

AVALIAÇÃO OPERACIONAL DE SONAR *SIDESCAN* INSTALADO EM VEÍCULO AUTÔNOMO NÃO TRIPULADO PARA OPERAÇÕES CMM

MARCELO JOSÉ ANGHINONI NAVA*
Capitão de Corveta (RM3-EN)

VITOR ALBUQUERQUE**
Engenheiro Naval

SUMÁRIO

Introdução
Fundamentação Teórica
Metodologia
Materiais e Coleta de Dados
Resultados
Conclusões

INTRODUÇÃO

Os rápidos avanços nas tecnologias de engenharia vêm repercutindo no desenvolvimento de ferramentas e plataformas para operações de Contra-medidas de Minagem (CMM). Diversas Marinhas utilizam CMM para proteção contra minas, envolvendo medidas passivas e ativas (MAÊDA, 2022; HOZYN,

2021). Considerando medidas passivas, são realizadas modificações nas potenciais características e/ou assinaturas de um meio, com o objetivo de reduzir a probabilidade do acionamento de uma mina. Já medidas ativas de contramedidas visam encontrar minas, podendo elas ser de deriva, de fundo e/ou de fundeio.

Segundo Hozyn (2021), a medida ativa de caça-minas é definida como a busca de

* Mestre em Engenharia Elétrica e doutorando em Estudos Estratégicos da Defesa e Segurança. Atua como gerente de projeto da Divisão de Avaliação Operacional do Centro de Análises de Sistemas Navais (Casnav).

** Graduado em Engenharia Naval e mestrando em Engenharia Oceânica. Atua como analista operacional do Casnav.

minas em uma área suspeita, sendo comumente dividida em quatro estágios: detecção, classificação, identificação e neutralização. Particularmente, veículos não tripulados tornam-se cada vez mais desenvolvidos e capazes de realizar varreduras de caça-minas, atuando nas etapas de detecção, classificação e identificação. Estes veículos são munidos de equipamentos acústicos capazes de investigar uma região submersa em busca de minas e objetos semelhantes a minas (Mine-Like Objects – MLO), sendo eles ecobatímetros monofeixe, ecobatímetros multifeixe, sonar *sidescan* e sonar de abertura sintética (BLONDEL, 2009).

Constatada a relevância das contramedidas no âmbito militar, foi vislumbrada a possibilidade de acoplamento de um sonar *sidescan* junto ao Veículo de Superfície Não Tripulado Experimental (VSNT-E) da Marinha do Brasil (MB) para aplicação em operações CMM, com foco principal na varredura de áreas de influência, tais como entrada e saída de regiões portuárias e rotas de comércio (COUNCIL, 2011). Por se tratar de um equipamento com fins militares, foi adotado como metodologia o conceito de Avaliação Operacional (AO).

O artigo proposto visa apresentar uma pesquisa em desenvolvimento que possui como propósito a verificação da capacidade do sonar *sidescan* modelo EdgeTech 4125 (Figura 1), aplicado ao ambiente de operação do Veículo de Superfície Não Tripulado Experimental (VSNT-E) – desenvolvido pela Divisão de Modelagem e Simulação do Centro de Análises de Siste-



Figura 1 – Concepção artística do sonar *sidescan* empregado nos experimentos

Fonte: www.edgetech.com (2022)

mas Navais (Casnav) – como ferramenta de detecção de minas e MLO.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Acústica Submarina

A melhor e mais comum forma de investigar uma região submersa, sendo coluna d'água ou leito, de forma eficiente e com acurácia é por métodos acústicos. Diversos equipamentos são capazes de realizar mapeamentos sonares, podendo ser categorizados restritamente como ecobatímetros monofeixe, ecobatímetros multifeixe, sonar *sidescan* e sonar de abertura sintética (Blondel, 2009).

Estes equipamentos trabalham por meio de ondas acústicas, caracterizadas pela respectiva intensidade, medidas pela fonte em decibels (dB), frequência e comprimento de pulso. A intensidade está relacionada com as modificações na pressão sonora, sendo medida pelos hidrofones existentes no sistema sonar. A frequência f está relacionada diretamente com o comprimento de onda λ , descrito pela Equação (1):

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad (1)$$

Em que c é a velocidade do som no meio, assumindo valores entre 1.450 m/s e 1.550 m/s, de acordo com alguns parâmetros, tais como salinidade e temperatura.

A partir da Figura 2, é possível observar a frequência típica de aplicação dos sonares *sidescan*, que variam de 1kHz a 1MHz. Assumindo a velocidade do som como 1.500 m/s, nota-se que, para os casos de frequência igual a 1kHz e 1MHz, o comprimento de onda pode ser

diretamente calculado, assumindo valores de 1,5 m e 1,5 mm, respectivamente. Ou seja, a frequência utilizada por um sensor está diretamente relacionada ao seu alcance e à respectiva escala de detecção de características de possíveis alvos.

