energia a ser retro-espalhada.

Isso garante que o somatório final da energia retro-espalhada seja igual ao somatório da energia espalhada multiplicada pelo coeficiente geral de perdas de propagação.

Uma melhor compreensão do modelo de retro-espalhamento pode ser obtida a partir da leitura do código do sistema, constante do Anexo I.

5.2 - Modelo de Absorção

Uma das formas de atenuação da energia acústica é a transformação desta em calor, como comprovou a teoria desenvolvida por Stokes-Kirchhoff, elaborada em meados do século XIX (CLAY & MEDWIN, 1997).

Esta transformação, que é produzida pela fricção, gera uma perda de energia denominada "perda por absorção" .

Iniciou-se então a compilação de informações para a obtenção da equação de perda por absorção, utilizando-se o descrito no capítulo 3 e no anexo A.3.2 do livro *Acoustical Oceanography* (CLAY & MEDWIN, 1977) que define o valor da perda por absorção como:

$$\alpha_s = \alpha_F + \alpha_{rm} + \alpha_{rb} [\text{dB/m}] \quad (21)$$

onde:

α_F = atenuação em água doce

α_{rm} = atenuação devida à relaxação molecular do sulfato de magnésio

α_{rb} = atenuação devida à relaxação molecular do ácido bórico

A parcela de perda por absorção devida à atenuação em água doce é descrita na literatura como:

$$\alpha_F = (1,71 \cdot 10^{-8} / \rho_F \cdot c_F^3) \cdot ((4\mu_F / 3) + \mu_F') f^2 \text{ [dB/m]} \quad (22)$$

onde:

$\rho_F = 1000 \text{ kg/m}^3$

c_F = velocidade de propagação no meio em m/s, sem salinidade ($S = 0$)

μ_F = coeficiente de viscosidade dinâmico transversal (cisalhamento) para água doce

μ_F' = coeficiente de viscosidade volumétrico (compressão) para água doce

f = frequência em kHz

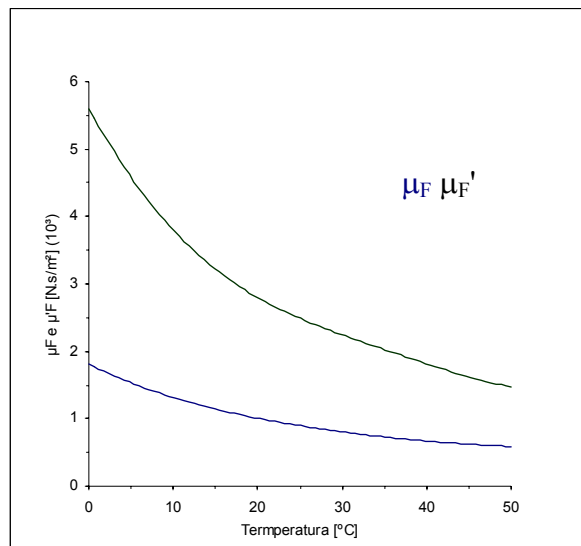


Figura 17 - Coeficientes de viscosidade em função da temperatura
(CLAY & MEDWIN, 1977)

O valor de c_F pode ser obtido partindo-se da equação de Medwin (1975), já descrita na Fórmula 3, onde substitui-se o valor da salinidade (S) por zero, devido o cálculo ser feito para água doce, restando assim a seguinte formulação:

$$c_F \approx 1449,2 + 4,6T - 0,055T^2 + 0,00029T^3 + (0,350T - 46,9) + 1,55 \cdot 10^{-2} \cdot Z \text{ [m/s]} \quad (23)$$

onde:

T = temperatura da água, em °C; e

Z = profundidade local, em metros.

As equações para os valores dos coeficientes de viscosidade foram obtidas através da digitalização do gráfico e posterior interpolação dos pontos digitalizados para a obtenção de uma equação polinomial (Figura 17).

A escolha de uma equação do quinto grau foi determinada pela obtenção de um valor do erro médio quadrático menor que 0,001.

Através da interpolação foram obtidas equações para os coeficientes ao nível do mar e inseridas as correções devida à profundidade, ficando então:

$$\mu_F \approx (-6 \cdot 10^{-10}T^5 + 2 \cdot 10^{-7}T^4 - 2 \cdot 10^{-5}T^3 + 0,0015T^2 - 0,0625T + 1,8084) \cdot (1 - 1,1908 \cdot 10^{-5} \cdot Z) / 10^3 \text{ [Kg/s.m]} \quad (24)$$

$$\mu_{F'} \approx (2 \cdot 10^{-8}T^5 - 2 \cdot 10^{-6}T^4 + 10^{-5}T^3 + 0,0047T^2 - 0,2264T + 5,5966) \cdot (1 - 1,1908 \cdot 10^{-5} \cdot Z) / 10^3 \text{ [Kg/s.m]} \quad (25)$$

A parcela de perda por absorção devido à relaxação molecular do sulfato de magnésio é definida como:

$$\alpha_{rm} = ((2,03 \cdot 10^{-5} \cdot S \cdot f_{rm} \cdot f^2) / (f^2 + f_{rm}^2)) \cdot (1 - 1,23 \cdot 10^{-3} \cdot P_A) \text{ [dB/m]} \quad (26)$$

onde:

S = salinidade, em ppm

f = frequência, em kHz

$P_A = 9,9237 \cdot 10^{-2} \cdot Z$, pressão ambiente, em atm

E o valor de f_{rm} é obtido pela equação:

$$f_{rm} = 21,9 \cdot 10^{[6 - 1520/(T + 273)]} \text{ [KHz]} \quad (27)$$

Substituindo o valor de P_A tem-se que:

$$\alpha_{rm} \approx ((2,03 \cdot 10^{-5} \cdot S \cdot f_{rm} \cdot f^2) / (f^2 + f_{rm}^2)) \cdot (1 - 1,22 \cdot 10^{-4} \cdot Z) \text{ [dB/m]} \quad (28)$$

A parcela de perda por absorção devido à relaxação molecular do ácido bórico é definida como:

$$\alpha_{rb} = (1,2 \cdot 10^{-4} \cdot f^2 \cdot f_{rb}) / (f_{rb}^2 + f^2) \text{ [dB/m]} \quad (29)$$

onde o valor de f_{rb} é obtido pela equação:

$$f_{rb} = 0,9 \cdot (1,5)^{T/18} \text{ [KHz]} \quad (30)$$

5.3 - Modelo de Reflexão

A reflexão ocorre quando uma onda encontra, ao longo de sua trajetória, uma interface em que a diferença entre a densidade dos meios é muito alta (HALL, 1987).

Tomemos como base a Figura 18, na qual temos um raio incidente **I**, um raio refletido **R** e um raio transmitido **T**, sendo que o produto da velocidade de propagação pela densidade do meio 1 é muito menor que a do meio 2 ($c_1 \cdot \rho_1 \ll c_2 \cdot \rho_2$).

Podemos observar no esquema que parte da energia do raio **I** é transmitida ao meio 2, o que gera o raio **T**, e que parte da energia permanece no meio 1, gerando o raio **R**, sendo que os ângulos θ_i e θ_r tem o mesmo valor quando medidos em relação a normal, e θ_t é menor que θ_i em virtude de $c_1 \cdot \rho_1$ ser menor que $c_2 \cdot \rho_2$.

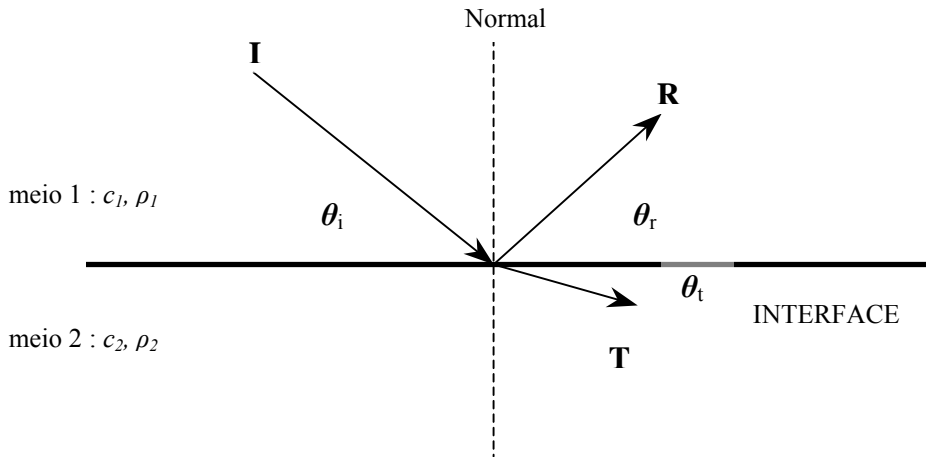


Figura 18 – Esquema da reflexão de fundo de um raio sonoro

Existe um valor de θ_i a partir do qual não é mais transmitida energia ao meio 2, este valor de ângulo é chamado de “ângulo crítico”.

As formulações de Rayleigh (*apud* URICK,1983), para o valor do coeficiente de reflexão a ser aplicado à pressão sonora é $(RR_{12})^2$, sendo que ângulos no modelo são medidos em relação a horizontal, temos:

$$RR_{12} = \frac{\rho_2 c_2 \sin \theta_1 - \rho_1 c_1 \sin \theta_2}{\rho_2 c_2 \sin \theta_1 + \rho_1 c_1 \sin \theta_2} \quad (31)$$

onde:

ρ_1 = densidade do meio 1, em g/cm³;

c_1 = velocidade de propagação do som no meio 1, em m/s;

ρ_2 = densidade do meio 2, em g/cm³;

c_2 = velocidade de propagação do som no meio 2, em m/s;

e o valor do ângulo crítico ($a_{critico}$) :

$$a_{critico} = \arccos\left(\frac{c_1}{c_2}\right) \text{ [rd]} \quad (32)$$

Tais formulações se aplicam para a reflexão no fundo e na superfície.

5.4 - Modelo de Refração

Refração é um fenômeno que ocorre quando um raio muda de meio, sendo que os meios têm características com valores próximos ($c_1 \approx c_2$ e $\rho_1 \approx \rho_2$), fazendo com que a direção da propagação se altere (Figura 19).

Não existe, na realidade, uma “perda” de energia a ser aplicada devida à refração, o que ocorre é uma alteração no valor da pressão sonora, que tem como unidade watts por metro quadrado (W/m^2), devido à dispersão dos raios na refração (HALL, 1987, PARENTE,1997).

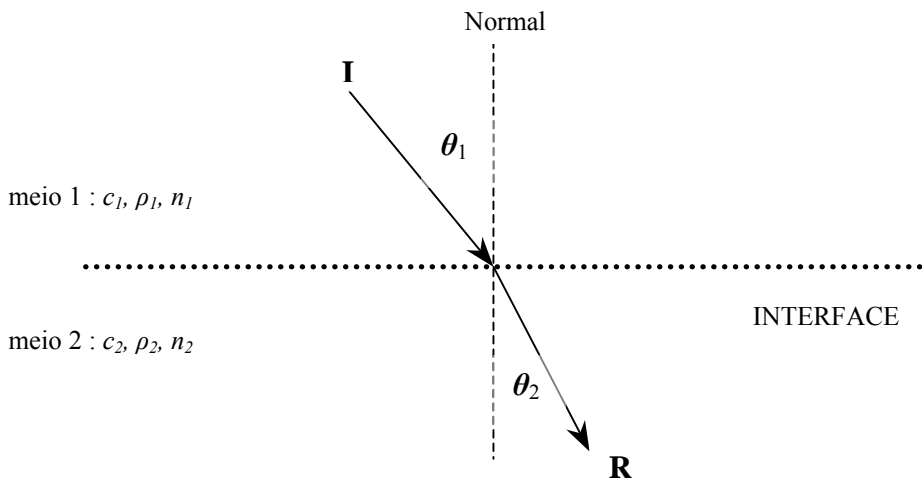


Figura 19 - Refração de um raio quando passa de um meio (1) menos refringente para uma meio (2), mais refringente.

Enunciado da Lei de Snell-Descartes: A razão entre o seno do ângulo de incidência (θ_1) e o seno do ângulo de refração (θ_2) é constante e esta constante é igual ao índice de refração relativo n_{21} , para um dado comprimento de onda (DIÉGUES, 1974).

$$\frac{\text{sen } \theta_1}{\text{sen } \theta_2} = n_{21} = \frac{n_2}{n_1} \quad (33)$$

onde:

θ_1 - ângulo de incidência (ângulo que o raio incidente faz com a normal)

θ_2 - ângulo de refração (ângulo que o raio refratado faz com a normal)

n_{21} - índice de refração relativo

n_2 - índice de refração do meio 2

n_1 - índice de refração do meio 1

A variação da intensidade sonora é calculada com base na Teoria de Raios, tendo como arcabouço de seus cálculos o caminho percorrido pelos raios, os quais delimitam um feixe onde ocorrem as perdas devido à propagação, sendo este caminho definido basicamente pela refração.

O modelo de perdas desenvolvido, diferentemente dos modelos que utilizam malhas triangulares, tem como bases da sua malha as trajetórias dos raios e o passo horizontal fixo (Figura 20).

Se fosse considerado apenas o efeito da refração seria certo afirmar que $A_0.P_0 = A_1.P_1 = A_2.P_2 = A_3.P_3$, em função da Lei de Conservação da Energia, o que não caracteriza uma perda propriamente dita.

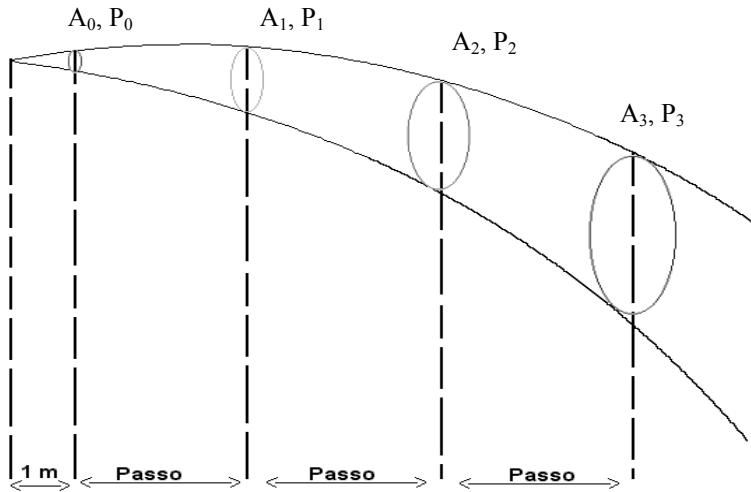


Figura 20 – Esquema da variação da intensidade sonora

A_0 , A_1 , A_2 e A_3 são áreas de calotas esféricas que têm como centro a origem do pulso sonoro e como raio a distância percorrida pela onda.

No modelo, é utilizada apenas a área do círculo relativa à base da calota esférica para a realização dos cálculos.

A área A_0 é calculada tendo-se como raio a distância de 1 metro da fonte, o que possibilita utilizar o valor da potência medida do sonar, convertida em pressão sonora como P_0 .

O modelo foi construído tendo como base somente a dispersão esférica, não foram feitas linhas para os casos específicos de guias de ondas, quando a propagação fica confinada entre dois planos paralelos e apresenta características de uma dispersão cilíndrica.

Durante a elaboração desta tese foi discutida incessantemente a necessidade ou não de gerar um algoritmo especial para a propagação cilíndrica, o que não foi necessário, pois o algoritmo desenvolvido para a propagação esférica abrange os casos onde existam guia de onda.

A propagação cilíndrica nada mais é que caso especial da propagação esférica, no qual são inseridas condições de contorno que representam a superfície e o fundo oceânico.

6.0 – MODELO DE PREVISÃO DE ALCANCE SONAR

Tendo como informações básicas os produtos gerados pelos outros módulos do sistema, o modelo de previsão de alcance sonar prevê o alcance em seis profundidades, caso seja um alvo submarino, ou para a cota de 0m caso seja um alvo de superfície.

Utilizando-se a Fórmula 7, apresentada no Capítulo 4, são calculados para cada ponto no plano de propagação o excesso de eco (*EE*) e são montadas figuras como a de número 21, onde a escala de cores tem como máximo o nível da fonte (*SL*) e o mínimo igual a zero de excesso de eco.

Estas figuras, na verdade, são matrizes espaciais montadas pelo sistema nas quais ele procura a área onde existe um valor de excesso de eco específico (ver item 7.3), esta área tem aproximadamente três vezes o “**passo**”, isto é, cerca de 100m de comprimento, e duas vezes o diâmetro do alvo submarino de altura (ou 6m se for alvo de superfície).

Esta procura é realizada partindo-se do ponto mais distante da fonte emissora e caminha em direção a ela, conseguindo assim definir as distâncias máximas em que um valor de excesso de eco específico ocorre, em todas as profundidades de operação do alvo.

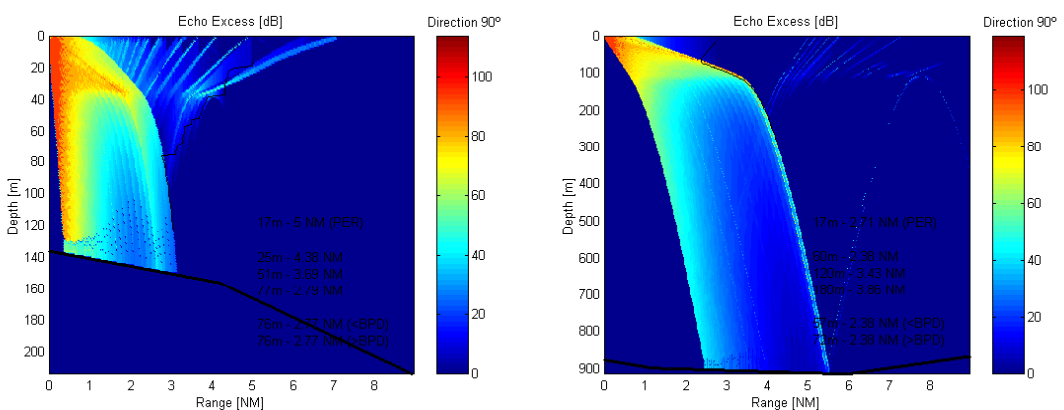


Figura 21 – Gráficos de excesso de eco com as previsões de alcance sonar, produzido pelo sistema no modo ativo.

A partir dessas distâncias, relacionadas a profundidades, é traçada uma linha (preta) a qual delimita as distâncias máximas de detecção previstas, como se pode observar na Figura 21.

Com estes valores relacionados às profundidades de ocorrência, o sistema passa a procurar qual deles é o menor, e em que profundidades ele ocorre, determinando assim a melhor profundidade de penetração (MPP-BPD) que um submarino poderia utilizar para realizar o seu ataque contra um alvo de superfície.

De posse destas informações são acrescentadas ao gráfico as seis informações de previsões de alcance sonar relativas às profundidades de menor cota de operação submersa (PER), para três cotas dentro das possíveis profundidades de operação e ainda para a menor e a maior profundidades onde foi encontrada a menor distância da previsão de alcance sonar ($> \text{BPD}$ e $< \text{BPD}$).

Diferentemente de outros métodos e sistemas de previsão de alcance sonar, que apresentam um único número absoluto como resposta, este propositalmente ressalta a importância de que suas previsões estejam atreladas aos valores de profundidades e às direções, mostrando que números absolutos não referenciados não podem expressar o real sentido do significado de excesso de eco.

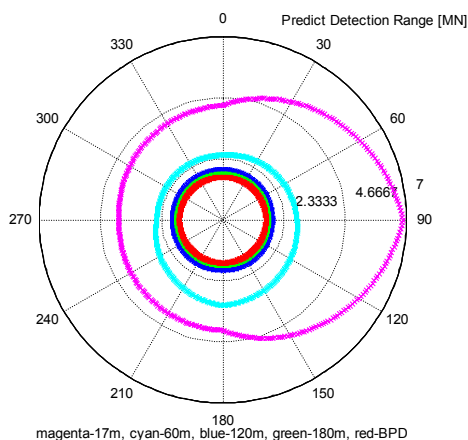


Figura 22 – Gráfico da distância de previsão de alcance sonar, produzido pelo sistema no modo ativo.

Para tentar melhorar a compreensão do que ocorre, o sistema também pode fornecer um gráfico polar que reúne as informações decorrentes das previsões de alcance sonar nas quatro direções em que são realizadas os processamentos, fornecendo assim uma “visão de topo” da propagação (Figuras 22 e 24).

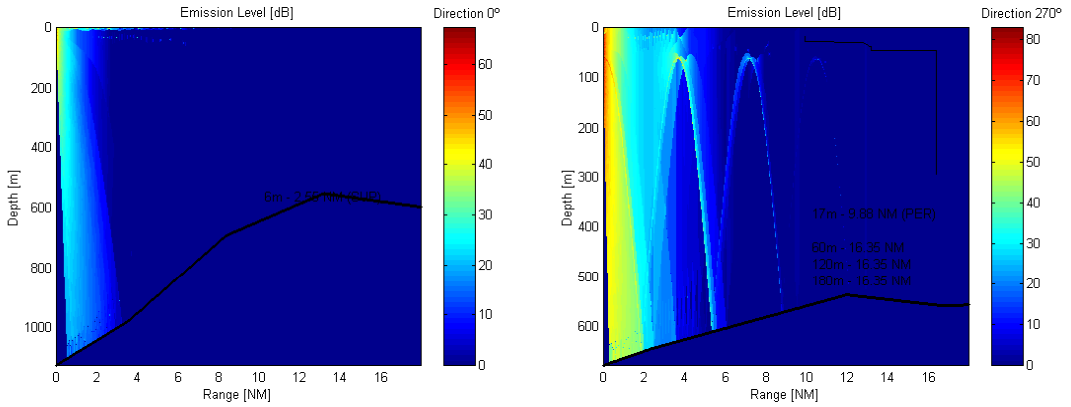


Figura 23 – Gráficos de nível de emissão com as previsões de detecção de ruído irradiado, modo passivo

O modelo de previsão de alcance sonar desenvolvido também possibilita seu emprego no modo passivo, isto é, ele gera previsões de detecção de ruído irradiado por um alvo, produzindo os exemplos da Figura 23.

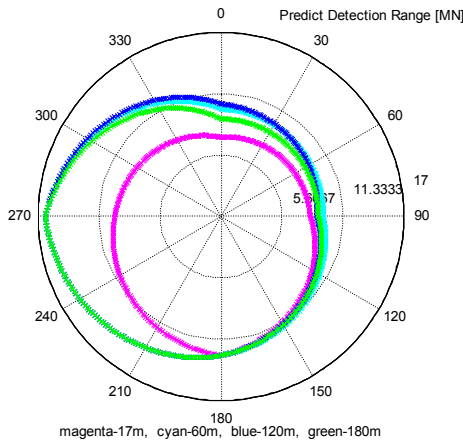


Figura 24 – Gráfico da distância de previsão de detecção de ruído irradiado, modo passivo

Constatou-se que outros modelos de previsão de alcance sonar utilizam valores maiores que 0 dB para definir a previsão de alcance sonar, fato decorrente de calibrações necessárias a adequar a resposta obtida com os resultados reais, tendo sido

consideradas duas hipóteses durante a avaliação e calibragem, que estão descritas abaixo.

Foi observado durante os testes preliminares que o sistema, em alguns casos, oferecia uma previsão diferente da distância real da primeira detecção e seguindo a linha adotada por outros sistemas semelhantes tentou-se utilizar o valor de TS como fator para se calibrar o sistema.

Para se tentar aproximar as previsões do sistema aos dados da base de validação foi tentado, como primeira hipótese, se estabelecer um fator de correção depreciativa relacionado à profundidade de 0,1 dB/m que se inicia na cota 0m e vai crescendo até o valor TS, permanecendo constante a partir da profundidade em que ocorre.

Como segunda hipótese, o valor de TS foi reduzido a 0 dB, sendo este o artifício usado por outros sistemas semelhantes e, portanto, considerado adequado para ser utilizado nos testes comparativos (item 7.4).

Nas linhas de programação comentadas do MATLAB[®], constantes do Anexo I, pode-se compreender melhor a dinâmica e a metodologia adotada para o modelo.

O Anexo II reúne os gráficos gerados pelo sistema de previsão de alcance sonar que foram utilizados como fontes de informação para a avaliação do objeto desta tese e para a comparação entre os sistemas analisados no Capítulo 7.

Pode-se observar nos gráficos constantes do Anexo II que na imensa maioria das vezes não existe uma “melhor profundidade de penetração” e sim uma faixa de profundidade onde ocorreria a melhor penetração pelo submarino.

7.0 – AVALIAÇÃO DO SISTEMA

A avaliação dos resultados foi limitada em decorrência da não existência de dados de exercícios realizados que contivessem as informações de posição do navio emissor e do alvo submarino, que gerariam a informação de marcação relativa do alvo e de profundidade de operação do alvo no momento da primeira detecção, uma vez que os sistemas de previsão de alcance sonar utilizados pela Marinha do Brasil não necessitam dessas informações para a sua avaliação.

A Marinha do Brasil, por meio do Centro de Avaliação de Sistemas Operativos (CASOP), em virtude da consulta realizada para a realização desta tese, reviu os procedimentos para a avaliação dos exercícios de operação anti-submarino, ampliando os dados a serem arquivados para a reconstrução dos eventos.

Foram obtidos junto ao CASOP e à DHN informações de 20 eventos, sendo que em 7 deles o sistema não conseguiu carregar os parâmetros oceanográficos no banco de dados para que se realizasse o processamento.

A impossibilidade de se carregarem os parâmetros oceanográficos do banco de dados ocorreu por não existirem informações suficientes para serem gerados os valores médios para a localização onde ocorreram os eventos, naquela estação do ano.

Dos 13 eventos processados (Tabela 3) somente 4 deles tinham previsões feitas por sistemas que a Marinha do Brasil utiliza atualmente, sendo referentes a um navio específico e com extrema proximidade espaço-temporal.

7.1 – Situação Teórica

Como os dados que foram utilizados para a avaliação do sistema são dados confidenciais, pois são decorrentes de exercícios realizados por navios da Marinha do Brasil em operações de treinamento, neste item será apresentada uma situação teórica para exemplificar o processamento realizado pelo sistema.

Embora a inferência de resultados apenas pela descrição do sistema sonar de um navio seja extremamente difícil, mesmo para profissionais que trabalham diretamente com análise da propagação sonora, consideremos um navio teórico que tem como parâmetros:

- a) Profundidade do transdutor – 5m;
- b) Ângulo superior do feixe – 5° ;
- c) Ângulo inferior do feixe – -5° ;
- d) Frequência central de operação – 7,4 KHz;
- e) Nível da fonte (SL) – 225 dB;
- f) Índice de diretividade (DI) – 17 dB
- g) Velocidade padrão – 20 nós;
- h) Ruído próprio (NL_e) – 67,8 dB; e
- i) Limiar de detecção (DT) – 5 dB.

Este navio teórico estaria navegando no mês de outubro na posição de latitude $24^\circ 50'S$ e $44^\circ 00'W$, com intensidade do vento de 24 nós e o mar 5 na escala Beaufort, buscando detectar com seu sistema sonar, no modo ativo, um submarino convencional que provavelmente estaria navegando nas proximidades.

7.2 – Resultados

Com os dados fornecidos no item 7.1 o sistema foi inicializado e demorou cerca de 14 minutos para fornecer a resposta, rodando em um computador com 256 Mbytes de memória RAM e com um processador de 2 GHz de velocidade, onde foram obtidas como resultado as Figuras 25 a 28.

Embora o tempo de processamento pareça ser elevado para a aplicação do sistema em tempo-real, deve-se considerar que o programa não foi compilado, e que o computador em que ele rodou não era dedicado.

O tempo de processamento poderia ser diminuído empobrecendo-se a resolução espacial da malha, porém os resultados obtidos também teriam a sua precisão empobrecida.

O sistema, após sua compilação, já possui qualidade suficiente, no que se refere ao tempo de processamento, para ser instalado em navios, provendo informações que seriam de grande utilidade para apoio à decisão nas operações navais.

Pode-se observar que as Figuras 25 a 28 apresentam pequenas diferenças nos resultados apresentados pelo módulo de previsão de alcance sonar.

Estas diferenças são decorrentes da variabilidade dos parâmetros oceanográficos em torno fonte emissora, o que reafirma uma das hipóteses levantadas nesta tese que é relevante considerar a heterogeneidade dos parâmetros oceanográficos para se obter uma previsão acurada.

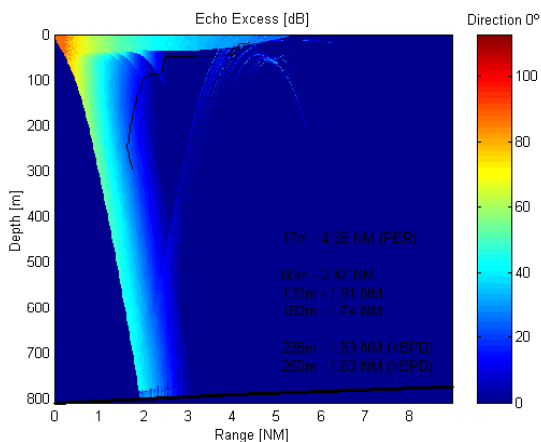


Figura 25 – Gráfico de excesso de eco para a direção 000° com as previsões de alcance sonar, produzido pelo sistema no modo ativo.

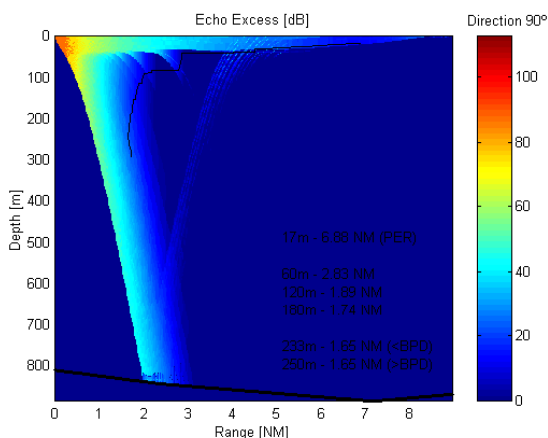


Figura 26 – Gráfico de excesso de eco para a direção 090° com as previsões de alcance sonar, produzido pelo sistema no modo ativo.

Nas Figuras 27 e 28 pode-se observar, em uma profundidade próxima aos 50m, que a previsão de alcance sonar tem uma variação considerável de 2,5 MN para 5,0 MN.

Esta variação se deve, como foi dito anteriormente, à variabilidade dos parâmetros oceanográficos em torno da fonte emissora, e não deve ser considerado um erro no processamento e está associada à resolução adotada para a malha espacial.

Para se reduzir estas variações poderiam ser aplicadas técnicas que reduzem a resolução espacial do resultado (diminuir a discricção espacial), técnica esta empregada em outros sistemas de previsão de alcance sonar.

