



**DIRETORIA-GERAL
DE DESENVOLVIMENTO NUCLEAR
E TECNOLÓGICO DA MARINHA**

NÚMERO 33 - 2021

REVISTA

PESQUISA NAVAL

NÚMERO 33 - 2021

REVISTA
**PESQUISA
NAVAL**

A Revista Pesquisa Naval tem como missão proporcionar à comunidade científica um canal formal de comunicação e de disseminação da produção técnico-científica nacional, por meio da publicação de artigos originais que sejam resultados de pesquisas científicas e que contribuam para o avanço do conhecimento nas áreas de interesse da MB. Os artigos aqui publicados não refletem a posição ou a doutrina da Marinha e são da responsabilidade dos seus autores.

PATROCÍNIO

Diretoria-Geral de Desenvolvimento Nuclear e Tecnológico da Marinha - DGDNTM

EDITOR-CHEFE

Almirante de Esquadra Petronio Augusto Siqueira de Aguiar
Diretor-Geral de Desenvolvimento Nuclear e Tecnológico da Marinha

EDITORES ADJUNTOS

Vice-Almirante (EN) Guilherme Dionizio Alves

Diretor do Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo - CTMSP

Contra-Almirante (EN) Alexandre de Vasconcelos Siciliano

Diretor do Centro Tecnológico da Marinha no Rio de Janeiro - CTMRJ

Contra-Almirante (RM1-EN) Humberto Moraes Ruivo

Diretor da Agência Naval de Segurança Nuclear e Qualidade - AgNSNQ

Contra-Almirante (RM1) Paulo Cesar Demby Corrêa

Assessor-Chefe de Relações Institucionais e Comunicação Social da DGDNTM

CONSELHO EDITORIAL

Vice-Almirante (RM1) Alfredo Martins Muradas

CMG (T) Valeria Senna Toscano Muradas

CF Gustavo Machado Rocha

1Ten (RM2-T) Tatiane Guimarães dos Santos Antonioli

1Ten (AA) Ana Cristina dos Santos Dutra

SCNS Janice Romaguera Trotte Duha

EDIÇÃO

Diretoria-Geral de Desenvolvimento Nuclear e Tecnológico da Marinha - DGDNTM

www.marinha.mil.br/dgdntm/revista

PRODUÇÃO EDITORIAL

Zeppelini Publishers

www.zeppelini.com.br

Revista Pesquisa Naval / Diretoria-Geral de Desenvolvimento Nuclear e Tecnológico da Marinha
v. 1, n. 1, 1988 - Rio de Janeiro - RJ - Brasil - Marinha do Brasil

Anual

Título abreviado: Pesq. Nav.

ISSN Impresso 1414-8595 /

ISSN Eletrônico 2179-0655

1. Marinha - Periódico - Pesquisa Científica. Diretoria-Geral de Desenvolvimento Nuclear e Tecnológico da Marinha.

CDU 001.891.623/.9
CDD 623.807.2

APRESENTAÇÃO

1 DIRETOR-GERAL DE DESENVOLVIMENTO NUCLEAR E TECNOLÓGICO DA MARINHA

Almirante de Esquadra Petronio Augusto Siqueira de Aguiar

AMBIENTE OPERACIONAL

4 CARTA SINÓTICA METEOROLÓGICA EM FORMATO DIGITAL EDITÁVEL: INOVAÇÃO ALIADA À QUALIDADE SUBJETIVA

Flávia Rodrigues Pinheiro

13 AERONAVE KC-2 EMPREGADA EM APOIO LOGÍSTICO MILITAR NO COMBATE À COVID-19: UMA ABORDAGEM À LUZ DO TRAVELLING SALESMAN PROBLEM

Igor Pinheiro de Araújo Costa, Luiz Frederico Horácio de Souza de Barros Teixeira, Sérgio Mitihiro do Nascimento Maêda, Leandro Carvalho, Victor Rosemberg Reis Mota, Carlos Francisco Simões Gomes, Marcos dos Santos

26 NOVA METODOLOGIA PARA AMOSTRAGEM DE MATERIAL PARTICULADO E BIOAEROSSÓIS NO AMBIENTE ANTÁRTICO

Luiz Antonio da Costa Rodrigues, Marcelo Leal Gregório

PROCESSOS DECISÓRIOS

32 UMA SISTEMÁTICA PARA PRIORIZAÇÃO DE PROJETOS DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO PARA O CORPO DE FUZILEIROS NAVAIS

Fabricio Baroni de Carvalho

39 GERENCIAMENTO DE INTEGRIDADE ESTRUTURAL BASEADO EM RISCO PARA NAVIOS DE SUPERFÍCIE

André Ricardo Mendonça Pinheiro, André Gustavo Barbosa, João Felipe Costa Casares

47 BOAS PRÁTICAS DE GESTÃO DO CICLO DE VIDA PARA MEIOS NAVAIS COM PROPULSÃO NUCLEAR

Antonelly Assis Gregorio de Sousa, José Gilberto Fernandes Junior, Eduardo Augusto Maia Bezerra, Amilton de Sousa Lins Junior, Carlos Alberto de Abreu Madeira

SENSORES, GUERRA ELETRÔNICA E GUERRA ACÚSTICA

59 ANÁLISE DA DETECÇÃO DE DRONES POR RADAR MARÍTIMO DE NAVEGAÇÃO EMPREGANDO O SOFTWARE ADVANCED REFRACTIVE EFFECTS PREDICTION SYSTEM (AREPS)

Anderson Silva Soares, Willian Sathler Lino Soares, Guilherme Ribeiro Colen, André Pinheiro da Silveira, Paulo Victor Gonçalves Sampaio, Vanessa Przybylski Ribeiro Magri



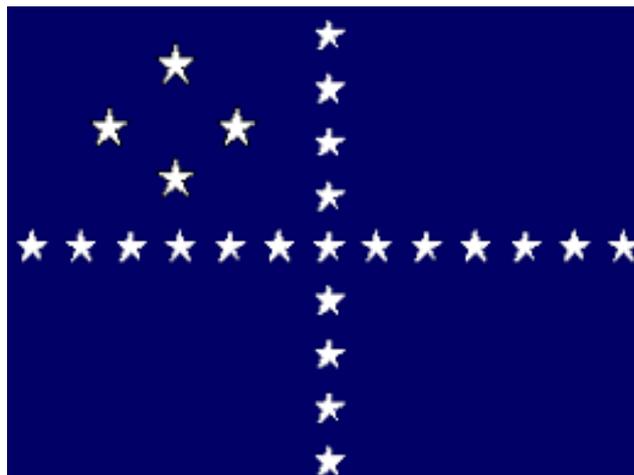
67 PROPAGAÇÃO DE FREQUÊNCIA ULTRA-ALTA SOBRE A SUPERFÍCIE DO MAR APLICADA À VIGILÂNCIA ACÚSTICA DA COSTA BRASILEIRA

Stilson Veras Cardoso, Leonardo Pestana de Souza, Vitor Luiz Gomes Mota, Leni Joaquim de Matos, Vanessa Przybylski Ribeiro Magri

DESEMPENHO HUMANO E SAÚDE

75 DESENVOLVIMENTO DE PELE TRIDIMENSIONAL *IN VITRO* PARA ESTUDOS DE RADIODERMITE, CICATRIZAÇÃO, TUMORIGÊNESE E *SCREENING* DE BIOATIVOS MARINHOS

Giselle Pinto de Faria Lopes, Isabel Virgínia Gomes e Silva, Angelica Maria Schettino, Angélica Ribeiro Soares, Maria Alice Fusco de Souza, Ricardo Coutinho



DIRETOR-GERAL DE DESENVOLVIMENTO NUCLEAR E TECNOLÓGICO DA MARINHA

ALMIRANTE DE ESQUADRA PETRONIO AUGUSTO SIQUEIRA DE AGUIAR

A imprevisibilidade e a dubieza impostas pela conjuntura contemporânea têm afrontado estados, empresas e corporações na busca de soluções paulatinamente mais complexas, no processo de condução de seus processos decisórios. Mas a história demonstra que o equacionamento de tais adversidades jamais prescindiu de um processo de transformação, que, via de regra, evoca a ciência com vistas à construção de um novo instrumento, mais efetivo e adequado, à nova realidade que se impõe. A era do conhecimento tem atuado como fator de desestruturação dessas organizações, compulsando-as a examinar recursos para gerenciar uma substancial gama de dados, no sentido de analisá-los e transformá-los em conhecimento.

No Brasil, um considerável esforço tem sido empreendido a fim de alavancar a capacidade científico-tecnológica nacional, por meio da inserção de novas capacidades e competências, qualificação de seus quadros e revisão de paradigmas, buscando adaptar-se a essa incoercível evolução.

Nesse particular contexto, para fazer frente à necessidade irrefreável de inovação, assim como à complexidade crescente dos projetos estratégicos de interesse da Marinha, impõe-se uma significativa soma de capacitações e *expertises* das instituições multidisciplinares que consubstanciam o Sistema de Ciência, Tecnologia e Inovação da Marinha do Brasil (SCTMB) e sua estratégica rede de pesquisas. O SCTMB atua de forma dinâmica, integrada e sinérgica com a comunidade científica e a base industrial de defesa, para assegurar o emprego eficaz e tempestivo da tecnologia militar naval, procurando contribuir para o desenvolvimento socioeconômico do país.

É contínuo o compromisso do setor de ciência, tecnologia e inovação no aprimoramento do capital humano, na obtenção de infraestrutura apropriada e na ampliação das parcerias estratégicas com instituições e universidades, em consonância com o conceito da Tríplice Hélice. A efetiva aplicação desse modelo constitui fator decisivo para alavancar soluções tecnológicas para

atendimento às demandas de um poder naval moderno, equilibrado e balanceado, crível o suficiente para proteger e preservar as riquezas e as dimensões continentais da Amazônia Azul.

Por derradeiro, é com satisfação que apresento a presente edição da *Revista Pesquisa Naval*, contendo contribuições científicas julgadas de valor por prolectos especialistas da academia. Nessa perspectiva, a publicação traz temas nas áreas de meteorologia digital, sistemática de priorização de projetos, análise multicritério, detecção de *drones*, apoio logístico militar no combate à Covid-19, desenvolvimento de pele tridimensional *in vitro*, gerenciamento de integridade estrutural e vigilância acústica da costa. Cumpre por justo congratular os autores dos artigos desta edição, concitando-os a perseverarem na incessante busca pelo aperfeiçoamento tecnológico aplicado.

Boa leitura!