Outro conceito relevante para o entendimento dos princípios de funcionamento do sonar e da imagem resultante é a equação sonar descrita pela Equação (2). Esta é responsável por definir qual a intensidade de emissão requerida para que ocorra a detecção de um alvo (BARNGROVER, 2014).

$$DT \leq SL - 2 \times TL + TS - (NL - DI) \quad (2)$$

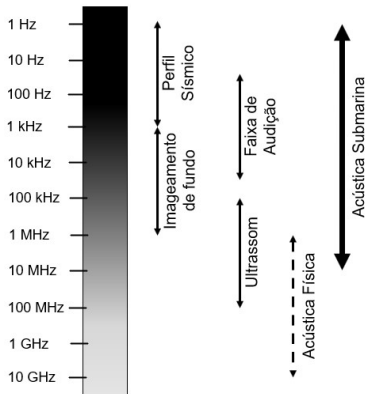


Figura 2 – Faixa de frequências em acústica submarina. Fonte: Adaptado de Blondel (2009)

Detection Treshold (DT) é o limiar de detecção, o qual representa a sensibilidade do sistema sonar para detecção acústica, ou seja, a resposta acústica deve ser maior do que este limiar para que o sistema detecte um alvo; Source Level (SL) é o nível da fonte, representando a intensidade emitida pelo sonar; Transmission Loss (TL) é a perda de transmissão devido a distorções e atenuações do meio aquático, o qual é multiplicado por dois devido a viagens em direção ao alvo e respectivo retorno; Target Strength (TS) é a força do alvo, representando a reflectividade de um

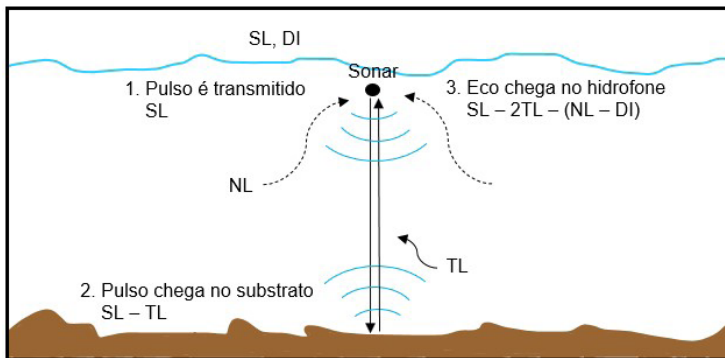


Figura 3 – Demonstração da Equação Sonar

alvo após a colisão da onda sonora; Noise Level (NL) é o nível de ruído do ambiente, que pode prejudicar a onda sonora produzida pelo sonar; e, finalmente, Directivity Index (DI) é o índice de diretividade, que indica a grandeza do ganho. A Figura 3 apresenta de forma objetiva a aplicação da equação sonar.

Sonar Sidescan

Um sonar *sidescan* é definido por Penrose J.D. (2005) como um equipamento emissor de pulsos sonoros laterais de alta frequência que são refletidos no fundo do mar e, a partir do retorno do eco, reproduzem o imageamento do leito marinho, tornando possível diferenciar tipos de substratos e reconhecimento de objetos, por exemplo. A Figura 4 demonstra o funcionamento do equipamento, com a

parte superior apresentando a emissão dos pulsos lateralmente, enquanto na parte inferior é exemplificado o resultado após a recepção do eco e processamento das informações.

A frequência de aplicação influencia diretamente na qualidade da imagem e na largura de cobertura do sonar. A resolução de um sonar *sidescan* combina duas medidas de resolução, a resolução *along-track* e a resolução *across-track*, apresentadas na Figura 4. A resolução *along-track* (Δx) é calculada a partir do alcance (R) e da largura de banda horizontal (θ_0), como visto na equação (3).

$$\Delta x = R \times \sin \theta_0 \quad (3)$$

A resolução *across-track* (Δy) é calculada a partir do comprimento de pulso do sonar transmissor (τ), da velocidade

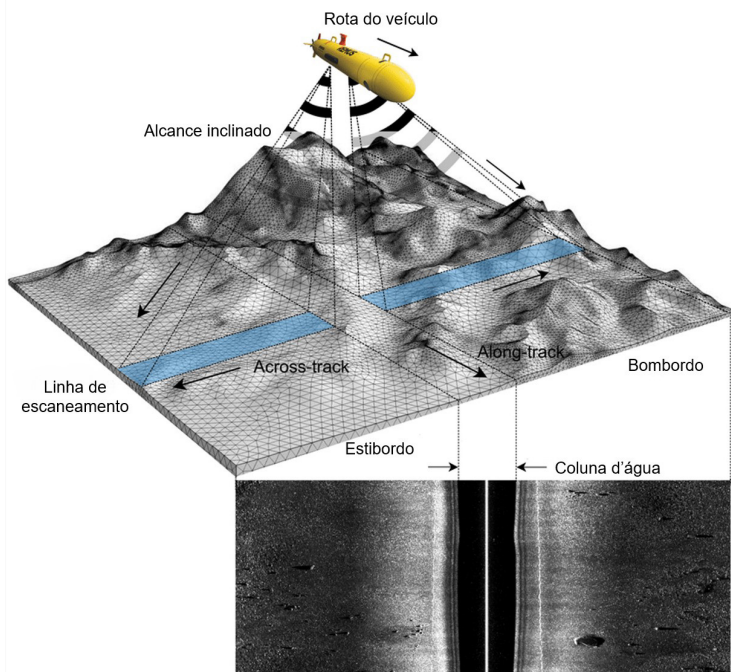


Figura 4 – Princípios de um sonar *sidescan*
Fonte: Adaptado de Le Hoang *et al.* (2020)

do som na água e do complemento do ângulo de incidência entre o feixe e a superfície (*grazing angle* - β), como visto na equação (4).