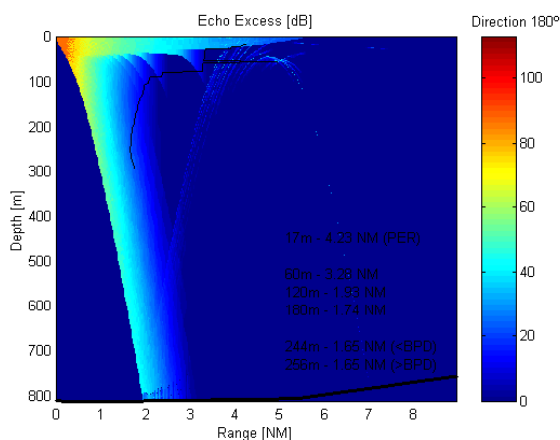


Figura 27 – Gráfico de excesso de eco para a direção 180° com as previsões de alcance sonar, produzido pelo sistema no modo ativo.

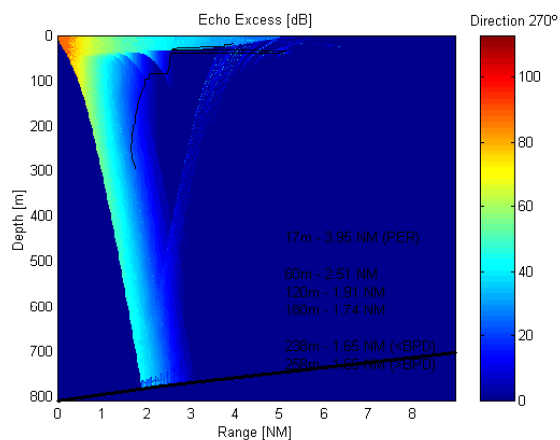


Figura 28 – Gráfico de excesso de eco para a direção 270° com as previsões de alcance sonar, produzido pelo sistema no modo ativo.

Estas variações, em alguns casos, podem explicar a detecção de alvos em locais tidos como improváveis, ou até mesmo explicar eventos assumidos como de “falsa detecção”, como as que poderiam ocorrer nas regiões a cerca de 2,5 MN na profundidade aproximada de 50m, nas Figuras 27 e 28.

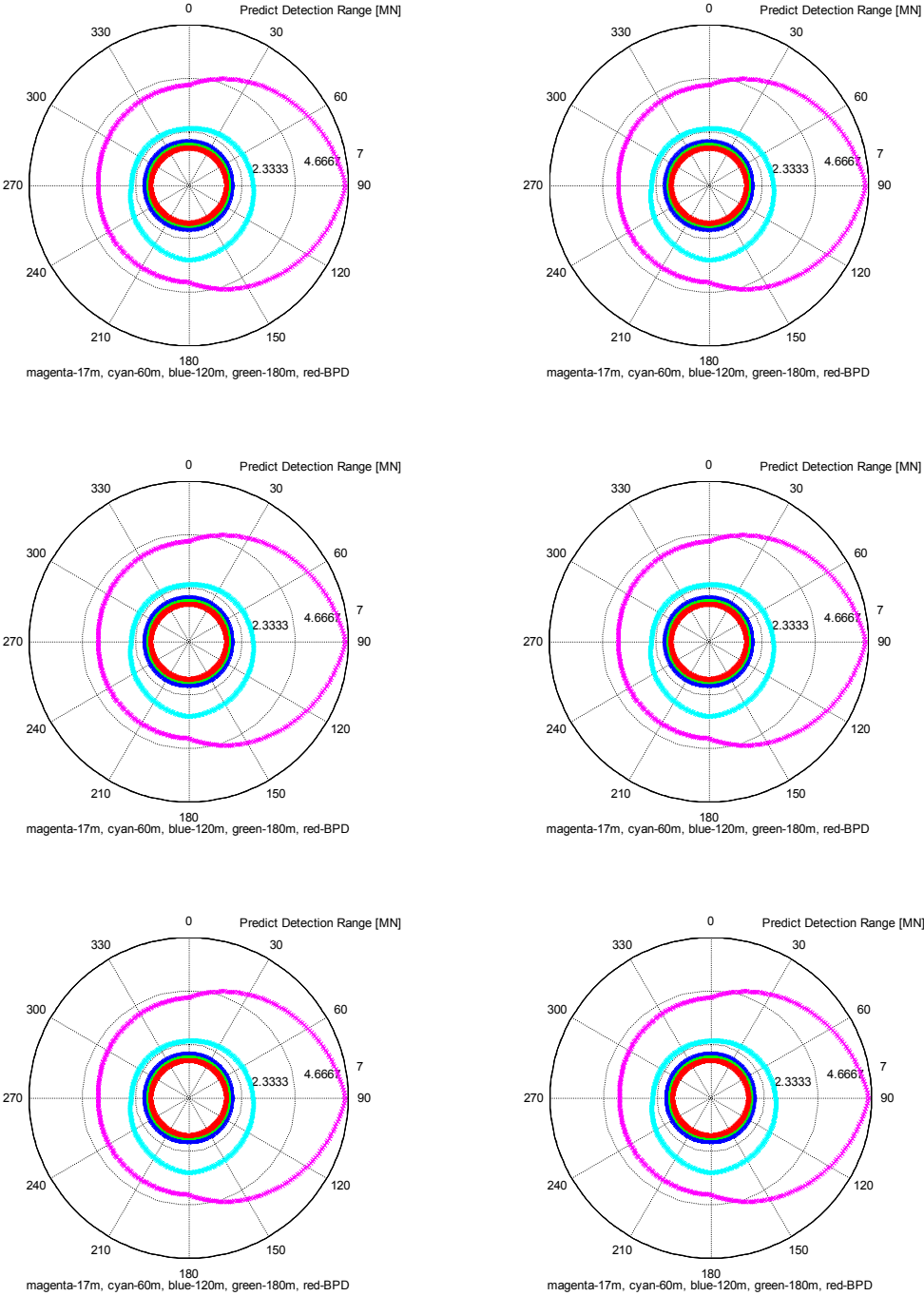


Figura 29 – Gráficos de previsões de alcance sonar, referentes a seis processamentos diferentes, produzidos pelo sistema no modo ativo.

Ao analisar a metodologia empregada no modelo de propagação (Capítulo 3), poder-se-ia supor que as variações apresentadas nas Figuras 25 a 28 seriam decorrentes da variação aleatória que é introduzida durante as reflexões do feixe de raios.

Para provar que isto não é pertinente, foi processado o mesmo evento teórico por seis vezes (Figura 29), e pode-se observar no resultado dos seis gráficos de previsões de alcance sonar que a variação entre os resultados é desprezível.

7.3 – Avaliação dos Resultados

Com o objetivo de avaliar a performance do sistema, foram processados os eventos listados na Tabela 3.

Foram definidos dois métodos para se realizar a avaliação:

- o método da linha de tendência, e
- o método dos corredores.

Para cada um dos métodos os dados foram processados testes, com todos os eventos, para seis situações possíveis:

- sem a utilização de dados de XBT e sem a utilização de fator de correção,
- sem a utilização de dados de XBT e com a utilização de fator de correção relacionado com a profundidade,
- sem a utilização de dados de XBT e com a utilização do valor de TS igual a 0 dB
- com a utilização de dados de XBT e sem a utilização de fator de correção,
- com a utilização de dados de XBT e com a utilização de fator de correção relacionado com a profundidade,
- com a utilização de dados de XBT e com a utilização do valor de TS igual a 0 dB

Com os valores resultantes dos processamentos foram montados os gráficos relacionando a distância da primeira detecção e os valores fornecidos pelo sistema objeto desta tese (Figuras 30 a 35).

Como o sistema fornece valores em quatro marcações e é desconhecida qual a marcação relativa que o navio fazia do submarino, para a avaliação foi utilizada a média dos valores fornecidos pelo sistema.

As Figuras 30 a 35 são gráficos de cruzamento, nos quais os pontos (x,y) plotados têm como valores a distância da primeira detecção e a distância prevista de detecção, em cada um dos eventos, como valores de x e y , respectivamente.

Para se obter os parâmetros de avaliação da primeira metodologia foram inseridas nos gráficos cruzados uma “linha de tendência” linear ($-$), isto é, uma reta que representa graficamente a tendência ou direção dos dados de uma seqüência.

A esta “linha de tendência” está associado o valor do erro médio quadrático (R^2), também conhecido como coeficiente de determinação, que é um indicador que varia de 0 a 1 e revela a proximidade dos valores estimados da linha de tendência em correspondência com os dados verdadeiros da seqüência, sendo confiável quando o valor de R^2 é igual ou próximo a 1.

evento	latitude (G.GG)	longitude (G.GG)	código do navio	mês	estado do mar (Beaufort)	velocidade do vento (nós)	profundidade estimada do alvo	distância da 1ª detecção (MN)
1	-11,23	-36,29	2345	ABR	3	7	MPP	1,70
4	-12,24	-36,15	2345	ABR	2	10	150m	3,20
6	-12,04	-36,17	2345	ABR	2	5	CP	4,95
9	-12,24	-36,31	3459	ABR	2	10	MPP	1,75
11	-24,83	-44,00	2350	SET	5	24	CP	4,15
12	-24,82	-44,31	1235	SET	6	24	60m	4,05
13	-24,74	-44,00	2351	SET	5	20	MPP	1,50
14	-24,67	-44,67	1235	SET	6	23	MPP	1,55
15	-24,83	-44,20	2347	AGO	4	22	CP	4,33
16	-24,90	-44,30	2347	AGO	3	18	CP	5,05
17	-24,98	-44,38	2347	AGO	3	17	CP	5,65
18	-25,00	-44,35	2347	AGO	2	11	MPP	1,50
19	-24,90	-44,30	2347	AGO	3	13	MPP	1,55

Tabela 3 – Parâmetros que caracterizaram os eventos utilizados para a validação.

Tomemos como formulação de uma reta:

$$y = Ax + B$$

O valor absoluto do resultado da subtração da unidade menos o valor de A pode ser relacionado como erro percentual do sistema, e o valor absoluto de B pode ser relacionado como o erro fixo do sistema.

Caso os valores de A e B fossem iguais a zero, os erros seriam iguais a zero.

O valor absoluto do resultado da subtração da unidade menos o valor R^2 , fornece a dispersão do sistema.

Fica patente que o que se busca é que os dois erros e o valor da dispersão sejam iguais a zero, o que faria com que as previsões da primeira detecção fossem iguais aos valores das distâncias das primeiras detecções.

A partir dos valores obtidos nas “linhas de tendência” inseridas, nos gráficos 28 a 33, foi montada a Tabela 4 que possibilita uma visão global da performance do sistema a partir desta metodologia.

Teste	Foi utilizado dados de batitermógrafo no processamento	Foi utilizado fator de correção no cálculo da P.A.S.	Valor do erro fixo absoluto	Valor do erro percentual absoluto	Valor da dispersão
1	não	não	0,69 MN	42%	70%
2	não	sim, devido à profundidade	1,07 MN	37%	35%
3	não	sim, TS = 0 dB	2,05 MN	45%	77%
4	sim	não	0,00 MN	32%	44%
5	sim	sim, devido à profundidade	0,97 MN	45%	47%
6	sim	sim, TS = 0 dB	1,27 MN	24%	68%

Tabela 4 – Resultados dos testes realizados, pelo critério da “linha de tendência”.

Os resultados da Tabela 4 demonstram que os testes nº 1 e nº 3 são os que obtiveram os piores desempenhos, reforçando o fato de que a utilização de dados de XBT melhora a qualidade das previsões.

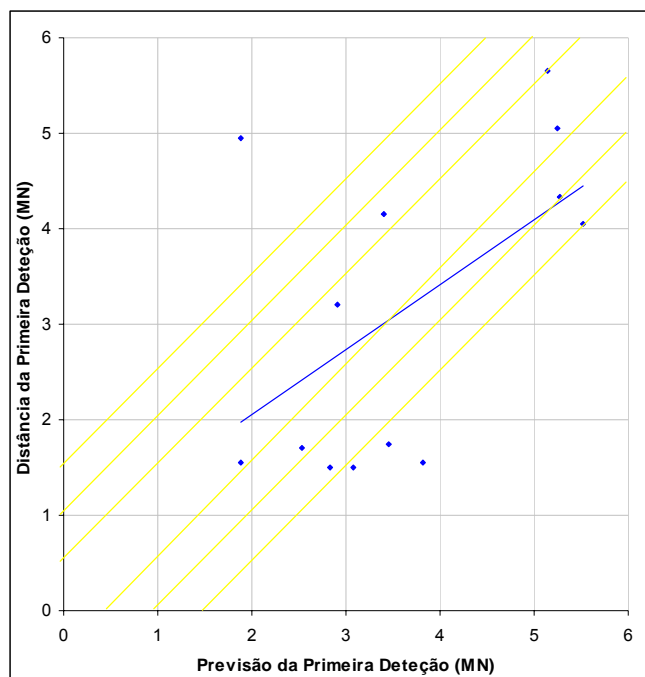


Figura 30 – Gráfico de comparação dos resultados do sistema para o teste nº 1.

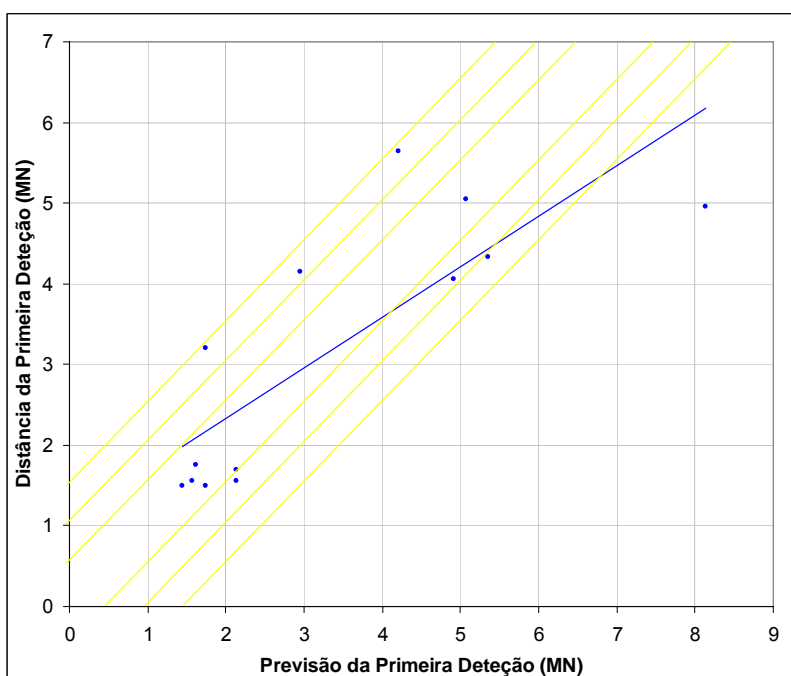


Figura 31 – Gráfico de comparação dos resultados do sistema para o teste nº 2.

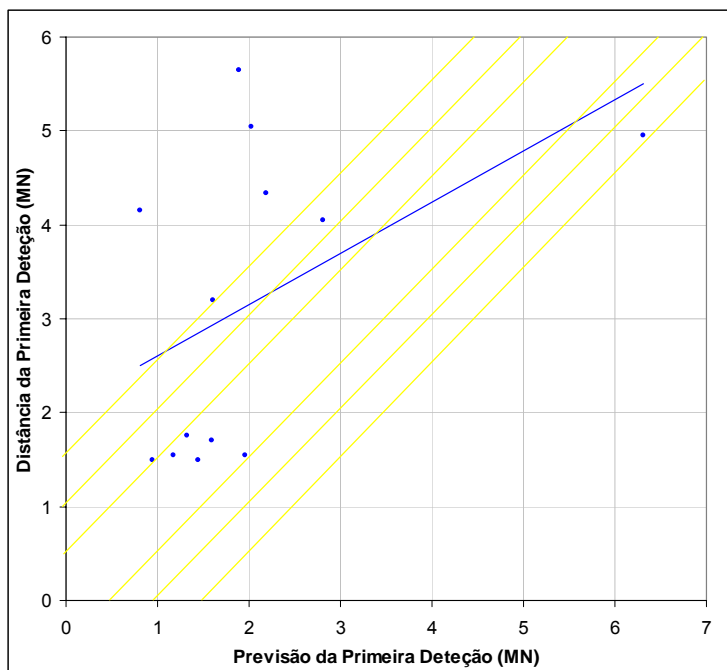


Figura 32 – Gráfico de comparação dos resultados do sistema para o teste nº 3.

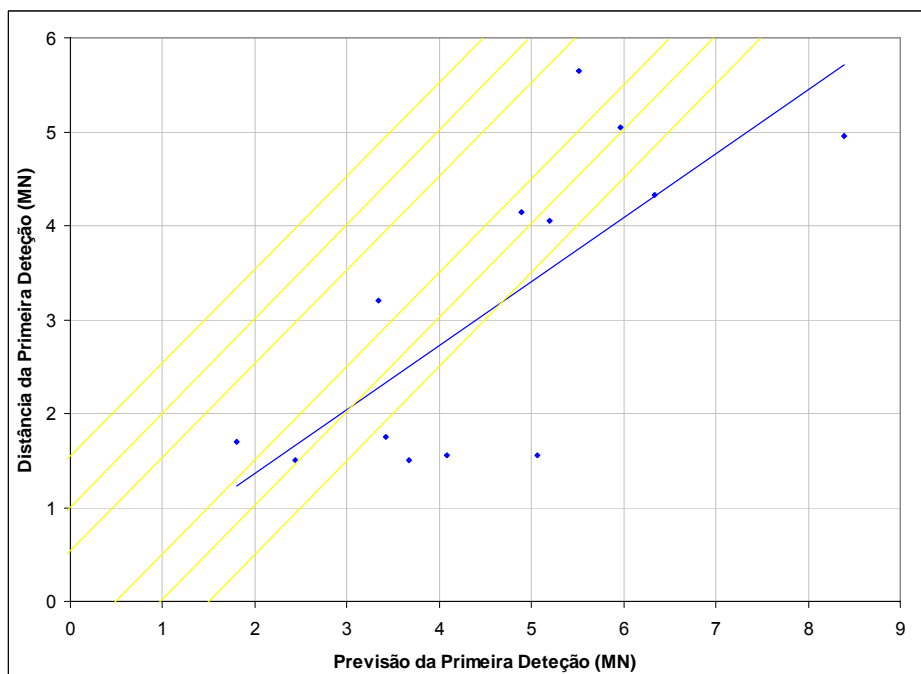


Figura 33 – Gráfico de comparação dos resultados do sistema para o teste nº 4.

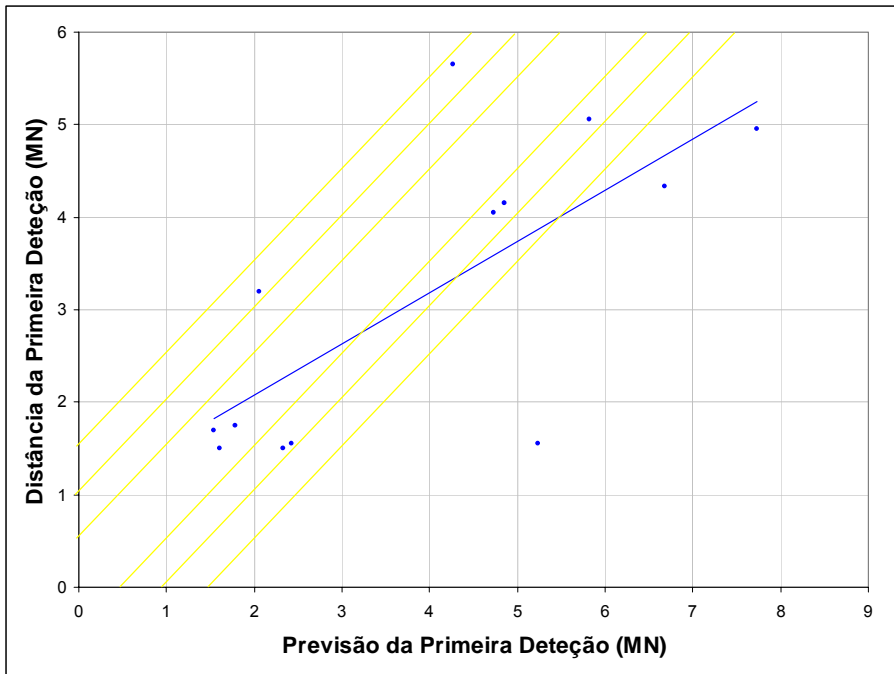


Figura 34 – Gráfico de comparação dos resultados do sistema para o teste nº 5.

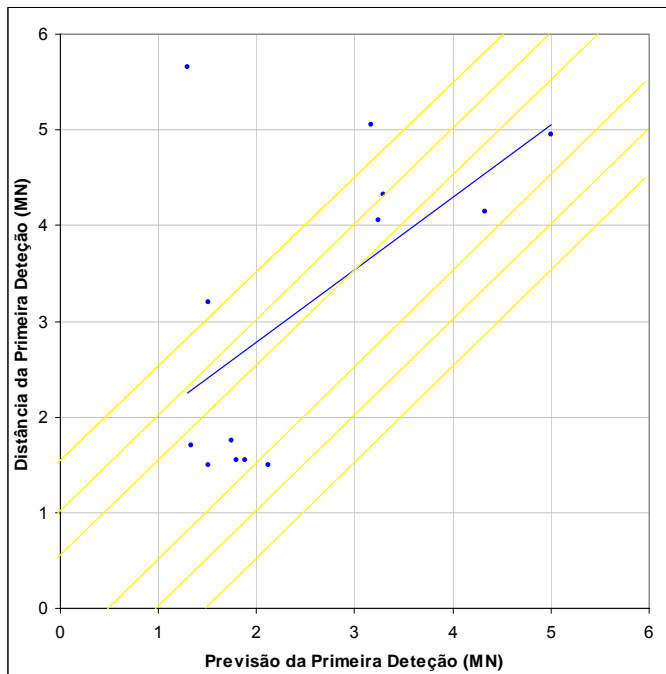


Figura 35 - Gráfico de comparação dos resultados do sistema para o teste nº 6.

Para se obterem os parâmetros de avaliação da segunda metodologia foram inseridos nos gráficos cruzados “corredores” (—) definidos pelas retas $y = x + D$ e $y = x - D$, isto é, retas que representam graficamente faixas de valores de erros em relação aos valores da distância das primeiras detecções (Figuras 30 a 35).

Foram definidos 3 corredores onde D assume os valores de 0,5, 1 e 1,5 milhas náuticas, sendo os resultados considerados bons, regulares e aceitáveis, respectivamente; sendo que as previsões com erro maior que 1,5 MN foram consideradas ruins.

A partir dos pontos plotados e dos “corredores” inseridos, nos gráficos 28 a 33, foi montada a Tabela 5 que possibilita uma visão global da performance do sistema a partir desta metodologia.

Teste	Foi utilizado dados de batitermógrafo no processamento	Foi utilizado fator de correção no cálculo da P.A.S.	Percentual de resultados com erro menor que 0,5 MN	Percentual de resultados com erro menor que 1 MN	Percentual de resultados com erro menor que 1,5 MN
1	não	não	23%	54%	69%
2	não	sim, devido à profundidade	46%	69%	92%
3	não	sim, TS = 0 dB	38%	46%	62%
4	sim	não	23%	46%	54%
5	sim	sim, devido à profundidade	23%	62%	77%
6	sim	sim, TS = 0 dB	54%	69%	77%

Tabela 5 – Resultados dos testes realizados, pelo critério do “corredor”.

Os resultados da Tabela 5 demonstram que os testes nº 1, nº 4 e nº 5 são os que obtiveram os piores desempenhos, colocando sob suspeita a hipótese de não se utilizar para o cálculo da previsão de alcance sonar correções do valor da capacidade de

refletividade do alvo (TS), como acontece nos sistemas atualmente em uso na Marinha do Brasil.

Analisando-se em conjunto as metodologias de avaliação conclui-se que os testes nº 2 e nº 6 foram os que apresentaram melhores performances na avaliação global.

Diante deste fato o sistema foi calibrado, utilizando-se como regras as contidas nos testes nº 2 e nº 6, o que atribui ao sistema as características técnicas de 69% das previsões com erro menor ou igual a uma milha náutica e de 50% das previsões com erro menor que meia milha náutica.

Os testes ratificaram a utilização de variação de valores de TS, como sugerido no Capítulo 6, como o principal elemento na calibragem de um sistema de previsão de alcance sonar.

7.4 – Comparação com outros Sistemas

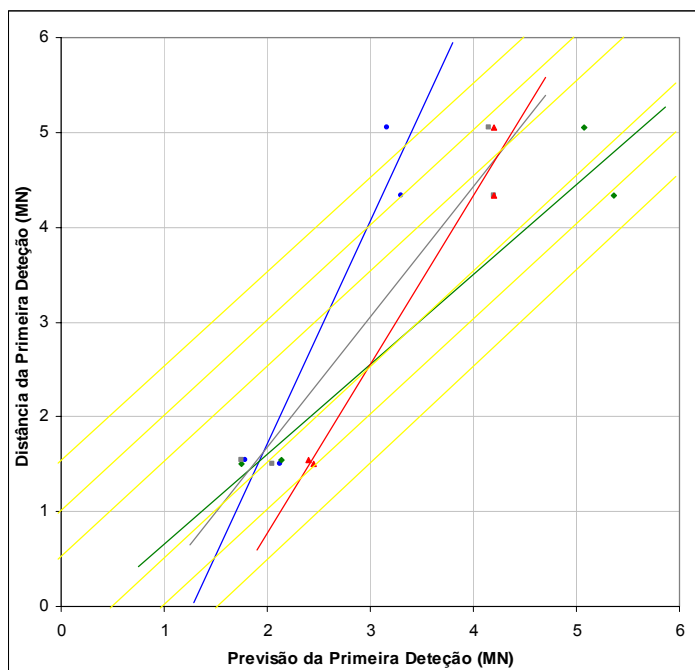


Figura 36 – Gráfico de comparação dos resultados do sistema (—), do sistema com dados de XBT (—), do sistema Alfa (—) e do sistema Gama (—).

Para se comparar os resultados obtidos pelo sistema de previsão de alcance sonar desenvolvido nesta tese, somente foi disponibilizado o resultado obtido em 4 eventos da Tabela 6 que são provenientes de um exercício realizado por um navio da Marinha do Brasil em um curto espaço de tempo e em uma pequena área.

evento	latitude (G.GG)	longitude (G.GG)	código do navio	mês	estado do mar (Beaufort)	velocidade do vento (nós)	profundidade estimada do alvo	distância da 1ª detecção (MN)
15	-24,83	-44,20	2347	AGO	4	22	CP	4,33
16	-24,90	-44,30	2347	AGO	3	18	CP	5,05
18	-25,00	-44,35	2347	AGO	2	11	MPP	1,50
19	-24,90	-44,30	2347	AGO	3	13	MPP	1,55

Tabela 6 – Parâmetros que caracterizaram os eventos utilizados para a comparação.

Certamente estes fatos não permitem uma comparação apurada entre resultados, porém como são os únicos disponíveis foram utilizados para compor a Figura 36.

A Figura 36 segue os mesmos princípios de construção utilizados nas Figuras 30 a 35 e descritos no item 7.3.

Os sistemas *Alfa* e *Gama* são sistemas de previsão de alcance sonar que estão sendo utilizados, testados e validados pela Marinha do Brasil.

O sistema *Alfa* é de tecnologia nacional aberta, de baixo custo de manutenção, com as seguintes características:

- não tem um banco de dados próprio (em desenvolvimento);
- não utiliza batimetria variável;
- a composição do fundo é homogênea;
- o cálculo de perdas é baseado em formulações físicas;
- a superfície e o fundo são planos e lisos;
- utiliza algoritmos empíricos para calcular as perdas na superfície;
- inclui efeitos de difração indiretamente;
- é utilizado sempre com um perfil batitermográfico adquirido;
- projetado para ter melhores resultados em frequências maiores que 1 KHz;

- extrapola a previsão de uma direção para todas as outras.

O sistema *Alfa* utiliza o percentual de probabilidade de detecção como meio de apresentação de resultados, a partir de uma normalização da figura, o limite de detecção para a previsão de alcance sonar é o valor de 50%, sendo utilizado o valor de TS definido pelo usuário.

O sistema *Gama* é tecnologia europeia fechada, de alto custo de manutenção, com as seguintes características:

- tem um banco de dados próprio com dados com malha de baixa resolução;
- utiliza a batimetria variável;
- a composição do fundo é homogênea;
- o cálculo de perdas é escolhido pelo usuário (Modos Normais, Equações Parabólicas ou Traçados de Raios);
- a superfície e o fundo são lisos, sendo a superfície plana;
- utiliza algoritmos empíricos para calcular as perdas na superfície;
- não inclui efeitos de difração;
- não utiliza interpolação para construir um oceano heterogêneo;
- não permite a utilização de perfil batitermográfico adquirido;
- projetado para ter melhores resultados em frequências maiores que 500 Hz;
- extrapola a previsão de uma direção para todas as outras.

O sistema *Gama* utiliza o percentual de probabilidade de detecção como meio de apresentação de resultados, a partir de uma normalização da figura, o limite de detecção para a previsão de alcance sonar é o valor de 75%, equivalente a 15 dB, não sendo utilizado o valor de TS.

Ambos os sistemas são muito bem projetados e calibrados, gerando previsões com boa qualidade como pode ser observado na Figura 36.

Diante do pequeno universo de informações disponíveis para comparação, seria leviano afirmar qual dos sistemas tem a melhor performance, porém certamente pode se afirmar que para o cálculo de previsões de alcance sonar sem a utilização de dados de XBT o produto desta tese tem, no momento, a melhor performance.

Esta afirmativa se deve aos fatos de que o sistema constante deste trabalho utiliza de forma mais apurada as informações oceanográficas disponíveis e de que o processamento dos dados oriundos do XBT é mais confiável do que aquele utilizado no sistema *Gama*.

O sistema objeto desta teste é tecnologia nacional aberta apresentando as seguintes características:

- tem um banco de dados próprio com dados coletados e validados;
- constrói uma malha de alta resolução;
- utiliza a batimetria variável;
- a composição do fundo é heterogênea;
- o cálculo de perdas é baseado em formulações físicas e na Teoria de Raios;
- a superfície e o fundo são rugosos;
- utiliza algoritmos empíricos para calcular as perdas na superfície;
- utiliza algoritmos empíricos para calcular os efeitos do espalhamento;
- inclui os efeitos de difração indiretamente;
- utiliza interpolação para construir um oceano heterogêneo;
- pode ser utilizado com um perfil batitermográfico adquirido;
- projetado para ter melhores resultados em frequências maiores que 1,5 KHz;
- projetado para ter melhores resultados em distâncias menores que 10 MN;
- calcula a previsão em 4 direções e interpola os resultados para as outras.