Figura 1

ANÁLISE DE BIOINCRUSTACÃO E ÁGUA DE LASTRO

CARTA SINÓTICA METEOROLÓGICA EM FORMATO DIGITAL EDITÁVEL: INOVAÇÃO ALIADA À QUALIDADE SUBJETIVA

Meteorological Synoptic Chart in digital editable format:
innovation combined with subjective quality

Flávia Rodrigues Pinheiro¹

Resumo: Este trabalho teve por objetivo desenvolver e implementar a modernização das cartas sinóticas meteorológicas divulgadas pelo Centro de Hidrografia da Marinha (CHM), migrando de um processo de confecção manual, impreciso, para um processo totalmente digital e principalmente editável, agregando o automatismo computacional à experiência humana e evitando a degradação de qualidade do produto. Por meio de uma linha de produção inteligente e automatizada, este estudo apresenta uma mudança de paradigma na confecção de um dos principais produtos oferecidos pelo CHM em apoio aos navegantes em geral e a diversos usuários. Além da otimização de tempo e recursos, entre os resultados desta pesquisa está o georreferenciamento da carta sinótica. Trata-se de um passo primordial para inserir o produto em alguns projetos em andamento na Marinha do Brasil, tais como os projetos nacionais ligados à geoinformação temática para operações conjuntas e o S-100 — *Universal Hydrographic Data Model (e-Navigation)* da Organização Hidrográfica Internacional (OHI), ambos voltados para a integração de dados em sistemas multifuncionais de auxílio à navegação.

Palavras-chave: Carta sinótica. Gempak. Georreferenciamento.

Abstract: The main goal of this work was to develop and implement the modernization of the meteorological synoptic charts issued by the Navy Hydrographic Center (CHM), migrating from a handmade, imprecise process to a totally digital, and mainly editable, process, combining the computational automatism to human experience, avoiding quality degradation of the product. Through an intelligent and automated production line, this work presents a paradigm change on the preparation of one of the main products issued by CHM in support for general navigators and several users. Apart from resources and time optimization, the synoptic chart georeferencing is among the results of this work, a fundamental step to insert this product into some Brazilian Navy ongoing projects, such as the national projects related to thematic geoinformation for combined operations and the S-100 – *Universal Hydrographic Data Model (e-Navigation)* from IHO (International Hydrographic Organization), both related to data integration inside multifunctional systems for navigation support.

Keywords: Synoptic chart. Gempak. Georeferencing.

¹ Capitão de Corveta. Meteorologista. Doutora em Assimilação de Dados em Modelos não Lineares pela University of Reading (UK). Encarregada da Divisão de Previsão Numérica do Centro de Hidrografia da Marinha – Niterói, RJ – Brasil. E-mail: flavia.pinheiro@marinha.mil.br

1. INTRODUÇÃO

Desde a década de 1950, o Serviço Meteorológico Marinho (SMM), operado no Centro de Hidrografia da Marinha (CHM), produz manualmente cartas de pressão ao nível médio do mar, as cartas sinóticas. O Brasil é signatário da Convenção para a Salvaguarda da Vida Humana no Mar (SOLAS), e a missão do CHM é produzir e divulgar informações de segurança da navegação e do ambiente marinho. As cartas sinóticas são utilizadas diariamente por navegantes e usuários em geral como referência em pesquisas acadêmicas e na elaboração de boletins de informações ambientais para inquéritos de apuração de acidentes e fatos da navegação. Esses produtos têm como base as observações meteorológicas dos horários de 0000Z e 1200Z. Até recentemente, o processo de confecção dessas cartas era manual e seguia longos procedimentos. Inicialmente, era realizada a plotagem em papel (no formato A0) das observações meteorológicas de navios e boias localizados no domínio de interesse (entre 70°S-30°N e 090°W-020°E). Após a plotagem, um militar técnico em meteorologia, o “analista”, realizava o traçado manual das isóbaras (linhas de mesma pressão), desenhando o campo de pressão com base nas observações e representando, na carta, fenômenos meteorológicos como frentes frias, centros de baixa pressão etc. Essa análise subjetiva baseava-se na experiência do analista, que seguia as observações meteorológicas impressas e algumas ferramentas externas: imagens de satélite (visualizadas na tela de um computador) e produtos de modelagem numérica de previsão do tempo (impressos em papel), os chamados modelos atmosféricos. Após a análise, o desenho das isóbaras e fenômenos meteorológicos era transferido, também manualmente, para um modelo de tamanho reduzido (formato A4). Este era então escaneado e disponibilizado na internet, além de ser ainda transmitido via rádio fac-símile em alta frequência (*high frequency*— HF) para os navios.

Todo esse processo manual, utilizado nas últimas sete décadas, primava pela qualidade da análise subjetiva ligada à experiência dos analistas. É bem sabido que os modelos numéricos geram previsões para os campos de pressão (prognósticos), mas o simples uso de tais campos sem qualquer intervenção subjetiva estaria assumindo uma degradação na qualidade do produto oferecido, já que a modelagem numérica, apesar de apresentar alto nível de precisão, ainda possui uma margem de erros, principalmente no que tange ao posicionamento de

sistemas meteorológicos altamente caóticos. Tais erros estão associados às limitações do modelo numérico no que se refere a sua resolução espacial e temporal e à escassez e à qualidade dos dados que servem de condição inicial para o modelo. Também contribuem para os erros a incapacidade de resolver processos físicos que ocorrem em dimensões de menor escala, inferiores a sua resolução, mas que possuem grande impacto no resultado final. Esses processos são estimados por meio de parametrizações, ou seja, fazendo-se uso de equações aproximadas para o cálculo de prognósticos. Assim, para a manutenção da qualidade do produto, aliada a um processo automatizado, digital e rápido, torna-se necessária a intervenção humana para que os erros numéricos possam ser minimizados. Por outro lado, as desvantagens da produção manual dessas análises mostravam-se evidentes, incluindo o tempo dispendido para sua conclusão, impressões em papel, necessidade de digitalização do produto e conversões em imagens com formatos não vetorizados, limitando o uso do produto final em futuros sistemas integrados, já previstos na cartografia náutica. Diante da evolução dos sistemas de navegação a bordo dos navios, que permite a integração de cartas náuticas com outras informações de segurança marítima, surge a necessidade de os serviços meteorológicos acompanharem tal evolução tecnológica, adaptando seus produtos aos formatos de saída georreferenciados. Os dados estáticos e não georreferenciados impossibilitam a integração a tais sistemas.

Nesse escopo, o presente trabalho aborda a modernização da produção das cartas sinóticas elaboradas pela Marinha do Brasil (MB) com a implementação de um processo de análise digital, que agrega a automação à experiência humana, com grande sincronismo. Para tal, foi utilizada uma suíte de programas do pacote *General Meteorological Package* (Gempak). A principal meta foi gerar rotinas computacionais de conversão do modelo atmosférico usado pelo CHM, o chamado *ICOsahedral Nonhydrostatic model* (ICON), para o formato do pacote Gempak, para que esse modelo passe a servir de base para toda a análise e posterior edição.

2. OBJETIVOS

Os principais objetivos deste projeto foram:

- modernização das cartas sinóticas divulgadas pela MB, com a implementação de uma análise digital que permitisse edição;

- otimização e automação da linha de produção, visando a economias de tempo e recursos;
- georreferenciamento do produto, visando aos novos sistemas integrados de navegação náutica.

3. METODOLOGIA

A base do desenvolvimento de modernização da produção da carta é o *software* gratuito Gempak (NCAR, 2017). Esse *software* é destinado à visualização de dados ambientais e foi desenvolvido pela UNIDATA, um programa da *University Corporation for Atmospheric Research* (UCAR). Para alcançar os objetivos mencionados anteriormente, foram seguidas as etapas descritas a seguir.

3.1 CONFIGURAÇÃO E ADEQUAÇÃO DO SISTEMA AOS PROPÓSITOS DO CENTRO DE HIDROGRAFIA DA MARINHA

O primeiro passo foi a instalação do visualizador Gempak e do sistema de recepção de dados ambientais que o alimenta, o *Local Data Manager* (LDM). Trata-se de um sistema que inclui um cliente de rede e sub-rotinas (programas computacionais) totalmente voltados para a recepção, o tratamento e a distribuição de dados ambientais. Nessa fase do projeto foram configurados os programas que executam os processos relacionados aos tipos de produtos ambientais, e foi feita sua decodificação para posterior visualização no Gempak. Entre os diversos tipos de dados de interesse do SMM, destacam-se: as observações meteorológicas (realizadas por estações terrestres, navios, boias, radiossondas, aeronaves etc.), os produtos provenientes de sensoriamento remoto (imagens de satélite e escaterômetros) e os modelos numéricos.

A plataforma na qual foram compilados e instalados ambos os sistemas e as diversas bibliotecas necessárias baseia-se no sistema operacional Linux, em máquina virtual, com instalação baseada em código fonte e ambiente *bash*.

3.2. INCLUSÃO DO MODELO ATMOSFÉRICO UTILIZADO NO CENTRO DE HIDROGRAFIA DA MARINHA NO GEMPAK

A ideia principal deste projeto foi a utilização da saída do campo de pressão do modelo ICON como base para a análise

da carta sinótica. Esse modelo, enviado pelo centro alemão *Deutscher Wetterdienst* (DWD) e processado pelo CHM, auxilia os previsores na confecção dos boletins meteorológicos no SMM. Foi necessário primeiramente converter o arquivo do modelo para que sua saída pudesse se tornar legível ao *software* Gempak.

Utilizou-se o programa “dcgrib2”, um decodificador da UNIDATA destinado a converter arquivos em formato GRIB/GRIB2 para um formato de grade legível ao Gempak. O programa faz uso de diferentes bibliotecas e tabelas de configuração, as quais são a chave para que o arquivo possa ser reconhecido pelo Gempak. Tais tabelas estão relacionadas a algumas informações do modelo: nome do centro originário e número de identificação, coordenadas verticais, descrição dos parâmetros meteorológicos envolvidos, seus números de identificação, unidades e escalas, parâmetros meteorológicos da *World Meteorological Organization* (WMO), e nelas são definidas variáveis descritoras e categorias, de acordo com tabelas e octetos do guia da WMO (2003) e parâmetros referentes ao centro originário.

Após estudo e configuração das tabelas mencionadas, foi necessário ainda utilizar a saída do modelo ICON com projeção regular, pois o programa “dcgrib2” não suporta a saída com projeção rotacionada. Realizados todos esses ajustes, foi possível aplicar o programa para reconhecer e converter o arquivo inicial do modelo, em formato GRIB2, para a extensão de arquivo “.gem”, legível para a ferramenta Gempak.

3.3. OPERACIONALIZAÇÃO DO PROCESSO

A etapa de operacionalização deste processo envolveu os seguintes procedimentos principais:

- elaboração de rotinas (*scripts*) operacionais para recepção, conversão e direcionamento dos dados do modelo atmosférico ICON de forma automatizada;
- elaboração de *scripts* e ajustes para a geração do campo de pressão baseado no modelo ICON;
- ajustes das ferramentas e produtos envolvidos na análise editável;
- automatização da geração da carta sinótica final no formato adequado.

Para a elaboração de rotinas computacionais, todos os *scripts* destinados ao processo de manipulação dos arquivos

e execução dos comandos e procedimentos foram baseados em linguagem *shell* (EBRAHIM; MALLET, 2018), um interpretador de linha de comando amplamente utilizado no ambiente Linux.

Para a geração da carta de pressão, foram utilizados cinco diferentes programas existentes no Gempak: *gpmap*, *gdcntr*, *gpanot*, *gpbox* e o *gpend*. Tais programas são executados por linha de comando e rodam processos relacionados aos dados que contêm pontos de grade, i.e., o modelo atmosférico, e também realizam a plotagem gráfica de informações.