$$\Delta y = \frac{c\tau}{2} \times \frac{1}{\cos \beta} \quad (4)$$

A partir das configurações de frequência definidas e resoluções obtidas, observa-se a ocorrência de regiões de realce e sombra. Existem diversos fatores que determinam o brilho relativo de uma região de realce e a medida da respectiva sombra. O tamanho do objeto, o ângulo de incidência do raio acústico e a composição do material são exemplos destes fatores (ATHERTON, 2011). A Figura 5 apresenta as regiões de eco e sombra de um objeto, neste caso o eco gerado é processado pelo sonar como uma região de realce.

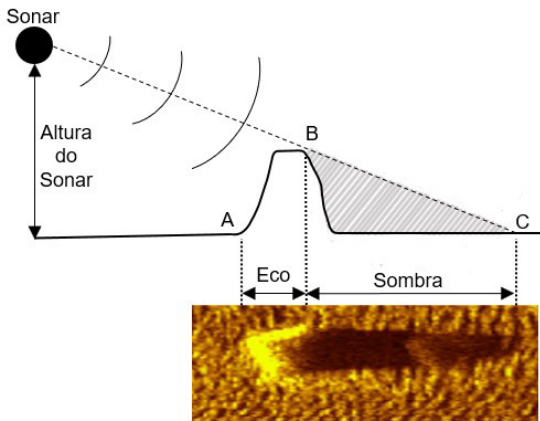


Figura 5 – Formação da imagem de um objeto no leito marinho por um *sidescan* sonar

Detecção de minas e MLO

Durante as duas últimas décadas, diversos estudos desenvolveram métodos para detecção automática de minas e

MLO por meio de recursos obtidos das regiões de realce e sombra. Segundo Le Hoang *et al.* (2020), a grande maioria das aplicações para detecção de minas e MLO utiliza algoritmos com base em recursos para identificar regiões suspeitas. Sawas e Petillot (2013) aplicam um algoritmo combinando um classificador de recursos Haar-Like e uma sequência de classificadores impulsionados, sendo a segunda apresentada inicialmente por Viola e Jones (2001). Já Barngrover *et al.* (2016) aplicam uma abordagem para destacar regiões de interesse por meio de um classificador de recursos Haar-Like. Além destes, também são utilizados métodos baseados em recursos, aplicando descrições visuais geométricas, tal como o *binnary pattern* (DALE *et al.*, 2019).

Os mais recentes métodos para detecção de minas e MLO aplicam algoritmos de maior complexidade, por meio de redes neurais profundas para o processamento das imagens produzidas pelos sonares em sua forma bruta, sem a aplicação manual de recursos, em que se usam diversos métodos, tais como redes neurais convolucionais e máquinas de vetores de suporte, entre outros (GEBHARDT *et al.*, 2017; MCKAY *et al.*, 2017; DENOS *et al.*, 2017).

METODOLOGIA

A AO busca determinar a eficácia e a adequabilidade de um sistema sob as condições mais usuais de operação. É um processo dinâmico, visto que o ambiente operacional, que inclui as missões planejadas e os diferentes modos de se utilizar um sistema, muda continuamente, como mudam as características do próprio siste-

ma. Novos usos para sistemas antigos são continuamente desenvolvidos. A AO, portanto, deve estender-se por todo o ciclo de vida do sistema, desde os estágios iniciais da sua concepção, passando pelo projeto e comissionamento, até a ampliação de sua vida, adaptando-a a novos usos. A AO segue o fluxograma resumido pela Figura 6.

A metodologia adotada abordará a Fase 2 de uma AO, em que será realizado o estudo do sistema e serão desenvolvidos a modelagem do experimento a ser executado e o planejamento das análises para verificação da capacidade de detecção de minas e MLO.

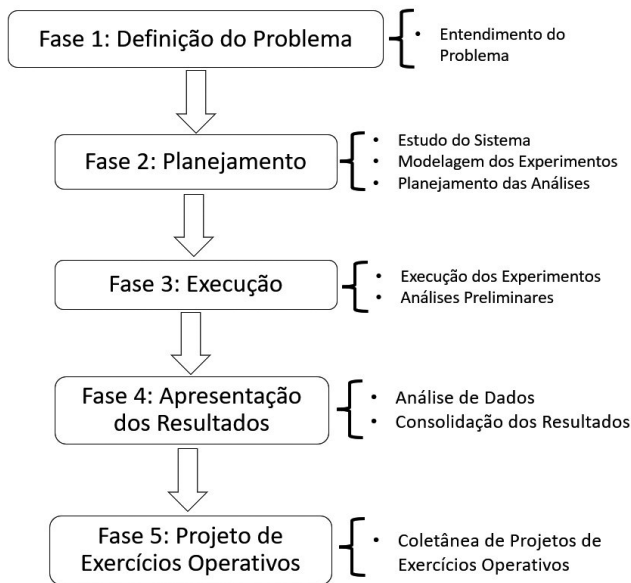


Figura 6 – Fluxograma de uma Avaliação Operacional
Fonte: Adaptado de EST (2004)

Estudo do Sistema

A primeira e principal tarefa para o planejamento de um experimento é o estabelecimento dos indicadores de eficácia para um objetivo predefinido, também chamado de Medida de Eficácia Operacio-

nal (MEO). Como definido previamente, o objetivo é a verificação da capacidade de detecção de minas e MLO. A partir disso, foi realizado o levantamento das MEO e Medidas de Eficácia de Desempenho (MED). As MED são formadas a partir de uma decomposição de cada MEO e que, quando agrupadas, quantificam sua respectiva MEO.