Como se pode observar nas descrições nos sistemas de previsão de alcance sonar listados acima o desenvolvido neste trabalho reúne, a partir das inovações metodológicas apresentadas nos Capítulos 3 a 6, as melhores características dos sistemas *Alfa* e *Gama* sendo projeto para utilização em operações navais e o mais adequado para utilização em áreas marítimas que tenham alta variabilidade oceanográfica.

O sistema objeto desta tese utiliza um gráfico de excesso de eco como meio de apresentação de resultados, sendo que o limiar de detecção para a previsão de alcance sonar são valores dependentes de TS (ver item 7.3), sendo utilizado o valor de TS calculado em função do tipo de alvo escolhido.

No Capítulo 8 será apresentada uma sugestão de metodologia de como deveriam ser comparados os 3 sistemas para que se pudesse eleger um deles para ser utilizado diuturnamente em navios da Marinha do Brasil.

8.0 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Em função dos resultados obtidos, acredita-se que esta tese obteve o êxito esperado, os cinco anos que ela demorou para ser concluída não enevoam o seu resultado e a sua contribuição para a comunidade científica que se dedica ao estudo da propagação sonora no mar, e ousou dizer que ela abre novas perspectivas e expectativas nesta área da ciência que ainda recebe pouco reconhecimento e ajuda dos órgãos financiadores de pesquisas do Brasil.

A metodologia utilizada no Capítulo 2, mais uma vez (AGUIAR, 1998 e 2004), se mostrou adequada ao tratamento de dados oceanográficos, garantindo nas informações integrantes da base de dados a correta visualização da variabilidade oceanográfica nas águas marinhas sob jurisdição brasileira.

Os modelos de propagação, de parâmetros sonar e de perdas (Capítulos 3 a 5) mostraram-se confiáveis, pois tiveram como base de seu desenvolvimento formulações clássicas da física e a partir das inovações apresentadas pelo autor melhoraram sua capacidade de utilização durante uma operação naval.

O modelo de previsão de alcance sonar, constante do Capítulo 6 e parte central das inovações apresentada neste trabalho, além dos resultados promissores, apresenta duas características fundamentais: é um produto de tecnologia nacional e está disponível para ser complementado e aprimorado.

Os resultados apresentados no Capítulo 7 são consistentes e de qualidade, porém o produto final necessita aprimoramentos que, por motivos de segurança e capacidade logística, não podem ser realizados através da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Espera-se que este estudo possa contribuir significativamente para o aumento do número de pesquisas e produtos relacionados com a propagação do som no mar, criando uma base de partida para o aprimoramento de sistemas de previsão de alcance sonar nacionais.

Como sugestão de continuidade dos estudos, por meio de instituições de ensino, vê-se que o sistema objeto desta tese poderia ser adaptado para a produção de estudos de apoio à pesca, gerando previsões de detecção de cardumes em função do local onde se realizará a pesca e do tipo de sonar de pesca utilizado.

Para a validação e calibragem de sistemas de previsão de alcance sonar de uso naval, deveriam ser realizadas comissões com um mínimo de vinte eventos cada, nas cinco regiões fisiográficas da plataforma continental brasileira, durante as quatro estações do ano, com pelo menos três tipos de sonar utilizados hoje; o que geraria cerca de 1200 eventos.

A partir das previsões de alcance sonar, com e sem a utilização de dados de XBT, relacionadas a estes 1200 eventos, poder-se-ia validar e calibrar os sistemas de previsão nacionais, elegendo para utilização aquele com melhor performance; este empreendimento que só poderia ser realizado pela Marinha do Brasil.

9.0 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, O.A., 1998, *Um estudo da variabilidade dos perfis de velocidade do som na plataforma continental brasileira*. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- _____., 2004, *SISTEMA CAPRICORNIUS - Dados Estatísticos Georeferenciados para Estudos no Litoral Brasileiro*. Anais do Congresso Brasileiro de Oceanografia, UNIVALI, Itajaí, SC, Brasil.
- ANDRONOV, I.V., 1998, “Comparing plate defect models in boundary-contact acoustic problems”. *Acoustical Physics*, v. 44, n. 2, pp. 113-118.
- APEL, J.R., 1987, *Principles of ocean physics*. New York, USA, Academic Press.
- BELOV, I.A. & KOMAROV, A.G., 1998, “An acoustic model of the shallow sea bottom from geological-geophysical studies and acoustic propagation experiments”. *Acoustical Physics*, v.44, n. 3, pp. 260-264.
- BURDIC, W.S., 1984, *Underwater acoustic system analysis*. New Jersey, USA, Prentice-Hall Inc.
- CHRISTOFOLETTI, A., 1999, *Modelagem de Sistemas Ambientais*. São Paulo, Brasil, Ed. Edgard Blücher.
- CLAY, C.S. & MEDWIN, H., 1977, *Acoustical oceanography: Principles and Applications*. New York, USA, John Wiley & Sons Inc.
- _____., 1997, *Fundamentals of Acoustic Oceanography*. New York, USA, Academic Press.
- DIÉGUES, F.M., 1974, *Oceanografia*. Niterói, RJ, Brasil, Diretoria de Hidrografia e Navegação.
- HALL, D.E., 1987, *Basic Acoustics*. New York, USA, Harper & Row Publishers Inc.
- HARRISON, C.H., 1998, *Underwater acoustical modeling*. Arquivo acessado na Internet: <http://www.baesema.co.uk/insight/insight.html>.
- INSTITUTO DE PESQUISAS DA MARINHA, 2000, *Manual do sistema de previsão de alcance sonar e traçado de raios sonoros*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, IPqM.
- MIKHIN, D., 1996, *The equations for the speed of sound in sea water: is the difference noticeable?* Arquivo acessado na Internet: <http://rav.sio.rssi.ru/projects/intas-93/report/node12.html>.

- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, RECURSOS HÍDRICOS E DA AMAZÔNIA LEGAL, 1996, *Macrodiagnóstico da zona costeira do Brasil na escala da união*. Brasília, DF, Brasil, MMA.
- MUEHE, D., 1994, *Geomorfologia costeira*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, Ed. Bertrand Brasil.
- NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES., 1998, *Undersea Warfare*. Arquivo acessado na Internet: <http://www2.nas.edu/nsb2/uw1.htm>.
- PARENTE, C.E., 1997, *Apostila de acústica submarina*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, UFRJ.
- PICKARD, G.L., 1968, *Oceanografia física descritiva*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, FEEMA.
- RAYLEIGH, Lord., 1945, *The Theory of Sound*. New York, USA, Dover Publications Inc., v.2.
- ROBINSON, A.R. & LEE, D., 1994, *Oceanography and acoustics: Predictions and propagation models*. New York, USA, American Institute of Physics.
- URICK, R.J., 1983, *Principles of underwater sound*. Los Altos, USA, Peninsula Publishing.
- VDOVICHEVA, N.K., SAZONTOV, A.G. & KHIL'KO, A.I., 1998, "Short-wave diffraction of an acoustic field at a rigid scatterer in a waveguide with a rough surface". *Acoustical Physics*, v. 44, n. 4, pp. 377-383.

ANEXO I

**CÓDIGO MATLAB® COMENTADO DO SISTEMA DE PREVISÃO DE ALCANCE
SONAR PARA UM OCEANO HETEROGÊNEO E DISCRETO**

```

% *****
% A MATLAB CODE FOR SONAR DETECTION PREDICTION SYSTEM IN A
% DISCRETE AND HETEROGENEOUS OCEAN
% *****
% This routine run better for shallow waters and frequencies above 1.5 KHz
% *****
% Odmir A. Aguiar, D.Sc. in Oceanic Engineering
% COPPE/UFRJ - Brazil – JAN/05
% *****
echo off
clear all
clc
format long e
% *****
% OCEANOGRAPHIC FILE
% from a S,T,Z,M,lat,long archive
% (S in parts per thousand, T in Celsius and Z in meters)
% (M month (dec. is 0), lat in g.ggg, long in g.ggg)
disp('*** OCEANOGRAPHIC DATA ***');
myarea=input('Name of the area where you stay: ','s');
eval(['load ' myarea '.log!'])
eval(['oceano= ' myarea '(:,:)'])
% *****
% SEDIMENT FILE
load faceis.log
% *****
% DEPTH FILE
% from a lat,long,Z, archive
% (lat in g.ggg, long in g.ggg, Z in meters)
% (lat and long crescent)
load srf5.log
% *****
% SHIPS FILE
load parametros.log
% *****
% SHIP DATA
n_navios = size(parametros); n_navios = n_navios(1);
disp('*** SHIP INFORMATION ***');
input('Ship Code? ');
codnav = ans;
for navio = 1 :n_navios
    if codnav == parametros(navio,1)
        p_navio = parametros(navio,:);
    end
EQP = p_navio(2); % 1 for passive or 2 for active
if EQP == 2
    z_fonte = p_navio(3); % Transducer depth in meters
    angulo_I = p_navio(4); % Superior angle of the beam in degrees
    angulo_F = p_navio(5); % Inferior angle of the beam in degrees
    freq = p_navio(6); % Central Frequency in KHz;
    freq = freq*1000;
    sl_e = p_navio(7); % Projector Source Level in dB re 1 µPa
else
    angulo_I = -35; % ref p_navio(4)

```

```

angulo_F = 45; % ref p_navio(5)
freq = 0;
end
DI = p_navio(8); % Receiving Directivity Index in dB
veloc = p_navio(9); % Your standard velocity in knots
nl_e = p_navio(10); % Self-Noise Level in db re 1 µPa
DT = p_navio(11); % Detection Threshold in dB
% *****
% POSITION AND COURSE DATA - will come direct from GPS device, on real-time operation
disp('*** POSITION AND COURSE DATA ***');
input('Latitude (D.DD, S is negative)? ');
lat = ans;
lat = fix(lat*100)/100;
input('Longitude (D.DD, W is negative)? ');
long = ans;
long = fix(long*100)/100;
%input('Course of the ship (000° to 359°)? ');
%Rumo = ans;
Rumo = -1;
% *****
% GRAPHICS DATA - H-Fix increment model®
dist = 18/EQP;
% *****
% GRAPHICS DATA - Number for results - Auxiliary step table
n_Qinter = 4;
for Qinter = 1:n_Qinter
    Dir(Qinter) = 360*(Qinter-1)/n_Qinter;
    NSstep(Qinter) = cos(Dir(Qinter)*pi/180)/60;
    EWstep(Qinter) = sin(Dir(Qinter)*pi/180)/60;
end
dsup = zeros(1,n_Qinter);
dcp = zeros(1,n_Qinter);
dcs1 = zeros(1,n_Qinter);
dcs2 = zeros(1,n_Qinter);
dcs3 = zeros(1,n_Qinter);
Amp = zeros(1,n_Qinter);
% *****
% SELECT DEPTH DATA FOR 4 DIRECTIONS (n_Qinter = 4)
EtSize = size(srf5); % lat, long, depht
EtSize = EtSize(1);
EtGrid = 0.08;% in degrees -> 4.8 NM
AuxBat1 = 1;
AuxBat2 = 1;
for Et = 1:EtSize
    if srf5(Et,1) >= lat-EtGrid & srf5(Et,1) < lat+EtGrid
        if srf5(Et,2) >= long-2*dist/60 & srf5(Et,2) < long+2*dist/60
            Bat1(AuxBat1,:) = srf5(Et,:);
            AuxBat1 = AuxBat1 + 1;
        end
    if srf5(Et,1) >= lat-2*dist/60 & srf5(Et,1) < lat+2*dist/60
        if srf5(Et,2) >= long-EtGrid & srf5(Et,2) < long+EtGrid
            Bat2(AuxBat2,:) = srf5(Et,:);
            AuxBat2 = AuxBat2 + 1;
        end
    end
end
end

```

```

end
AuxBat1 = AuxBat1 - 1; AuxBat2 = AuxBat2 - 1;
% *****
% CHECK DATA
if AuxBat1 == 0 | AuxBat2 == 0
    error('The bathymetric data bank do not have enough information to continue - #BT')
end
% *****
% DEPTH NS-EW
for bns = 1:AuxBat2/2
    BatNS(bns,1) = Bat2(bns,1);
    BatNS(bns,2) = Bat2(bns,3)-(Bat2(bns,3)-Bat2(bns+AuxBat2/2,3))*(Bat2(bns,2)-long)/EtGrid;
end
for bew = 1:2:AuxBat1
    BatEW((bew-1)/2+1,1) = Bat1(bew,2);
    BatEW((bew-1)/2+1,2) = Bat1(bew,3)+(Bat1(bew,3)-Bat1(bew+1,3))*(Bat1(bew,1)-lat)/EtGrid;
end
csbew = 1;
for ib1 = 1:fix(AuxBat1/2 - 1)
    for ib2 = BatEW(ib1,1):0.01:BatEW(ib1+1,1)-0.01
        sbew(csbew,1)= fix(ib2*100)/100;
        sbew(csbew,2)= BatEW(ib1,2) - (BatEW(ib1,1)-ib2)*(BatEW(ib1,2)-BatEW(ib1+1,2))/(BatEW(ib1,1)-
BatEW(ib1+1,1));
        csbew = csbew + 1;
    end
end
csbns = 1;
for ib1 = 1:fix(AuxBat2/2 - 1)
    for ib2 = BatNS(ib1,1):0.01:BatNS(ib1+1,1)-0.01
        sbns(csbns,1)= fix(ib2*100)/100;
        sbns(csbns,2)= BatNS(ib1,2) - (BatNS(ib1,1)-ib2)*(BatNS(ib1,2)-BatNS(ib1+1,2))/(BatNS(ib1,1)-
BatNS(ib1+1,1));
        csbns = csbns + 1;
    end
end
sbM1 = max(sbns(:,2));
sbM2 = max(sbns(:,2));
sbM3 = max([sbM1 sbM2]);
Acr = 0;
if sbM3 > 200
    Acr = 1;
end
if sbM3 > 400
    Acr = 2;
end
if sbM3 > 600
    Acr = 3;
end
if sbM3 > 800
    Acr = 4;
end
if sbM3 > 1000
    Acr = 5;
end
% *****

```

```

% GRAPHICS DATA - H-Fix increment model(r)
n_faixas = dist/0.6 + 1;
n_passos = 32*(n_faixas-1);
dx = 1852*dist/n_passos;
distM = n_passos*dx;
n_cortes = 6 + Acr;
n_camadas = n_cortes - 1;
n_raios = abs(fix((EQP^3)*(angulo_l-angulo_F))); % 1° to passive and 0.125° to active
% *****
% AREA RANGE DATA
squad = 0.5; % in NM
% *****
% GRAPHICS CHOICES
GRC = 1; %- only echo excess or emission level .... normal choice ....
%GRC = 5;% - all graphics
% *****
% MONTH DATA - arraging in seasons because the poor database
disp('*** MONTH REFERENCE ***');
input('Change the month (0-no / 1-yes)? ');
otmes = ans;
if otmes ~= 1
    juliano=datenum(date); mes = str2num(datestr(juliano,5));
else
    input('Choose month (1-JAN / 2-FEV / ... / 12-DEZ)? ');
    mes = ans;
end
if mes == 12 | mes == 1
    mes = 2;
end
if mes == 3 | mes == 4
    mes = 5;
end
if mes == 6 | mes == 7
    mes = 8;
end
if mes == 9 | mes == 10
    mes = 11;
end
% *****
% ENVIRONMENTAL DATA
disp('*** METEOROLOGICAL DATA ***');
input('Sea state in Beaufort scale(0 to 12)? ');
beaufort = ans;
w_ms = 2.2966*beaufort + 1.3412;
input('Wind Velocity in knots ? ');
w_kn = ans;
w_ms1 = w_kn*1852/3600;
beaufort1 = fix((w_ms1 - 1.3412)/2.2966);
if beaufort > beaufort1
    beaufort = fix((beaufort + beaufort1)/2);
end
w_ms = 2.2966*beaufort + 1.3412;
h_ft = 0.6042*beaufort^2 - 0.5696*beaufort + 0.719;
% *****
% AIR DATA

```

```

ro_ar = 1e-006;
c_ar = 340;
% *****
% TARGET DATA
disp('*** TARGET DATA ***');
input('Choose type of target (1-submarine target / 2-surface target)? ');
info_T = ans;
info_T = fix(info_T);
if info_T < 1 | info_T > 2
    info_T = 1;
    disp('The program reset the value to 1-submarine target ');
end
% *****
% SUB TARGET
if info_T == 1
    input('Choose class of target (1-nuclear sub / 2-convencional sub / 3-torpedo / 4-mine)? ');
    info_CL = ans;
    info_CL = fix(info_CL);
    if info_CL < 1 | info_CL > 4
        info_CL = 2;
        disp('The program reset the value to 2-conventional sub ');
    end
    if info_CL == 1
        Comp_Sub=120;
        Raio_Sub=12;
        veloc_t=20;
    end
    if info_CL == 2
        Comp_Sub=70;
        Raio_Sub=6;
        veloc_t=15;
    end
    if info_CL == 3
        Comp_Sub=5;
        Raio_Sub=.3;
        veloc_t=45;
    end
    if info_CL == 4
        Comp_Sub=1;
        Raio_Sub=.4;
        veloc_t=0;
    end
    cotaPer = Raio_Sub*2 + 5;
    cotaFun = Raio_Sub;
    if EQP == 1
        input('Estimated target depth in meters? ');
        z_fonte = ans;
        db_cor = fix(-0.25*z_fonte);
        freq = 1.5; freq = freq*1000;
        sl_t = fix(3.24*(veloc_t)) + 103 - db_cor;
        TS = 10*LOG10((Raio_Sub*Comp_Sub^2)/(2*1500/freq))/2;
        if veloc_t == 45; % is a torpedo
            sl_t = 140 - db_cor;% mean of measured values
            TS = -5; % pg 324 Urick - Aspect: Beam ( -20dB Bow )
        end;
        if veloc_t == 0; % is a mine

```

```

    sl_t = 0;
    TS = 10; % pg 324 Urick - Aspect: Beam
else
    TS = 10*LOG10((Raio_Sub*Comp_Sub^2)/(2*1500/freq))/2;
end
% *****
% SURFACE TARGET
elseif info_T == 2
    input('Choose class of target (1-D or F or Cv / 2-A or C or E / 3-Small WS / 4-Cargo or Pass)? ');
    info_CL = ans;
    info_CL = fix(info_CL);
    if info_CL < 1 | info_CL > 4
        info_CL = 1;
        disp('The program reset the value to 1-D or F or Cv ');
    end
    if info_CL == 1
        snc = 10;
    end
    if info_CL == 2
        snc = 20;
    end
    if info_CL == 3
        snc = 8;
    end
    if info_CL == 4
        snc = 12;
    end
    input('Estimated target velocity in knots? ');
    veloc_t = ans;
    conv_nr = 0;
    input('The target have a convoy (0-no / 1-yes)? ');
    comboio = ans;
    if comboio == 1
        input('How many ships are with it? ');
        conv_nr = ans;
    end
    if EQP == 1
        freq = 2.5; freq = freq*1000;
        z_fonte = snc/2 - 1;
        sl_t = 0.05*veloc_t^2 - 0.27*veloc_t + 110 + snc + 2*conv_nr; % pg 346-348 Urick
    end
    TS = snc/2 + 1 + fix(rand(1)*5) + conv_nr; % Target Strength - pg 314 Urick
end
% *****
% AMBIENT-NOISE LEVEL
nl_m = 64.782 - 8.861*log(freq/1000) + Beaufort;
% *****
% NOISE LEVEL
NL = 10*LOG10(10^(nl_e/10) + 10^(nl_m/10));
% *****
% MARSH COEFFICIENT
marsh = h_ft*freq/1000;
% *****
% SOURCE LEVEL FOR CALCULUS
if EQP == 1

```

```

SL = sl_t; % Target Source Level (PASSIVE)
else
SL = sl_e; % Projector Source Level (ACTIVE)
end
% *****
% ANGLE GRADIENT
angulo_l = angulo_l*pi/180;
angulo_F = angulo_F*pi/180;
dangulo = (angulo_F - angulo_l)/(n_raios-1);
% *****
% INITIAL AREA
Area_0 = pi*(sin(dangulo/2)*cos(dangulo/2))^2; % re 1m
% *****
% CONVERT TO INTENSITY
I_ref = 10^(-6); % re 1µPa
I_SL = 10^(SL/10)*I_ref;
% *****
% T DATA OF XBT - read XBT
disp('*** XBT DATA ***');
input('Refine T data with XBT archive? (0-no / 1-yes) ');
XBT = ans;
if XBT == 1
    xbtlog = input('Name of XBT archive: ','s');
    eval(['load ' xbtlog '.log'])
    eval(['Tbt = ' xbtlog '(:,:)']);
    count2 = size(Tbt); count2 = count2(1);
end
%tempoCorr = cputime;
% *****
% REBUILT THE Z DATA
sbZ = zeros(4,n_faixas);
for clong = 1:csbew-1
    if sbew(clong,1) == long
        if EQP == 2
            sbZ(2,1:n_faixas) = rot90(sbew(clong:clong+n_faixas-1,2));
            sbZ(4,1:n_faixas) = rot90(rot90(rot90(sbew(clong-n_faixas+1:clong,2))));
        else
            sbZ(2,1:n_faixas) = rot90(rot90(rot90(sbew(clong:clong+n_faixas-1,2))));
            sbZ(4,1:n_faixas) = rot90(sbew(clong-n_faixas+1:clong,2));
        end
    end
end
for clat=1:csbns-1
    if sbns(clat,1) == lat
        if EQP == 2
            sbZ(1,1:n_faixas) = rot90(sbns(clat:clat+n_faixas-1,2));
            sbZ(3,1:n_faixas) = rot90(rot90(rot90(sbns(clat-n_faixas+1:clat,2))));
        else
            sbZ(1,1:n_faixas) = rot90(rot90(rot90(sbns(clat:clat+n_faixas-1,2))));
            sbZ(3,1:n_faixas) = rot90(sbns(clat-n_faixas+1:clat,2));
        end
    end
end
if sbZ(1,1) ~= sbZ(2,1)
    msbZ = (sbZ(1,1)+sbZ(2,1))/2;
    dsbZ1 = sbZ(1,1) - msbZ;
end

```

```

sbZ(1,:) = sbZ(1,):- dsbZ1;
sbZ(3,:) = sbZ(3,):- dsbZ1;
dsbZ2 = sbZ(2,1) - msbZ;
sbZ(2,:) = sbZ(2,):- dsbZ2;
sbZ(4,:) = sbZ(4,):- dsbZ2;
end
% *****
% EXPONENCIAL Z GRID
for corte = 1:n_cortes
    rIZ(corte,1) = (1.1 + Acr/20)^(corte-1)-1;
end
rIZ = rIZ/max(rIZ);
%tempoCorr1 = cputime;
% *****
% QUADRANTAL INTERACTION
for Qinter = 1:n_Qinter
    %tempoCorr = cputime;
% *****
% CHECK DATA
    if min(sbZ(Qinter,:)) > 0
% *****
% MY AREA - T,S,Z DATA
        OcSize = size(oceano); OcSize = OcSize(1);
        oS = zeros(max(sbZ(Qinter,:))+1,n_faixas);
        oT = zeros(max(sbZ(Qinter,:))+1,n_faixas);
        oZ = zeros(max(sbZ(Qinter,:))+1,n_faixas);
        oE = zeros(max(sbZ(Qinter,:))+1,n_faixas);
        for faixa = 1:n_faixas
            oZ(:,faixa) = rot90(rot90(rot90(linspace(0,max(sbZ(Qinter,:)),max(sbZ(Qinter,:))+1))));
            for Oc = 1:OcSize
                if oceano(Oc,4) <= mes & oceano(Oc,4) >= mes-2
                    if oceano(Oc,5) >= lat-squad+(faixa-1)*NSstep(Qinter) & oceano(Oc,5) <= lat+squad+(faixa-1)*NSstep(Qinter)
                        if oceano(Oc,6) >= long-squad+(faixa-1)*EWstep(Qinter) & oceano(Oc,6) <= long+squad+(faixa-1)*EWstep(Qinter)
                            for prof = 1:max(sbZ(Qinter,:))+1
                                if oZ(prof,faixa) == oceano(Oc,3)
                                    oS(prof,faixa) = oS(prof,faixa) + oceano(Oc,1);
                                    oT(prof,faixa) = oT(prof,faixa) + oceano(Oc,2);
                                    oE(prof,faixa) = oE(prof,faixa) + 1;
                                end
                            end
                        end
                    end
                end
            end
        end
% *****
% AUXILIARY LAB VARIABLES
    IS = zeros(500,n_faixas);% up to 2500m in 5m step
    IT = zeros(500,n_faixas);
    LZ = zeros(500,n_faixas);
    rS = zeros(n_cortes,n_faixas);
    rT = zeros(n_cortes,n_faixas);
    rZ = zeros(n_cortes,n_faixas);
% *****

```

```

% REFINE THE T,S,Z DATA - keep off blanks & mean values
  for faixa = 1:n_faixas
% *****
% AUXILIARY LAB VARIABLES
    count = 1;
    for prof = 1:max(oZ(:,faixa))
        if oE(prof,faixa) ~= 0
            IS(count,faixa) = oS(prof,faixa)./oE(prof,faixa);
            IT(count,faixa) = oT(prof,faixa)./oE(prof,faixa);
            IZ(count,faixa) = oZ(prof,faixa);
            count = count+1;
        end
    end
    count = count - 1;
% *****
% CHECK DATA
    if count == 0
        error('The oceanographic data bank do not have enough information to continue - #DB')
    end
% *****
% REBUILT THE Z DATA
    rZ(:,faixa) = sbZ(Qinter,faixa)*rlZ;
% *****
% REFINE THE T,S DATA
    for corte = 1:n_cortes
        flagSTZ = 0;
        for auxZ = 2:count
            if IZ(auxZ,faixa) >= rZ(corte,faixa) & flagSTZ == 0
                rS(corte,faixa)=IS(auxZ-1,faixa)-(IZ(auxZ-1,faixa)-rZ(corte,faixa))*(IS(auxZ-1,faixa)-
IS(auxZ,faixa))/(IZ(auxZ-1,faixa)-IZ(auxZ,faixa));
                rT(corte,faixa)=IT(auxZ-1,faixa)-(IZ(auxZ-1,faixa)-rZ(corte,faixa))*(IT(auxZ-1,faixa)-
IT(auxZ,faixa))/(IZ(auxZ-1,faixa)-IZ(auxZ,faixa));
                flagSTZ = 1;
            end
        end
        if rS(corte,faixa)== 0 & corte > 2
            rS(corte,faixa) = 2*rS(corte-1,faixa)-rS(corte-2,faixa);
        end
        if rT(corte,faixa)== 0 & corte > 2
            rT(corte,faixa) = 2*rT(corte-1,faixa)-rT(corte-2,faixa);
        end
    end
    if XBT == 1
        for corte = 1:n_cortes
            flagSTZ = 0;
            if max(Tbt(:,1)) > 50 % first column is depht (Z,T,...)
                for auxZ = 2:count2
                    if Tbt(auxZ,1) > rZ(corte,faixa) & flagSTZ == 0
                        rT(corte,faixa)=Tbt(auxZ-1,2)-(Tbt(auxZ-1,1)-rZ(corte,faixa))*(Tbt(auxZ-1,2)-
Tbt(auxZ,2))/(Tbt(auxZ-1,1)-Tbt(auxZ,1));
                        ZT = 1;
                        flagSTZ = 1;
                    end
                else % second column is depht (T,Z,...)
                    for auxZ = 2:count2

```

```

        if Tbt(auxZ,2) > rZ(corte,faixa) & flagSTZ == 0
            rT(corte,faixa)=Tbt(auxZ-1,1)-(Tbt(auxZ-1,2)-rZ(corte,faixa))*(Tbt(auxZ-1,1)-
Tbt(auxZ,1))/(Tbt(auxZ-1,2)-Tbt(auxZ,2));
            ZT = -1;
            flagSTZ = 1;
        end
    end
end
end
end
end
% *****
% CREATE THE MATRIXES - s,t and z
    Sij = zeros(n_cortes,n_passos);
    Tij = zeros(n_cortes,n_passos);
    Zij = zeros(n_cortes,n_passos);
    for corte = 1:n_cortes
        if EQP == 2
            for faixa = 1:n_faixas-1
                Sij(corte,1+(faixa-1)*fix(n_passos/(n_faixas-1)):faixa*fix(n_passos/(n_faixas-
1)))=linspace(rS(corte,faixa),rS(corte,faixa+1),fix(n_passos/(n_faixas-1)));
                Tij(corte,1+(faixa-1)*fix(n_passos/(n_faixas-1)):faixa*fix(n_passos/(n_faixas-
1)))=linspace(rT(corte,faixa),rT(corte,faixa+1),fix(n_passos/(n_faixas-1)));
                Zij(corte,1+(faixa-1)*fix(n_passos/(n_faixas-1)):faixa*fix(n_passos/(n_faixas-
1)))=linspace(rZ(corte,faixa),rZ(corte,faixa+1),fix(n_passos/(n_faixas-1)));
            end
        else
            for faixa = 1:n_faixas-1
                Sij(corte,1+(faixa-1)*fix(n_passos/(n_faixas-1)):faixa*fix(n_passos/(n_faixas-
1)))=linspace(rS(corte,n_faixas+1-faixa),rS(corte,n_faixas-faixa),fix(n_passos/(n_faixas-1)));
                Tij(corte,1+(faixa-1)*fix(n_passos/(n_faixas-1)):faixa*fix(n_passos/(n_faixas-
1)))=linspace(rT(corte,n_faixas+1-faixa),rT(corte,n_faixas-faixa),fix(n_passos/(n_faixas-1)));
                Zij(corte,1+(faixa-1)*fix(n_passos/(n_faixas-1)):faixa*fix(n_passos/(n_faixas-
1)))=linspace(rZ(corte,n_faixas+1-faixa),rZ(corte,n_faixas-faixa),fix(n_passos/(n_faixas-1)));
            end
        end
        Sij(corte,n_passos) = Sij(corte,n_passos-1);
        Tij(corte,n_passos) = Tij(corte,n_passos-1);
        Zij(corte,n_passos) = Zij(corte,n_passos-1);
    end
% *****
% CREATE THE MATRIX c - Medwin formula
    Cij = 1449.2+4.6.*Tij-0.055.*(Tij.^2)+0.00029.*(Tij.^3)+(1.34-0.010.*Tij).*(Sij-
35)+1.55.*0.00001*(1+0.001.*Sij).*Zij;
% *****
% CREATE THE MATRIX ro -
    Roi = 1000 + (-0.093 + 0.8149.*Sij - 0.000482.*Sij.^2 + 0.0000068.*Sij.^3);
% *****
% MAY AREA - SEDIMENT DATA
    fRo = zeros(n_faixas,1);
    fC = zeros(n_faixas,1);
    fE = zeros(n_faixas,1);
    FaSize = size(faceis); FaSize = FaSize(1);
    geol = 0;
    for faixa = 1:n_faixas