Assim, a primeira sub-rotina do *script* principal destina-se à definição das configurações de mapa, para que o produto final tenha *layout* semelhante ao da carta sinótica manual. Para tal, foi usado o *gpmap*. Neste passo, foram definidos a área, a projeção do mapa, as cores, as características de linhas, filtros etc.

A segunda sub-rotina refere-se à leitura do arquivo de modelo convertido (i.e., com extensão “.gem”) e à definição de uma série de variáveis ligadas à plotagem das linhas de pressão na escala de grade. O programa *gdcntr* foi usado para esse fim. Neste passo, é realizada a leitura do arquivo e são definidas variáveis inerentes ao parâmetro pressão ao nível médio do mar e ao intervalo de plotagem entre as diferentes linhas, entre outras. Também é definido um item de extrema importância: o formato de saída da primeira visualização do campo, ou seja, linhas de pressão originadas pelo modelo, mas ainda sem qualquer intervenção humana. Para que se torne editável, o arquivo precisa ser salvo em formato *vector graphics file* (VGF). Este é um formato vetorizado, que torna o arquivo escalável e inclui mais informações (atributos de objeto) em seu conteúdo. Tais objetos serão editáveis quando visualizados, permitindo que alterações sejam salvas e sobrepostas ao arquivo inicial. É de interesse do CHM que não somente as linhas de pressão possam ser alteradas conforme a experiência do analista, mas também que o produto final possua os elementos meteorológicos previstos na publicação da WMO (2012). Tal publicação especifica a forma com que os símbolos que representam os sistemas meteorológicos devem ser apresentados na carta sinótica, em forma mono e policromática. O programa Gempak possui as ferramentas necessárias para que tais símbolos sejam inseridos pelo usuário, de acordo com as orientações da WMO.

O programa *gpanot* foi usado para desenhar as delimitações da área marítima conhecida internacionalmente como METAREA V e de suas dez subáreas (denominações e

extensões geográficas podem ser consultadas em: BRASIL, 2022). O programa *gpbox* foi usado para configurar as latitudes e longitudes de borda da carta sinótica e o *gpend* termina todos os processos relacionados ao pacote de plotagem, gerando o arquivo de saída em VGF.

Para auxiliar no processo de edição da carta, foram configurados alguns produtos meteorológicos no Gempak, que podem ser sobrepostos ao arquivo base, em formato VGF, auxiliando significativamente o analista no que diz respeito ao posicionamento de centros de pressão, frentes frias e demais fenômenos meteorológicos. Tal sobreposição de informações ambientais torna a confecção da carta sinótica muito mais precisa em termos geográficos, conceituais e físicos. Ressalta-se que, como os arquivos VGF são vetorizados, eles ajustam-se automaticamente à projeção do dado sobreposto, além de permitir a função *zoom* sem deformar ou perder qualquer informação do campo de pressão utilizado.

Entre os produtos que são sobrepostos à carta como ferramentas auxiliares, destacam-se as imagens de satélite, as observações meteorológicas realizadas em terra e/ou no mar e os dados do *Advanced SCATterometer* (ASCAT), um instrumento satelital que mede intensidade e direção dos ventos sobre os oceanos. Este último dado agrega enorme valor à análise da carta, já que as medições no oceano realizadas por navios e boias são escassas e pontuais, enquanto os medidores satelitais proveem um imageamento abrangente em suas áreas de cobertura. Na Figura 1 é possível visualizar no Gempak um arquivo editável em VGF, com as linhas de pressão do modelo numérico e os símbolos meteorológicos sobrepostos a uma imagem do satélite GOES-16. Note que o arquivo vetorizado acompanha a curvatura da Terra na imagem de satélite. É possível dar um *zoom* em qualquer uma das feições meteorológicas e não perder nenhuma das características dos atributos de tais objetos.

Essa sobreposição de produtos fornece uma clara visão do posicionamento dos sistemas frontais no Atlântico Sul, propiciando uma análise mais precisa da carta se comparada ao processo manual. As Figuras 2 e 3 representam outros produtos que podem ser sobrepostos ao arquivo editável: observações meteorológicas de navios (Figura 2) e produtos de escatêrômetros com direção e intensidade dos ventos oceânicos (Figura 3).

Após a edição das linhas de pressão do modelo que estejam incoerentes com a realidade (mostrada pelas imagens de

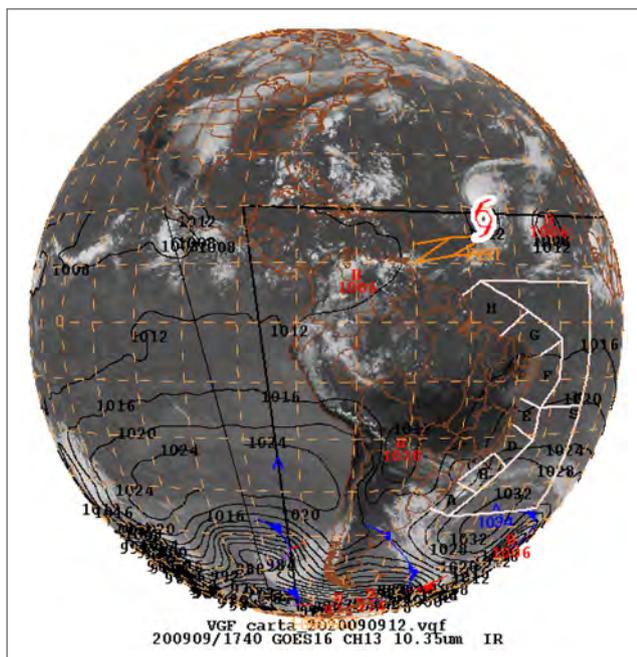


Figura 1. Arquivo editável da carta sinótica do dia 9 de setembro de 2020, em VGF, sobreposto a uma imagem do satélite GOES-16, canal 13 (infravermelho) utilizando o programa Gempak.

satélite, observações e escaterômetros) e a inserção dos símbolos meteorológicos necessários, um *script* final é executado para gerar o arquivo em formato GIF. É automaticamente adicionado a esse arquivo um cabeçalho com a logomarca da MB e outras informações. O *script* finaliza o processo enviando automaticamente a carta sinótica para o *e-mail* do supervisor de serviço, a fim de facilitar e agilizar a disseminação do produto. O *script* de preparação do arquivo VGF para edição leva menos de 10 segundos para ser processado. O tempo de edição das linhas e fenômenos meteorológicos depende da experiência do analista, mas não se compara ao tempo gasto no antigo processo manual de desenho de todas as linhas feito do zero. O *script* final de geração e envio do arquivo para o *e-mail* de serviço leva menos de 5 segundos para ser executado.

O último item listado nos objetivos versa sobre o georreferenciamento da carta sinótica, visando sua inserção nos novos sistemas integrados de navegação náutica. Essa foi mais uma grande vantagem da migração do processo para o meio digital. O produto do CHM agora está mais preparado para as evoluções que envolvem os sistemas de navegação. O programa *gpmap* possibilita ao usuário salvar um arquivo VGF

já editado em formato FAX (*6-bit*). Esse é um formato que utiliza *subsets* de números para determinar as dimensões do produto. Tais dimensões estão definidas em uma tabela com números de identificação, descrições das variáveis, fatores de rotação e tamanho das dimensões x e y (em que x é o número de *bits* por linha e y é o número de linhas). É possível usar o programa *gpfax* para converter o arquivo em formato FAX para o formato TIFF, que usa um esquema de compressão e também faz uso de uma tabela para definir as dimensões do produto. O arquivo então pode ser convertido para o formato GEOTIFF, utilizando-se programas específicos tais como o *Geospatial Data Abstraction Library* (GDAL), um programa de leitura e escrita de dados geoespaciais em formatos *raster* e *vetoriais*. Uma carta sinótica em GEOTIFF torna-se um produto georreferenciado, acompanhando os padrões internacionais de disseminação de informações de segurança marítima dos modernos sistemas integrados de navegação que estão sendo projetados.

4. RESULTADOS

O resultado deste trabalho é a produção de cartas sinóticas em formato digital, georreferenciado e totalmente editável. A primeira versão oficial da carta digital foi disponibilizada no dia 21 de setembro de 2020 no *site* do CHM (BRASIL, 2020) e a inovação foi apresentada pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) durante as comemorações do Dia do Hidrógrafo.

A Figura 4 mostra a evolução do produto do formato manual para o digital. Na forma manual, totalmente desenhada em papel, as curvas de pressão são ajustadas seguindo as observações plotadas na carta, imagens de satélite mostradas numa tela e modelos numéricos impressos em papel. Os sistemas meteorológicos são posicionados com base nas informações desses produtos externos. A experiência do analista é primordial, pois todo esse processo é realizado do zero. A análise no formato digital, em contrapartida, já se inicia com as linhas de pressão fornecidas pelo modelo numérico. É sobreposta nessa mesma tela a imagem de satélite, a fim de auxiliar o analista no posicionamento de frentes frias, tempestades tropicais etc. (conforme já mostrado na Figura 1). A sobreposição das observações meteorológicas (conforme Figura 2) auxilia no posicionamento das diferentes massas

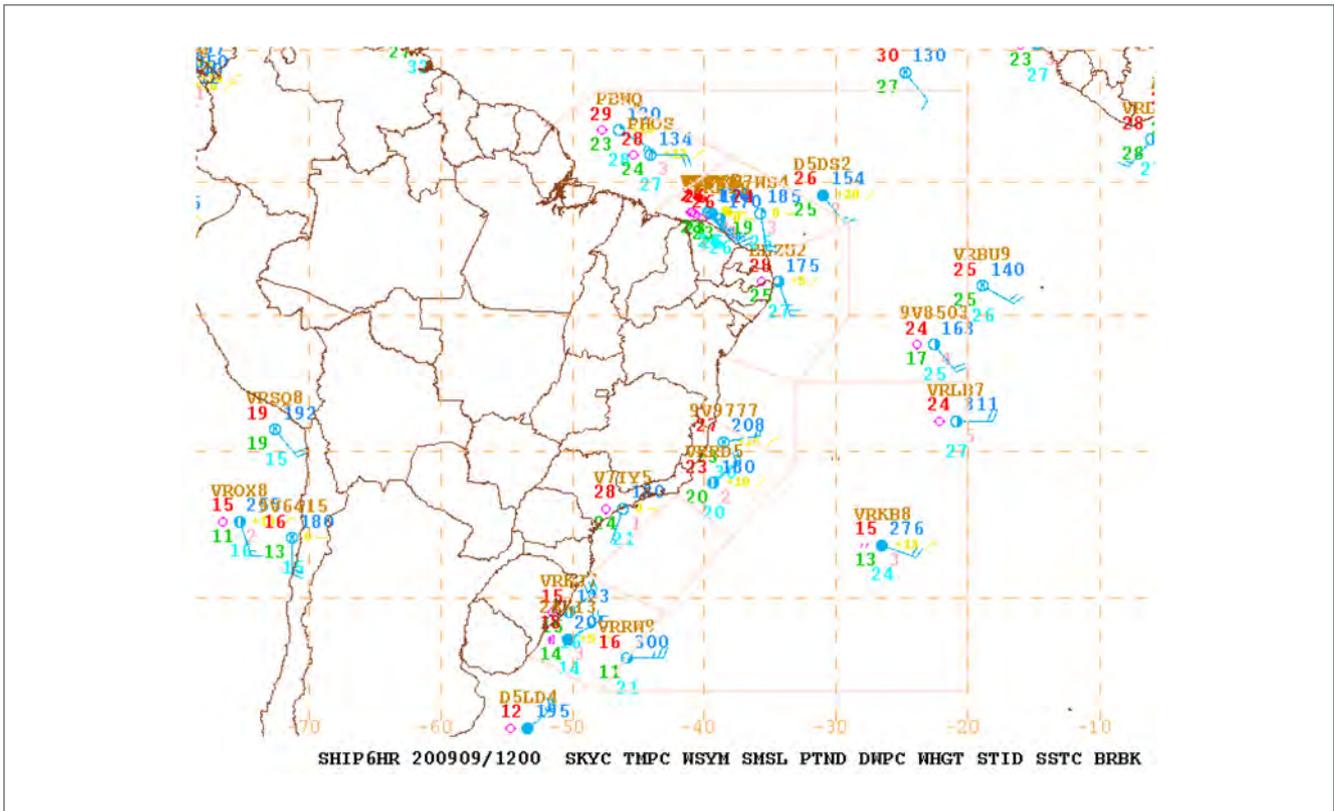


Figura 2. Observações meteorológicas provenientes de navios, plotadas no Gempak.

