

A VIABILIDADE DE UM SISTEMA HIDROACÚSTICO DE MONITORAMENTO DE TRÁFEGO MARÍTIMO NA AMAZÔNIA AZUL

PAULO RODRIGUES ROCHA DA SILVA*
Primeiro-Tenente

SUMÁRIO

Introdução
Atuais características do monitoramento marítimo
Sistema hidroacústico proposto
Resultados e discussão
Conclusão

INTRODUÇÃO

Manter nossas Forças Armadas com equipamentos modernamente desenvolvidos e com tecnologia de ponta configura uma necessidade nacional e uma demanda evidente. Dado o cenário atual e, principalmente, em decorrência das dimensões continentais do País, cabe às nossas Forças Armadas a árdua missão de manter nossa soberania nacional por meio do controle de nossas fronteiras.

Isso exige que nossas Forças estejam em um constante processo de moderniza-

ção tecnológica que vise manter um monitoramento mais eficaz e em tempo próximo ao real de nossa vasta extensão, em particular, da abrangência territorial que compreende nossas fronteiras marítimas.

Diante deste contexto, ressalta-se a relevância que estudos na área da acústica submarina trouxeram para a sociedade moderna, pois, apesar de esta ser uma área de conhecimento com linhas de pesquisa decorrentes desde o século XV, ganhou força, notoriedade e vasta linha de pesquisa principalmente após o cenário da Primeira Guerra Mundial, devido à

* Realizou o Curso de Aperfeiçoamento Avançado em Guerra Acústica no biênio 2021-2022, no Centro de Instrução Almirante Wandenkolk, em convênio com a Coppe/UFRJ.

relevância que os submarinos trouxeram para o cenário estratégico das nações. Em decorrência disso, diversas tecnologias surgiram, principalmente ao longo das últimas décadas, em especial nas áreas de Oceanografia, Bioacústica e Acústica Submarina, resultando em relevantes avanços tecnológicos para o meio naval no cenário global.

Em âmbito nacional, o estudo e o desenvolvimento de tecnologias de defesa debaixo d'água configuram-se essenciais para a manutenção de nossa soberania, pois a independência tecnológica trazida pela nacionalização de sistemas é item fundamental para a Defesa Nacional.

Compreendendo a complexidade do constante monitoramento de toda nossa extensão territorial,

o Governo Federal criou o Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia (Censipam)¹, órgão subordinado

ao Ministério da Defesa que integra informações e gera conhecimento atualizado para articulação, planejamento e coordenação de ações de governo na Amazônia Legal, em prol da proteção ambiental e do desenvolvimento sustentável de suas regiões. Em parceria com a Marinha do Brasil (MB), o Censipam conduz projetos e atividades que contribuem para o Sistema de Gerenciamento da Amazônia Azul (SisGAaz)², sistema gerenciado pela MB por meio do Comando de Operações Marítimas e Proteção da Amazônia Azul (COMPAAz), que é responsável pelo

monitoramento, controle e proteção da Amazônia Azul. A Figura 1 apresenta um esboço do projeto do SisGAaz.

O SisGAaz integra equipamentos e sistemas compostos por radares localizados em terra e embarcações, além de câmeras de alta resolução e capacidades como o fuscionamento de informações recebidas de sistemas colaborativos, destacando-se o Sistema de Monitoramento Marítimo de Apoio às Atividades de Petróleo (Simmap), o Sistema de Informação Sobre o Tráfego Marítimo (Sistram) e o Programa Nacional de Rastreamento de Embarcações Pesqueiras por Satélite (Preps), todos baseados em rastreamento de posição por via satélite. Os dados captados por GPS são transmitidos por meio de comunicação satelital

para as centrais de rastreamento³.