```

```

    for Fac = 1:FaSize
        if faceis(Fac,1) >= lat-squad+(faixa-1)*NSstep(Qinter) & faceis(Fac,1) <= lat+squad+(faixa-
1)*NSstep(Qinter)
            if faceis(Fac,2) >= long-squad+(faixa-1)*EWstep(Qinter) & faceis(Fac,2) <= long+squad+(faixa-
1)*EWstep(Qinter)
                fRo(faixa) = fRo(faixa) + faceis(Fac,3);
                fC(faixa) = fC(faixa) + faceis(Fac,4);
                fE(faixa) = fE(faixa) + 1;
            end
        end
    end
end
% *****
% CHECK DATA
    if fE(faixa) == 0
        if geol == 0
            disp('The geological data bank do not have enough information, standard values loaded - #GE')
            geol = 1;
        end
        fRo(faixa) = 1820;
        fC(faixa) = 1675;
        fE(faixa) = 1;
    end
end
% *****
% REFINE THE SEDIMENT DATA - mean values
    for faixa = 1:n_faixas
        fRo(faixa) = fRo(faixa)./fE(faixa);
        fC(faixa) = fC(faixa)./fE(faixa);
    end
% *****
% CREATE LINE WITH VALUES OF fRo and fC
    RoFi = zeros(n_passos,1);
    CFi = zeros(n_passos,1);
    for faixa = 1:n_faixas-1
        if EQP == 2
            RoFi(1+(faixa-1)*fix(n_passos/(n_faixas-1)):faixa*fix(n_passos/(n_faixas-
1)))=linspace(fRo(faixa),fRo(faixa+1),fix(n_passos/(n_faixas-1)));
            CFi(1+(faixa-1)*fix(n_passos/(n_faixas-1)):faixa*fix(n_passos/(n_faixas-
1)))=linspace(fC(faixa),fC(faixa+1),fix(n_passos/(n_faixas-1)));
        else
            RoFi(1+(faixa-1)*fix(n_passos/(n_faixas-1)):faixa*fix(n_passos/(n_faixas-
1)))=linspace(fRo(n_faixas+1-faixa),fRo(n_faixas-faixa),fix(n_passos/(n_faixas-1)));
            CFi(1+(faixa-1)*fix(n_passos/(n_faixas-1)):faixa*fix(n_passos/(n_faixas-
1)))=linspace(fC(n_faixas+1-faixa),fC(n_faixas-faixa),fix(n_passos/(n_faixas-1)));
        end
    end
    RoFi(n_passos) = RoFi(n_passos-1);
    CFi(n_passos) = CFi(n_passos-1);
% *****
% Z AXIS
    zf_max = max(fix(Zij(n_cortes,:))+1);
    zfi_max = fix(Zij(n_cortes,:))+1;
    eixoZ = linspace(0,zf_max-1,zf_max);
    profundi = zeros(n_camadas+1, 2);
% *****

```

```

% RAY TRACING VARIABLES
raio_x = zeros(n_passos, 1);
raio_y = zeros(n_passos, n_raios);
raio_a = zeros(n_passos, n_raios);
raio_s = zeros(n_passos, n_raios);
raio_c = zeros(n_passos, n_raios);
RefSup = zeros(n_passos, n_raios);
RefFun = zeros(n_passos, n_raios);
draio_y = zeros(n_passos, n_raios-1);
% *****
% LOSSES VARIABLES
Intens = ones(zf_max, n_passos)*10^(-SL/10);
TL = zeros(zf_max, n_passos);
alfa_nor = zeros(zf_max, n_passos);
Calfa = zeros(n_passos, 6);
% *****
% DEPTH DETECTION COEFFICIENT
if XBT == 0
    CDP = ones(zf_max, n_passos);
    for i = 1:zf_max
        if i < TS*10 + 1
            ii = i;
        else
            ii = TS*10 + 1;
        end
        CDP(i,:) = ones(1, n_passos)*(ii-1)*0.1;
    end
% *****
% SCATTERING VARIABLES
ScatS = zeros(1, n_passos);
ScatF = zeros(1, n_passos);
I_s = 0;
SC = zeros(zf_max, n_passos);
% *****
% BOTTOM GRADIENT
aZi = zeros(n_passos, 1);
for passo = 1:n_passos-1
    aZi(passo) = atan((Zij(n_cortes, passo)-Zij(n_cortes, passo+1))/dx);
end
aZi(n_passos) = aZi(n_passos-1);
% *****
% SPEED GRADIENT
for camada = 1:n_camadas
    dcij(camada,:) = (Cij(camada+1,:)-Cij(camada,:))./(Zij(camada+1,:)-Zij(camada,:));
end
% *****
% SOURCE DATA
for camada = 1:n_camadas-1
    if Zij(camada, 1) <= z_fonte & Zij(camada+1, 1) > z_fonte
        ca_fonte = camada;
    end
end
c_fonte = Cij(ca_fonte, 1) + dcij(ca_fonte, 1)*(z_fonte-Zij(ca_fonte, 1));
% *****
% "THE RAY TRACING"(r)

```

```

    for raio = 1:n_raios
% *****
% RESET PARAMETERS FOR A NEW RAY
    for camada = 1:n_camadas
        profundi(camada,1) = Zij(camada,1);
        profundi(camada,2) = Zij(camada+1,1);
    end
    z_fundo = max(Zij(:,1));
    camada1 = ca_fonte;
    zmin = profundi(camada1,1);
    zmax = profundi(camada1,2);
    x1 = 0;
    z1 = z_fonte ;
    a1 = angulo_l + dangulo*(raio-1);
    c1 = c_fonte;
    soma_ds = 0;
    for passo = 1:n_passos;
% *****
% SET NEW PARAMETERS FOR THE NEXT STEP
        for camada = 1:n_camadas
            profundi(camada,1) = Zij(camada,passo);
            profundi(camada,2) = Zij(camada+1,passo);
        end
        zmin = profundi(camada1,1);
        zmax = profundi(camada1,2);
        z = Zij(:,passo); z = [z ;z_fonte];
        c = Cij(:,passo); c = [c ;c_fonte];
        dc = dcij(:,passo);
        z_fundo = max(Zij(:,passo));
% *****
% PREVIEW WHERE THE RAY IS GOING TO (Z)
        if a1 == 0
            a2 = -1*asin(dc(camada1)/c1);
            dz = dx*tan(a2);
            c2 = c1 + dc(camada1)*dz;
        else
            dz = dx*tan(a1);
            c2 = c1 + dc(camada1)*dz;
            a2 = acos(cos(a1)*c2/c1)*sign(a1);
        end
        if (cos(a1)*c2/c1)>1
            a2 = -a1;
            dz = 0;
        end
        x2 = (passo-1) * dx;
        z2 = z1 + dz;
% *****
% GOING TO UPPER LAYER
        if z2 <= zmin
% *****
% NO SURFACE REFLECTION
            if z2 > 0;
                dz2 = zmin-z2;
                dz2 = dz2*c1/c(camada1-1);
                z2 = zmin-dz2;
            end
        end
    end
end

```

```

dz = z2 - z1;
c2 = c(camada1-1) +dc(camada1-1)*(z2-z(camada1-1));
a2 = acos(cos(a1)*c2/c1)*sign(a1);
if (cos(a1)*c2/c1)>1
    a2 = 0;
end
camada1 = camada1 - 1;
% *****
% SURFACE REFLECTION
else;% z2 <= 0
z2 = -z2; % this jump may cause a visual distortion
RefSup(passo,raio) = 1;
AngSctS = 1.5*(rand(1)-.5)*(pi/180)*w_ms/60;% max 0.375° variation
if z2 <= zmax
    c2 = c(1) +dc(1)*z2;
    a2 = -acos(cos(a1)*c2/c1)*sign(a1) + AngSctS;
    if (cos(a1)*c2/c1) > 1;
        a2 = -a1 + AngSctS;
    end
else % z2 pass through the surface layer
dz2 = z2-zmax;
dz2 = dz2*c1/c(camada1+1);
z2 = zmax + dz2;
dz = z2 - z1;
c2 = c(camada1+1) + dc(camada1+1)*(z2-z(camada1+1));
a2 = acos(cos(a1)*c2/c1)*sign(a1) + AngSctS;
if (cos(a1)*c2/c1)>1
    a2 = -a1 + AngSctS;
end
camada1 = camada1 + 1;
end
end
end
% *****
% GOING TO DOWNER LAYER
if z2 >= zmax
% *****
% NO BOTTOM REFLECTION
if z2 < z_fundo
if camada1 == n_camadas
    error('Problems in the ray tracing, check yuor data! - #RT')
end
dz2 = z2-zmax;
dz2 = dz2*c1/c(camada1+1);
z2 = zmax + dz2;
dz = z2 - z1;
c2 = c(camada1+1) + dc(camada1+1)*(z2-z(camada1+1));
a2 = acos(cos(a1)*c2/c1)*sign(a1);
if (cos(a1)*c2/c1)>1
    a2 = 0;
end
camada1 = camada1 + 1;
% *****
% BOTTOM REFLECTION
else

```

```

z2 = 2*z_fundo-z2;% this jump may cause a visual distortion
RefFun(passo,raio) = 1;
k = 2*pi*freq/c(n_camadas);
AngSctB = 0.5*(rand(1)-.5)*(pi/180)*k/120;% max 0.125° variation
if z2 >= zmin
    c2 = c(n_camadas) + dc(n_camadas)*(z2-z(n_camadas));
    a2 = -acos(cos(a1+aZi(passo))*c2/c1)*sign(a1+aZi(passo)) + AngSctB + aZi(passo);
    if (cos(a1+aZi(passo))*c2/c1)>1
        a2 = -a1 + AngSctB + 2*aZi(passo);
    end
else % z2 pass through the bottom layer
    if camada1 == 1
        error('Problems in the ray tracing, check your data! - #RT')
    end
    dz2 = zmin-z2;
    dz2 = dz2*c1/c(camada1-1);
    z2 = zmin-dz2;
    dz = z2 - z1;
    c2 = c(camada1-1) + dc(camada1-1)*(z2-z(camada1-1));
    a2 = -acos(cos(a1+aZi(passo))*c2/c1)*sign(a1+aZi(passo)) + AngSctB + aZi(passo);
    if (cos(a1+aZi(passo))*c2/c1)>1
        a2 = -a1 + AngSctB + 2*aZi(passo);
    end
    camada1 = camada1 - 1;
end
end
% *****
% CHECK Z DATA - to prevent errors caused by random angles
if z1 < 0
    z1 = 0;
end
if z1 > z_fundo
    z1 = z_fundo;
end
% *****
% ARCHIVE NECESSARY DATA
raio_x(passo) = x1;
raio_y(passo, raio) = z1;
raio_a(passo, raio) = a1;
raio_c(passo, raio) = c1;
soma_ds = soma_ds + (dz*dz + dx*dx)^(0.5);
raio_s(passo, raio) = soma_ds;
% *****
% PREPARE FOR NEXT STEP
x1 = x2;
z1 = z2;
a1 = a2;
c1 = c(camada1) + dc(camada1)*(z2-z(camada1));
end
end
% *****
% CALCULATE THE "ALFA"
mi_F = (1-1.1908*10^(-5).*Zij).*(-6*10^(-6).*Tij.^5+2*10^(-7).*Tij.^4-2*10^(-5).*Tij.^3+.0015.*Tij.^2-
0.0625.*Tij+1.8084)/(10^3);

```

```

    dmi_F = (1-1.1908*10^(-5). *Zij). *(2*10^(-8). *Tij.^5-2*10^(-6). *Tij.^4+10^(-5). *Tij.^3+.0047*Tij.^2-
0.2264.*Tij+5.5966)/(10^3);
    freq_rm = 21.9*(10.^(6-1520./(Tij+273)));
    freq_rb = 0.9*(1.5.^(Tij/18));
    alfa_rm = (1 - 1.22.*Zij*10^(-4)). *(Sij*2.03*(10^(-
5)). *freq_rm. *((freq/1000)^2)). /((freq/1000)^2+freq_rm.^2);
    alfa_rb = (1.2*(10^(-4))*freq_rb. *((freq/1000)^2)). /((freq/1000)^2+freq_rb.^2);
    alfa_F = (1.71*(10^8)*(4*mi_F./3+dmi_F)*((freq/1000)^2)). /(((Cij-(1.34-0.01*Tij). *(Sij-35)). ^3)*1000);
    alfa = alfa_F + alfa_rm + alfa_rb;
    for passo = 1:n_passos
        Calfa(passo,:) = polyfit(Zij(1:n_cortes,passo),alfa(:,passo),5);
        alfa_nor(:,passo) = rot90(rot90(rot90(polyval(Calfa(passo,:),eixoZ))));
    end
% *****
% REFRACTION EFFECTS
    for raio = 1:n_raios-1
        l_feixe = l_SL;
        Area_1 = Area_0;
        t_sup = 0;
        t_inf = 0;
        for passo = 1:n_passos-1
            prof1 = fix(raio_y(passo,raio))+1;
            prof2 = fix(raio_y(passo,raio+1))+1;
            if prof1 <= prof2
                prof_sup = prof1; prof_inf = prof2;
            else
                prof_sup = prof2; prof_inf = prof1;
            end
            if RefSup(passo,raio) == 1
                t_sup = 1;
            end
            if RefSup(passo,raio+1) == 1
                t_sup = 0;
            end
            if RefFun(passo,raio+1) == 1
                t_inf = 1;
            end
            if RefFun(passo,raio) == 1
                t_inf = 0;
            end
            dh = prof_sup - prof_inf;
            if t_sup == 1
                dh = prof_sup + prof_inf;
            end
            if t_inf == 1
                dh = 2*Zij(n_cortes,passo)-(prof_sup + prof_inf);
            end
            Area_2 = pi*(dh/2)^2;
            if dh == 0
                Area_2 = Area_0;% caustic
            end
            GA = Area_2/Area_1;
            l = l_feixe/GA;
% *****
% ABSORPTION

```

```

Am = alfa_nor(prof_sup,passo);
dB_abs = (raio_s(passo+1,raio)-raio_s(passo,raio))*Am;
Coef_abs = 10^(-dB_abs/10);
if Coef_abs > 1 | Coef_abs < 0
    error('Problems to build the Absorption Coefficient - #AB')
end
I = I*Coef_abs^2;
% *****
% SURFACE REFLECTION
crit_a1 = acos(raio_c(passo,raio)/c_ar); % grazing angle
ang_i1 = acos(cos(raio_a(passo,raio)));
ang_t1 = c_ar*ang_i1/Cij(1,passo);
RR_10 = -(ro_ar*c_ar*sin(ang_i1)-
(Roij(1,passo))*Cij(1,passo)*sin(ang_t1))/(ro_ar*c_ar*sin(ang_i1)+(Roij(1,passo))*Cij(1,passo)*sin(ang_t1)
);
if RR_10 > 1 | RR_10 < 0.9
    error('Problems to build the Surface Reflection Coefficient - #SR')
end
if crit_a1 >= ang_i1
    RR_10 = 1;
end
% *****
% SURFACE SCATTERING / BOUNCE
dB_10 = abs(-0.0021*marsh^2 + 0.331*marsh - 0.0046);
Coef_ScS = 10^(-dB_10/10);
if Coef_ScS > 1 | Coef_ScS < 0
    error('Problems to build the Surface Scattering Coefficient- #SS')
end
% *****
% APPLY SURFACE COEFFICIENTS
if RefSup(passo,raio+1) == 1
    I = I*RR_10^2;
    I = I*Coef_ScS^2;
    ScatS(passo) = ScatS(passo) + I*(1-Coef_ScS^2);
end
% *****
% BOTTOM REFLECTION
crit_a2 = acos(raio_c(passo,raio)/CFi(passo)); % grazing angle
ang_i2 = acos(cos(raio_a(passo,raio)));
ang_t2 = CFi(passo)*ang_i2/Cij(n_cortes,passo);
RR_12 = (RoFi(passo)*CFi(passo)*sin(ang_i2)-
(Roij(n_cortes,passo))*Cij(n_cortes,passo)*sin(ang_t2))/(RoFi(passo)*CFi(passo)*sin(ang_i2)+(Roij(n_cort
es,passo))*Cij(n_cortes,passo)*sin(ang_t2));
if RR_12 > 0.5 | RR_12 < 0
    error('Problems to build the Bottom Reflection Coefficient - #BR')
end
if crit_a2 >= ang_i2
    RR_12 = 1;
end
% *****
% BOTTOM SCATTERING / VISCOUS LOSSES
Rr =(RoFi(passo)*CFi(passo))/(Roij(n_cortes,passo)*Cij(n_cortes,passo));
dB_12 = -20*LOG10((Rr-1)/(Rr+1));
Coef_ScF = 10^(-dB_12/10);
if Coef_ScF > 1 | Coef_ScF < 0

```

```

        error('Problems to build the Bottom Scattering Coeficient - #BS')
    end
% *****
% APPLY BOTTOM COEFFICIENTS
    if RefFun(passo,raio) == 1
        I = I*RR_12^2;
        I = I*Coef_ScF^2;
        ScatF(passo) = ScatF(passo) + I*(1-Coef_ScF^2);
    end
% *****
% CALCULATE INTENSITY
    if t_sup == 0 & t_inf == 0
        for prof = prof_sup:prof_inf-1
            Intens(prof,passo) = Intens(prof,passo) + I;
        end
    end
    if t_sup == 1
        for prof = 1:prof1-1
            Intens(prof,passo) = Intens(prof,passo) + I*(Coef_ScS^2)*(RR_10^2);
        end
        for prof = 1:prof2-1
            Intens(prof,passo) = Intens(prof,passo) + I;
        end
    end
    if t_inf == 1
        for prof = prof1+1:Zij(n_cortes,passo)
            Intens(prof,passo) = Intens(prof,passo) + I;
        end
        for prof = prof2+1:Zij(n_cortes,passo)
            Intens(prof,passo) = Intens(prof,passo) + I*(Coef_ScF^2)*(RR_12^2);
        end
    end
% *****
% NEW VALUES
    I_feixe = I;
    Area_1 = Area_2;
% *****
% MIXING WITH AMBIENT NOISE - DESTRUCTIVE EFFECT
    if I_feixe < (10^(nl_m/10))/2 & EQP == 2% 3dB below ambient noise for active detection
        I_feixe = 0;
    end
end
end
% *****
% FILLING THE BORDERS
    Intens(:,n_passos) = Intens(:,n_passos-1);
    Intens(zf_max,:) = Intens(zf_max-1,:);
% *****
% SCATTERING GAIN - AGUIAR's MODEL(r)
    if EQP == 2 % only for active detection
        I_sc = zeros(fix(Zij(n_cortes,passo))+1,n_passos);
        I_i = mean(mean(Intens));
        pap = I_i/I_SL;
        BoxD = hanning(fix(zf_max/dx));
        distDS = conv(BoxD,ScatS);
        distDF = conv(BoxD,ScatF);
    end
end
end

```

```

convDS = size(distDS);
convD = convDS(2);
distDS = distDS(1,1+fix(convD/2)-fix(n_passos/2):convD);
distDF = distDF(1,1+fix(convD/2)-fix(n_passos/2):convD);
distDS = distDS(1:n_passos);
distDF = distDF(1:n_passos);
BoxZ = zeros(zf_max*2,1);
BoxZ(1+zf_max/2:3*zf_max/2) = hanning(zf_max);
distZS = BoxZ(zf_max+1:zf_max*2);
distZF = BoxZ(1:zf_max);
distZDS = (distZS*distDS);
distZDF = (distZF*distDF);
distZD = (distZDS+distZDF);
distSS = distZDS/max(max(distZD));
distSF = distZDF/max(max(distZD));
I_scS = distSS.*mean(ScatS)*pap;
I_scF = distSF.*mean(ScatF)*pap;
for passo = 1:n_passos
    for prof = 1:fix(Zij(n_cortes,passo))+1
        I_sc(prof,passo) = I_scS(prof,passo) + I_scF(prof+fix((max(Zij(n_cortes,:))-
Zij(n_cortes,passo))),passo);
    end
end
Intens = Intens + I_sc;
ISC = fix(max(max(10*LOG10(I_sc)))/10)*10 + 10;
end
% *****
% CALCULATE ONE-WAY TRANSMISSION LOSSES
TL = -10*LOG10(Intens/I_SL);
% *****
% PLOT SCATTERING INCREMENT
if GRC == 5
    if EQP == 2
        if ISC > 0
            figure(1+(Qinter-1)*7), pcolor(raio_x/1852, eixoZ, 10*LOG10(I_sc));
            caxis([0 ISC]);
            shading interp;
            colormap(jet);
            colorbar;
            hold on;
            figure(1+(Qinter-1)*7), plot(raio_x/1852,Zij(n_cortes,:),'k-')
            title( 'Scattering Increment [dB]' )
            xlabel( 'Distance [NM]' );
            ylabel( 'Depth [m]' );
            text(dist+dist/30,-zf_max/25,['Direction ' num2str(Dir(Qinter)) '°']);
            view(0,-90);
            hold off;
        end
    end
end
% *****
% PLOT RAY TRACING
figure (2+(Qinter-1)*7), plot(raio_x/1852,raio_y)
hold on;
for corte = 2:n_cortes-1
    figure (2+(Qinter-1)*7), plot(raio_x/1852,Zij(corte,:),'k--')

```

```

end
figure (2+(Qinter-1)*7), plot(raio_x/1852,Zij(n_cortes,:),'k.-')
title( 'Ray Tracing' );
xlabel( 'Distance [NM]' );
ylabel( 'Depth [m]' );
text(dist-dist/10,-zf_max/25,['Direction ' num2str(Dir(Qinter)) '°']);
view(0,-90);
hold off;
% *****
%PLOT T PROFILE
tf = 1;
for faixa = 2:n_faixas
    if rZ(n_cortes,faixa) > rZ(n_cortes,tf)
        tf = faixa;
    end
end
sIT = size(IT); sIT = sIT(1);
for count = sIT:-1:1
    if IT(count,tf) == 0
        count1 = count;
    end
end
count1 = count1 - 1;
figure (3+(Qinter-1)*7), plot(IT(1:count1,tf),lZ(1:count1,tf),'r')
hold on;
figure (3+(Qinter-1)*7), plot(rT(:,tf),rZ(:,tf),'b')
if XBT == 1
    if ZT == 1
        figure (3+(Qinter-1)*7), plot(Tbt(1:count2,2),Tbt(1:count2,1),'m')
    else
        figure (3+(Qinter-1)*7), plot(Tbt(1:count2,1),Tbt(1:count2,2),'m')
    end
end
title( 'Temperature Profile' );
xlabel( 'Degrees Celsius [°C]' );
ylabel( 'Depth [m]' );
text(25,-zf_max/25,['Direction ' num2str(Dir(Qinter)) '°']);
view(0,-90);
hold off
% *****
%PLOT S PROFILE
figure (4+(Qinter-1)*7), plot(IS(1:count1,tf),lZ(1:count1,tf),'r')
hold on;
figure (4+(Qinter-1)*7), plot(rS(:,tf),rZ(:,tf),'b')
title( 'Salinity Profile' );
xlabel( 'Parts Per Thousand [°/oo]' );
ylabel( 'Depth [m]' );
text(36.5,-zf_max/25,['Direction ' num2str(Dir(Qinter)) '°']);
view(0,-90);
hold off
% *****
% PLOT SOUND PROFILES
figure(5+(Qinter-1)*7), plot(Cij(1:n_cortes,1),Zij(1:n_cortes,1),'r');
hold on;
figure(5+(Qinter-1)*7), plot(Cij(1:n_cortes,fix(n_passos/3)),Zij(1:n_cortes,fix(n_passos/3)),'g');

```

```

figure(5+(Qinter-1)*7), plot(Cij(1:n_cortes,fix(2*n_passos/3)),Zij(1:n_cortes,fix(2*n_passos/3)),'b');
figure(5+(Qinter-1)*7), plot(Cij(1:n_cortes,n_passos),Zij(1:n_cortes,n_passos),'m');
xlabel( 'Sound Speed [m/s]' );
ylabel( 'Depth [m]' );
title( 'Sound Speed Profiles' )
text(1530,-zf_max/25,['Direction ' num2str(Dir(Qinter)) '°']);
view(0,-90);
hold off;
% *****
% PLOT TRANSMISSION LOSSES
figure(6+(Qinter-1)*7), pcolor(raio_x/1852, eixoZ,-1*EQP*TL);
caxis([-EQP*SL 0]);
shading interp;
colormap(hot);
colorbar;
hold on;
figure(6+(Qinter-1)*7), plot(raio_x/1852,Zij(n_cortes,:),'b.-')
if EQP == 2
    title( 'Two-way Transmission Losses [dB]' )
else
    title( 'One-way Transmission Losses [dB]' )
end
xlabel( 'Distance [NM]' );
ylabel( 'Depth [m]' );
text(dist+dist/30,-zf_max/25,['Direction ' num2str(Dir(Qinter)) '°']);
view(0,-90);
hold off;
end % belong to GRC - first group of graphics
% *****
% CALCULATE THE FIG
if EQP == 1
    FIG = SL - TL - (NL - DI + DT); % passive equation
else
    FIG = SL - 2*TL + TS - (NL - DI + DT); % active equation
end
% *****
% CALCULATE DETECTION RANGES
WH = 0;
if EQP == 2
    if XBT = 0
        FIG = FIG - CDP;
    else
        FIG = FIG - TS;
    end
flag4 = 0; flag5 = 0; flag6 = 0; flag7 = 0; flag8 = 0;
z_cota = zf_max;
if info_T == 1
    z_cota = zf_max - cotaFun;
    if z_cota > Raio_Sub*50
        z_cota = Raio_Sub*50;
    end
MPPi = zeros(z_cota,2);
for prof = 1: z_cota
    MPPi(prof,2) = prof;
end

```

```

CotaF = z_cota;
if z_cota > fix(min(Zij(n_cortes,:)))
    CotaF = fix(min(Zij(n_cortes,:)) - cotaFun;
end
end
for passo = n_passos-1:-1:3
    if info_T == 2
        if min(min(FIG(2:8,passo-2:passo))) > WH & flag4 == 0
            dsup(Qinter) = fix(((passo)*dx/1852)*100)/100; % detection range for surface in NM
            flag4 = 1;
        end
    else
        if min(min(FIG(cotaPer-Raio_Sub:cotaPer+Raio_Sub,passo-2:passo))) > WH & flag5 == 0
            dcp(Qinter) = fix(((passo)*dx/1852)*100)/100; % detection range at periscope depth in NM
            flag5 = 1;
        end
    end
    if min(min(FIG(fix(CotaF/5)-Raio_Sub:fix(CotaF/5)+Raio_Sub,passo-2:passo))) > WH & flag6 ==
0
        dcs1(Qinter) = fix(((passo)*dx/1852)*100)/100; % detection range at select depth in NM
        flag6 = 1;
    end
    if min(min(FIG(fix(2*CotaF/5)-Raio_Sub:fix(2*CotaF/5)+Raio_Sub,passo-2:passo))) > WH & flag7
== 0
        dcs2(Qinter) = fix(((passo)*dx/1852)*100)/100; % detection range at select depth in NM
        flag7 = 1;
    end
    if min(min(FIG(fix(3*CotaF/5)-Raio_Sub:fix(3*CotaF/5)+Raio_Sub,passo-2:passo))) > WH & flag8
== 0
        dcs3(Qinter) = fix(((passo)*dx/1852)*100)/100; % detection range at select depth in NM
        flag8 = 1;
    end
    end
    for prof = cotaPer:CotaF-6
        if min(min(FIG(prof-Raio_Sub:prof+Raio_Sub,passo-2:passo))) > WH & MPPI(prof,1) == 0
            MPPI(prof,1) = fix(((passo)*dx/1852)*100)/100; % detection range each depth in NM
        end
    end
    end
    if info_T == 1
        AmpP(Qinter) = min(MPPI(cotaPer:CotaF-Raio_Sub,1)); % shorter detection range in NM
        for prof = z_cota:-1:cotaPer
            if MPPI(prof) == AmpP(Qinter)
                mpp1(Qinter) = prof; % min depth of shorter detection range in NM
            end
        end
        for prof = cotaPer:z_cota
            if MPPI(prof) == AmpP(Qinter)
                mpp2(Qinter) = prof; % max depth of shorter detection range in NM
            end
        end
    end
    end
    if EQP == 2
        if XBT = 0
            FIG = FIG + CDP;
        else
            FIG = FIG + TS;
        end
    end
end

```

```

end
end
% *****
% PLOT ECHO EXCESS or EMISSION LEVEL
%if GRC == 5
figure(7+(Qinter-1)*7), pcolor(raio_x/1852, eixoZ, FIG);
caxis([0 SL/2]);
shading interp;
colormap(jet);
colorbar;
hold on;
figure(7+(Qinter-1)*7), plot(raio_x/1852,Zij(n_cortes,:), 'k.-')
xlabel( 'Range [NM]' );
ylabel( 'Depth [m]' );
text(dist+dist/30,-zf_max/25,['Direction ' num2str(Dir(Qinter)) '°']);
if EQP == 2
title( 'Echo Excess [dB]' );
else
title( 'Emission Level [dB]' );
end
if info_T == 1
figure(7+(Qinter-1)*7), plot(MPPi(cotaPer:CotaF-Raio_Sub,1),MPPi(cotaPer:CotaF-
Raio_Sub,2),'k');
if dcp(Qinter) > 0
text(4*dist/7,0.55*zf_max,[num2str(cotaPer) 'm - ' num2str(dcp(Qinter)) ' NM (PER)']);
end
if dcs1(Qinter) > 0
text(4*dist/7,0.65*zf_max,[num2str(fix(CotaF/5)) 'm - ' num2str(dcs1(Qinter)) ' NM']);
end
if dcs2(Qinter) > 0
text(4*dist/7,0.7*zf_max,[num2str(fix(2*CotaF/5)) 'm - ' num2str(dcs2(Qinter)) ' NM']);
end
if dcs3(Qinter) > 0
text(4*dist/7,0.75*zf_max,[num2str(fix(3*CotaF/5)) 'm - ' num2str(dcs3(Qinter)) ' NM']);
end
if EQP == 2
if mpp1(Qinter) > 0 & Ampp(Qinter) > 0
text(4*dist/7,0.85*zf_max,[num2str(mpp1(Qinter)) 'm - ' num2tr(Ampp(Qinter)) ' NM (<BPD)']);
end
if mpp2(Qinter) > 0 & Ampp(Qinter) > 0
text(4*dist/7,0.9*zf_max,[num2str(mpp2(Qinter)) 'm - ' num2str(Ampp(Qinter)) ' NM (>BPD)']);
end
end
if dsup(Qinter) > 0
text(4*dist/7,0.5*zf_max,['4m - ' num2str(dsup(Qinter)) ' NM (SUP)']);
end
end
view(0,-90);
hold off;
%end % GRC=5
%tempoCorr1 = cputime;
%passou = tempoCorr1 - tempoCorr;
%disp([num2str(90*(Qinter-1)) '° - P. Time = ' num2str(fix(passou/6)/10) ' min']);
% *****
else