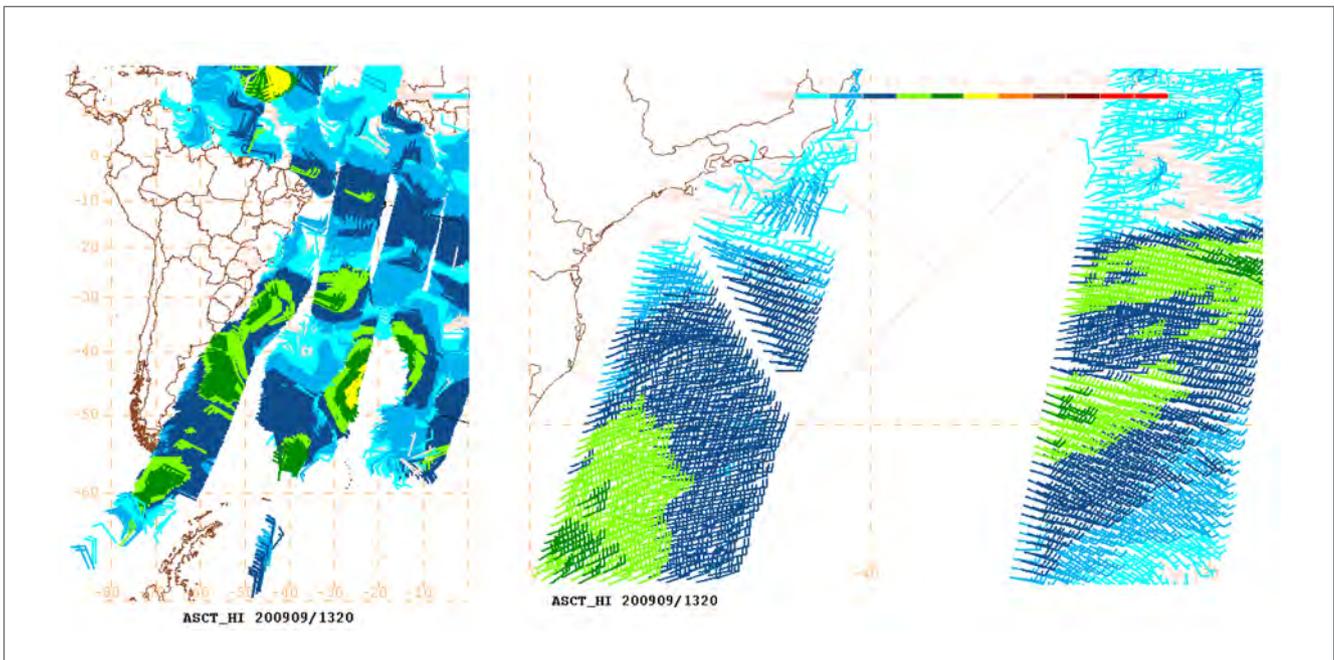
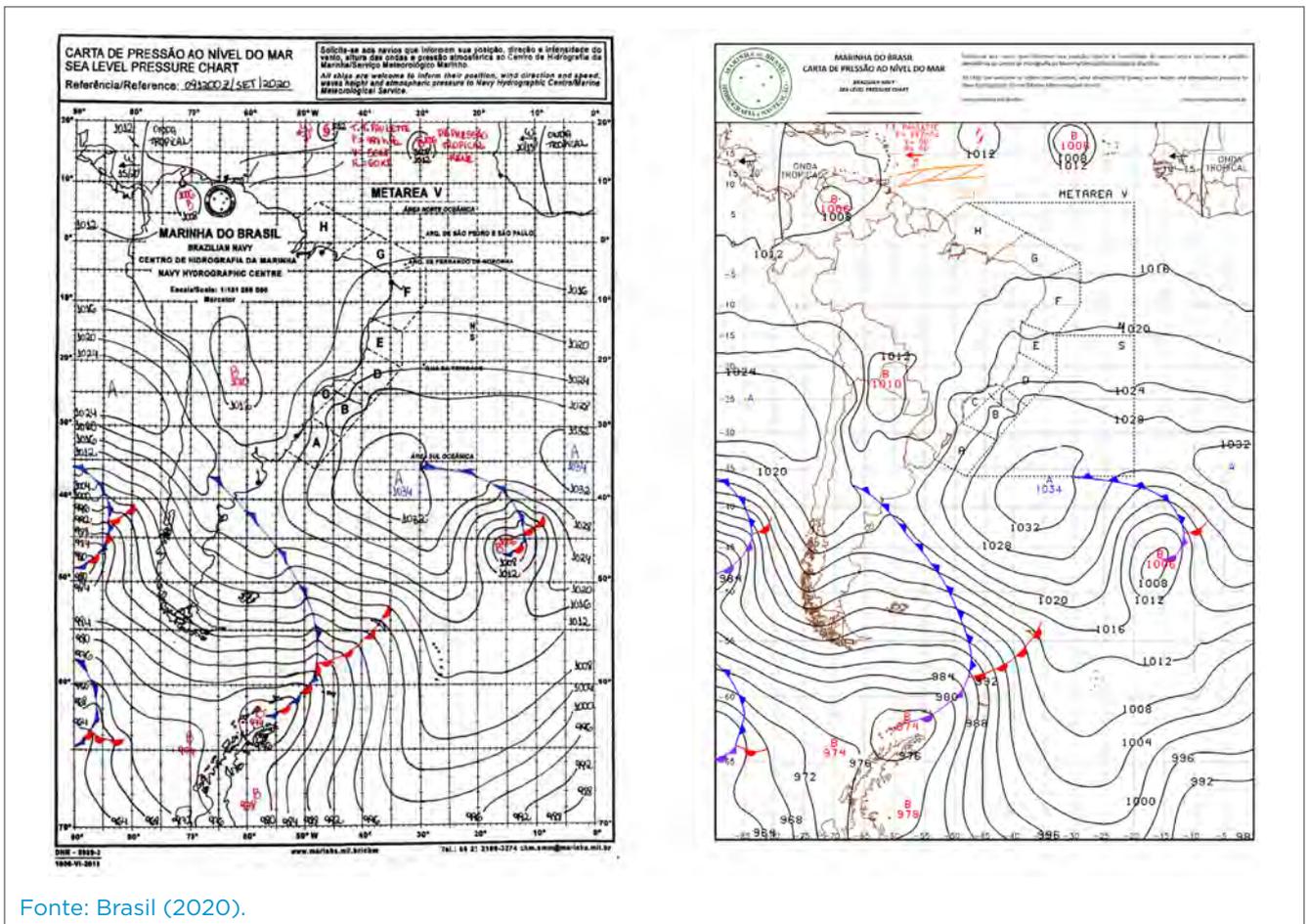


Figura 3. Barbelas de direção e intensidade do vento provenientes do escaterômetro ASCAT, plotadas no Gempak. A imagem da direita mostra um zoom na costa sul/sudeste do Brasil.



Fonte: Brasil (2020).

Figura 4. Cartas sinóticas produzidas pelo Centro de Hidrografia da Marinha: forma manual (esquerda) e digital (direita).

de ar, com informações de temperatura, pressão, vento etc. A sobreposição dos dados de escaterômetro (denotados na Figura 3) completam a suíte de ferramentas no auxílio da edição da carta. Todos os setores de linhas de pressão inconsistentes com tais informações poderão ser apagados e redesenhados com o simples uso do *mouse*. Os símbolos meteorológicos também são incluídos com a mesma facilidade, utilizando-se ícones próprios do Gempak. Algumas modificações estéticas foram feitas no *layout* da carta, tornando-o mais limpo.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho apresenta uma mudança de paradigma na confecção de um dos principais produtos oferecidos pelo CHM em apoio ao navegante e diversos usuários: a carta sinótica.

Tal inovação precisava ser acompanhada pela manutenção da qualidade subjetiva que o produto do CHM já possuía, sob pena de degradar sua qualidade e uso dos navegantes em geral. A automação dos processos envolvidos e a precisão e a facilidade propostas pelo projeto permitiram que sua pronta implementação no CHM dependesse apenas da capacitação de pessoal, a qual foi finalizada em aproximadamente dois meses. As cartas sinóticas em formato digital estão disponíveis para uso ostensivo à comunidade marítima, científica e à sociedade em geral no sítio eletrônico do CHM, em dois horários diferentes por dia.

Adicionalmente, este trabalho gera soluções para alguns temas em andamento na MB, entre eles:

- projetos nacionais ligados a sistemas integrados de geoinformação temática para operações conjuntas — possibilidade de inclusão da carta em portais atualmente em desenvolvimento;

- projeto da OHI, o chamado S-100 — *Universal Hydrographic Data Model (e-Navigation)*; foi dado o primeiro passo para a inclusão da carta no projeto *Weather Overlay* para *Electronic Chart Display and Information Systems (ECDIS)*.

A ideia desse projeto internacional é produzir um sistema multifuncional e único de informações, disponível no passageiro dos navios, que contribua para o aumento da segurança da navegação (MORAIS, 2016).

Por fim, este trabalho mostra como a exploração de soluções de baixo custo e, neste caso específico, gratuitas, pode ampliar os horizontes da MB, agregando valor a seu ambiente operacional, além de permitir avanços nos projetos da atualidade. No caso deste projeto, tais avanços tecnológicos não preterem a interferência humana e sua capacidade subjetiva, pois, apesar de toda a automação envolvida, a importância dos anos de experiência de um analista do tempo no processo é considerada. Essa é a grande vantagem de se colocarem as máquinas a serviço da sabedoria humana.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Centro de Hidrografia da Marinha. *Áreas marítimas*. Brasil: Centro de Hidrografia da Marinha. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-smm-informacoes-gerais/areas-maritimas>. Acesso em: 9 mar. 2022.