Para a definição das MEO e MED, é essencial o levantamento dos fatores de influência e/ou parâmetros para o experimento. Por exemplo, pode-se citar a condição ambiental como um fator que afetará diretamente o experimento e seus respecti-

vos resultados, uma vez que, com condições ambientais favoráveis, o limiar de detecção (LT) de um alvo reduz, enquanto para condições adversas este mesmo parâmetro aumenta, dificultando a detecção.

É sabido que alguns destes fatores não são controláveis, tais como as condições ambientais. Nestes casos é recomendado utilizar estes fatores como condições de contorno, ou seja, para a condição ambiental durante a execução de um experimento, o resultado encontrado não deve ser tomado como verdade absoluta, abrangendo

todas as possíveis condições ambientais, porém é admitida a aproximação deste resultado específico como geral, visando à simplificação do problema.

A partir disso, a Tabela 1 apresenta as MEO e MED levantadas para avaliação do objetivo e, na etapa seguinte de Mo-

Medidas de Eficácia Operacional (MEO)	Medidas de Eficácia de Desempenho (MED)
MEO 1 – Eficácia na detecção de MLO pelo sistema	MED 1.1 – Taxa de sucesso na detecção de MLO MED 1.2 – Limiar geométrico na detecção de MLO
MEO 2 – Taxa de sucesso na identificação de MLO pelo algoritmo	MED 2.1 – Acurácia do modelo para identificação de MLO MED 2.2 – Curva ROC (Probabilidade de detecção/Probabilidade de falso alarme)
MEO 3 – Quantidade de minas restantes no campo após varredura	MED 3.1 - Relação entre as minas detectadas e o total de minas

Tabela 1 – MEO e MED levantadas

delagem do Experimento, será observado o procedimento para coleta dos dados necessários ao cumprimento das mesmas.

Modelagem do Experimento

Nesta etapa, Fase 2 da AO, é definido o experimento para a coleta dos dados necessários para o cálculo das MEO e MED, apresentado pela Tabela 1. Para isto, o experimento será desenvolvido em duas etapas: a coleta de dados no mar e a aplicação de um algoritmo para detecção de minas e MLO.

Proposta de Algoritmo de Detecção de Minas e MLO

Esta etapa visa descrever os métodos para aplicação de um algoritmo para detecção automática de minas e MLO. Hozyn (2021) realizou a revisão de diversos métodos para detecção de minas e MLO, e, a

partir da avaliação realizada, optou-se por aplicar três métodos de detecção: o primeiro, utilizando a técnica de processamento de imagem clássico; o segundo, aplicando aprendizado de máquina; e o terceiro, aplicando aprendizado profundo de máquina. Então comparam-se os resultados aplicados para definir o algoritmo a ser aplicado no *software* desenvolvido. A Figura 7 demonstra um resultado muito semelhante ao que se pretende atingir pelo emprego do algoritmo, ou seja, a detecção automática da mina ou de uma provável mina (MLO).

O primeiro algoritmo é apresentado por Attaf *et al.* (2016), que utilizaram uma derivação da análise de componentes, explorando a protuberância das imagens produzidas pelo sonar. O segundo algoritmo selecionado foi descrito por Rao *et al.* (2009), sendo utilizado para aplicações em tempo real com bom desempenho. O terceiro algoritmo selecionado foi proposto

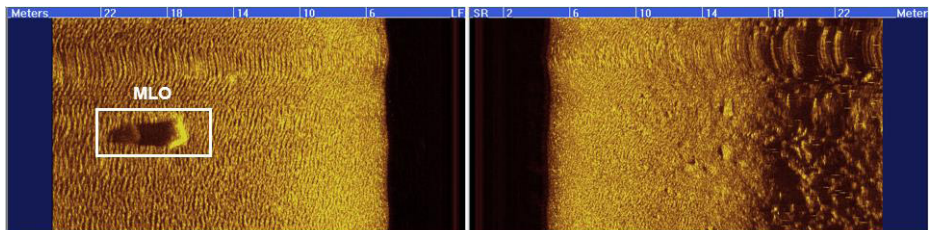


Figura 7 – Resultado esperado do algoritmo. A região destacada indica a detecção realizada pelo algoritmo, apontando uma mina ou uma provável mina

por Wu *et al.* (2019), sendo utilizada uma rede de arquitetura convolucional aplicável para processamento em tempo real.

Planejamento da Análise (PA)

A etapa de planejamento da análise tem como propósito quantificar as MED apresentadas na Tabela 1, sendo explicitado o procedimento para o cálculo de cada uma delas, de modo a avaliar a capacidade final do sistema na detecção de minas e MLO.