```

```

if Qinter == 1
    disp('The data bank do not enough information to direction 000°')
end
if Qinter == 2
    disp('The data bank do not enough information to direction 090°')
end
if Qinter == 3
    disp('The data bank do not enough information to direction 180°')
end
if Qinter == 4
    disp('The data bank do not enough information to direction 270°')
end
end
end
% *****
% PLOT DISTANCE FOR FIRST DETECTION
%if GRC == 5
if info_T == 1
    datapol = zeros(5,361);
    Dir360=linspace(0,360,361);
    datapol(1,1:91)=linspace(dcp(1),dcp(2),91);
    datapol(1,91:181)=linspace(dcp(2),dcp(3),91);
    datapol(1,181:271)=linspace(dcp(3),dcp(4),91);
    datapol(1,271:361)=linspace(dcp(4),dcp(1),91);
    datapol(2,1:91)=linspace(dcs1(1),dcs1(2),91);
    datapol(2,91:181)=linspace(dcs1(2),dcs1(3),91);
    datapol(2,181:271)=linspace(dcs1(3),dcs1(4),91);
    datapol(2,271:361)=linspace(dcs1(4),dcs1(1),91);
    datapol(3,1:91)=linspace(dcs2(1),dcs2(2),91);
    datapol(3,91:181)=linspace(dcs2(2),dcs2(3),91);
    datapol(3,181:271)=linspace(dcs2(3),dcs2(4),91);
    datapol(3,271:361)=linspace(dcs2(4),dcs2(1),91);
    datapol(4,1:91)=linspace(dcs3(1),dcs3(2),91);
    datapol(4,91:181)=linspace(dcs3(2),dcs3(3),91);
    datapol(4,181:271)=linspace(dcs3(3),dcs3(4),91);
    datapol(4,271:361)=linspace(dcs3(4),dcs3(1),91);
    datapol(5,1:91)=linspace(Ampp(1),Ampp(2),91);
    datapol(5,91:181)=linspace(Ampp(2),Ampp(3),91);
    datapol(5,181:271)=linspace(Ampp(3),Ampp(4),91);
    datapol(5,271:361)=linspace(Ampp(4),Ampp(1),91);
    scalePOL = fix(max(max(datapol)))+1;
    ExLim = linspace(scalePOL,scalePOL,361);
    figure(30),polar(Dir360*pi/180,ExLim,'k');
    hold on;
    figure(30),polar(Dir360*pi/180,datapol(1,:),'mx');
    figure(30),polar(Dir360*pi/180,datapol(2,:),'cx');
    figure(30),polar(Dir360*pi/180,datapol(3,:),'bx');
    figure(30),polar(Dir360*pi/180,datapol(4,:),'gx');
if EQP == 2
    figure(30),polar(Dir360*pi/180,datapol(5,:),'rx');
end
if Rumo >= 0 & EQP == 2% plot the course and clear stern area information
for cursor = 0:0.1:scalePOL
    figure(30),polar(Rumo*pi/180,cursor,'k. ');
    for abafa = Rumo+180-15:Rumo+180+15
        figure(30),polar(abafa*pi/180,cursor,'w*');
    end
end
end
end

```

```

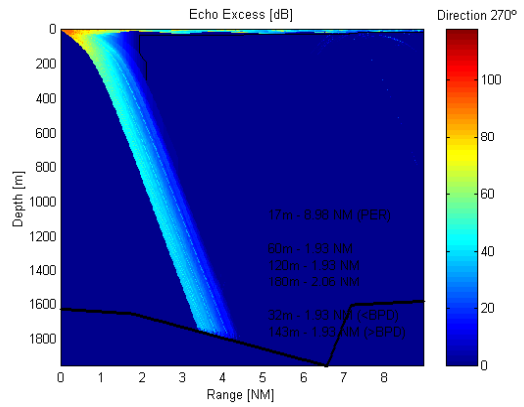
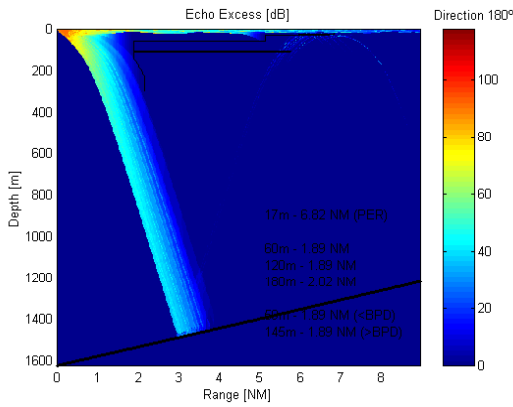
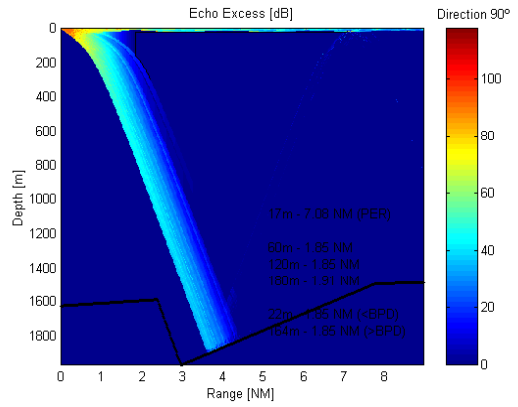
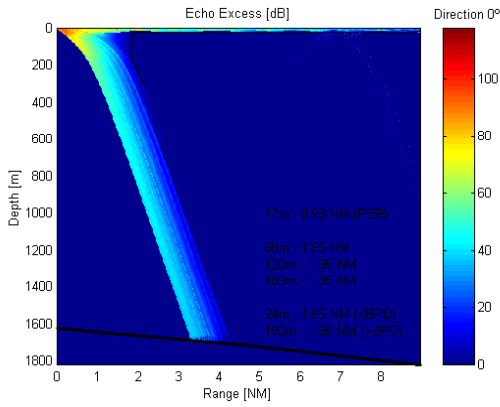
    end
end
end
if EQP ==2
    ylabel( ['magenta-' num2str(cotaPer) 'm, cyan-' num2str(fix(z_cota/5)) 'm, blue-'
num2str(fix(2*z_cota/5)) 'm, green-' num2str(fix(3*z_cota/5)) 'm, red-'
num2str(fix(mean((mpp1+mpp2)/2))) 'm (BDP)'] );
    else
        ylabel( ['magenta-' num2str(cotaPer) 'm, cyan-' num2str(fix(z_cota/5)) 'm, blue-'
num2str(fix(2*z_cota/5)) 'm, green-' num2str(fix(3*z_cota/5)) 'm'] );
    end
if Rumo >= 0
    title( ['                                Predict Detection Range [MN] - Course '
num2str(Rumo) '°'] );
    else
        title( ['                                Predict Detection Range [MN]'] );
    end
view (90,-90);
hold off;
datapol = zeros(1,361);
Dir360=linspace(0,360,361);
datapol(1,1:91)=linspace(dcs(1),dcs(2),91);
datapol(1,91:181)=linspace(dcs(2),dcs(3),91);
datapol(1,181:271)=linspace(dcs(3),dcs(4),91);
datapol(1,271:361)=linspace(dcs(4),dcs(1),91);
scalePOL = fix(max(max(datapol)))+1;
ExLim = linspace(scalePOL,scalePOL,361);
figure(30),polar(Dir360*pi/180,ExLim,'k');
hold on;
figure(30),polar(Dir360*pi/180,datapol(1,:),'bx');
if Rumo >= 0 & EQP == 2% plot the course and clear stern area information
    for cursor = 0:0.1:scalePOL
        figure(30),polar(Rumo*pi/180,cursor,'k. ');
        for abafa = Rumo+180-15:Rumo+180+15
            figure(30),polar(abafa*pi/180,cursor,'w*');
        end
    end
end
ylabel( ['blue - 4m'] );
if Rumo >= 0
    title( ['                                Predict Detection Range [MN] - Course '
num2str(Rumo) '°'] );
    else
        title( ['                                Predict Detection Range [MN]'] );
    end
view (90,-90);
hold off;
end
%end %GRC = 5
format short

```

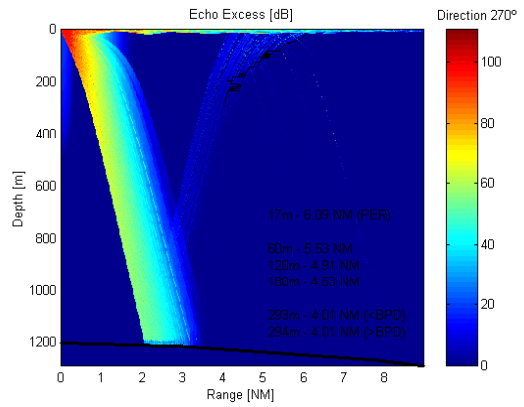
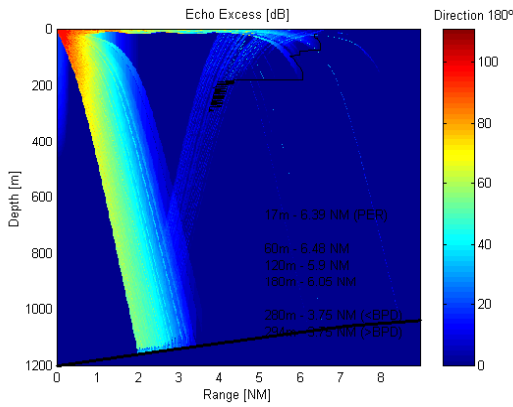
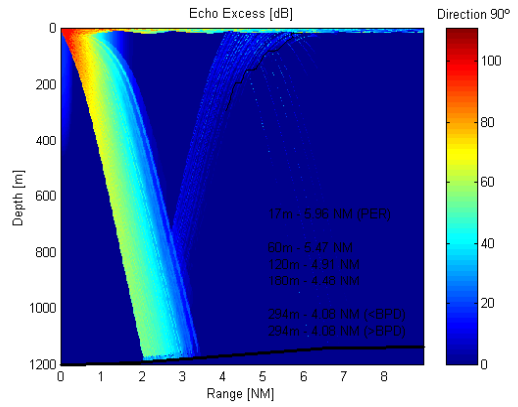
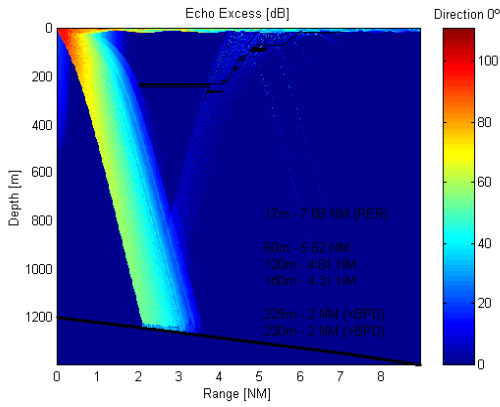
ANEXO II

**GRÁFICOS DO SISTEMA DE PREVISÃO DE ALCANCE SONAR UTILIZADOS
PARA A CONFECCÃO DAS TABELAS 4 E 5**

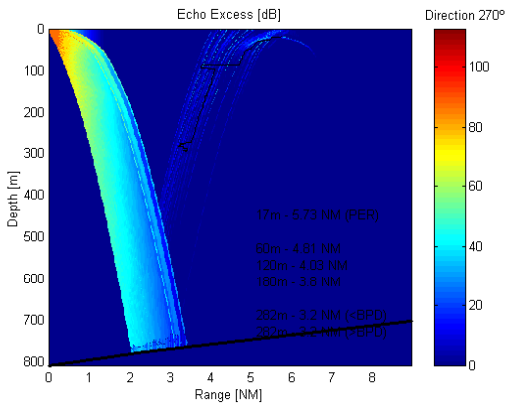
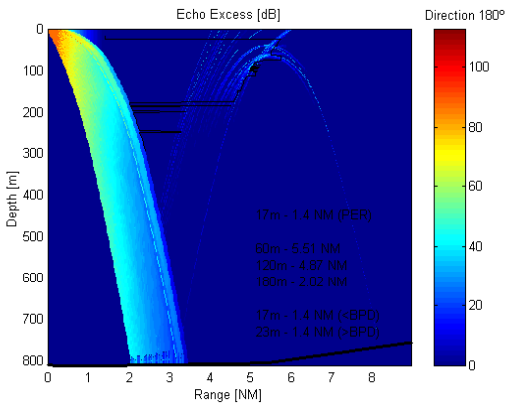
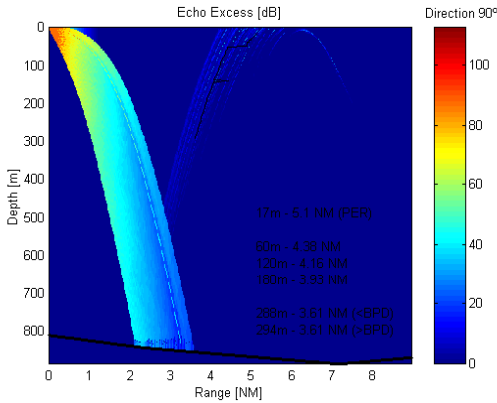
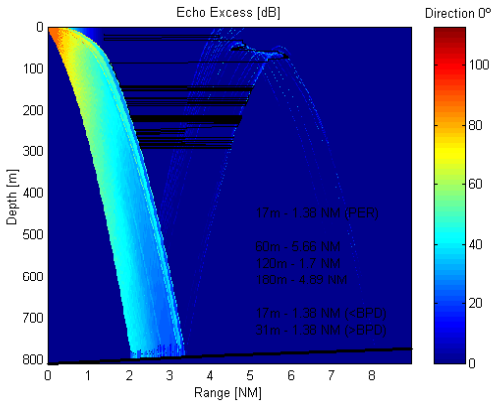
GRÁFICOS GERADOS PELO SISTEMA DE PREVISÃO DE ALCANCE SONAR PARA O EVENTO Nº 6 (VER CAPÍTULO 7) , SEM A UTILIZAÇÃO DE DADOS DE XBT, SEM FATOR DE CORREÇÃO DE TS E NO MODO ATIVO



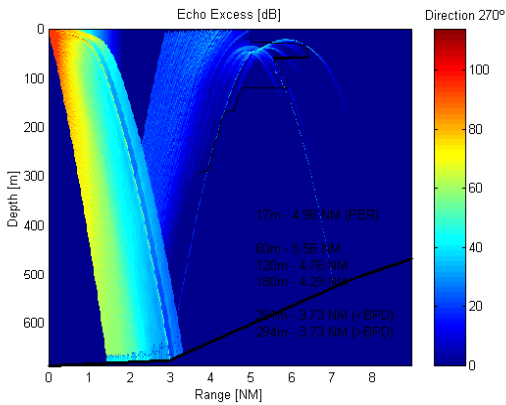
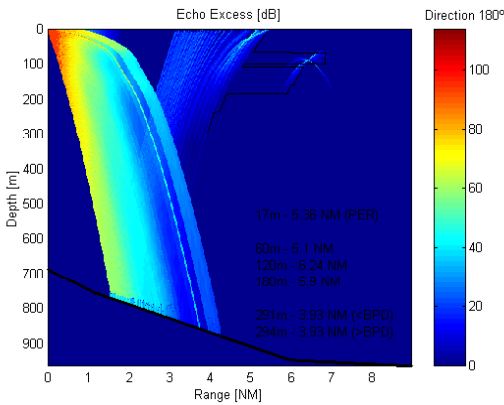
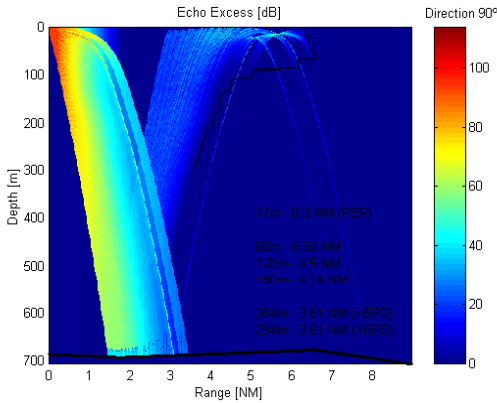
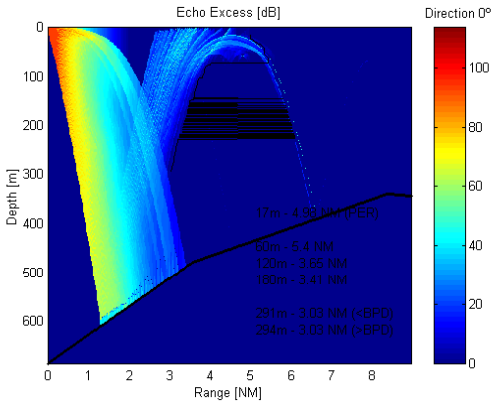
GRÁFICOS GERADOS PELO SISTEMA DE PREVISÃO DE ALCANCE SONAR PARA O EVENTO Nº 9 (VER CAPÍTULO 7) , SEM A UTILIZAÇÃO DE DADOS DE XBT, SEM FATOR DE CORREÇÃO DE TS E NO MODO ATIVO



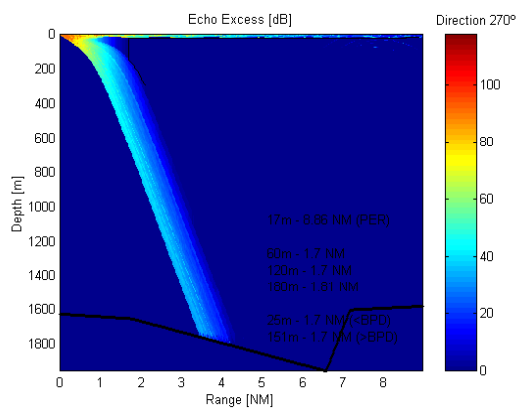
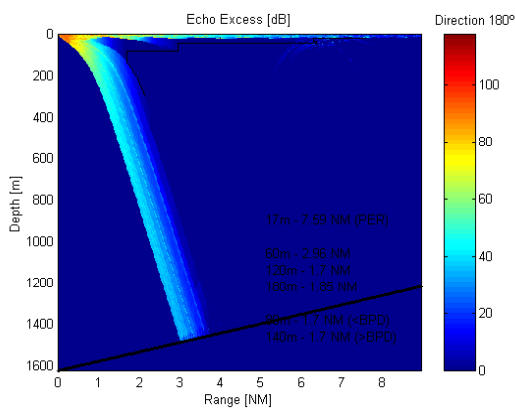
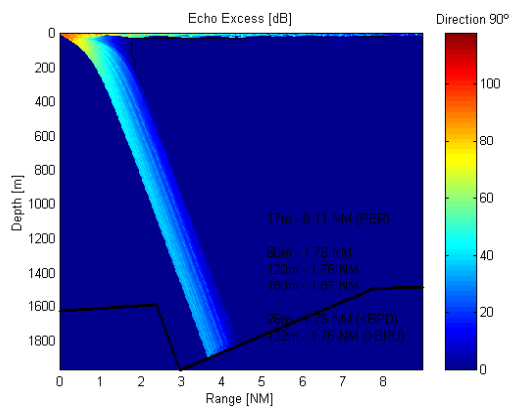
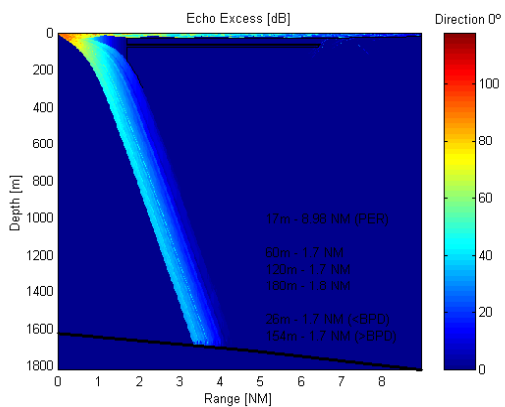
GRÁFICOS GERADOS PELO SISTEMA DE PREVISÃO DE ALCANCE SONAR PARA O EVENTO Nº 11 (VER CAPÍTULO 7) , SEM A UTILIZAÇÃO DE DADOS DE XBT, SEM FATOR DE CORREÇÃO DE TS E NO MODO ATIVO



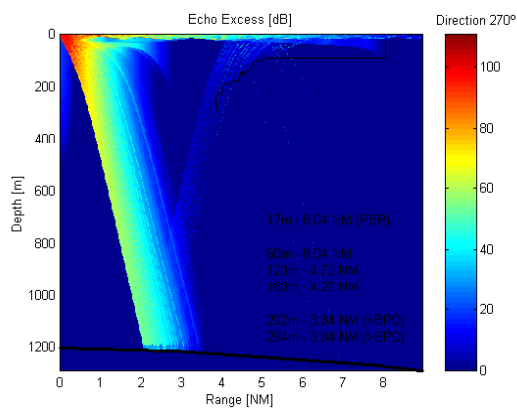
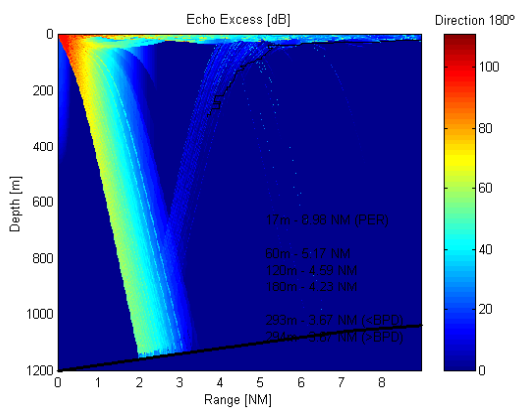
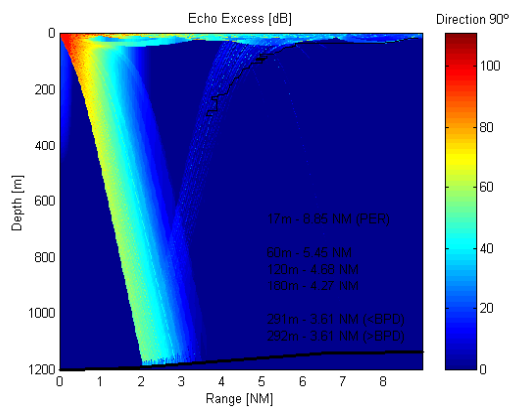
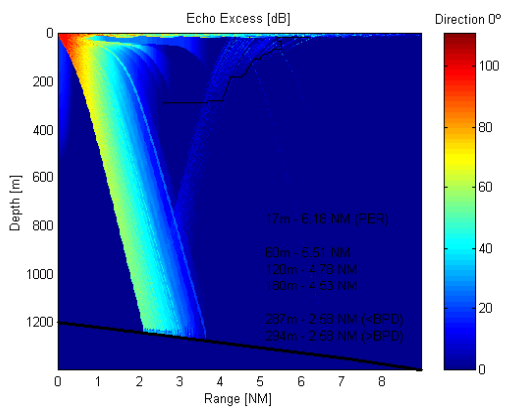
GRÁFICOS GERADOS PELO SISTEMA DE PREVISÃO DE ALCANCE SONAR PARA O EVENTO Nº 12 (VER CAPÍTULO 7) , SEM A UTILIZAÇÃO DE DADOS DE XBT, SEM FATOR DE CORREÇÃO DE TS E NO MODO ATIVO



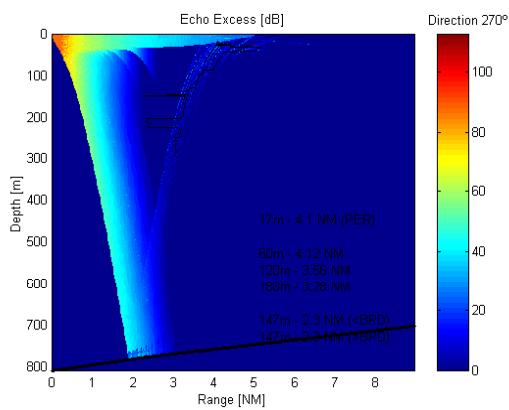
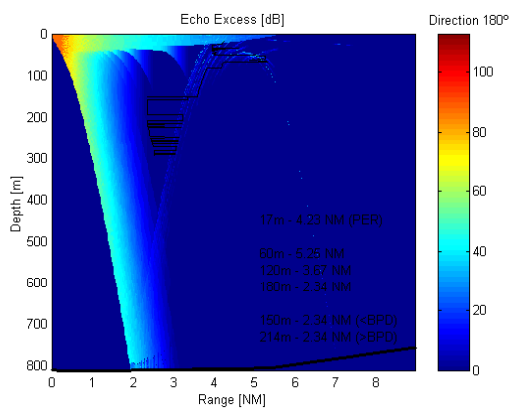
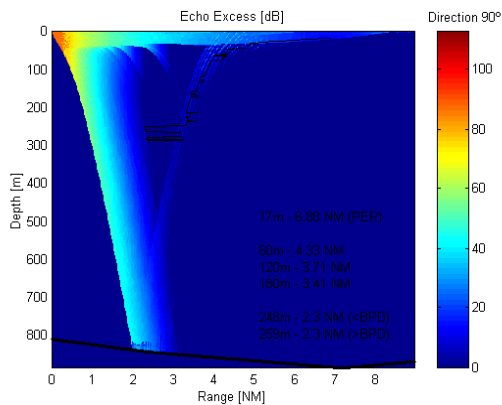
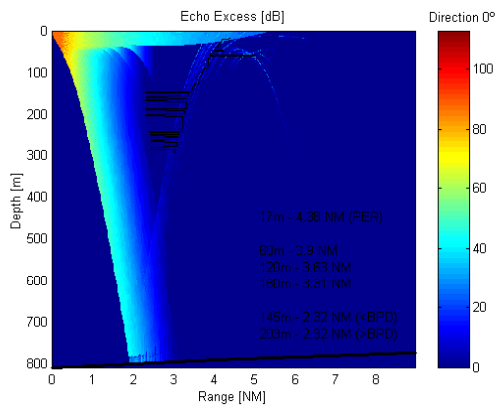
GRÁFICOS GERADOS PELO SISTEMA DE PREVISÃO DE ALCANCE SONAR PARA O EVENTO Nº 6 (VER CAPÍTULO 7) , COM A UTILIZAÇÃO DE DADOS DE XBT, SEM FATOR DE CORREÇÃO DE TS E NO MODO ATIVO



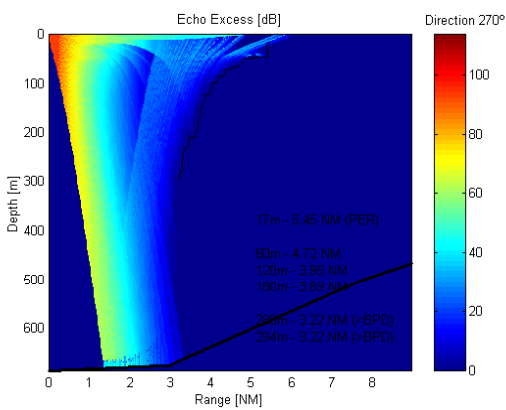
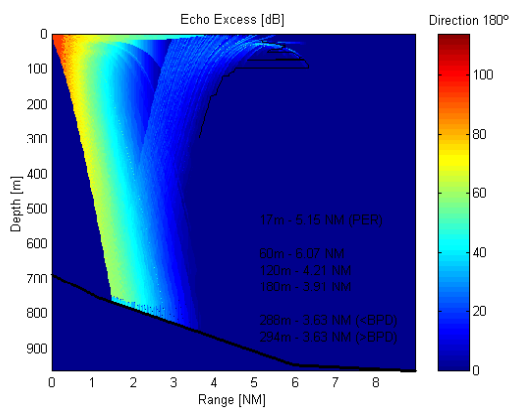
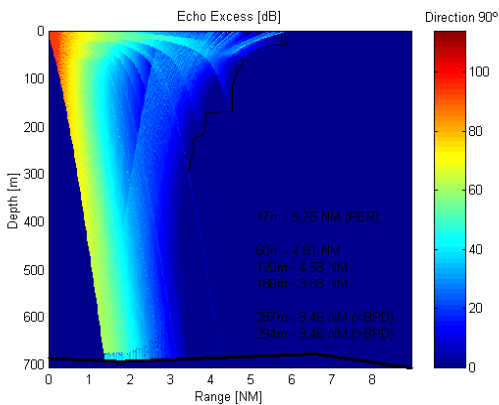
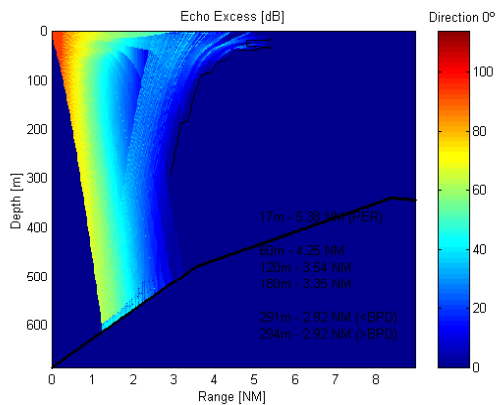
GRÁFICOS GERADOS PELO SISTEMA DE PREVISÃO DE ALCANCE SONAR PARA O EVENTO Nº 9 (VER CAPÍTULO 7) , COM A UTILIZAÇÃO DE DADOS DE XBT, SEM FATOR DE CORREÇÃO DE TS E NO MODO ATIVO