A fim de expandir a capacidade de atuação do SisGAaz, além de contribuir com o aperfeiçoamento do

monitoramento marítimo para estabelecer maior controle sobre nossas águas e prover combate eficaz a atividades ilegais na Amazônia Azul, este artigo elenca informações e dados técnicos que esboçam a viabilidade do desenvolvimento de um protótipo hidroacústico de detecção, acompanhamento e classificação de embarcações de interesse para uso do nosso Poder Naval. Este produto incorporado à Indústria Nacional de Defesa (IND) terá como principal objetivo prover um sistema totalmente nacional e independente que será capaz de manter o moni-

Tecnologias de defesa abaixo d'água são essenciais para nossa soberania

1 Disponível em: <https://www.gov.br/defesa/pt-br/assuntos/censipam/atuacao>. Acesso em: 18 fev. 2022.

2 Considerado um “Sistema de Sistemas”, o SisGAaz é destinado a prover monitoramento e controle sobre as águas jurisdicionais, com funcionalidade dual nos campos militar e civil.

3 Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/sisgaaz-protacao-e-monitoramento-das-aguas-jurisdicionais-brasilairas?msclkid=7bbdc6b7c4d011ec87d8581f9bc47e1c>. Acesso em: 17 abr. 2022.

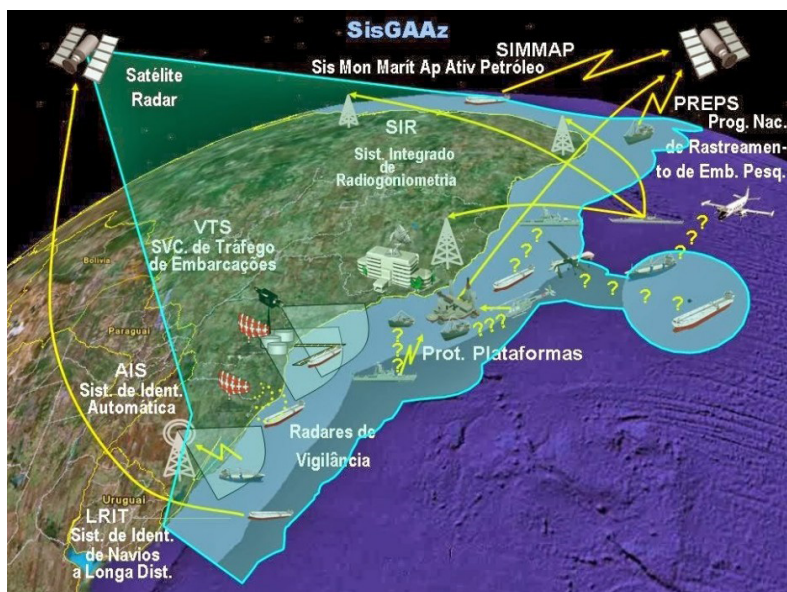


Figura 1 – Abrangência do Monitoramento do SisGAAz

Fonte: Marinha do Brasil (2014)

toramento de embarcações na Amazônia Azul, servindo como importante subsídio de apoio à Inteligência Operacional e Estratégica do nosso Poder Naval, bem como às forças de Segurança Pública.

ATUAIS CARACTERÍSTICAS DO MONITORAMENTO MARÍTIMO

Em sua atual configuração, o COM-PAAz dispõe basicamente de quatro componentes principais que auxiliam a realização do monitoramento do tráfego marítimo em toda sua área de abrangência:

– Emprego do GPS⁴ (Global Positioning System – Sistema de Posicionamento Glo-

bal). Apesar de ser um componente de localização extremamente preciso (menos de cinco metros de erro) e eficaz, atualmente apenas três países (China, Estados Unidos da América e Rússia) e a União Europeia possuem sistemas próprios de satélite. O Brasil não é detentor desta tecnologia, apenas usuário do sistema americano e, caso pretendesse investir em um sistema de posicionamento por satélites, precisaria desembolsar algumas dezenas de bilhões de reais, levando-se em consideração uma superficial comparação com o sistema de navegação por satélite chinês ativado em 2020 (Beidou), que custou U\$S 9 bilhões⁵ (aproximadamente 45 bilhões de reais).