BRASIL. Centro de Hidrografia da Marinha. *Cartas sinóticas*. Brasil: Centro de Hidrografia da Marinha, 2020. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-smm-cartas-sinoticas/cartas-sinoticas>. Acesso em: 9 mar. 2022.

EBRAHIM, M.; MALLETT, A. *Mastering linux shell scripting*. 2. ed. Birmingham: Packt, 2018.

MORAIS, C. R. B. Desenvolvimento de um produto de meteorologia marinha usando o modelo de dados hidrográficos

universal (S-100). *Anais Hidrográficos*, Niterói, tomo 73, p. 75-82, 2016.

NCAR. *GEMPAK Online Tutorial*. Boulder, 2017. Disponível em: <http://www.unidata.ucar.edu/software/gempak/tutorial/index.html>. Acesso em: 10 dez. 2021.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). *Guide to the WMO Table Driven Code Form Used for the Representation and Exchange of Regularly Spaced Data in Binary Form: FM 92 GRIB Edition 2*. Genebra: WMO, 2003.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). *Manual on the Global Data-Processing and Forecasting System*. Genebra: WMO, 2012.



Figura 2

DISPARO COM A MUNIÇÃO “BASE BLEED” DESENVOLVIDA PELO IPQM

AERONAVE KC-2 EMPREGADA EM APOIO LOGÍSTICO MILITAR NO COMBATE À COVID-19: UMA ABORDAGEM À LUZ DO TRAVELLING SALESMAN PROBLEM

KC-2 aircraft used in military logistics support to combat COVID-19: an approach in the light of the Traveling Salesman Problem

Igor Pinheiro de Araújo Costa¹, Luiz Frederico Horácio de Souza de Barros Teixeira², Sérgio Mithihiro do Nascimento Maêda³, Leandro Carvalho⁴, Victor Rosemberg Reis Mota⁵, Carlos Francisco Simões Gomes⁶, Marcos dos Santos⁷

Resumo: O número elevado de casos de COVID-19 no Brasil e no mundo nos últimos dois anos trouxe grande preocupação à população e ao governo, principalmente nos estados mais afetados pela pandemia. Este trabalho tem como objetivo propor uma estratégia, por meio da aplicação da modelagem matemática do Problema do Caixeiro Viajante (TSP), para a distribuição de medicamentos, respiradores e insumos nos estados brasileiros mais afetados pela pandemia. Para tanto, foi sugerida a utilização da aeronave de asa fixa KC-2, em processo de modernização pela Marinha do Brasil. Para estruturar o problema, foi aplicado o método *Value-Focused Thinking* (VFT), além de ter sido feita consulta a especialistas em saúde pública. O TSP foi aplicado para propor uma rota otimizada para fornecer apoio logístico aos dez estados mais afetados pela pandemia. A metodologia apresentada pode ser replicada para diversos tipos de problemas táticos, operacionais e estratégicos, apresentando relevância para a academia, as forças armadas e a sociedade civil.

Palavras-chave: Problema do Caixeiro Viajante. Value-Focused Thinking. Aeronave KC-2. COVID-19. Pesquisa Operacional Militar.

Abstract: The number of cases of COVID-19 in Brazil and worldwide in the last two years has brought to light great concern to the population and the government, especially in the states most affected by the pandemic. This paper aimed to propose a strategy, through the application of the mathematical modeling of the Travelling Salesman Problem (TSP), for the distribution of medications, respirators, and supplies in the Brazilian states most affected by the pandemic. To this end, it was suggested the use of the KC-2 aircraft, in the modernizing process by the Brazilian Navy. To structure the problem, the Value-Focused Thinking (VFT) method was applied, in addition to consulting public health specialists. The TSP was applied to propose an optimized route to provide logistical support to the 10 states most affected by the pandemic. The methodology presented can be replicated for various types of tactical, operational, and strategic problems, presenting relevance to academia, military, and society.

Keywords: Travelling Salesman Problem. Value Focused Thinking. KC-2 aircraft. COVID-19. Military Operation Research.

1. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Federal Fluminense (UFF). Pesquisador do Centro de Análises de Sistemas Navais (CASNAV), Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: igor.pinheiro@marinha.mil.br

2. Mestre em Engenharia de Produção pela UFF. Gerente de Projeto do CASNAV, Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: luiz.frederico@marinha.mil.br

3. Mestre em Engenharia de Produção pela UFF. Pesquisador do CASNAV, Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: sergiomnmaeda@gmail.com

4. Mestrando em Engenharia Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP - Brasil. E-mail: l228595@g.unicamp.br

5. Mestre em Engenharia de Produção pela UFF. Servidor do Ministério da Saúde, Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: victorrrm@gmail.com

6. Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Professor Associado no Departamento de Engenharia de Produção da UFF. Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da UFF, Niterói, RJ - Brasil. E-mail: cfsg1@bol.com.br

7. Doutor em Engenharia de Produção pela UFF. Gerente de Projetos e Analista de Estudos Complexos do CASNAV. Professor do Programa de Pós-Graduação em Sistemas e Computação do Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: marcos.santos@marinha.mil.br

1. INTRODUÇÃO

À medida que a pandemia do coronavírus e seu impacto se espalham, os sistemas de saúde em todo o mundo estão respondendo com medidas de proteção em grande escala e realocação de recursos para tentar conter o avanço do vírus. Analisando os números de casos, mortes e consequências econômicas causadas pela COVID-19, pode-se afirmar que a pandemia representa o maior e mais rápido desafio para os sistemas de saúde pública em décadas (RASMUSSEN; KOELLING, 2020).

De acordo com Moreira (2020), o acelerado aumento do número de casos da doença exige que os países aumentem as vagas nas unidades de terapia intensiva (UTI). Doenças respiratórias, neoplasias, cardiopatias, hipertensão e diabetes aumentam sua letalidade. Além disso, a pandemia está provando ter impactos profundos na economia global, com trilhões de dólares evaporando das bolsas de valores do mundo, empresas sendo obrigadas a fechar suas portas para evitar um colapso absoluto, além de milhões de pessoas perdendo seus empregos (OZAMIZ-ETXEBARRIA et al., 2020).

Para Sutter et al. (2020), o avanço da doença vem destacando uma série de fraquezas dos sistemas de saúde do mundo, evidenciando os problemas no acesso aos recursos essenciais necessários para enfrentar essa pandemia, como falta de respiradores, medicamentos e equipamentos de proteção.

A capacidade operacional dos estados brasileiros para o enfrentamento da COVID-19 foi analisada por Borges et al. (2020), e os autores chegaram à conclusão de que há uma distribuição desigual de recursos hospitalares, disponibilidade de medicamentos e quantidade de leitos disponíveis entre os estados, o que parece interferir na condição de enfrentamento da doença, com a possibilidade de impactar as taxas de letalidade pela COVID-19.

No início de dezembro de 2021, o Brasil registrava mais de 22.100.000 casos, com aproximadamente 600 mil mortes confirmadas (BRASIL, 2021). Essa situação crítica, que oferece risco de colapso aos sistemas de saúde dos estados brasileiros, torna importante estudar formas de apoiar principalmente as cidades mais afetadas pela COVID-19.

Dada a complexidade da pandemia, faz-se mister a utilização de ferramentas eficientes, tanto para a estruturação e a modelagem do problema a ser analisado quanto para a definição e a ordenação de estratégias de solução. Para o entendimento da situação problemática, neste artigo é aplicado

o método de estruturação *Value-Focused Thinking* (VFT), visando definir os objetivos e obter uma possível forma de combater a pandemia no país.

Tendo em vista a situação precária da economia e do sistema de saúde do Brasil, é preciso fazer uso dos recursos no combate à pandemia da forma mais eficiente e eficaz possível. Sendo assim, o objetivo deste artigo é propor uma estratégia de roteirização, mediante a aplicação da modelagem matemática do problema do caixeiro-viajante (*Travelling Salesman Problem* — TSP), para a distribuição de medicamentos, respiradores e insumos pelos estados brasileiros mais afetados pela pandemia. Para tal, é sugerido o emprego da aeronave KC-2, adquirida pela Marinha do Brasil (MB) e com previsão de entrar em serviço nos próximos anos, por se tratar de um avião multimissão e que elevará a capacidade de apoio logístico militar da Força Naval. Cabe ressaltar, contudo, que a mesma modelagem poderia ser empregada para outras aeronaves, como o KC-390, da Força Aérea Brasileira (FAB), rotineiramente empregado em ajudas humanitárias no Brasil. Da mesma sorte, a metodologia pode ser adaptada para o combate a outras epidemias, em caso de desastres naturais ou como apoio às ações cívico-sociais em geral.

Este artigo, portanto, apresenta relevância para academia e sociedade, pois apresenta um *framework* facilmente replicável para o apoio à tomada de decisão de alto nível no combate a um problema real que vem afetando a vida da sociedade no Brasil e no mundo.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Buscando ter-se uma visão ampla do estado da arte e da relevância do tema pesquisado, realizou-se uma pesquisa na base de dados Scopus, considerando-se o modelo de *webi-bliomining* proposto por Costa (2010), por aplicações de TSP e algoritmo *branch and bound* na área de saúde.

2.1. BRANCH AND BOUND

Realizou-se pesquisa por “*branch and bound*”, limitando-se os resultados aos seguintes termos: “*branch and bound method*”, “*branch and bound*”, “*branch and bounds*”, “*branch-and-bound algorithms*”, “*branch and bound algorithm*” ou “*branch-and-bound*”. Encontraram-se 27 resultados, divididos entre 14 artigos de periódicos e 13 de conferência.

Um estudo bibliométrico foi desenvolvido para identificar o ano de publicação e *clusters* de palavras-chave. O *software*

entre 13 artigos de periódicos, 7 artigos de conferência e 2 capítulos de livros.

Observando-se os trabalhos ao longo do tempo (Figura 3), percebe-se a moda em 2 (9 dos 17 anos com publicações) e vê-se que nos últimos 4 anos foram publicados 2 artigos



Figura 3. Distribuição dos artigos de periódico por ano.

anualmente, o que demonstra consistência na aplicação de TSP e *branch and bound* para rotas na área de saúde.

A construção de *clusters* de palavras-chave (Figura 4) gerou 4 grupos, totalizando 54 itens com ocorrências de “*problem solving*”, “*optimization*” e “*simulation*”, de acordo com a pesquisa anterior. Destaca-se a ocorrência de “*vehicle routing*” e “*routing algorithms*”, termos muito correlacionados à presente pesquisa.