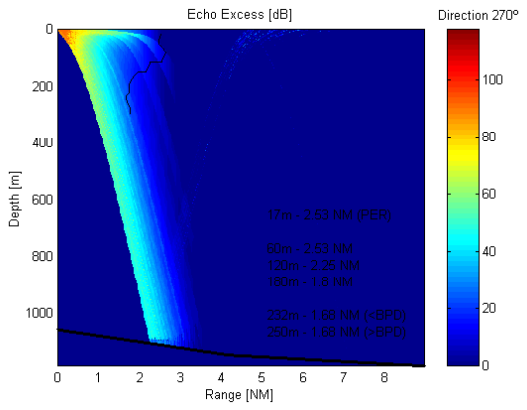
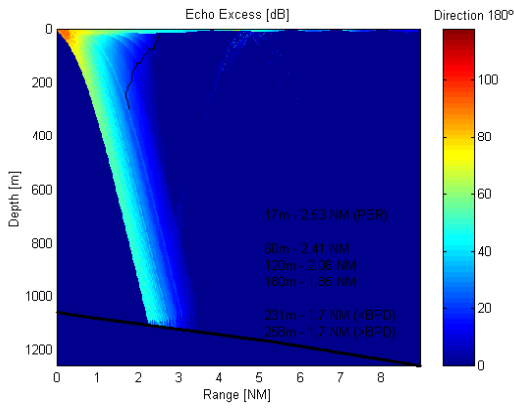
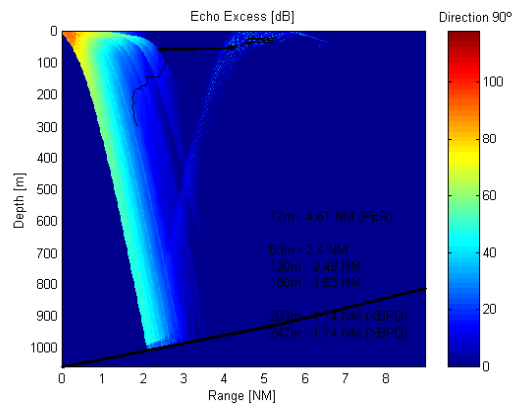
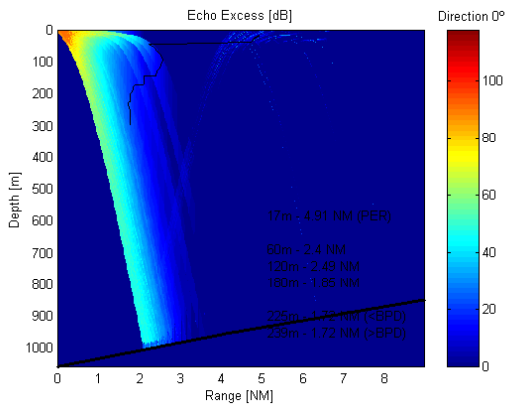
GRÁFICOS GERADOS PELO SISTEMA DE PREVISÃO DE ALCANCE SONAR
 PARA O EVENTO Nº 11 (VER CAPÍTULO 7) , COM A UTILIZAÇÃO DE DADOS
 DE XBT, SEM FATOR DE CORREÇÃO DE TS E NO MODO ATIVO



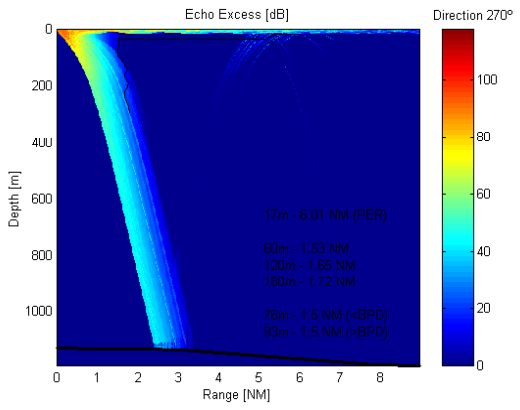
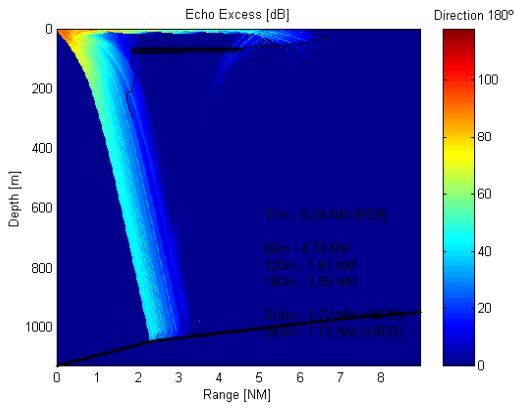
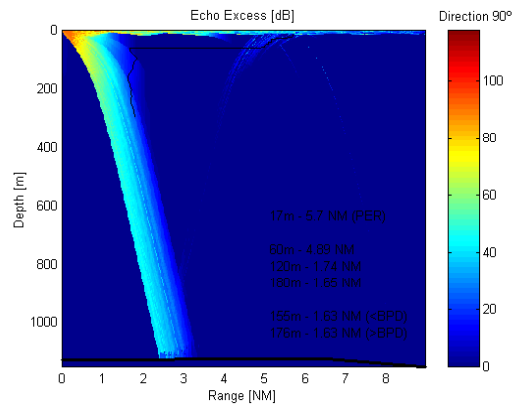
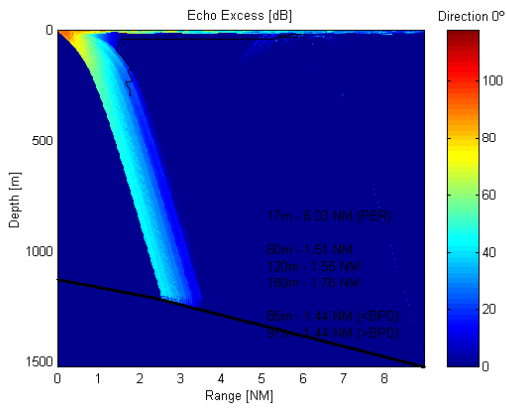
GRÁFICOS GERADOS PELO SISTEMA DE PREVISÃO DE ALCANCE SONAR PARA O EVENTO Nº 12 (VER CAPÍTULO 7) , COM A UTILIZAÇÃO DE DADOS DE XBT, SEM FATOR DE CORREÇÃO DE TS E NO MODO ATIVO



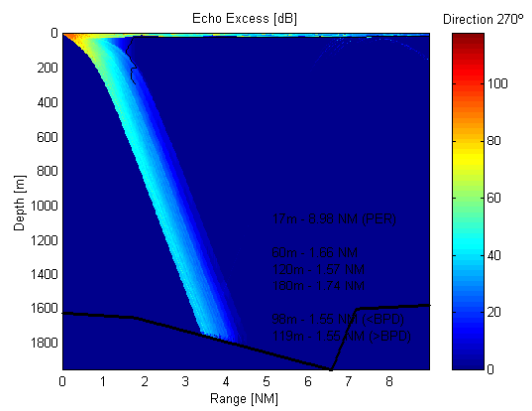
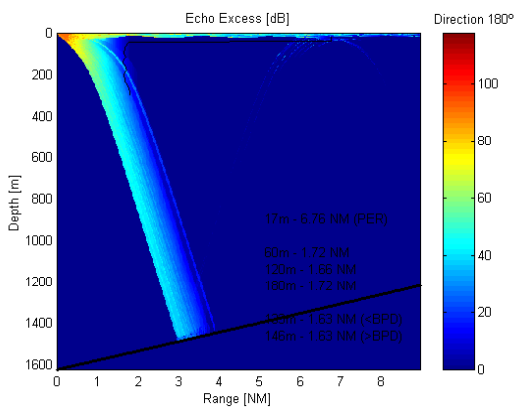
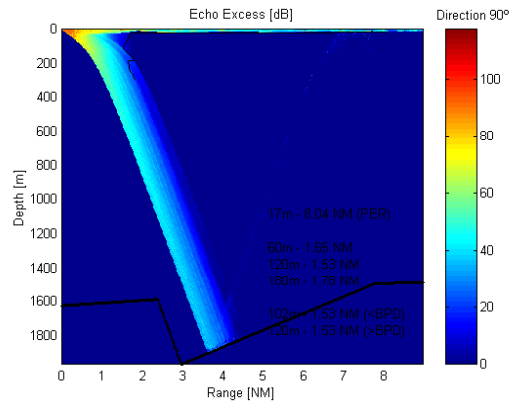
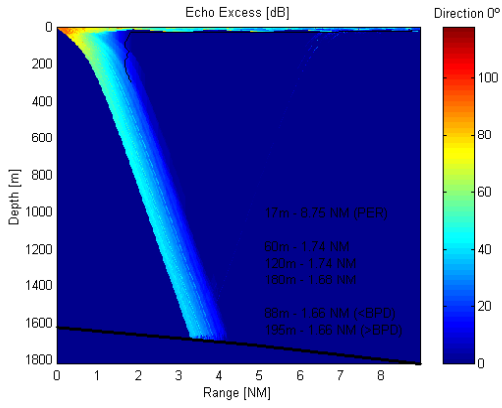
GRÁFICOS GERADOS PELO SISTEMA DE PREVISÃO DE ALCANCE SONAR PARA O EVENTO Nº 1 (VER CAPÍTULO 7) , SEM A UTILIZAÇÃO DE DADOS DE XBT, COM FATOR DE CORREÇÃO DE TS E NO MODO ATIVO



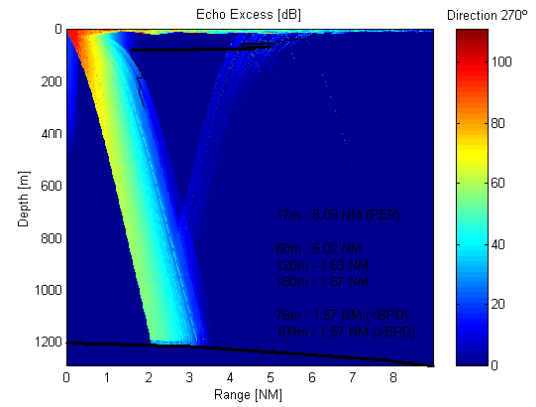
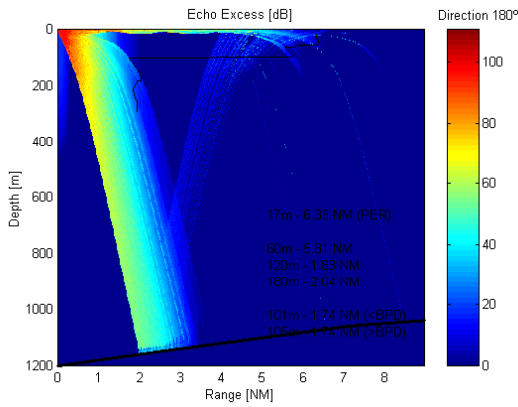
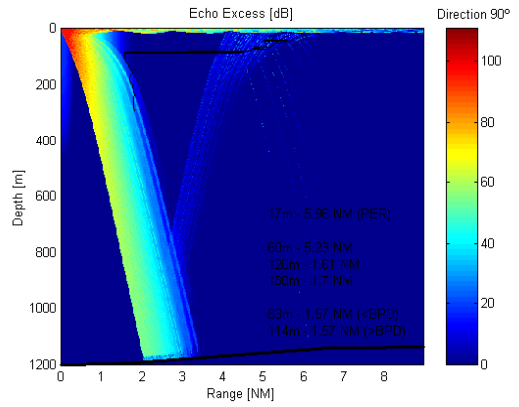
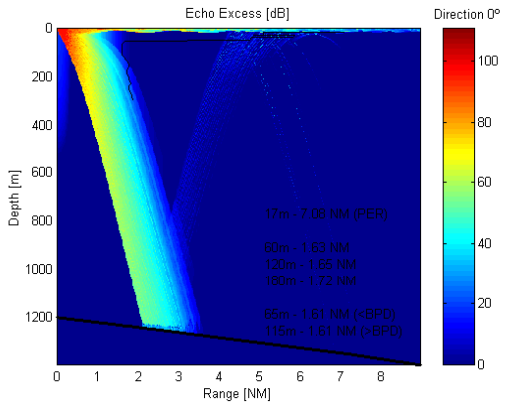
GRÁFICOS GERADOS PELO SISTEMA DE PREVISÃO DE ALCANCE SONAR PARA O EVENTO Nº 4 (VER CAPÍTULO 7) , SEM A UTILIZAÇÃO DE DADOS DE XBT, COM FATOR DE CORREÇÃO DE TS E NO MODO ATIVO



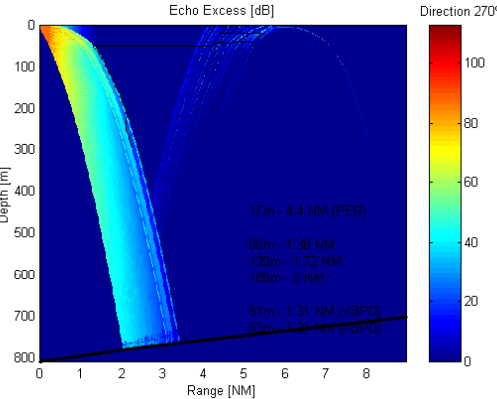
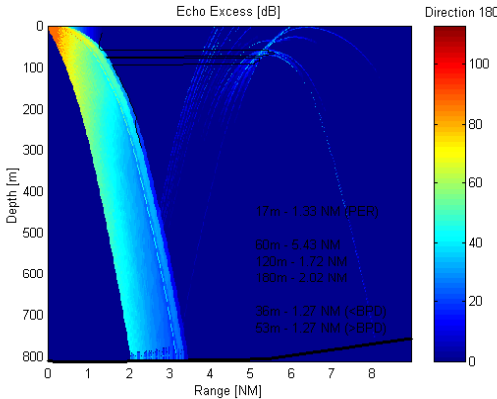
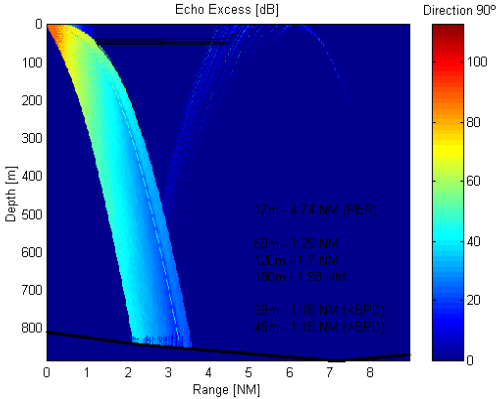
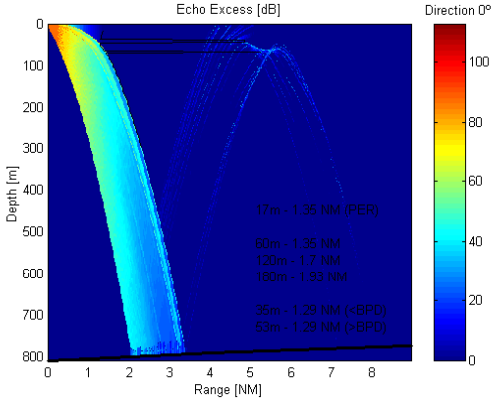
GRÁFICOS GERADOS PELO SISTEMA DE PREVISÃO DE ALCANCE SONAR PARA O EVENTO Nº 6 (VER CAPÍTULO 7) , SEM A UTILIZAÇÃO DE DADOS DE XBT, COM FATOR DE CORREÇÃO DE TS E NO MODO ATIVO



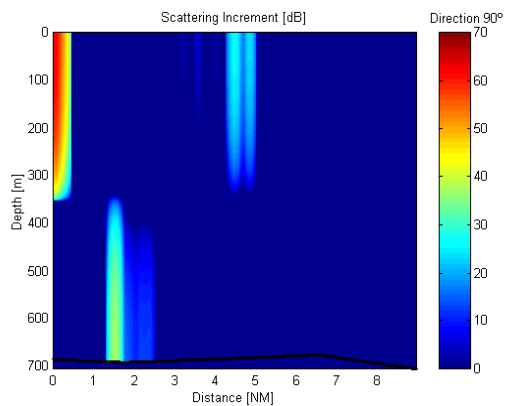
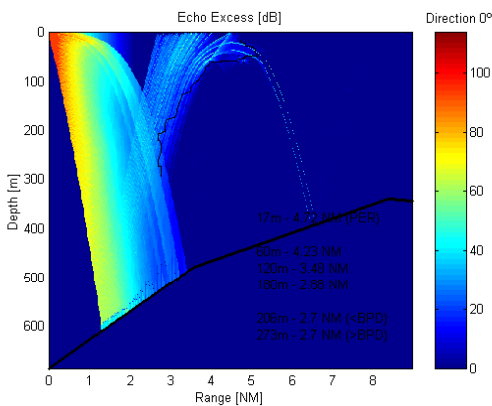
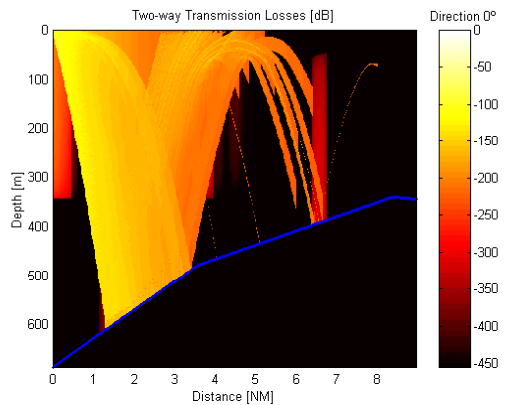
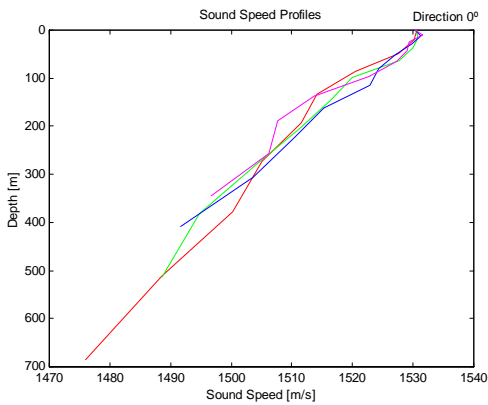
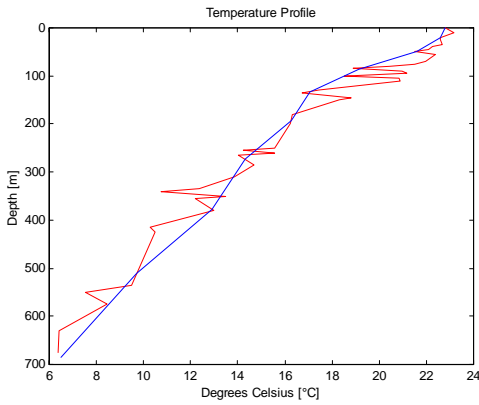
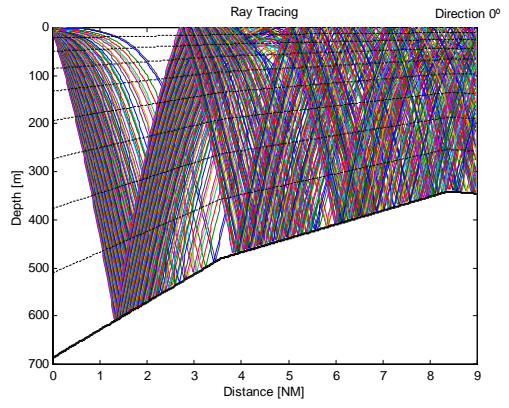
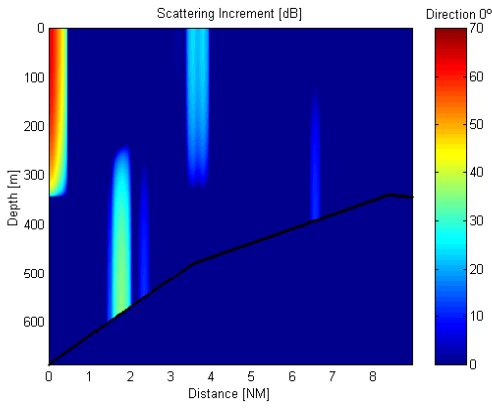
GRÁFICOS GERADOS PELO SISTEMA DE PREVISÃO DE ALCANCE SONAR PARA O EVENTO Nº 9 (VER CAPÍTULO 7) , SEM A UTILIZAÇÃO DE DADOS DE XBT, COM FATOR DE CORREÇÃO DE TS E NO MODO ATIVO

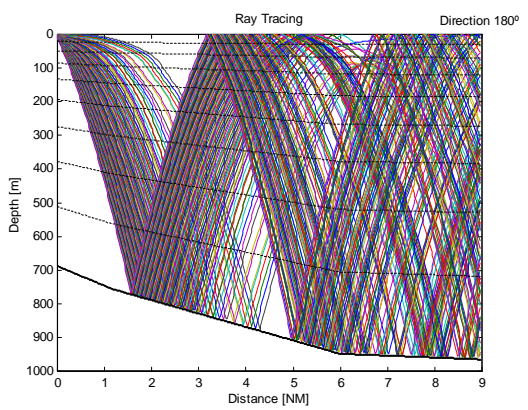
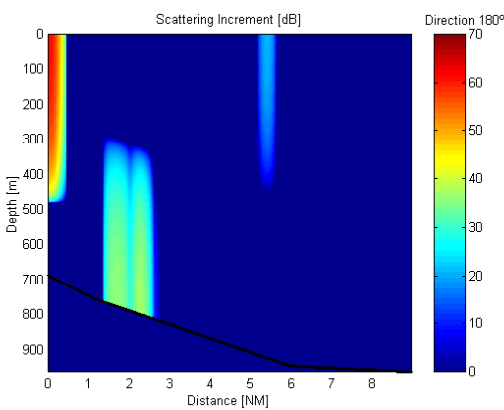
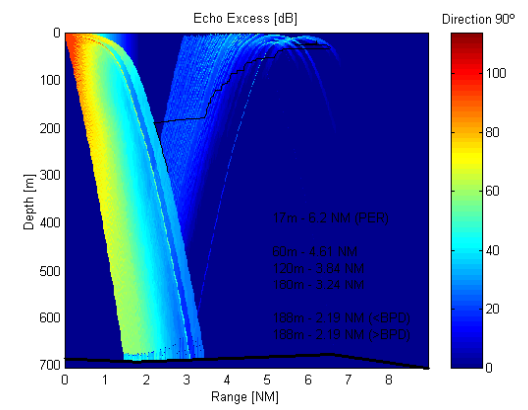
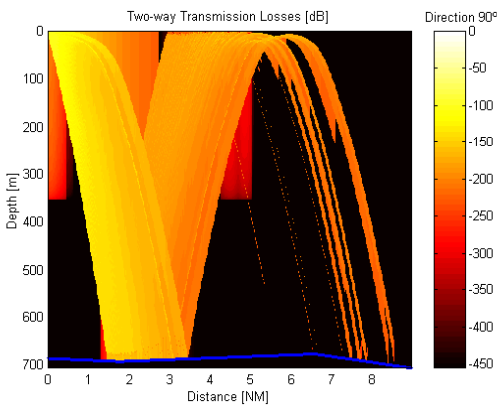
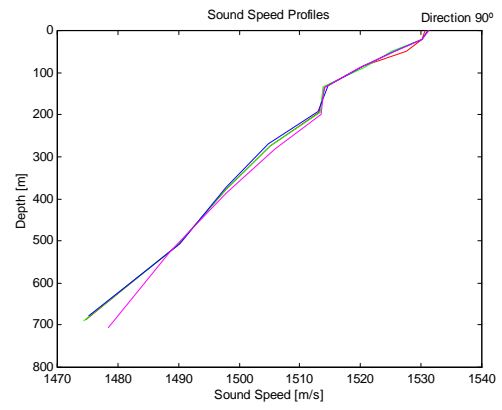
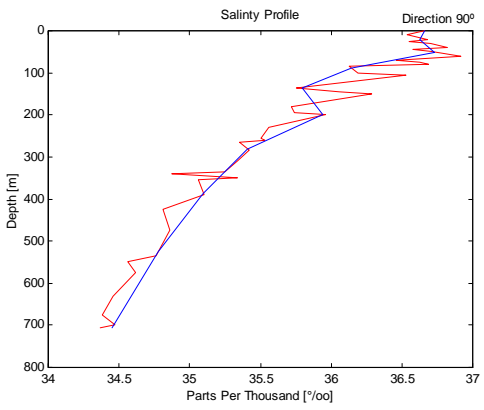
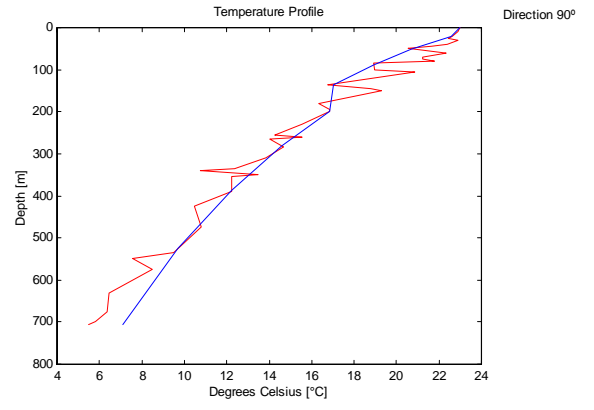
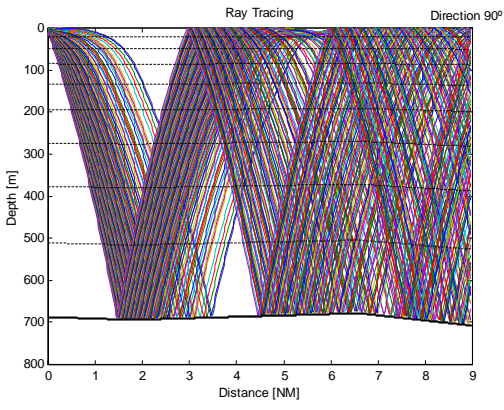


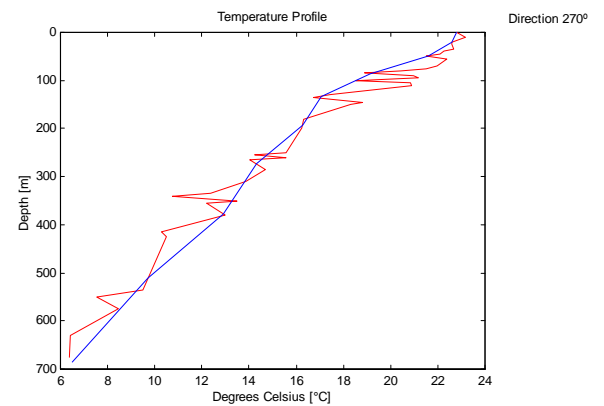
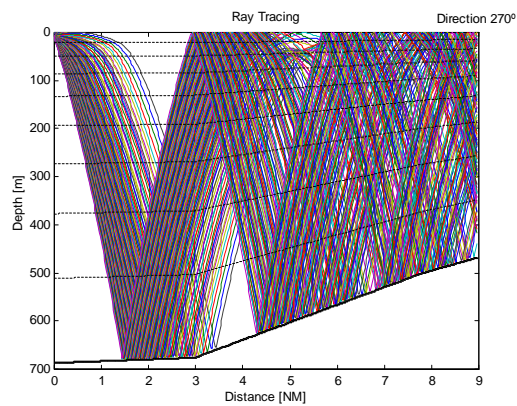
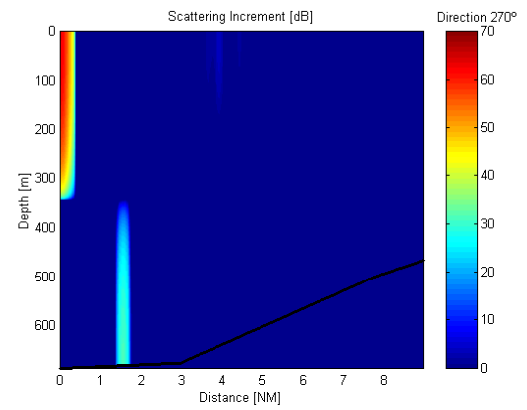
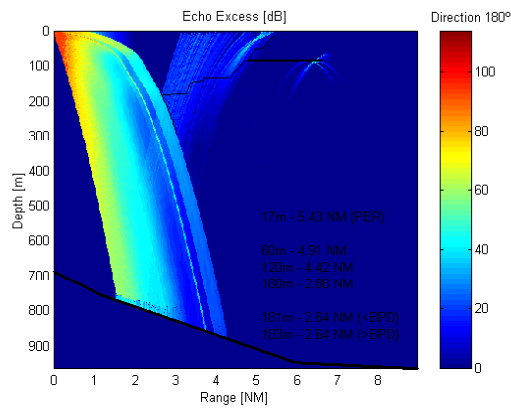
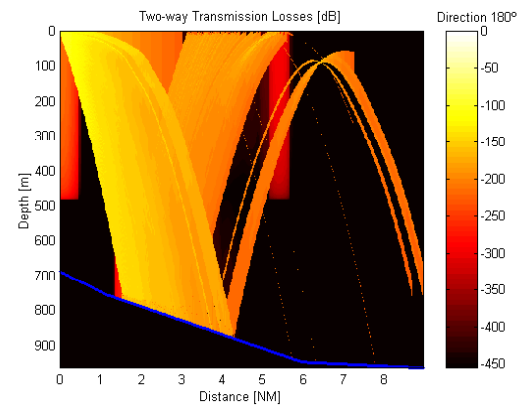
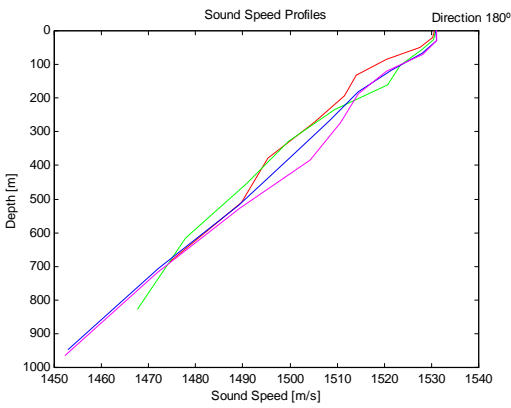
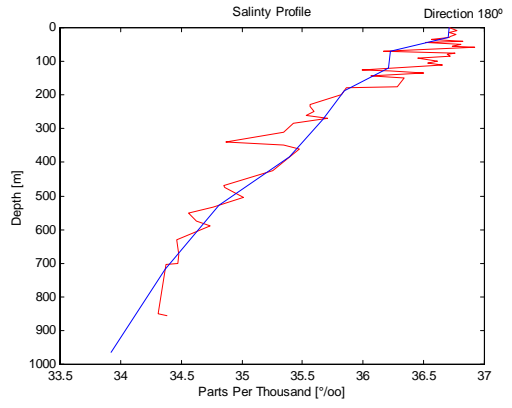
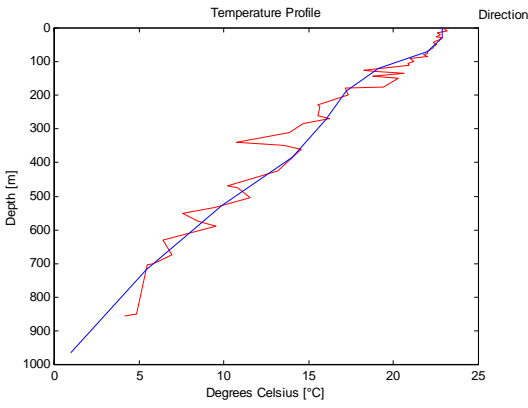
GRÁFICOS GERADOS PELO SISTEMA DE PREVISÃO DE ALCANCE SONAR PARA O EVENTO Nº 11 (VER CAPÍTULO 7) , SEM A UTILIZAÇÃO DE DADOS DE XBT, COM FATOR DE CORREÇÃO DE TS E NO MODO ATIVO