MEO 1 – Eficácia na detecção de MLO

Para a análise da MEO 1, propõe-se quantificar as MED 1.1 e 1.2. Para avaliação da MED 1.1 é aplicado o método de blocagem fatorial proposto por Montgomery (2008), avaliando-se o fator frequência como um bloco. Dessa forma, podem-se calcular a média da porcentagem de detecção em cada condição

do experimento e seu respectivo desvio padrão, para um intervalo de confiança de 95%. A MEO 1.2 contempla as condições geométricas mínimas para a detecção de uma mina ou MLO. Assim, o resultado é apresentado conforme a Tabela 2.

MEO 2 – Taxa de sucesso na identificação de MLO pelo algoritmo

A MEO 2 é analisada a partir da quantificação das MED 2.1 e 2.2. A MED 2.1 apresenta a acurácia do modelo, calculada pela relação entre a quantidade de alvos detectados corretamente e o total de alvos detectados. Já a MED 2.2 é demonstrada por meio da curva de Característica de Operação do Receptor (Receiver Operating Characteristic – ROC) e da Área sob a Curva (Area Under the Curve – AUC), com o propósito de avaliar o desempenho do modelo desenvolvido, representado pelo gráfico da Figura 8.

Bloco	Frequência: Low				
Fator	Range 1: 25m				
	% de Detecção	Desvio Padrão	Intervalo de Confiança	Altura	Comprimento
Ganho 1	\bar{x}_{detec}	s_{detec}	95%	h_{min}	l_{min}
Ganho 2	\bar{x}_{detec}	s_{detec}	95%	h_{min}	l_{min}
Ganho 3	\bar{x}_{detec}	s_{detec}	95%	h_{min}	l_{min}

Tabela 2 – Apresentação da MEO 1

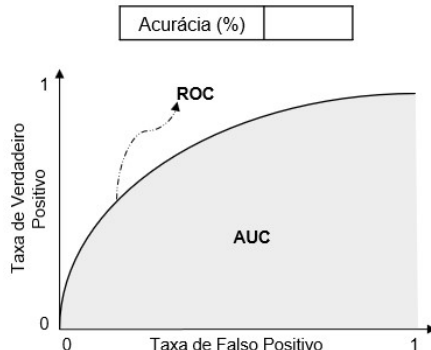


Figura 8 – Apresentação da MEO 2
Fonte: Adaptado de Montgomery (2008)

MEO 3 – Quantidade de minas restantes no campo após a varredura

A MEO 3 é analisada em função da quantificação da MED 3.1, por meio da verificação do número total de minas detectadas e do número esperado de minas detectadas. Calcula-se a relação entre estes dados após cumprimento de todo o experimento.

MATERIAIS E COLETA DE DADOS

Os dados foram coletados nas proximidades da Escola Naval, com profundidades entre 6 e 10 m, tença de areia e lama, e significativa quantidade de detritos no fundo (poitas, pneus, ferros e amarras antigas em geral). A Figura 9 apresenta um croqui com a área de testes varrida pelo sonar e a indicação do local onde foram posicionados os alvos.

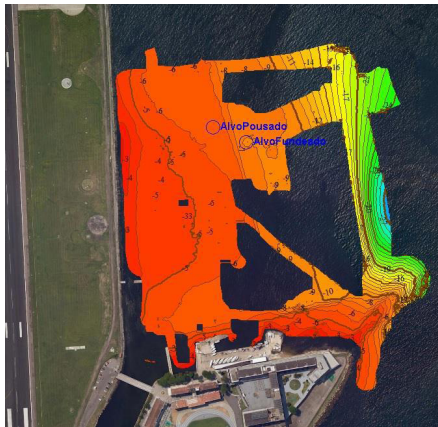


Figura 9 – Croqui indicando a área de testes nas proximidades da Escola Naval. Dados obtidos pelo sonar *sidescan* e adicionados como camada geográfica em foto satelital

Empregaram-se como alvos dois tonéis de 200 L, cujo formato geométrico é muito semelhante ao de minas (MLO), possibilitando a coleta de um volume

significativo de dados. Observa-se, pela Figura 9, o posicionamento de ambos, denominados Alvo Pousado e Alvo Fundeado. O primeiro foi simplesmente colocado no fundo do leito marinho a uma profundidade de cerca de 7 m; o segundo foi conectado a uma amarra e mantido a uma altitude de cerca de 3 m, em relação ao fundo, e a uma profundidade de cerca de 3,5 m. A posição de ambos foi identificada, na superfície, por meio de uma boia de arinque.

Oportunamente, também serão empregadas minas reais MK-9, devidamente inertizadas e descarregadas. Estes alvos experimentais são apresentados na Figura 10.



Figura 10 – À esquerda, alvos do tipo Tonel 200 L, empregados nos testes como alvos MLO; notam-se, ao fundo, amostras de poitas que foram encontradas no ambiente de testes como falsos positivos. À direita, fotografia de uma mina MK-9, a qual será futuramente empregada na coleta de dados



Figura 11 – No detalhe da figura, observa-se o sonar *sidescan* EdgeTech 4125 (BHMN) fixado na base, especificamente projetada para os testes com o VSNT-E

O sonar *sidescan* EdgeTech 4125 foi operado usando-se como plataforma vetorial o VSNT-E. Para isso, foi adaptada uma base de fixação, projetada e fabricada pelo LabOceano (Coppe/UFRJ), conforme demonstrado pela Figura 11.