4 O Sistema de Posicionamento Global (GPS) é um sistema de navegação por satélite que fornece a um aparelho receptor móvel a sua posição, sob quaisquer condições atmosféricas, a qualquer momento e em qualquer lugar na Terra, desde que o receptor se encontre no campo de visão de três satélites GPS (quatro ou mais, caso seja necessária uma precisão maior). Disponível em: https://www.gta.ufrrj.br/grad/08_1/gps/index.html?msclid=579dcd11c2d611eca7dc0ebb13940f13. Acesso em: 23 mar. 2022.

5 Disponível em: <https://oglobo.globo.com/economia/tecnologia/saiba-que-o-beidou-projeto-de-us-9-bilhoes-da-china-para-rivalizar-com-gps-23262809>. Acesso em: 15 abr. 2022.

– Utilização do AIS⁶ (Automatic Identification System – Sistema Automático de Identificação de Embarcações), sistema bem amplo que compila diversas informações das embarcações pelo próprio armador da embarcação, porém apenas o emprego do AIS não possibilitaria a concepção de um quadro completo e atualizado do tráfego marítimo. É importante ressaltar que somente as embarcações enquadradas na Convenção Solas (Safety of Life At Sea – Salvaguarda da Vida Humana no Mar) de 1974 são obrigadas a portar AIS. Assim, em águas interiores, a maior parte das embarcações não dispõe deste sistema. Em concomitância, por ser um equipamento interno de cada embarcação, o AIS pode ser desligado ou ainda operar incorretamente, o que torna insuficiente para um sistema de monitoramento de tráfego marítimo contar apenas com sensores deste tipo.

– Uso de sistemas Radar que possibilitam um rastreamento de embarcações nas regiões de interesse nas proximidades a entradas de porto. Porém, devido às características próprias e pela limitação de propagação dos radares utilizados, este sistema se limita a um raio máximo de até 50 MN, aproximadamente, se mostrando insuficiente diante de nossa extensão de raio marítimo superior a 200 MN.

– Instalação e monitoramento de CCTV (Closed Circuit Television – Circuito Fechado de TV), com sistema infravermelho, para registrar e gravar informações das embarcações, mas, devido à sua limitação de visualização de alvos, restringe-se a embarcações que estejam trafegando próximas de costa.

Dessa forma, apesar de proporcionar um sistema robusto de monitoramento do tráfego marítimo nacional, as informações utilizadas pelo COMPAAz ainda apresentam elevado nível de dependência de sistemas estrangeiros e não são capazes de prover um completo monitoramento de toda abrangência dos aproximadamente 5,7 milhões de km² que compõem nossa Amazônia Azul.

SISTEMA HIDROACÚSTICO PROPOSTO

Em contrapartida às limitações impostas aos sistemas atuais e visando a uma eficiente monitoração de nossa extensão marítima, propôs-se um sistema hidroacústico de monitoramento marítimo com *arrays* de hidrofones fixos.

Utilizando-se dos princípios da propagação de uma onda acústica submarina, Wille (2005) realizou testes comprovando que uma onda submarina com frequência de 100 Hz seria capaz de viajar até 10.000 km em condições ideais de temperatura, salinidade e profundidade de propagação da onda.

Compreendendo a importância que esse experimento trouxe aos estudos subsequentes à acústica submarina, propõe-se a utilização dos princípios da propagação sonora subaquática para o desenvolvimento de um sistema passivo de monitoração capaz de abranger toda a nossa extensão territorial além das 200 MN.

A propagação de ondas no meio subaquático é exemplificada na Figura 2, em que se percebem as grandes distâncias que ondas acústicas conseguem alcançar ao longo de sua trajetória.