2.3. TRAVELLING SALESMAN PROBLEM E COVID-19

Pesquisaram-se aplicações de TSP voltadas para o combate à COVID-19, o que resultou em dois artigos. No primeiro, o TSP foi usado como ferramenta de auxílio para identificar a rota ótima para o hospital mais próximo (GUEVARA; PENAS, 2020); no segundo, para distribuição de alimentos

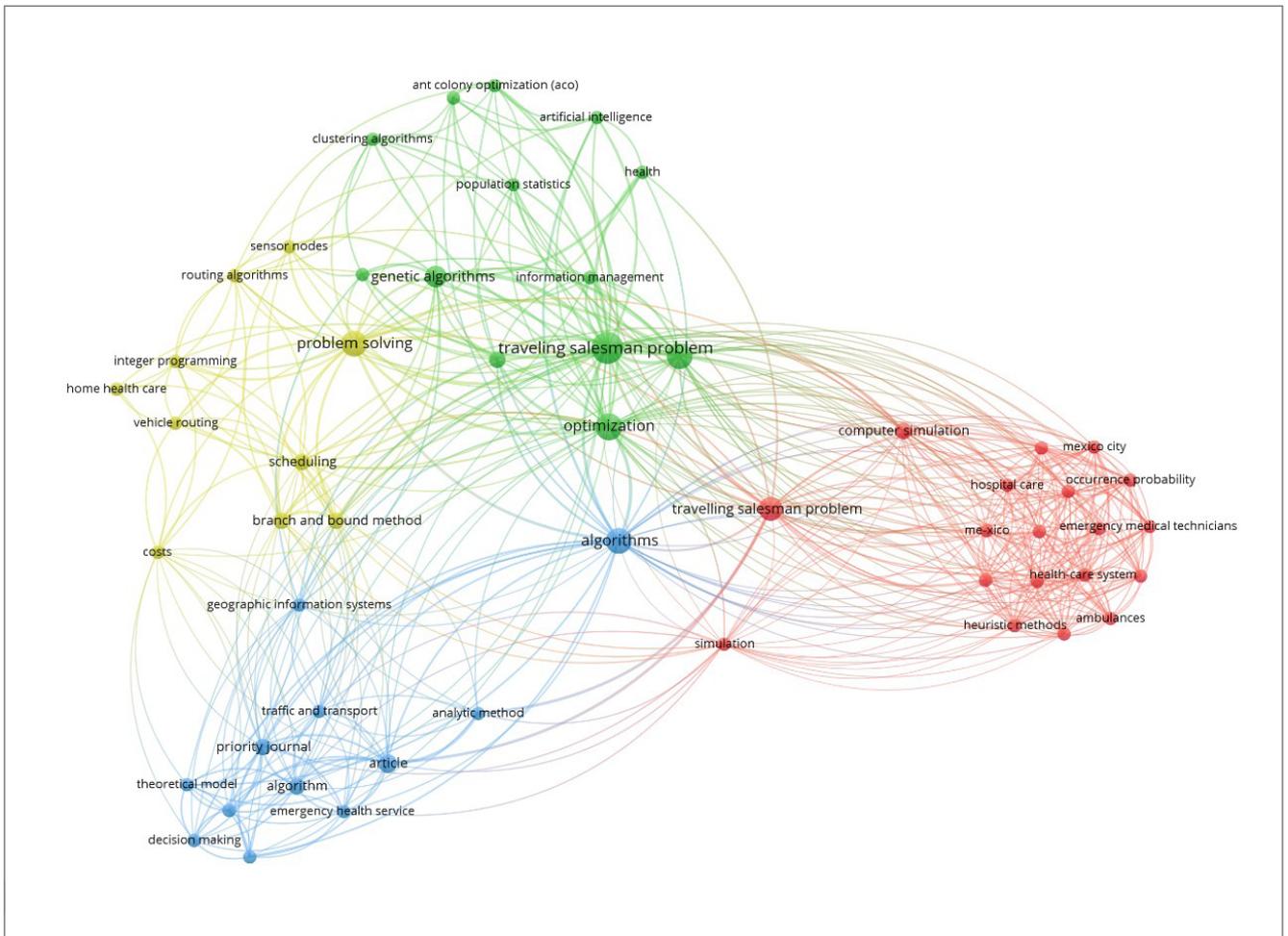


Figura 4. Clusters de palavras-chave.

por conta da crise causada pela pandemia (BAYTÜRK et al., 2021).

A utilização do TSP para a seleção de rotas possui diversas aplicações na literatura, até mesmo em problemas relacionados ao enfrentamento da crise causada pela pandemia de COVID-19. O presente trabalho representa uma nova aplicação do algoritmo, na proposição de rota otimizada para a prestação de apoio logístico aos estados brasileiros no combate à pandemia.

3. ESTRUTURAÇÃO DO PROBLEMA

Para a estruturação e o escopo da situação problemática, neste artigo foi utilizado o processo de tomada de decisão proposto por Franco e Montibeller (2010), que define duas fases: divergente e convergente, como observado na Figura 5.

Na fase divergente, o objetivo principal é o entendimento da situação problemática, com a realização de *brainstorming* pelos autores e entrevistas com especialistas em saúde pública, buscando-se apreender conceitos importantes afetos

à problemática da pandemia. A parte empírica desta pesquisa foi projetada para corresponder à complexidade intrínseca do cenário de pandemia enfrentado atualmente, que vem ocasionando o colapso dos sistemas de saúde espalhados pelo Brasil e pelo mundo. Ainda na primeira fase, verificou-se a necessidade de identificação e estruturação dos objetivos para a resolução do problema, notadamente as ações a serem tomadas pelo Poder Público no combate à pandemia, estabelecendo uma rede de objetivos de meios e fins. Segundo Abuabara et al. (2019), nessa fase, informações e ideias precisam estar bem estabelecidas e organizadas, uma vez que alimentam a fase seguinte (convergente).

Na fase convergente, aplicando o conhecimento útil apreendido no estágio anterior, busca-se definir os objetivos, critérios e alternativas de solução que comporão o modelo, visando-se definir as estratégias de solução do problema. Existe a tendência de se enxergar como problemas situações que requerem decisões. De modo geral, para a resolução dessas situações problemáticas, são identificadas alternativas e só depois são considerados os objetivos ou critérios para avaliá-las (KEENEY, 1992).

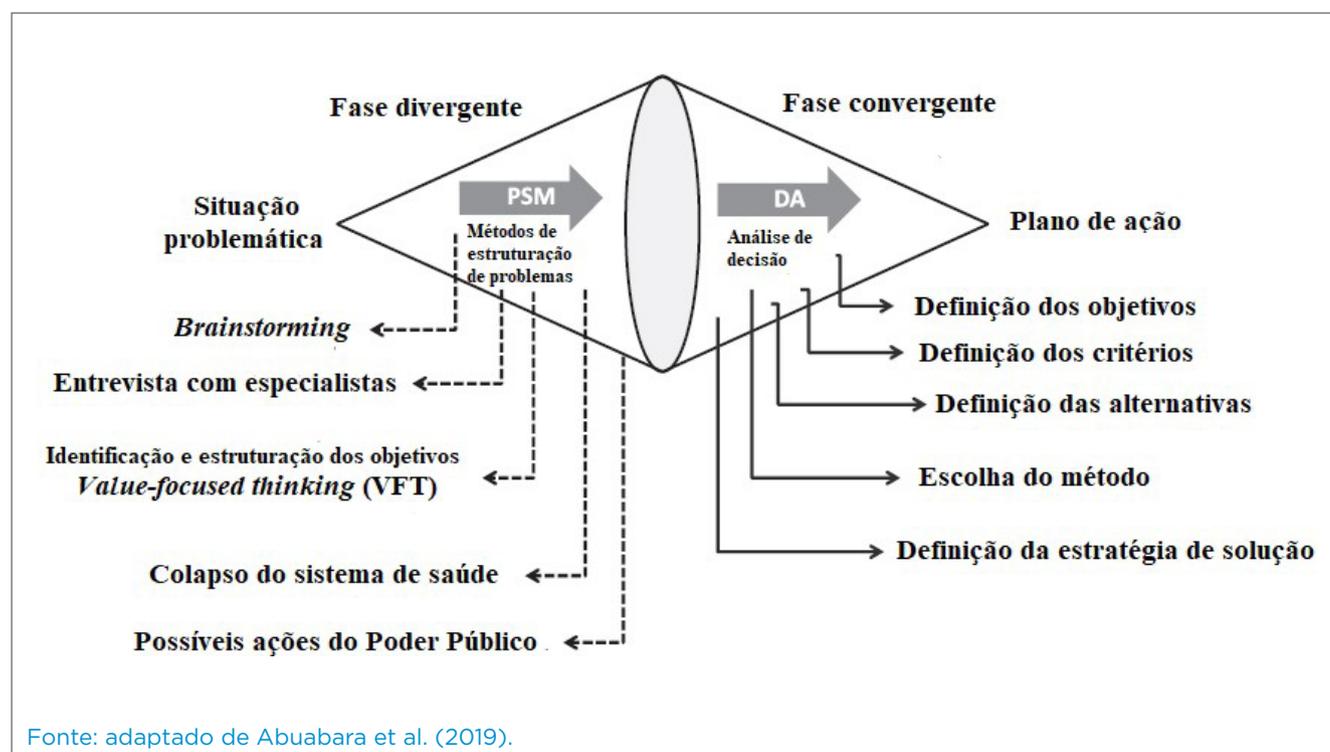


Figura 5. Processo de tomada de decisão.

Para Keeney (1996), valores podem ser definidos como princípios para avaliar o quão desejável cada possível alternativa ou consequência pode ser. Apesar de ser útil realizar iterações entre articular valores e criar alternativas, o princípio utilizado deve ser “valores primeiro”.

O VFT visa impulsionar um pensamento voltado para definir os objetivos que se almejam e então descobrir como alcançá-los. Os objetivos representam uma declaração do que se deseja obter e são caracterizados por um contexto, um objeto e uma direção de preferência, dividindo-se em objetivos fundamentais e objetivos meio (KEENEY, 1994).

Neste trabalho, os valores e conceitos foram separados em objetivos fundamentais e objetivos meio, conforme apresentado na rede de objetivos (Figura 6).

Analisando a rede de objetivos, observam-se quatro objetivos meio: capacidade de transporte interestadual; transporte de respiradores; distribuição de alimentos a regiões carentes; e reposição de medicamentos aos hospitais mais afetados pela crise. O objetivo fundamental é a prestação de apoio aos sistemas de saúde dos estados brasileiros no combate à pandemia, com as máximas eficiência e eficácia.

Com os objetivos estabelecidos, os autores realizaram consulta a diversos especialistas, procurando obter as alternativas de solução que possibilitariam um efetivo combate à pandemia. Concluíram que uma estratégia viável e eficiente seria o emprego da aeronave KC-2, já que que essa estratégia cumpre todos os objetivos considerados importantes na análise.

Visando propor uma rota otimizada de transporte de medicamentos, equipamentos e alimentos às regiões mais necessitadas do país, neste artigo foi aplicado o algoritmo TSP para a obtenção de um trajeto percorrido pela aeronave KC-2 com a menor distância e custos possíveis.

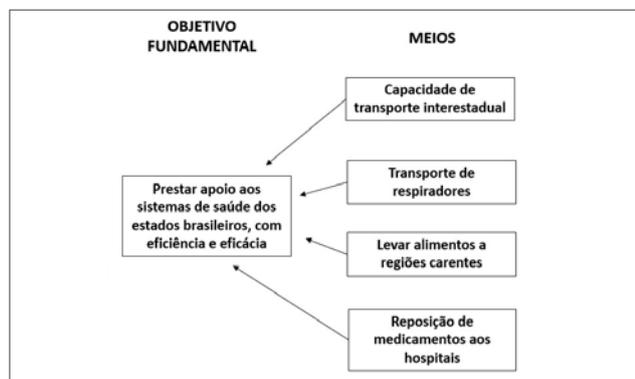


Figura 6. Rede de objetivos (fundamentais e meio).