O percurso realizado pelo VSNT-E para detecção dos alvos e coleta dos dados (padrão de varredura) foi determinado a partir das propostas de Kapctanovic *et al.* (2018), que apresentaram diversos padrões de varredura de caça-minas. A Figura 12 apresenta o padrão de varredura escolhido para os experimentos.

A partir do conceito de problema de amostragem demonstrado por Freeman *et al.* (2017), é possível observar que a execução de uma varredura para cada combinação de valor dos fatores avaliados produz uma quantidade de dados satisfatória para a avaliação do experimento. Porém, como parte da avaliação deste experimen-

to envolve a aplicação de algoritmos de aprendizado de máquina, é extremamente necessária a obtenção do máximo de dados possíveis. Por essa razão, optou-se pela realização de duas repetições da trajetória.

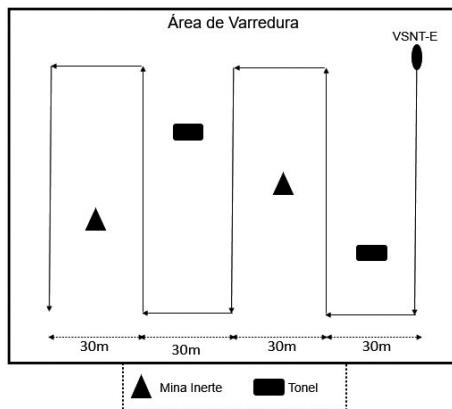


Figura 12 – Padrão de varredura dos experimentos de coleta de dados

Os fatores e parâmetros avaliados, por sua vez, são apresentados na Tabela 3. Nos experimentos, os seguintes fatores de análise foram variados: frequência, alcance (*range*) e ganho (intensidade da emissão).

Fatores	Valores Assumidos
Frequência	Low, High
Range (m)	25, 50, 75, 100
Ganho (dB)	30, 33, 36 (Low) 60, 65, 70 (High)

Tabela 3 – Fatores avaliados na Avaliação Operacional

Importante salientar que, segundo Guedes e Junior (2019), durante as Fases 2 e 3 da AO, é prevista a realização de pré-testes e ensaios da missão, de modo a se

identificarem inconsistências e promover a análise de sensibilidade. Baseada neste conceito, foi realizada etapa de ensaio similar ao exercício previsto pela Figura 13, executada apenas com dois tonéis de 200 L. Os resultados desse experimento são apresentados na sequência.

RESULTADOS

Conforme descrito, a partir do estudo do sistema, da modelagem do experimento e do planejamento da análise, tornou-se possível avaliar a viabilidade do sistema composto pelo equipamento sonar *si-descan* na detecção de minas e MLO. A Figura 14 apresenta a detecção, destacada por bombordo, de um dos alvos.



Figura 13 – Equipes das Divisões de Avaliação Operacional e Modelagem e Simulação do Casnav a bordo do Veículo de Superfície Não Tripulado Experimental (VSNT-E) para verificação dos procedimentos pré-teste

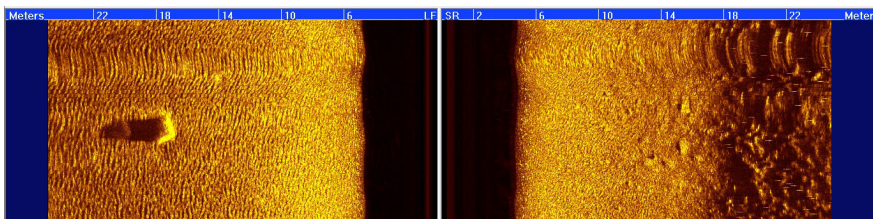


Figura 14 – Imagem capturada pelo *software* Discovery, produzido pela EdgeTech, para a apresentação da varredura em tempo real. Observam-se, por bombordo da plataforma, a detecção de um dos alvos e sua sombra produzida

Foram empregadas as frequências de 400 e 900 KHz do equipamento, sendo a de 900 KHz posteriormente adotada como prioritária para condução dos testes por demonstrar melhores características de resolução e poder discriminador dos alvos.

Ambos os alvos foram detectados com sucesso, apesar da grande quantidade de objetos presentes no fundo em posições próximas, o que ressalta, ainda mais, a importância do desenvolvimento de algoritmos de reconhecimento automático de alvos. O posicionamento do “peixe” do *sidescan* ficou solidário ao VSNT-E, não sendo utilizado o aparelho de

reboque do mesmo, tendo em vista ser este um experimento para verificação da viabilidade de emprego nesta modalidade, que facilita a operação não tripulada, sabendo-se das limitações inerentes em profundidades de busca maiores. Até a profundidade de 10 m, a operação solidária ao casco mostrou-se eficiente e facilitou, inclusive, a redução da imprecisão do georreferenciamento das imagens e dos alvos detectados.