6 Sistema de identificação de navios que tem o propósito de contribuir para a identificação de embarcações, acompanhamento de alvos e simplificação da troca de informações, reduzindo os contatos por radio-telefonia e fornecendo dados básicos de navegação e outras informações de interesse. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/dhn/dhn/sites/www.marinha.mil.br/dhn/files/normam/NORMAM-26-Rev-4.pdf?mselid=89dd32adc32311ec844a6c580c6bfa2f>. Acesso em: 15 abr. 2022.

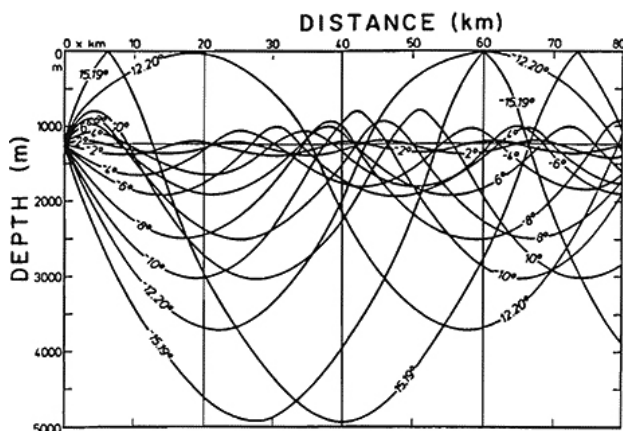


Figura 2 – Propagação de ondas acústicas (Distância x Profundidade)
Fonte: Pickard (1998)

Com o interesse em explorar uma perspectiva para utilização da tecnologia de um sistema passivo sonar, diversos campos científicos, envolvendo sinais provenientes de sistemas acústicos submarinos, podem ser abordados. Diante disso, tecnologias nas áreas de sensores hidroacústicos, formação de feixes, detecção, acompanhamento e classificação de contatos de interesse vêm sendo desenvolvidas.

Técnica de Localização de Embarcações

A conformação de feixes (*beamforming*) é a parte central do processamento dos sinais de arranjos de sensores. O *beamforming*

permite aceitar o sinal de determinada direção e rejeitar interferências e ruídos de outras, ou seja, apresenta a capacidade de focar a recepção em uma direção específica. A técnica convencional de *beamforming* é a chamada Atraso e Soma (DaS – Delay and Sum) (VAN TREES, 2004).

Esta técnica se baseia no conceito de interferências construtivas e destrutivas de ondas: sinais desalinha-

dos no tempo tendem a se anular quando somados. Assim, a soma desses sinais será maior quanto melhor for o alinhamento temporal entre eles. O ângulo cujo atraso maximiza a energia na saída do filtro corresponde ao ângulo de incidência da frente de onda (BOZZI *et al.*, 2016), conforme observa-se na Figura 3.

Esse procedimento, amplamente utilizado no âmbito do processamento de sinais em arranjos de sensores, resulta na estimação da direção de chegada (DoA – Direction of Arrival). A estimação da DoA é realizada com o propósito de mapear o cenário em que o arranjo está inserido, de modo a verificar de qual direção parte o sinal que o está atingindo.

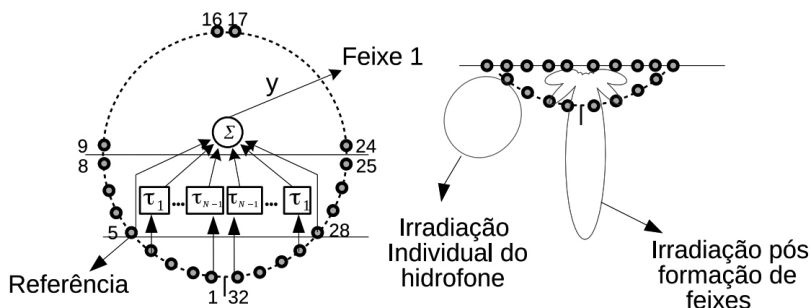


Figura 3 – Diagrama do *beamforming* para uma configuração de arranjo
Fonte: Bozzi (2016)

Além disso, com um processamento mais simples, porém de igual importância, são realizadas as estimativas das distâncias pelo método de verificação do tempo de chegada (ToA – Time of Arrival) do sinal. Respeitando o modelo adequado de propagação de ondas, a utilização deste método se deve à sua maior simplicidade, pois apresenta precisão, sem acarretar em uma demanda de implementação de *hardwares* mais modernos aos sensores.