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1. TRAVELLING SALESMAN PROBLEM

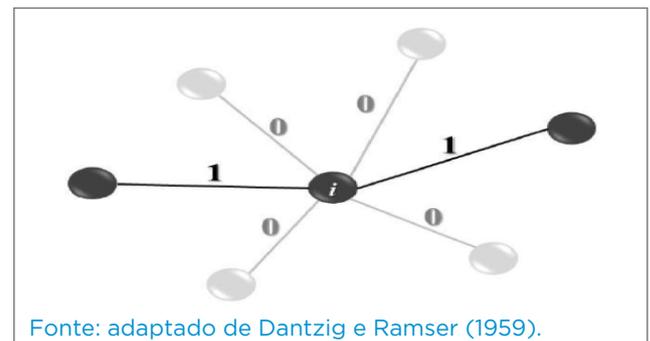
No processo para a tomada da decisão, a Engenharia de Produção torna-se um mecanismo fundamental no assessoramento dos gestores (SANTOS et al., 2019). Nessa grande área da Engenharia, a Pesquisa Operacional (PO) é o campo abrangente e multidisciplinar que emprega modelos matemáticos e analíticos para a solução de problemas complexos do cotidiano (TEIXEIRA et al., 2019).

A PO apresenta modelos quantitativos que podem ser trabalhados por meio de programas computacionais, buscando uma simulação válida com base em dados relevantes das organizações (BLANCK; BANDEIRA, 2015). Nesse contexto, a programação linear e a otimização combinatória buscam maximizar ou minimizar uma função objetivo, obedecendo a restrições de diferentes dados do mundo real. Dessa forma, a programação linear posiciona-se, continuamente, como uma solução para problemas que abrangem recursos escassos (GOMES et al., 2019).

Os métodos de PO vêm sendo rotineiramente utilizados no auxílio à decisão em assuntos afetos à saúde pública, como na seleção de um navio de assistência hospitalar da Marinha do Brasil a ser empregado no combate à pandemia no Brasil (COSTA et al., 2020) e na melhoria do atendimento do sistema hospitalar de emergência no município do Rio de Janeiro (SANTOS et al., 2015), estudos que podem ser replicados no combate à COVID-19.

Entre os temas analisados por meio dessas técnicas, pode-se destacar o TSP (ANDRADE JÚNIOR et al., 2016).

Uma resolução ao TSP foi proposta pioneiramente por Dantzig e Ramser (1959), que consideraram um grafo $G(V, A)$ qualquer para descrevê-lo, em que V representaria o conjunto de nós e A , o conjunto de arestas que liga cada nó (Figura 7).



Fonte: adaptado de Dantzig e Ramser (1959).

Figura 7. Formulação clássica do *Travelling Salesman Problem*.

Os autores ainda descrevem que os nós representam os pontos de origem/destino e as arestas são os pares ordenados desses pontos, que correspondem ao caminho possível para realizar o trajeto. Assim, a solução do TSP consiste em identificar uma rota que se inicie e termine no mesmo ponto de origem, sendo conhecidas as distâncias entre os pontos de um dado grafo, passando por todos os pontos uma única vez e formando um circuito hamiltoniano de menor custo (ELGESEM et al., 2018).

A modelagem matemática do TSP analisa as condições de solicitação de cada nó de um dado grafo. E, com base nisso, a versão do TSP foi formulada por Dantzig e Ramser (1959), que consideraram ser esta uma variação do *Vehicle Routing Problem*, além de um problema de otimização pertencente à classe NP-Hard, de acordo com Equações de 1 a 5.

$$\begin{aligned} x_{ij} &= 1, \text{ se for percorrido o vértice de } i \text{ até } j; \\ x_{ij} &= 0, \text{ caso contrário;} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\text{Min. } \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n c_{ij} \cdot x_{ij} \quad (2)$$

Em que:

c_{ij} = a distância percorrida entre os vértices i e j .

Sujeito a:

$$\sum_{i=0}^n x_{ij} = 1, \forall i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

$$\sum_{i=0}^n x_{ij} = 1, \forall j = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

$$\sum_{i \in V} \sum_{j \in V} x_{ij} \leq |V| - 1, \forall V \subset A: 1 < |V| < (n - 1) \quad (5)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}$$

Desse modo, para operacionalizar a resolução do TSP, (1) representa a variável binária para cada vértice, limitado por (6). A função objetivo (2) representa o somatório dos índices de todo o percurso e, normalmente, busca-se minimizar esse índice total (custo, distância etc.). A restrição (3) garante que do vértice saia apenas um arco para qualquer vértice; a restrição (4) garante que o vértice seja acessado por apenas um

arco vindo de qualquer vértice; tem-se assim, a garantia de que o viajante passe por todos os vértices uma só vez. A restrição (5) garante que a solução contenha um único ciclo que cubra todos os vértices, sem repetições.

O problema de roteamento de veículos, em razão da mutação urbana, demanda soluções que possam ser implementadas e parametrizadas por diferentes realidades operacionais (LAPORTE, 1992; BRAEKERS et al., 2016).

Existem inúmeras heurísticas e meta-heurísticas na literatura que são dedicadas à resolução de problemas de roteamento de veículos (OYOLA et al., 2018; SCHIFFER et al., 2019). No entanto, dado o elevado número de alternativas às diversas situações, é necessário que, ao se selecionar uma dada aplicação, ela se adeque não somente a apresentar um resultado matemático, mas também permita adaptar a abordagem estocástica (JUNEJA et al., 2019).

4.2. ALGORITMO BRANCH AND BOUND

Esse algoritmo foi desenvolvido em 1960 por Land e Doig para a resolução de problemas de Programação Inteira. Segundo Belfiore e Fávero (2013), a estrutura para a solução é representada por uma árvore, em que os nós são os subproblemas e os ramos sempre conectam outros dois nós, o que indica as novas restrições que serão acrescentadas ao modelo. A Figura 8 exemplifica uma árvore gerada pelo algoritmo de *branch and bound*.

4.3. AERONAVE KC-2

O KC-2, originalmente conhecido como C-1T na Marinha dos Estados Unidos da América, é uma aeronave multimissão fabricada pela empresa Grumman, empregada desde a década de 1950 em missões antissubmarino e como *carrier onboard delivery* (COD), isto é, em apoio logístico.

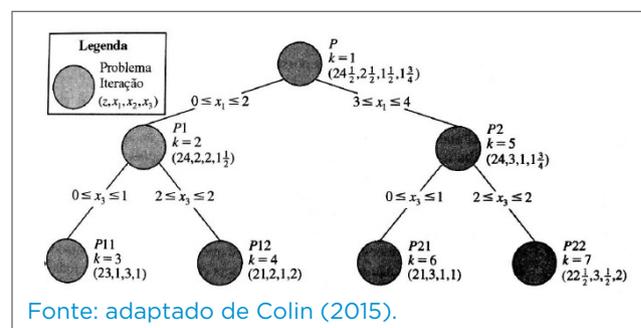


Figura 8. Árvore de *branch and bound*.

Os aviões KC-2 estão sendo modernizados e receberão novos motores e sistemas. A MB planeja empregá-los para realizar o reabastecimento em voo (REVO) de seus caças AF-1B/C. Os KC-2 também poderão ser empregados para: evacuação aeromédica; apoio às operações de busca e salvamento; apoio às operações de defesa nuclear, biológica, química e radiológica (NBQR); transporte de cargas e passageiros; e para o lançamento de paraquedistas até a altitude de 25.000 pés (MARINHA DO BRASIL, 2018; MINISTÉRIO DA DEFESA, 2021).

Por suas características, é possível inferir que o KC-2 venha a ser empregado pela MB em auxílio humanitário. A presença de aeronaves de asa fixa contribuiu sobremaneira para as ações de combate ao coronavírus. Por exemplo, outra aeronave multimissão, o KC-390 da FAB, já vem sendo empregado em diversas missões no apoio à pandemia da COVID-19, transportando alimentos, medicamentos e insumos em geral para regiões necessitadas (EMBRAER, 2020; FAB, 2020).

5. METODOLOGIA

Para a confecção do presente estudo, foi realizada consulta à página oficial do Ministério da Saúde — Painel Coronavírus (BRASIL, 2021) a fim de se obter a relação de estados mais afetados pela COVID-19 no país. A consulta foi realizada em 11 de maio de 2021. Tendo em vista a heterogeneidade dos estados brasileiros no que tange à capacidade logística, operacional e de números de casos/óbitos nas regiões, realizou-se consulta a especialistas em saúde pública e verificou-se que um critério bastante usual para a análise do impacto da pandemia é a incidência da doença por cada 100 mil habitantes. Com isso, foi obtido o conjunto dos dez estados mais afetados pela pandemia (Tabela 1).

Ressalta-se que a região Sul apresenta a menor média de incidência do país. Entretanto, visando apresentar uma rota otimizada que abranja todas as regiões do Brasil, o Rio Grande do Sul foi adicionado ao conjunto de estados por apresentar a maior média do Sul (56).

5.1. APLICAÇÃO DO SOFTWARE LIVRE TRAVELLING SALESMAN PROBLEM SOLVER AND GENERATOR

Esse *software* tem como objetivo gerar e resolver problemas relacionados ao TSP mediante a aplicação do algoritmo

Tabela 1. Estados mais afetados pela pandemia.

Estado	Incidência/100 mil habitantes
Distrito Federal	127,5
Mato Grosso	115,1
Amazonas	114,1
Roraima	117
Ceará	103,6
Sergipe	98,6
Espírito Santo	101
Rio de Janeiro	125,7
Rio Grande do Sul	56
Amapá	93

branch and bound. Uma entrada é um número de cidades e uma matriz de preços/distância de cidade para cidade. A matriz pode ser preenchida com valores aleatórios em um determinado intervalo (útil para gerar tarefas). O resultado é uma rota ideal, matrizes passo a passo de resolução e resolução de gráfico (TSPSG, 2011).

Para a aplicação do *software*, é necessário gerar a matriz de distâncias em quilômetros entre as cidades/estados. Para a obtenção dos valores, foram consideradas as distâncias entre os principais aeroportos dos estados (Tabela 2).

Ressalta-se que os valores da diagonal principal são iguais a 0, pois representam a distância de um determinado estado a ele próprio. Além disso, os valores simétricos em relação à diagonal principal são iguais, por representarem a recíproca de um estado em relação a outro. Os termos “City 1” a “City 10” são atribuídos pelo *software Travelling Salesman Problem Solver and Generator* (TSPSG) e não podem ser editados. O estado de São Paulo (City 1) foi arbitrado como o ponto de partida e chegada, por ser a megalópole que concentra mais recursos e insumos no combate à pandemia, bem como onde se encontra o principal aeroporto do país, o Aeroporto Internacional de Guarulhos. Contudo, a mesma modelagem poderia ser aplicada com base em outras cidades, a critério da alta administração pública. A Figura 9 ilustra a tela inicial do *software*, com os dados das distâncias entre os estados inseridos.