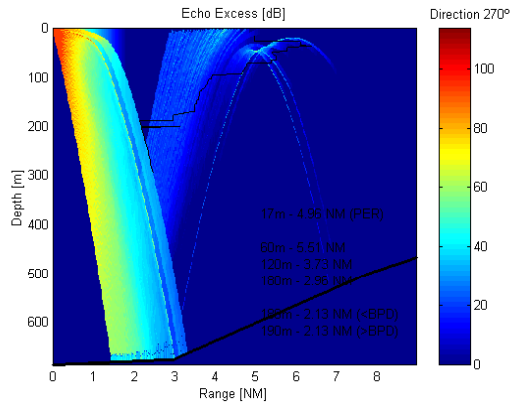
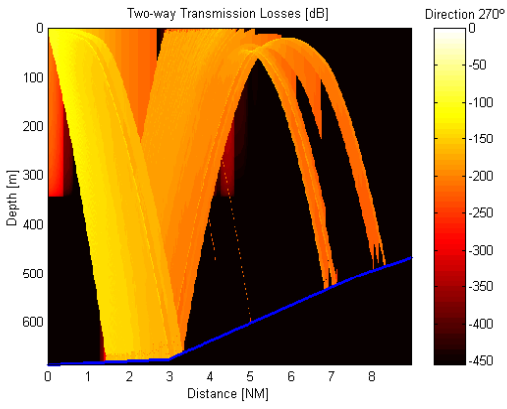
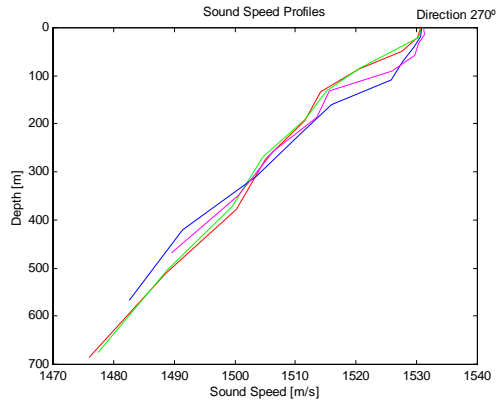
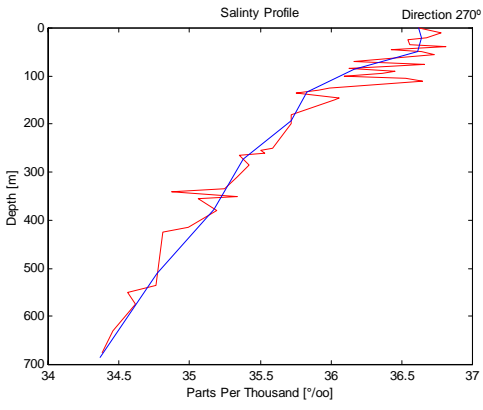


GRÁFICOS GERADOS PELO SISTEMA DE PREVISÃO DE ALCANCE SONAR
 PARA O EVENTO Nº 12 (VER CAPÍTULO 7) , SEM A UTILIZAÇÃO DE DADOS
 DE XBT, COM FATOR DE CORREÇÃO DE TS E NO MODO ATIVO

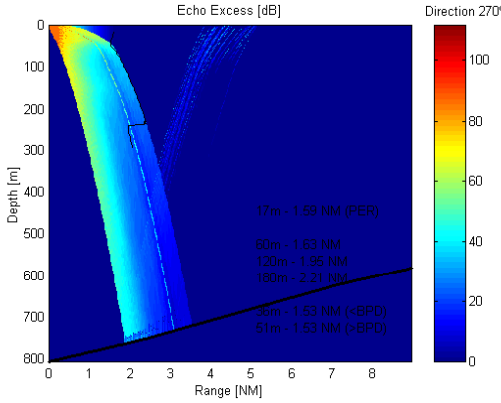
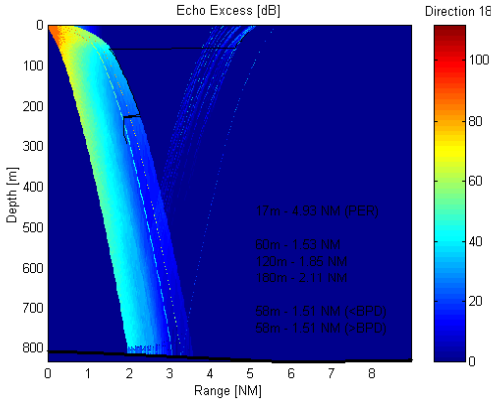
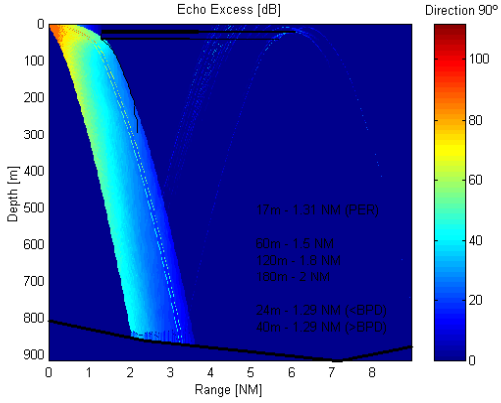
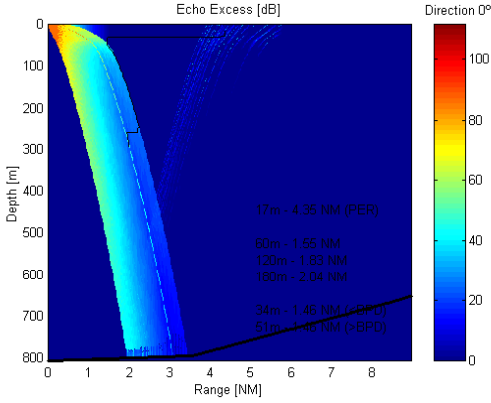




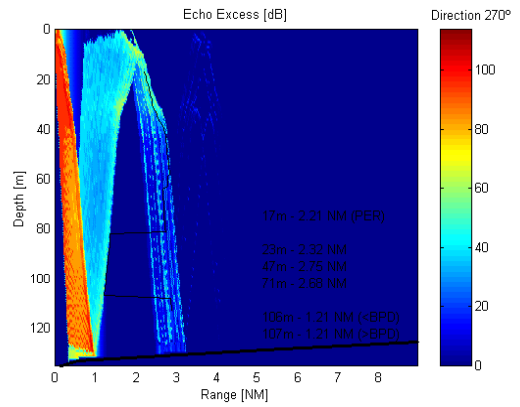
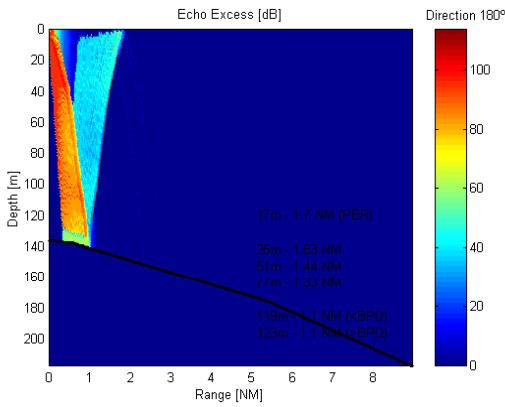
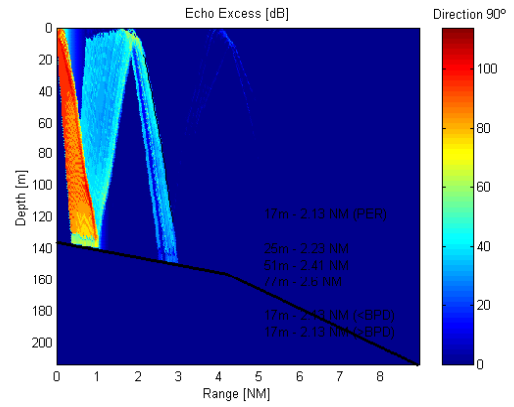
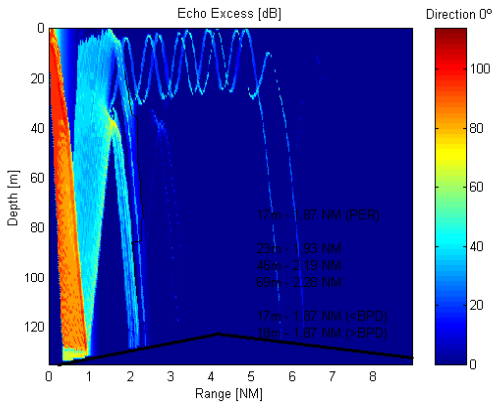




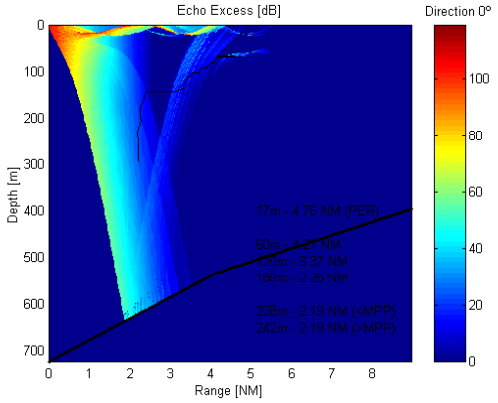
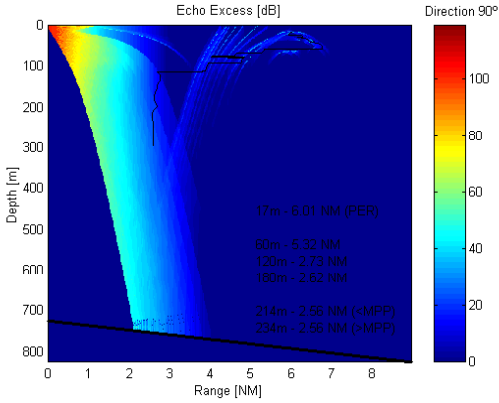
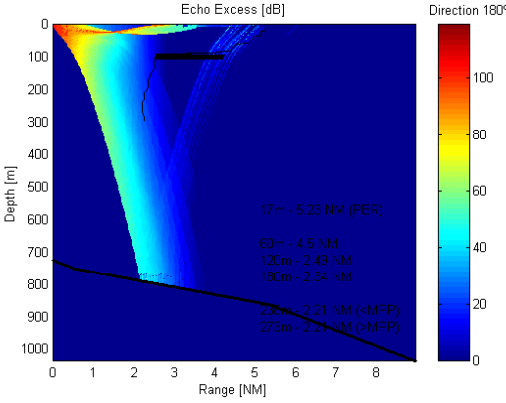
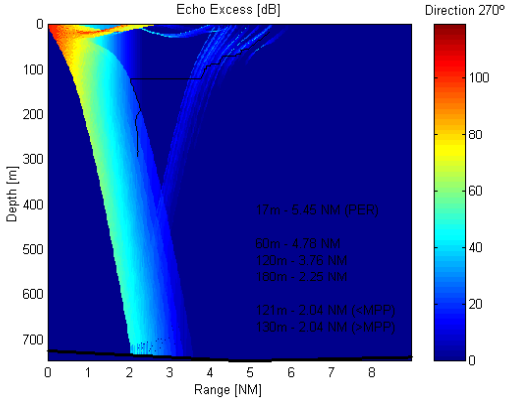
GRÁFICOS GERADOS PELO SISTEMA DE PREVISÃO DE ALCANCE SONAR PARA O EVENTO Nº 13 (VER CAPÍTULO 7) , SEM A UTILIZAÇÃO DE DADOS DE XBT, COM FATOR DE CORREÇÃO DE TS E NO MODO ATIVO



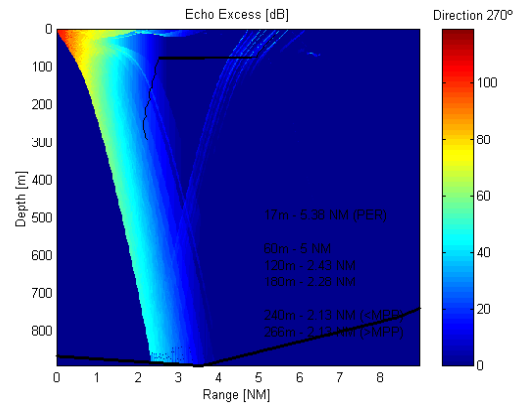
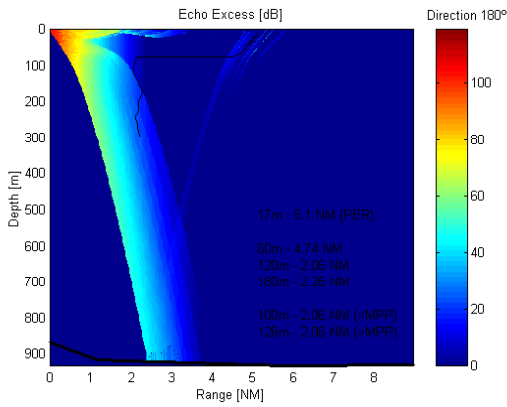
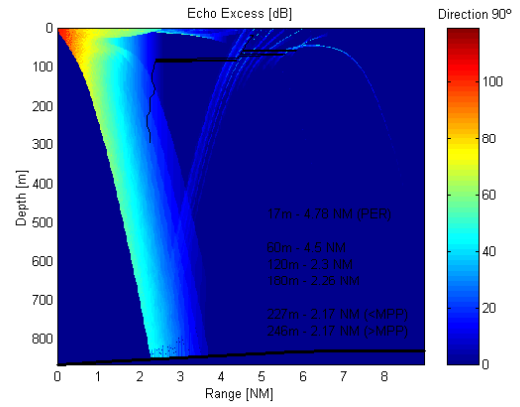
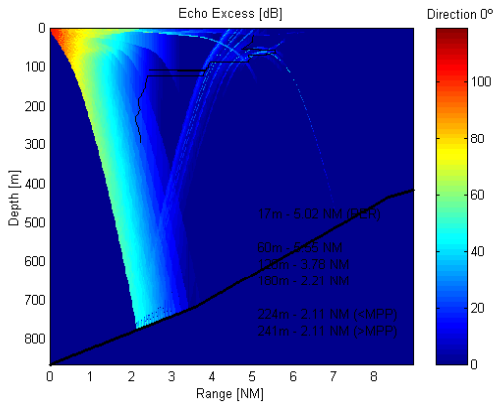
GRÁFICOS GERADOS PELO SISTEMA DE PREVISÃO DE ALCANCE SONAR
 PARA O EVENTO Nº 14 (VER CAPÍTULO 7) , SEM A UTILIZAÇÃO DE DADOS
 DE XBT, COM FATOR DE CORREÇÃO DE TS E NO MODO ATIVO



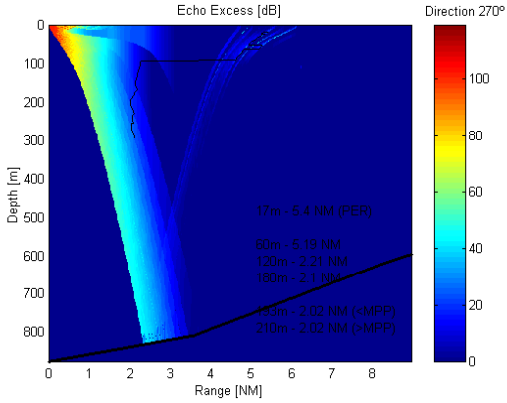
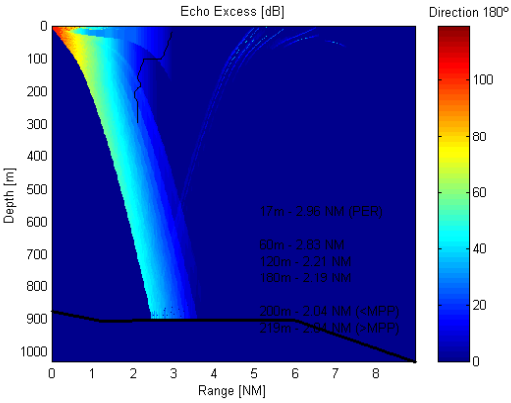
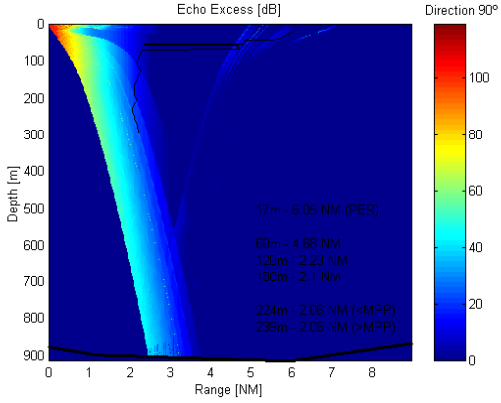
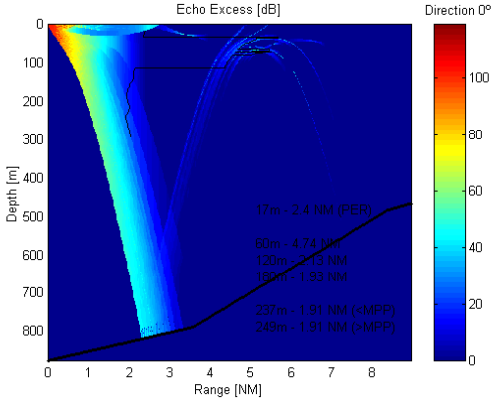
GRÁFICOS GERADOS PELO SISTEMA DE PREVISÃO DE ALCANCE SONAR PARA O EVENTO Nº 15 (VER CAPÍTULO 7) , SEM A UTILIZAÇÃO DE DADOS DE XBT, COM FATOR DE CORREÇÃO DE TS E NO MODO ATIVO



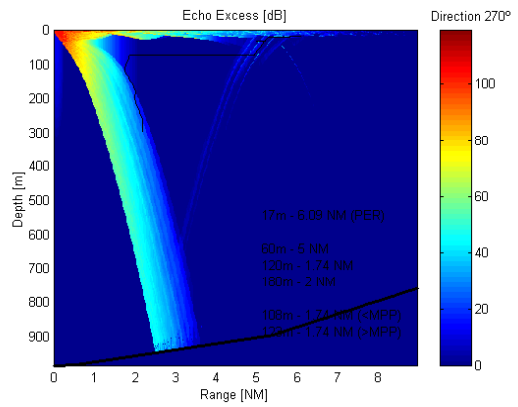
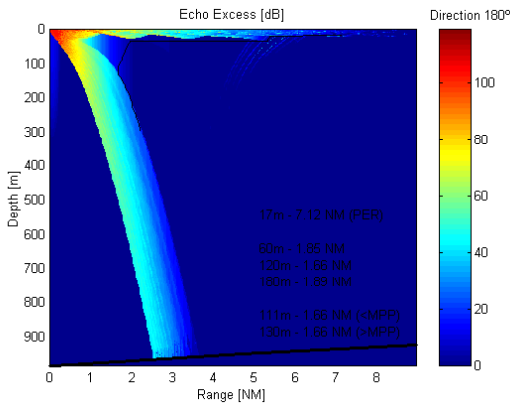
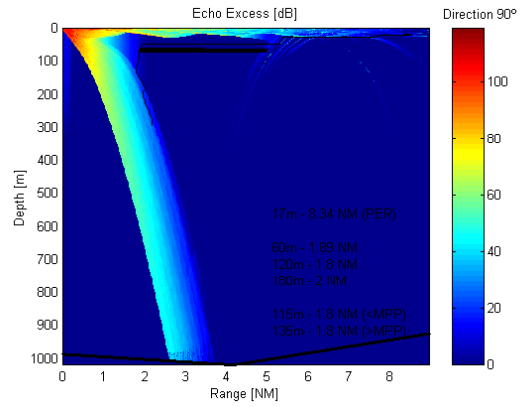
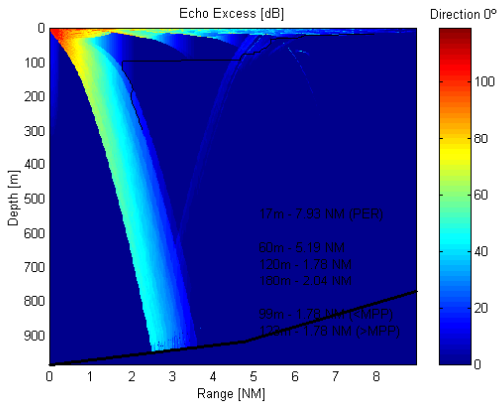
GRÁFICOS GERADOS PELO SISTEMA DE PREVISÃO DE ALCANCE SONAR PARA O EVENTO Nº 6 (VER CAPÍTULO 7) , SEM A UTILIZAÇÃO DE DADOS DE XBT, COM FATOR DE CORREÇÃO DE TS E NO MODO ATIVO



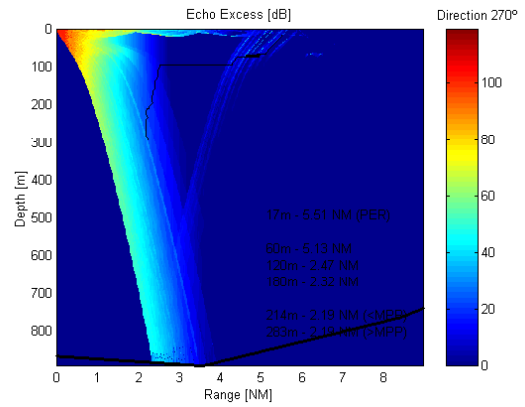
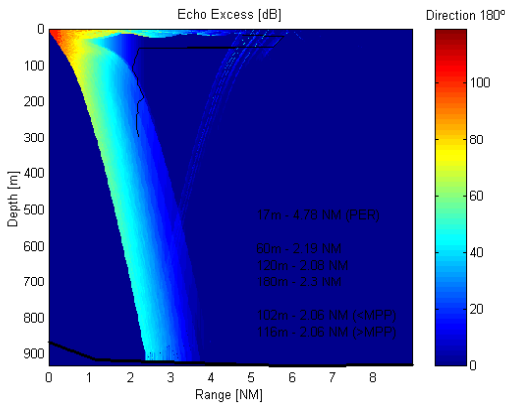
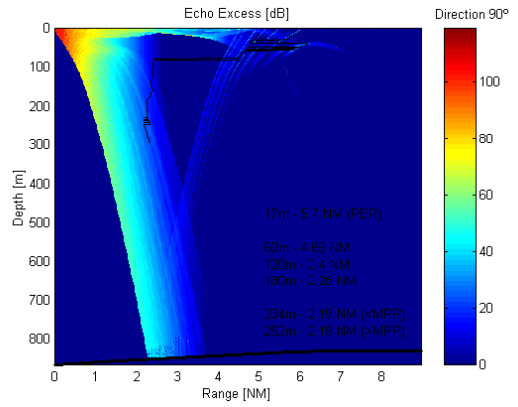
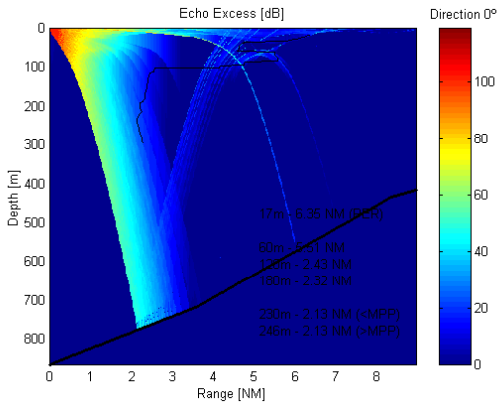
GRÁFICOS GERADOS PELO SISTEMA DE PREVISÃO DE ALCANCE SONAR PARA O EVENTO Nº 17 (VER CAPÍTULO 7) , SEM A UTILIZAÇÃO DE DADOS DE XBT, COM FATOR DE CORREÇÃO DE TS E NO MODO ATIVO



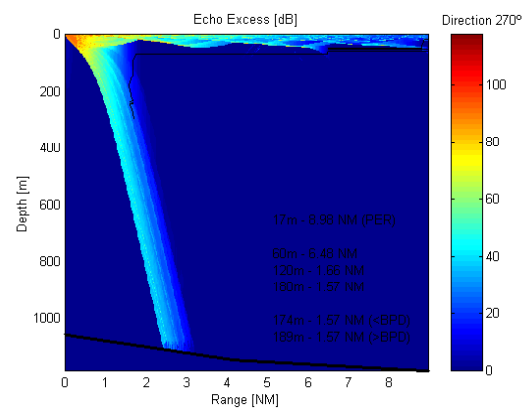
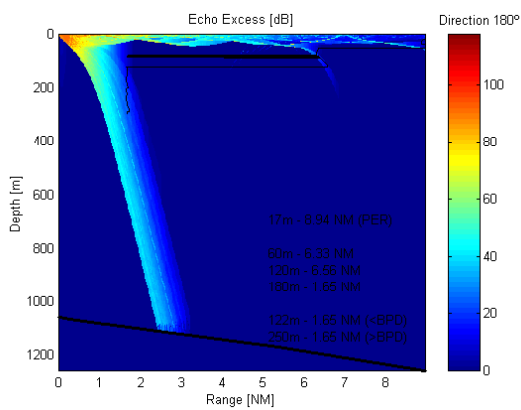
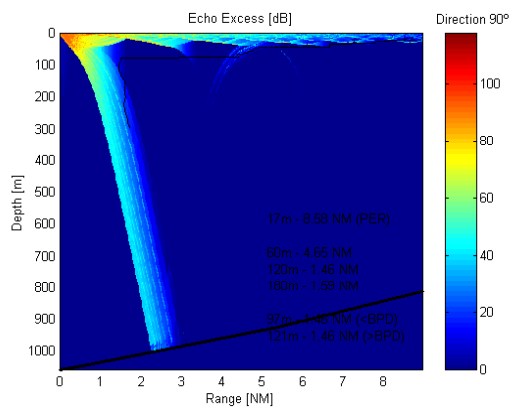
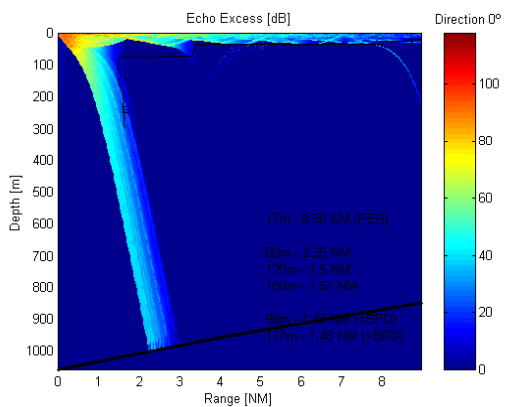
GRÁFICOS GERADOS PELO SISTEMA DE PREVISÃO DE ALCANCE SONAR
 PARA O EVENTO Nº 18 (VER CAPÍTULO 7) , SEM A UTILIZAÇÃO DE DADOS
 DE XBT, COM FATOR DE CORREÇÃO DE TS E NO MODO ATIVO



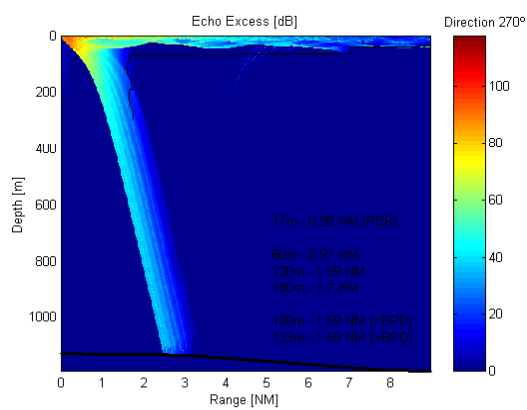
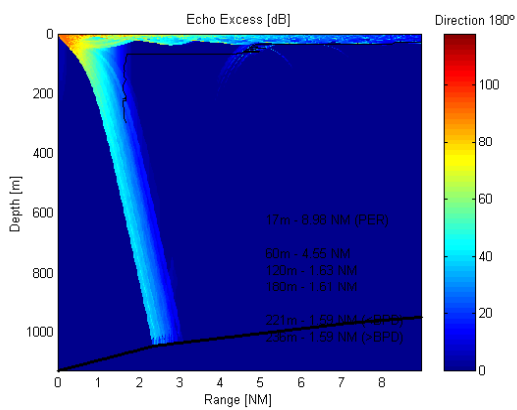
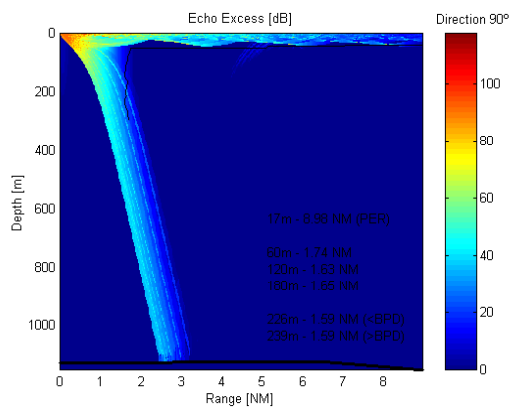
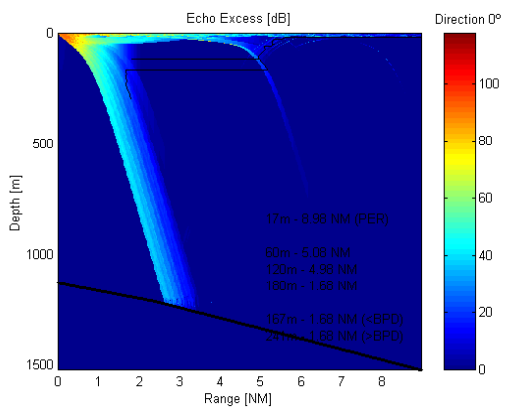
GRÁFICOS GERADOS PELO SISTEMA DE PREVISÃO DE ALCANCE SONAR PARA O EVENTO Nº 19 (VER CAPÍTULO 7) , SEM A UTILIZAÇÃO DE DADOS DE XBT, COM FATOR DE CORREÇÃO DE TS E NO MODO ATIVO