De posse dessas informações é possível, por exemplo, estimar a posição de um sinal de interesse recebido. A partir da direção e da distância de um sinal incidente de determinada fonte, será possível localizar um alvo e mitigar ruídos adjacentes, com o intuito de reforçar a SNR e determinar com acurácia a localização de uma embarcação.

O array de sensores a ser utilizado

Levando-se em consideração trabalhos anteriores (FELZKY, 2007), estabeleceu-se como propósito a construção da melhor configuração de arranjo hidroacústico a fim de se obter a melhor proposta ao sistema.

Assim, chegou-se à conclusão de que, dentre as possibilidades, um Arranjo Cilíndrico de Sensores (CHA – Cylindrical Hydrophone Array) seria a melhor opção a fim de possibilitar a coleta de dados brutos provenientes diretamente de cada elemento, sem nenhum processamento prévio. Este sistema consiste em um arranjo de *staves*⁷, agrupados de forma circular, conforme mostrado na Figura 4:

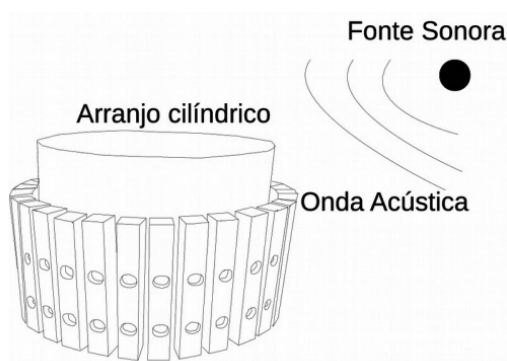


Figura 4 – Array Cilíndrico de Hidrofones
Fonte: Seixas (2014)

Devido à extensão de costa do Brasil, de 7.367 km, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), haveria a necessidade de implantação de aproximadamente cem arranjos cilíndricos distribuídos ao longo da costa brasileira para que se realizasse um monitoramento efetivo da Amazônia Azul.

A situação ideal envolveria a interconexão desses sistemas para gerarem um controle *online* dessa extensa área que permaneceria a cargo do COMPAAz. Este robusto sistema de vigilância seria passivo (composto por hidrofones instalados uniformemente ao redor desses arranjos), ou seja, operaria como uma escuta de monitoramento.

O *array* teria configuração geométrica similar ao sistema sonar de submarinos convencionais (pois estes apresentam um sistema sonar passivo com boa capacidade de monitoramento simultâneo). Dessa forma, o *array* possuiria 96 *staves* com três hidrofones em cada um deles (totalizando 288 sensores), de acordo com a configuração mostrada na Figura 5.

⁷ *Stave* – É a estrutura que aglomera os hidrofones e os encapsula em material específico, garantindo que não percam suas propriedades, e ainda realiza a função de protegê-los do contato direto com a água salgada. São projetados com o propósito de dar diretividade a cada sensor.

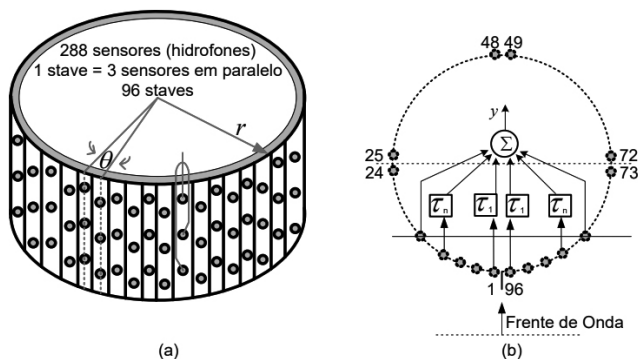


Figura 5 – Configuração do Arranjo Cilíndrico
Fonte: Seixas (2014)

Esse arranjo poderia ser instalado em regiões da plataforma continental (ou seja, regiões com profundidade de até 200 metros), por serem áreas de grande interesse de monitoramento.