As Figuras 15 a 20 apresentam as varreduras e imagens mais significativas, obtidas durante os experimentos. Todas foram elaboradas pelos autores.

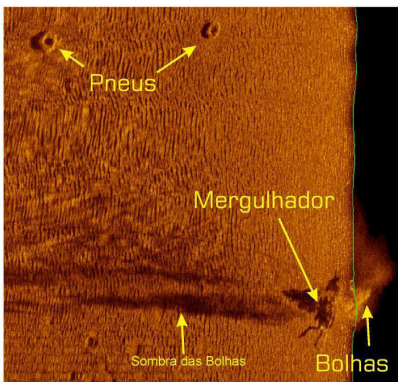


Figura 15 – Esquema ilustrativo de uma amostra de *sidescan* 900 KHz, em que foram capturadas imagens do mergulhador da Bacs realizando inspeção no alvo pousado



Figura 16 – Exemplo de medição de imprecisão do alvo *sidescan*, medido no *software* SonarWiz a partir do mosaico gerado

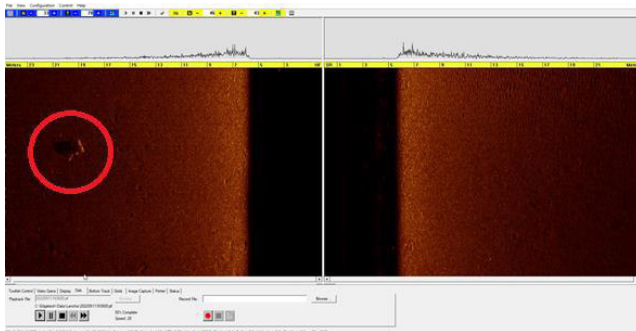


Figura 17 – Captura de tela do *software* Edgetech Discovery, que realizou a busca, indicando o alvo pousado no fundo, em uma das varreduras realizadas

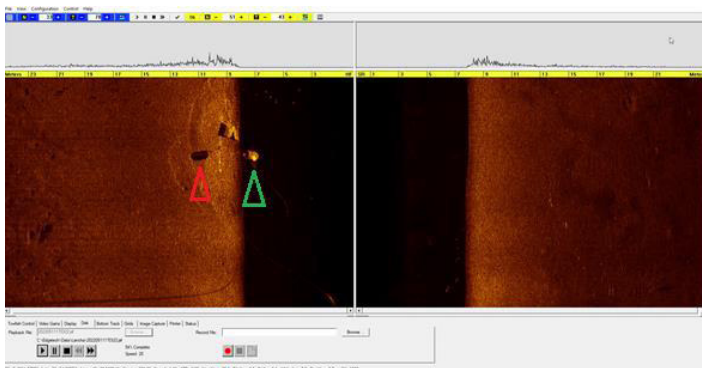


Figura 18 – Captura de tela do Edgetech Discovery no momento de detecção do alvo fundeado a 3 m de altitude. Na indicação em vermelho, a sombra e, na verdade, observa-se o alvo

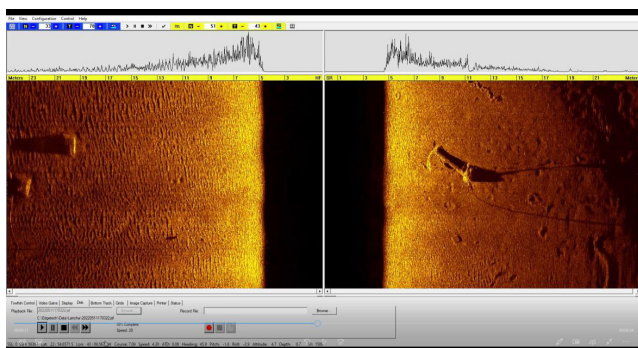


Figura 19 – Exemplos de possíveis falsos positivos, como poitas (à esquerda) e ferro almirantado perdido no fundo

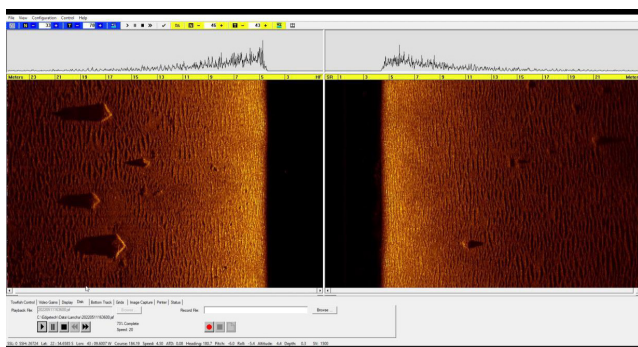


Figura 20 – Poitas perdidas no fundo, contribuindo para formação de ambiente complexo para detecção dos alvos. Notam-se a nitidez e a facilidade de identificação destes objetos pela forma e pelo contraste de retorno do eco

Probabilidade de detecção

Os resultados obtidos sugerem evidências de que o cálculo da probabilidade de detecção de um MLO para Guerra de Minas seja feito levando-se em conta uma ampla gama de variáveis que podem interferir na eficiência do binômio VSNT-E x Sensor, mostrando que experimentos mais aprofundados e repetitivos necessitam ser conduzidos futuramente. As principais variáveis de controle, identificadas até o momento para estimativa da probabilidade de detecção, são:

– *Presença de objetos no fundo (falso positivo):* a grande quantidade de objetos no fundo, na região de operação dos testes (pneus, poitas, ferros e amarras), indicou a

necessidade de se conhecer previamente o perfil-base para um bom levantamento posterior, reduzindo bastante a detecção de falsos positivos quando estes possuem tamanho, forma e refletividade semelhantes ao MLO em questão;

– *Velocidade de busca*: baixas velocidades mostram-se mais indicadas para melhor resolução da imagem gerada e melhor amostragem de dados (maior densidade de pontos);

– *Estado do mar*: com a operação do *sidescan* solidário ao casco, existe a transferência do balanço e do caturro da embarcação para o sensor, que, ainda que empregando compensação de IMU (sensor de altitude), interfere na qualidade do dado coletado;

– *Altitude do sensor*: principalmente para o *sidescan*, exerce papel preponderante para a geração de “sombra”, na imagem gerada em tempo real, que é um dos principais recursos para o operador detectar um alvo;

– *Forma e material do alvo*: percebeu-se que alguns alvos detectados (como as poitas) apresentaram uma probabilidade de detecção muito superior ao MLO empregado para os experimentos (tonel 200 L). Sugere-se que a forma trapezoidal da poita e sua construção em concreto ofereçam forma e refletividade que facilitem a geração de eco para ambos os sonares, e este fator deve ser explorado em experimentos futuros para se parametrizar estas variáveis no cálculo da probabilidade de detecção. Mostra-se importante o profundo conhecimento do alvo a ser detectado em uma busca para Guerra de Minas, de modo a estimar as características da imagem a ser retornada pelo sensor em questão e diferenciação com os falsos positivos; e

– *Profundidade de busca*: existem evidências de que o emprego do *sidescan* solidário ao casco fique limitado a profun-

didades de 15 a 20 m, degradando bastante a sua eficiência acima disso, levando-se à necessidade de recorrer à operação rebocada do “peixe”.

CONCLUSÕES

O presente artigo apresentou a abordagem de Avaliação Operacional para verificação de viabilidade de aplicação de um sonar *sidescan* para detecção de minas e MLO no ambiente de operação do VSNT-E. Foi elaborado um experimento para coleta dos dados necessários, considerando os fatores relevantes e os respectivos procedimentos para quantificação e qualificação das análises.

A partir da validação do objetivo levantado, será possível agregar a função de operação de CMM ao VSNT-E, trazendo diversos benefícios à Marinha do Brasil. Como exemplo, citam-se: redução de pessoal e de custo necessário para realização de varredura de caça-minas, uma vez que o VSNT-E não requer destaque de militar a bordo da embarcação; e a mitigação da exposição ao perigo para a tripulação durante varredura de caça-minas. Assim, eventual detonação da mina não causará baixas.

Complementarmente, o sonar demonstrou-se capaz de ser operado remotamente por meio do enlace de rádio de dados tipo MeshIP do VSNT-E, com acesso remoto a partir da base de C2 da operação montada na Escola Naval a distâncias não superiores a 1 MN. Não existem limitações preliminares que impeçam a operação remota, também, em distâncias maiores de 10 MN.

Os experimentos realizados tiveram sucesso quanto ao objetivo proposto, qual seja a verificação de adequabilidade de emprego do *sidescan* de forma solidária ao casco do VSNT-E para águas ultrarrasas. O desencadeamento natural posterior é a continuação dos experimentos, elevando a

complexidade da operação, que é refletida no incremento gradual da profundidade de busca, utilizando-se os conhecimentos adquiridos até o momento, como, por exemplo, a identificada ineficiência do *sidescan* solidário ao casco nestas novas condições (profundidades maiores de 20 m), indicando a necessidade de operação rebocada a partir do VSNT-E.

Baseando-se nos testes atuais, sugere-se experimentar o modo rebocado do *sidescan* em profundidades maiores que 20 metros, bem como o emprego de minas reais de exercício em substituição aos tonéis de 200 L, para efeitos de comparação de resultados (*benchmark*).

Por fim, o desenvolvimento de um algoritmo para detecção automática de minas e MLO, a partir das imagens gera-

das em tempo geral pelo sonar, mostra-se fundamental para maior agilidade de processamento do enorme volume de dados gerados, além de manter-se em sincronia com o propósito de autonomia da plataforma.

Agradecimentos

Os autores manifestam seus agradecimentos ao Capitão de Mar e Guerra (RM1) Claudio Coreixas de Moraes e a sua equipe da Divisão de Modelagem e Simulação do Casnav, pela disponibilidade de emprego do VSNT-E para a realização dos experimentos; e à Base de Hidrografia da Marinha em Niterói (BHMN), pelo empréstimo do sensor *sidescan* EdgeTech 4125.

📁 CLASSIFICAÇÃO PARA ÍNDICE REMISSIVO:

<ARTES MILITARES>; Guerra de Minas;

<CIÊNCIA & TECNOLOGIA>; Sonar;

<FORÇAS ARMADAS>; Sonar;

<SISTEMAS>; Sistema de Sonar;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A lista de Referências Bibliográficas pode ser obtida pelo *e-mail*: nava@marinha.mil.br.