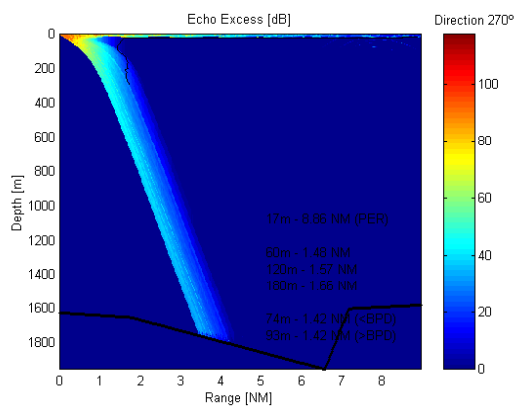
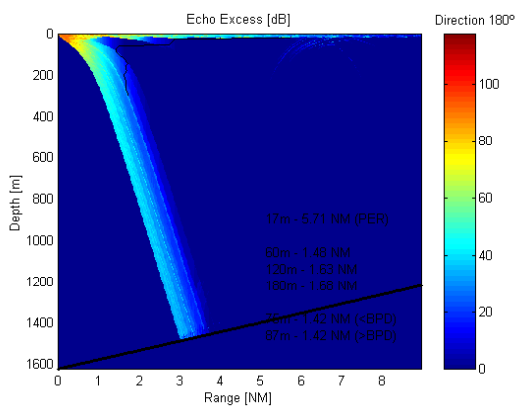
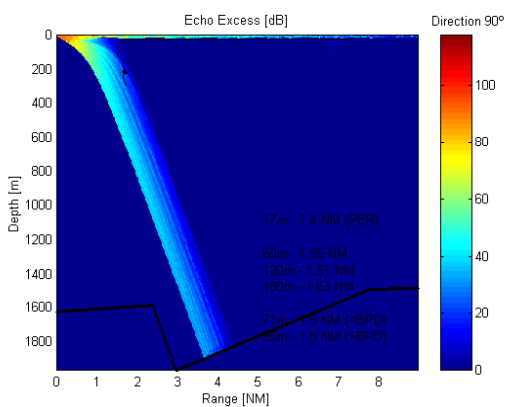
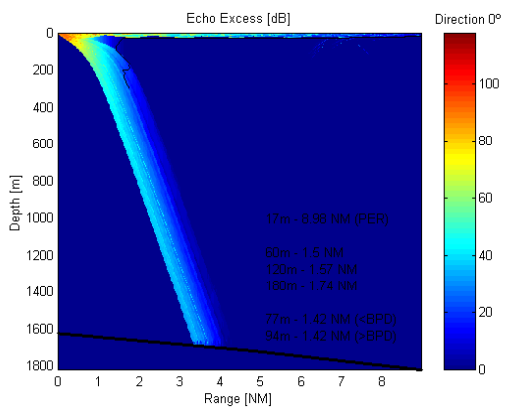
GRÁFICOS GERADOS PELO SISTEMA DE PREVISÃO DE ALCANCE SONAR PARA O EVENTO Nº 1 (VER CAPÍTULO 7) , COM A UTILIZAÇÃO DE DADOS DE XBT, COM FATOR DE CORREÇÃO DE TS E NO MODO ATIVO



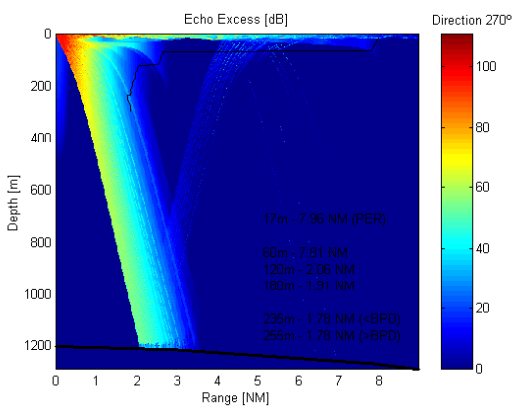
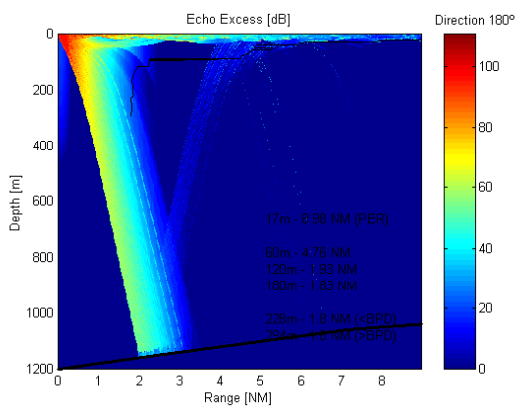
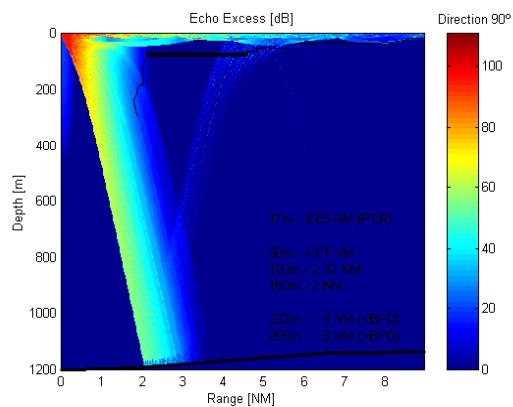
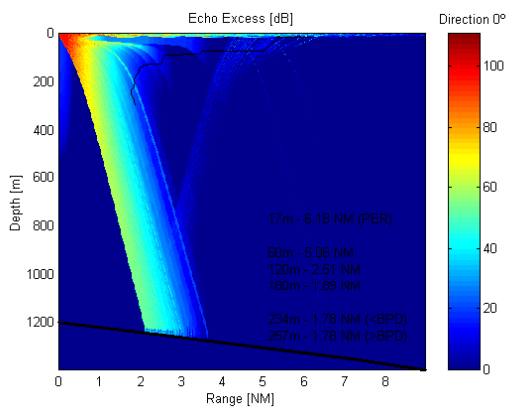
GRÁFICOS GERADOS PELO SISTEMA DE PREVISÃO DE ALCANCE SONAR PARA O EVENTO Nº 4 (VER CAPÍTULO 7) , COM A UTILIZAÇÃO DE DADOS DE XBT, COM FATOR DE CORREÇÃO DE TS E NO MODO ATIVO



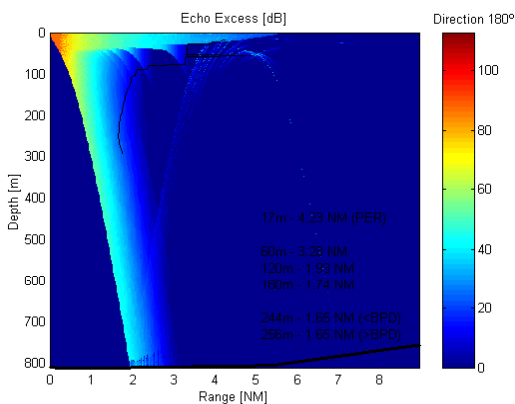
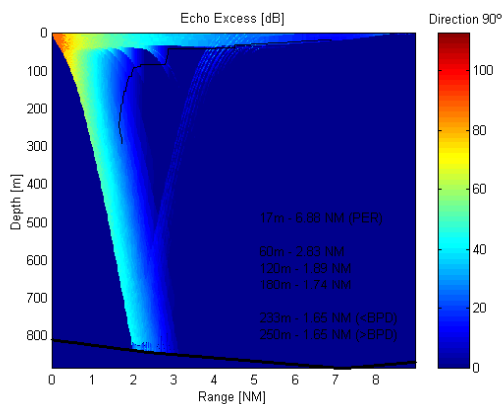
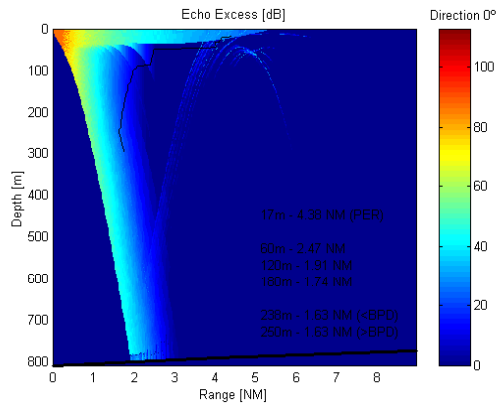
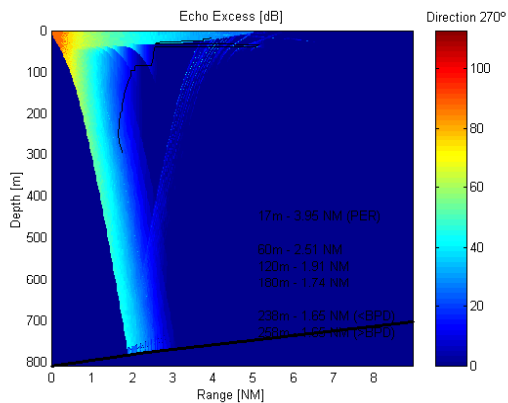
GRÁFICOS GERADOS PELO SISTEMA DE PREVISÃO DE ALCANCE SONAR PARA O EVENTO Nº 6 (VER CAPÍTULO 7) , COM A UTILIZAÇÃO DE DADOS DE XBT, COM FATOR DE CORREÇÃO DE TS E NO MODO ATIVO



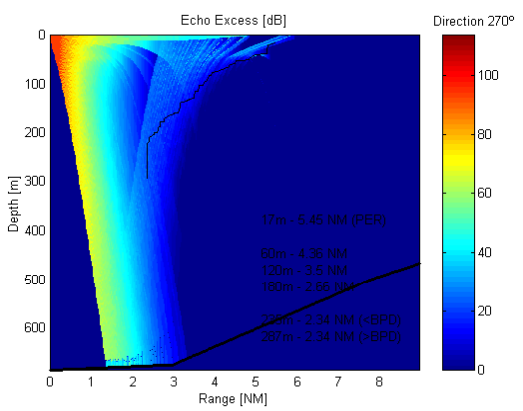
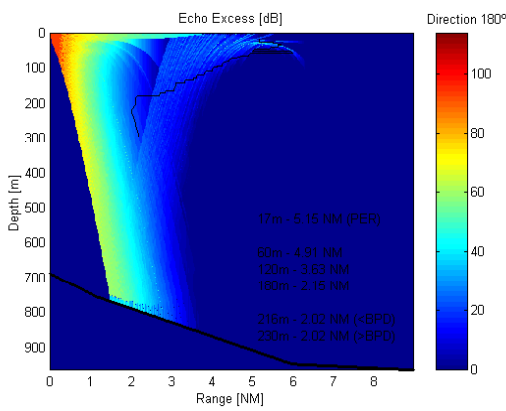
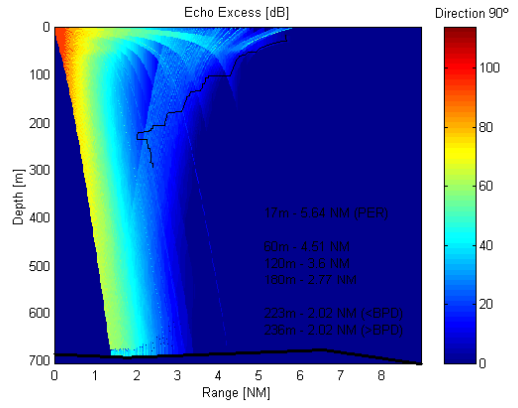
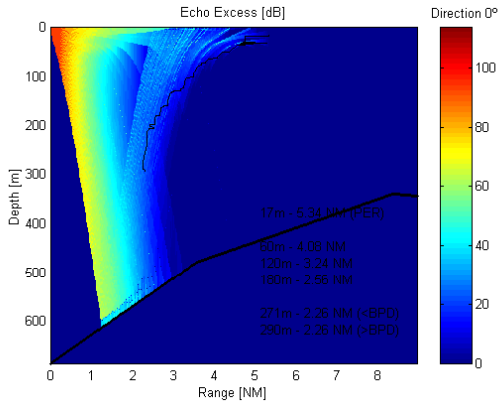
GRÁFICOS GERADOS PELO SISTEMA DE PREVISÃO DE ALCANCE SONAR PARA O EVENTO Nº 9 (VER CAPÍTULO 7) , COM A UTILIZAÇÃO DE DADOS DE XBT, COM FATOR DE CORREÇÃO DE TS E NO MODO ATIVO



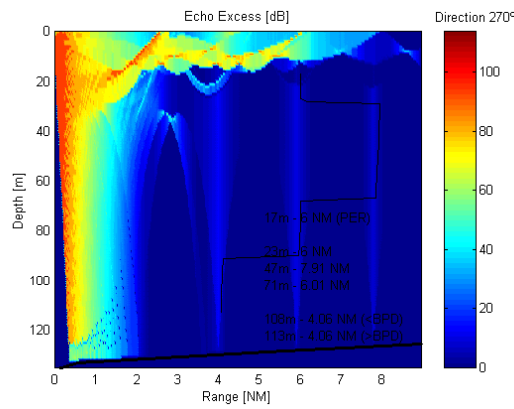
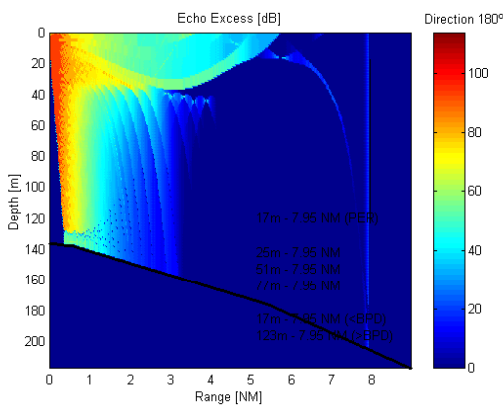
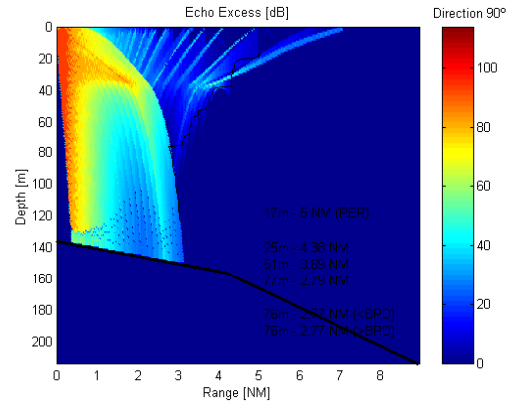
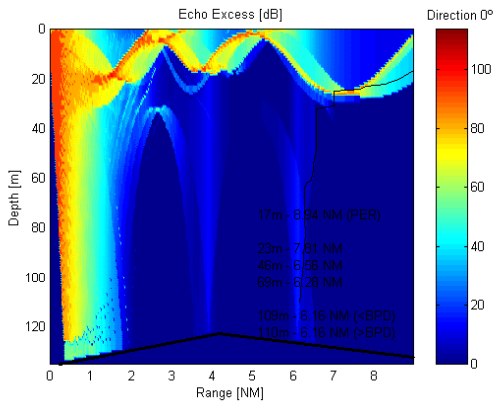
GRÁFICOS GERADOS PELO SISTEMA DE PREVISÃO DE ALCANCE SONAR PARA O EVENTO Nº 11 (VER CAPÍTULO 7) , COM A UTILIZAÇÃO DE DADOS DE XBT, COM FATOR DE CORREÇÃO DE TS E NO MODO ATIVO



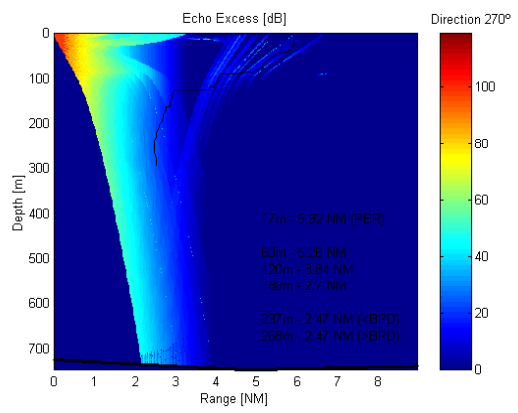
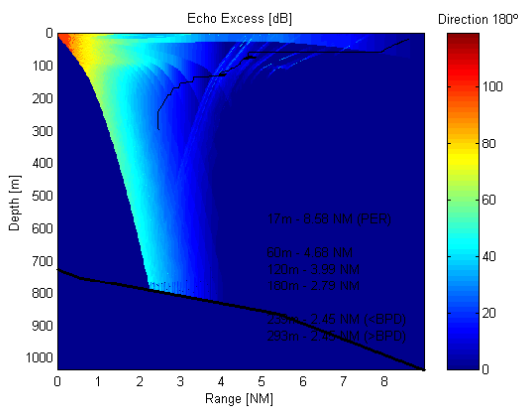
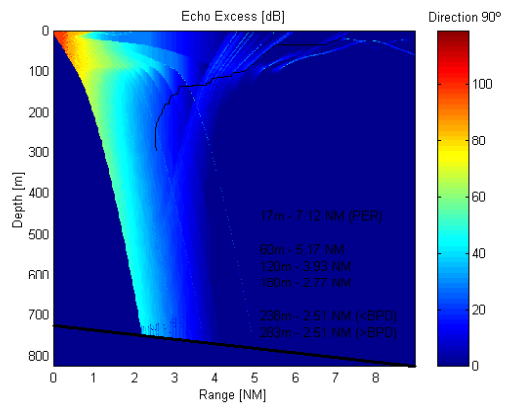
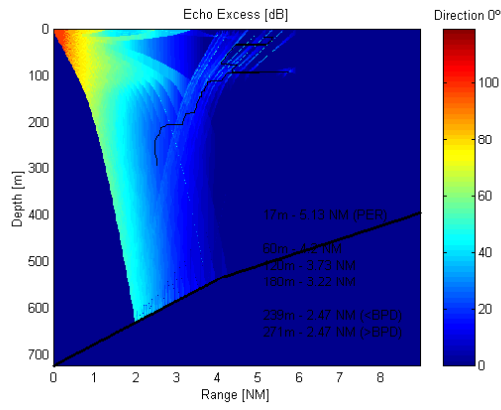
GRÁFICOS GERADOS PELO SISTEMA DE PREVISÃO DE ALCANCE SONAR PARA O EVENTO Nº 12 (VER CAPÍTULO 7) , COM A UTILIZAÇÃO DE DADOS DE XBT, COM FATOR DE CORREÇÃO DE TS E NO MODO ATIVO



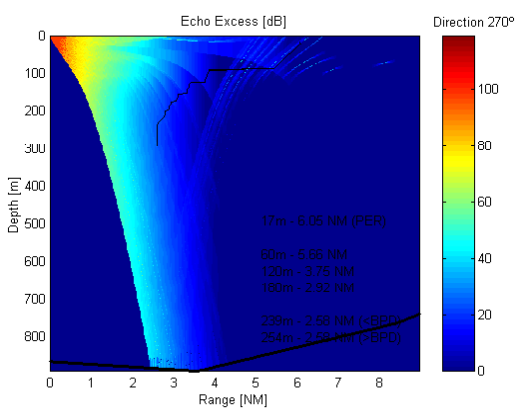
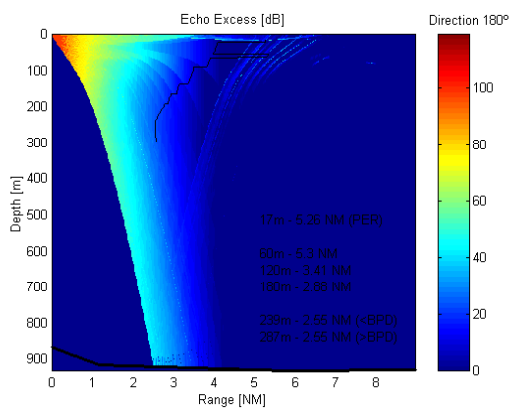
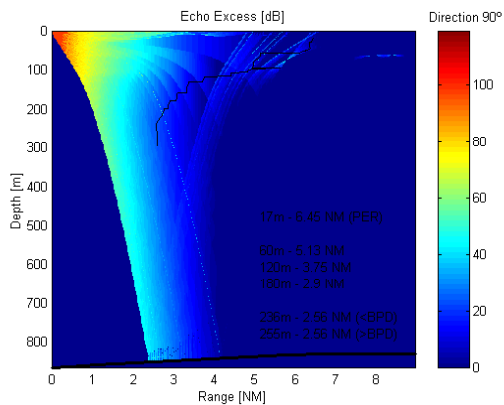
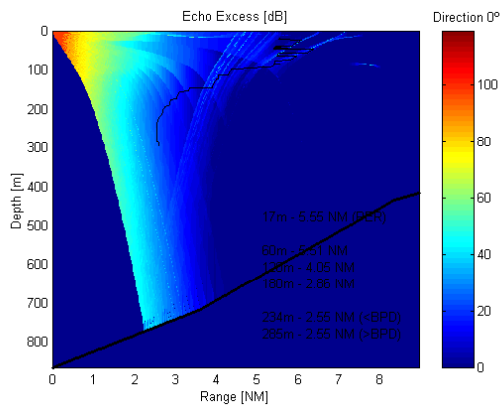
GRÁFICOS GERADOS PELO SISTEMA DE PREVISÃO DE ALCANCE SONAR PARA O EVENTO Nº 14 (VER CAPÍTULO 7) , COM A UTILIZAÇÃO DE DADOS DE XBT, COM FATOR DE CORREÇÃO DE TS E NO MODO ATIVO



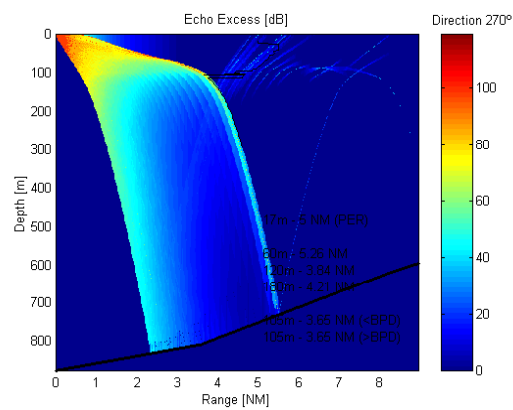
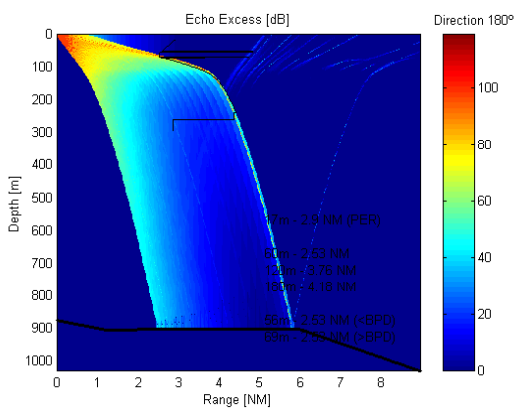
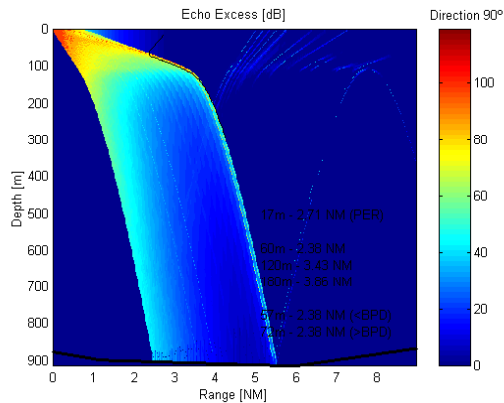
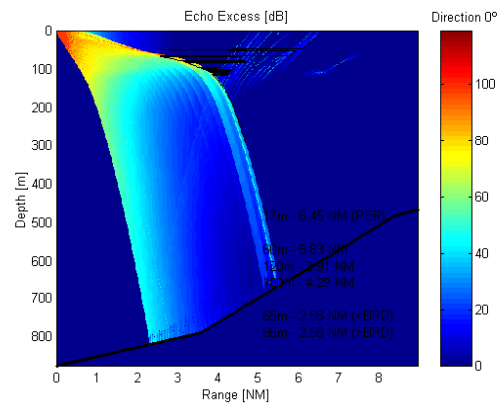
GRÁFICOS GERADOS PELO SISTEMA DE PREVISÃO DE ALCANCE SONAR PARA O EVENTO Nº 15 (VER CAPÍTULO 7) , COM A UTILIZAÇÃO DE DADOS DE XBT, COM FATOR DE CORREÇÃO DE TS E NO MODO ATIVO



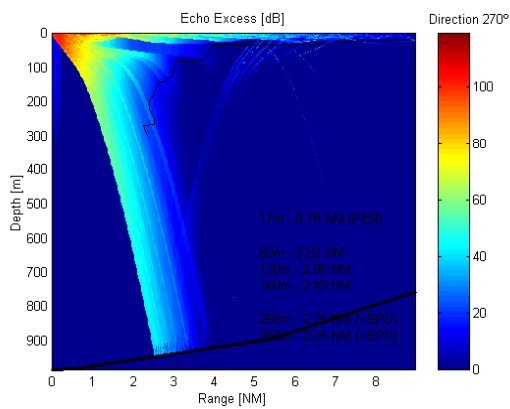
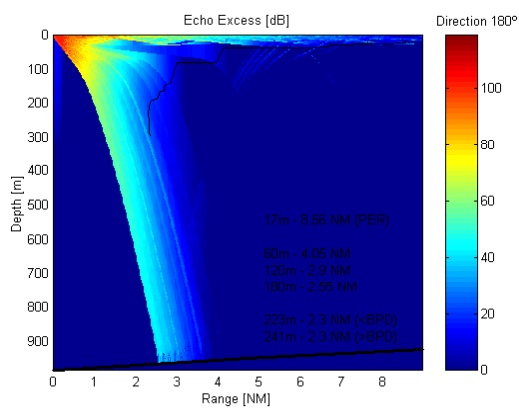
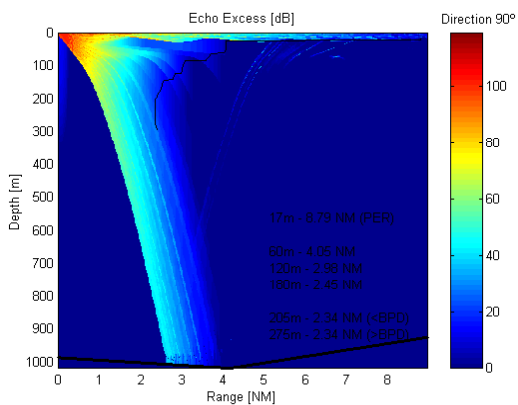
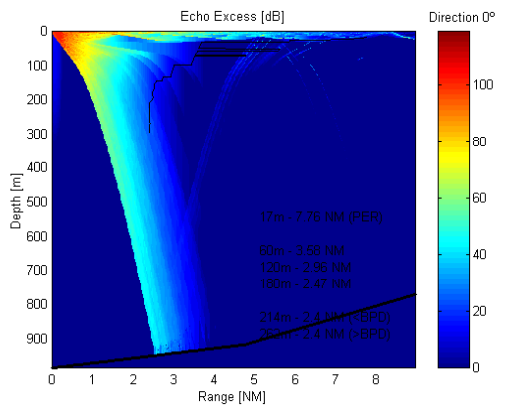
GRÁFICOS GERADOS PELO SISTEMA DE PREVISÃO DE ALCANCE SONAR PARA O EVENTO Nº 16 (VER CAPÍTULO 7) , COM A UTILIZAÇÃO DE DADOS DE XBT, COM FATOR DE CORREÇÃO DE TS E NO MODO ATIVO



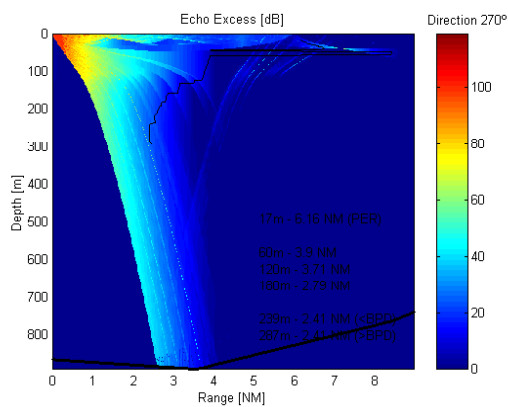
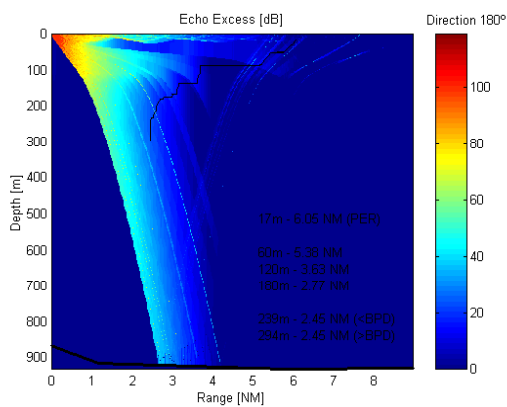
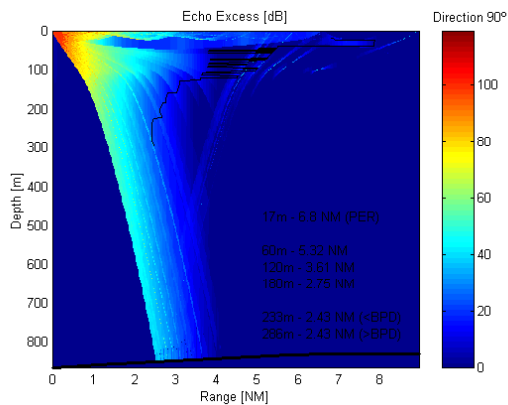
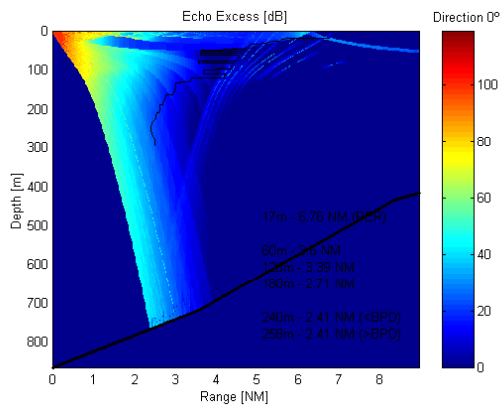
GRÁFICOS GERADOS PELO SISTEMA DE PREVISÃO DE ALCANCE SONAR PARA O EVENTO Nº 17 (VER CAPÍTULO 7) , COM A UTILIZAÇÃO DE DADOS DE XBT, COM FATOR DE CORREÇÃO DE TS E NO MODO ATIVO



GRÁFICOS GERADOS PELO SISTEMA DE PREVISÃO DE ALCANCE SONAR PARA O EVENTO Nº 18 (VER CAPÍTULO 7) , COM A UTILIZAÇÃO DE DADOS DE XBT, COM FATOR DE CORREÇÃO DE TS E NO MODO ATIVO



GRÁFICOS GERADOS PELO SISTEMA DE PREVISÃO DE ALCANCE SONAR PARA O EVENTO Nº 19 (VER CAPÍTULO 7) , COM A UTILIZAÇÃO DE DADOS DE XBT, COM FATOR DE CORREÇÃO DE TS E NO MODO ATIVO



GRÁFICOS GERADOS PELO SISTEMA DE PREVISÃO DE ALCANCE SONAR PARA O EVENTO Nº 19 (VER CAPÍTULO 7) , COM A UTILIZAÇÃO DE DADOS DE XBT, COM FATOR DE CORREÇÃO DE TS E NO MODO PASSIVO