Antes de efetivamente iniciar o monitoramento dessas regiões, deverá ser realizado um estudo prévio (por meio de gravações bioacústicas submarinas) para determinar as características do ruído ambiente e, assim, evitar possíveis erros de interpretação.

Amplificadores de sinais deverão ser instalados ao longo de seus cabos de transmissão até o conjunto computacional responsável pelo processamento dos sinais recebidos, a fim de possibilitar que esses dados trafeguem por centenas ou milhares de metros através de cabos submarinos sem perdas de sinal, fazendo com que o sistema apresente uma configuração similar à mostrada na Figura 6.

Visando a um incremento do sistema de vigilância marítima coordenado pelo COMPAAz, os atuais

equipamentos (radares e câmeras infravermelhas) que compõem o SisGAAz poderiam ser utilizados em conjunto com este sistema hidroacústico, a fim de gerar uma robusta capacidade de monitoramento e acompanhamento de embarcações em tempo quase real, além de proporcionar um monitoramento de tráfego submarino ao redor de toda a costa nacional.

A fim de propor maior automação dos atuais sistemas, um estudo realizado pela Naval Postgraduate School discorre sobre a possibilidade de utilização de uma Rede Neural Convolucional (CNN – Convolutional Neural Network) previamente

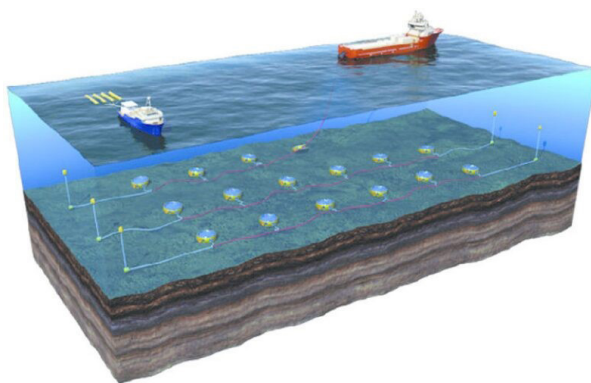


Figura 6 – Esquema de distribuição dos arranjos
Fonte: Walker *et al.* (2014)

treinada para a detecção e classificação de embarcações trafegando em alto-mar. E o estudo mostra que, usando *machine learning*⁸, é possível primeiro detectar e logo em seguida classificar diferentes tipos de embarcações marítimas em tempo quase real. Os resultados dessa pesquisa sugerem que a detecção e a classificação de navios em grandes escalas estão ao alcance das CNN, desde que sejam treinadas por um classificador humano especialista.

De tal forma, percebe-se que um sistema composto por arranjos fixos de hidrofones, um sistema de processamento de sinais com ampla bibliografia difundida no mundo acadêmico e um *software* para apresentação dos sinais a serem interpretados seriam suficientes para a realização de um monitoramento marítimo com um sistema totalmente nacional (desde o seu projeto até sua efetiva operação) e de elevados níveis de precisão.

Assim, será possível e viável a utilização de um sistema hidroacústico de monitoramento submarino, pois, embora seja um sistema de elevada complexidade, a bibliografia mostra que é de elevada eficácia e proporcionaria uma importante ferramenta a ser utilizada pelo COMPAZ para elevar a capacidade de vigilância da vasta extensão marítima do País e, assim, garantir a manutenção de nossa soberania nacional.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O acervo bibliográfico-científico que aborda esse método de localização de sinais submarinos de interesse tem mostrado que a configuração proposta nesse artigo seria a seguinte:

- aproximadamente cem *arrays* de hidrofones dispostos ao longo de nossa costa nacional, com seus sensores passivos espaçados em arranjos com o formato cilíndrico, em regiões com águas rasas e em locais estrategicamente selecionados;
- capacidade de realização do processamento dos sinais pela conformação de feixes (*beamforming*);
- utilização da técnica de Atraso e Soma para localização dos ruídos incidentes; e
- capacidade de, através de Redes Neurais Convolucionadas, identificar embarcações que trafeguem dentro de nossas Águas Jurisdicionais Brasileiras (AJB⁹).

É uma estrutura de sistema altamente vantajosa, devido à abrangência e ao nível de acurácia a serem obtidos com esses sensores.

Porém, a fim de otimizar a SNR, deve-se estimar o coro acústico proveniente da Paisagem Acústica Submarina em que os arranjos de sensores forem inseridos, visando a uma redução de erros de interpretação do conformador de feixes provenientes de características de deter-

8 *Machine Learning* é uma tecnologia em que os computadores têm a capacidade de aprender de acordo com as respostas esperadas por meio de associações de diferentes dados, os quais podem ser imagens, números e tudo o que essa tecnologia possa identificar. É o termo em inglês para a tecnologia conhecida no Brasil como “aprendizado de máquina”. Disponível em: <https://www.ibm.com/br-pt/analytics/machine-learning>. Acesso em: 17 abr. 2022.

9 As AJB compreendem as águas interiores e os espaços marítimos nos quais o Brasil exerce jurisdição, em algum grau, sobre atividades, pessoas, instalações, embarcações e recursos naturais vivos e não vivos, encontrados na massa líquida, no leito ou no subsolo marinho, para os fins de controle e fiscalização, dentro dos limites da legislação internacional e nacional. Esses espaços marítimos compreendem a faixa de 200 milhas marítimas, contadas a partir das linhas de base, acrescida das águas sobrejacentes à extensão da Plataforma Continental além das 200 milhas marítimas, onde ela ocorrer. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/dpc/sites/www.marinha.mil.br/dpc/files/NORMAM-04-Rev1-Mod10.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2022.

minados ruídos ambientes que devem ser desconsiderados durante o processamento do sinal e que, consequentemente, exigirão maior recurso computacional do sistema desnecessariamente.

Além disso, a escolha da região de instalação desses sensores é de vital relevância, devendo ser escolhidas regiões em que as características externas possibilitem melhor propagação do sinal acústico, visando a menores interferências e melhor SNR.

Embora os ambientes considerados neste estudo sejam uma parcela ainda limitada diante da complexidade que cerca nossos oceanos, as soluções aqui abordadas, em termos de previsões e estimativas, são valiosas por fornecerem um retrato físico da propagação acústica submarina baseada em extensa base bibliográfica. Em contrapartida, a maioria dos modelos semiempíricos¹⁰ apresenta menos informação sobre os mecanismos reais da propagação por não incorporarem alguns parâmetros ambientais e oceanográficos relevantes.

Contudo foi mostrado que houve um expressivo aumento de estudos acerca de sistemas submarinos nas últimas décadas, reforçando o quão recente é esse tema e como pode ser útil para a MB o domínio das tecnologias concernentes à acústica submarina. Também é de fácil percepção que novos estudos e levantamentos trarão novos conhecimentos e possibilidades acerca desses dados processados.

CONCLUSÃO

Este artigo apresentou uma alternativa de um sistema nacional para compor o SisGAAz e auxiliar no monitoramento do tráfego marítimo da Amazônia Azul. Para tal, foram propostos *arrays* acústicos de sensores que proporcionassem a localização de fontes de ruído no mar.

Ao se propor uma geometria de arranjo, foi apresentada a melhor configuração visando a bibliografias prévias já desenvolvidas sobre o tema. Foram detalhadas as etapas que cercam o monitoramento acústico submarino por sensores.

Assim, a adoção do referido sistema hidroacústico serviria de importante ferramenta estratégica para o País, pois possibilitaria o controle da totalidade de nossa Amazônia Azul, tanto por meios de superfície quanto submarinos, além de proporcionar uma evolução na linha de pesquisa que envolve a acústica submarina no Brasil. Isto traria importante avanço tecnológico nacional, podendo ser utilizado inclusive como ferramenta em situações de localização de embarcações sinistradas em alto-mar, para resgate de seus sobreviventes (missões SAR¹¹), mostrando a extensa versatilidade que este sistema poderia oferecer.

No mais, este artigo trouxe uma noção inicial da concepção desse sistema. Pesquisas futuras são necessárias a fim de se chegar à sua efetiva produção.

CLASSIFICAÇÃO PARA ÍNDICE REMISSIVO:

<ÁREAS>; Amazônia Azul;

<CIÊNCIA & TECNOLOGIA>; Acústica submarina; Sensoriamento remoto;

10 Modelos de Propagação Semiempíricos são aqueles que são obtidos a partir de coleta de informações de cobertura de uma determinada área, que considera fenômenos como reflexão, refração e difração em bordas e obstáculos.

11 SAR – *Search and Rescue* – Missão de Socorro e Salvamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL. “Amazônia Azul: o patrimônio brasileiro no Mar”. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/secirm/amazoniaazul>. Acesso em: 20 fev. 2022.
- BERG, H.; et al. *A Comparison of Different Machine Learning Algorithms for Automatic Classification of Sonar Targets*. IEEE Xplore, 1 December 2016. Disponível em: <http://doi:10.1109/OCEANS.2016.7761112>.
- BOZZI, F. A. “Conformação de Feixe em Sonar Passivo para um Arranjo Cilíndrico de Hidrofones”. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2016.
- BURDIC, W. S. *Underwater Acoustic System Analysis*. Prentice-Hall, 2003.
- FELZKY, M. A. “Uma Contribuição às Técnicas de Localização de Fontes Sonoras através de um Sistema Sonar Passivo utilizando Filtros Fracionários”. Dissertação de Mestrado, Coppe-Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2007.
- MINISTÉRIO DA DEFESA. “Censipam: A Atuação do Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia”. Disponível em: <https://www.gov.br/defesa/pt-br/assuntos/censipam/atuacao>. Acesso em: 18 fev. 2022.
- MINISTÉRIO DA DEFESA. “SisGAAZ: Monitoramento da Amazônia Azul”. Disponível em: <https://www.gov.br/defesa/pt-br/assuntos/censipam/atuacao/monitoramento-da-amazonia-azul>. Acesso em: 18 fev. 2022.
- PICKARD, G. L. *Oceanografia Física Descritiva: uma introdução*. 2. ed. IPqM. Rio de Janeiro, 1998.
- SEIXAS, M. J.; BOZZI, A. F.; MOURA, N. J. “Estudo da Estimação de Sinais de um Arranjo Cilíndrico de Hidrofones”. Encontro de Tecnologia Submarina, 2014, Rio de Janeiro. XI Encontro de Tecnologia Submarina, 2014.
- URICK, Robert J. *Principles of Underwater Sound*. 3ª ed. London, Mc Graw-Hill Book Company, 1983.
- VAN TREES, H. L. *Optimum Array Processing: Part IV: Detection, Estimation, and Modulation Theory*. New York, USA, John Wiley & Sons, Inc., 2004.
- WALKER, C. D. T.; MONK, D. J; HAYS, D. B. “Blended-Source Ocean-Bottom Seismic Acquisition”. *Journal of Petroleum Technology*. 2014. Offshore Technology Conference, Houston, 2014.
- WILLE, P. C. *Sound Images of the Ocean in Research and Monitoring*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2005.