Tabela 2. Distâncias entre os estados mais afetados pela pandemia.

		SP	DF	MT	AM	RR	CE	SE	ES	RJ	RS
City 1	SP	0	1.043	1.162	3.874	4.600	2.717	2.079	874	451	894
City 2	DF	1.043	0	711	3.448	4.184	1.959	1.653	1.246	1.148	1.692
City 3	MT	1.162	711	0	2.740	3.476	2.663	2.358	1.688	1.503	1.593
City 4	AM	3.874	3.448	2.740	0	745	4.179	4.559	4.520	4.336	4.173
City 5	RR	4.600	4.184	3.476	745	0	4.903	5.290	5.256	5.072	4.909
City 6	CE	2.717	1.959	2.663	4.179	4.903	0	1.091	2.149	2.578	3.602
City 7	SE	2.079	1.653	2.358	4.559	5.290	1.091	0	1.363	1.873	3.029
City 8	ES	874	1.246	1.688	4.520	5.256	2.149	1.363	0	532	1.760
City 9	RJ	451	1.148	1.503	4.336	5.072	2.578	1.873	532	0	1.305
City 10	RS	894	1.692	1.593	4.173	4.909	3.602	3.029	1.760	1.305	0

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
City 1	---	1043	1162	3874	4600	2717	2079	874	451	894
City 2	1043	---	711	3448	4184	1959	1653	1246	1148	1692
City 3	1162	711	---	2740	3476	2663	2358	2688	1503	1593
City 4	3874	3448	2740	---	745	4179	4559	4520	4336	4173
City 5	4600	4184	3476	745	---	4903	5290	5266	5072	4909
City 6	2717	1959	2663	4179	4903	---	1091	2149	2578	3602
City 7	2079	1653	2358	4559	5290	1091	---	1363	1873	3029
City 8	874	1246	2688	4520	5266	2149	1363	---	532	1760
City 9	451	1148	1503	4336	5072	2578	1873	532	---	1305
City 10	894	1692	1593	4173	4909	3602	3029	1760	1305	---

Figura 9. Matriz com distâncias entre os aeroportos dos estados.

5.2. ANÁLISE DOS RESULTADOS ALCANÇADOS

Após a inserção dos dados no *software* TSPSG, foi obtida a seguinte rota otimizada (Figura 10).

A Figura 11 ilustra a rota a ser percorrida pelo KC-2 no apoio ao combate à pandemia: SP → RS → DF → MT → AM → RR → CE → SE → ES → RJ → SP.

O tratamento analítico do problema mostrou-se demasiadamente trabalhoso, pois geraria um total de 9! — ou 362.880 alternativas de rotas —, o que inviabilizaria esse

tipo de abordagem. Desse modo, torna-se claro que, sem a utilização de uma ferramenta computacional, a resolução do problema seria praticamente impossível.

A solução obtida mediante a aplicação do *software* apresentou um ciclo que percorreu todos os estados componentes do modelo, perfazendo o total de 15.122 quilômetros. Embora tenha sido apresentada a solução do TSP para dez estados a serem visitados pelo KC-2, a metodologia pode ser replicada para uma quantidade qualquer de pontos ou *clusters*.

Resulting path:

City 1 -> City 10 -> City 2 -> City 3 -> City 4 -> City 5 -> City 6 -> City 7 -> City 8 -> City 9 -> City 1

The price is 15122 units.

Figura 10. Rota obtida após a aplicação do software *Travelling Salesman Problem Solver and Generator*.

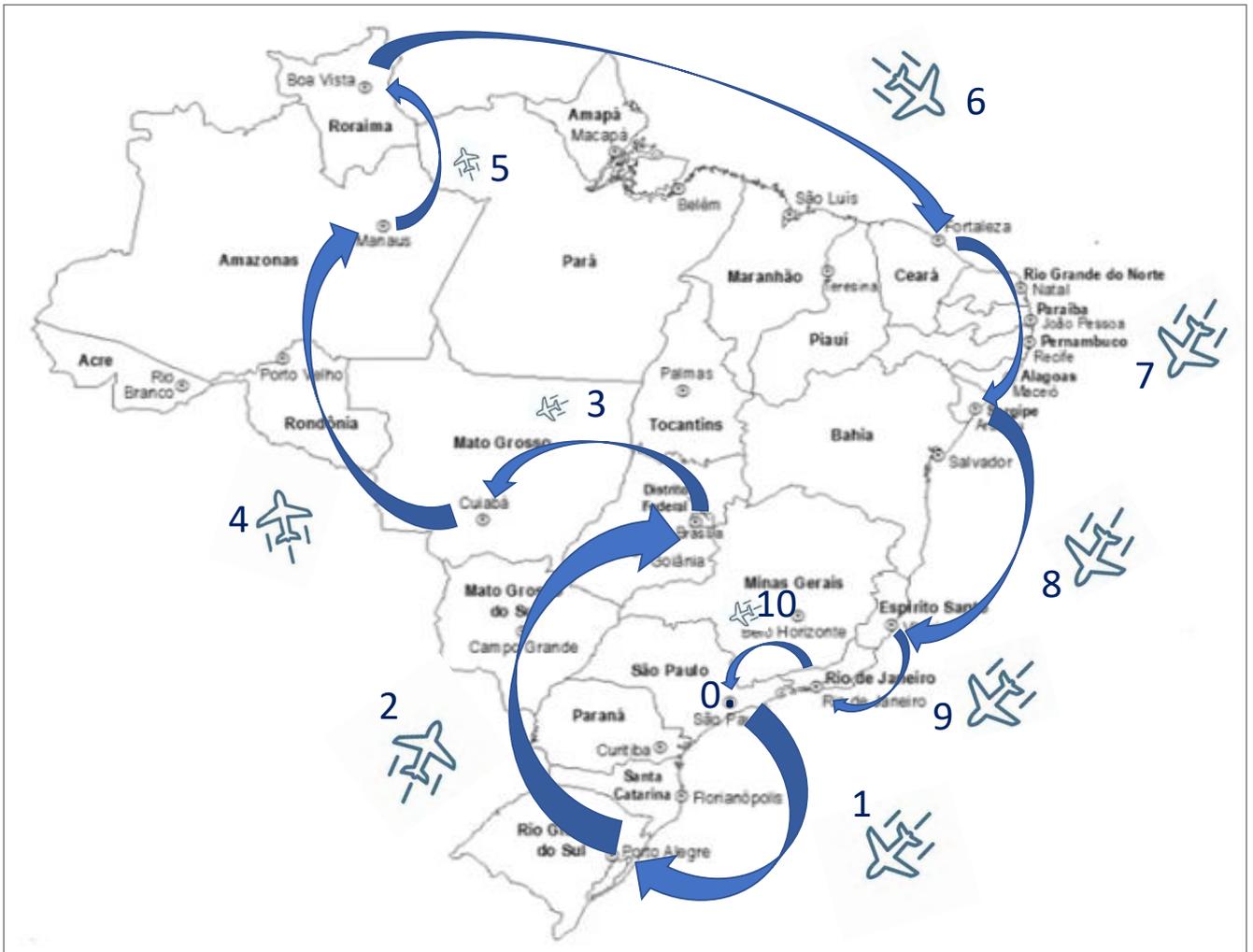


Figura 11. Rota ilustrada.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista que a chamada “segunda onda” parece ser uma ameaça cada vez mais próxima, faz-se necessária a articulação de medidas emergenciais para combater o avanço da doença, principalmente por parte do Poder Público. O objetivo deste estudo foi propor uma rota otimizada a ser percorrida pela aeronave KC-2, prestando apoio logístico aos estados

mais afetados pela pandemia do coronavírus, mediante a aplicação dos conceitos do TSP, visando minimizar os custos e o tempo necessários para essa distribuição por meio da redução da distância percorrida.

Foram considerados dados reais, disponibilizados pelo Ministério da Saúde, relativos ao panorama atual dos estados brasileiros no combate à pandemia. Vislumbrou-se no artigo a aplicação do KC-2 na prestação do apoio proposto, tendo em vista

que aeronaves militares vêm sendo cada vez mais empregadas em ajudas humanitárias no combate à pandemia. Dessa forma, acredita-se que o modelo apresentado permita uma opção de planejamento das rotas que leve ao melhor aproveitamento dos recursos disponíveis, além de otimizar o tempo gasto para percorrer o maior número possível de cidades/estados do país.

Quanto ao conjunto de estados componentes do modelo, verificaram-se representantes de todas as regiões do país. Em virtude das dimensões continentais do Brasil, o planejamento de um apoio logístico a essas regiões é uma tarefa bastante complexa, contudo o algoritmo apresentado permitiu tornar o processo decisório muito mais simples, transparente e robusto.

Ressalta-se a facilidade, a flexibilidade e a rapidez de aplicação da metodologia utilizada neste trabalho, que pode ser replicada no auxílio à resolução de problemas reais dos mais diversos tipos — táticos, operacionais e estratégicos —, apresentando relevância para a academia e sociedade.

Quanto às limitações do estudo, a capacidade da aeronave, em termos de volume e autonomia, não foi considerada. Como indicações de futuras pesquisas, recomenda-se implementar restrições que considerem a heterogeneidade de necessidades entre os estados (medicamentos, alimentos, respiradores, máscaras de proteção, entre outros), tendo em vista o caráter multimissão do KC-2.

REFERÊNCIAS

ABUABARA, L.; PAUCAR-CACERES, A.; BURROWES-CROMWELL, T. Consumers' values and behaviour in the Brazilian coffee-in-capsules market: Promoting circular economy. *International Journal of Production Research*, v. 57, n. 23, p. 7269-7288, 2019. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1629664>

ANDRADE JÚNIOR, B. D.; REIS, T. C. B.; BITTENCOUT, F. R.; NEVES, P. C. B.; ASSIS REIS, J. Programação linear aplicada à problemas de designação de mão de obra baseada nas competências profissionais. *Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística Da Marinha-Publicação Online*, v. 2, n. 1, p. 365-376, 2016. <https://doi.org/10.5151/marine-spolm2015-140482>

BAYTÜRK, E.; ESNAF, S.; KUCUKDENIZ, T. Two-Phase Fuzzy C-Means and genetic algorithm for food distribution. In: THE INTERNATIONAL SYMPOSIUM FOR PRODUCTION RESEARCH. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 2021. p. 453-460. https://doi.org/10.1007/978-3-030-62784-3_38

BELFIORE, P.; FÁVERO, L. P. *Pesquisa operacional para cursos de engenharia*. Brasil: Elsevier, 2013. v. 1.

BLANCK, M.; BANDEIRA, D. L. Análise da capacidade operacional de um centro cirúrgico: modelagem matemática aplicada ao dimensionamento e alocação de recursos. *Revista de Gestão*, v. 22, n. 4, p. 565-583, 2015. <https://doi.org/10.5700/rege578>

BORGES, B.; DUQUE, D.; VELOSO, F. A. A.; SENNA, J. J.; PEREIRA, L. V.; RIBEIRO, L.; MIRANDA, L.; PIRES, M. C. C.; BALASSIANO, M. G.; PESSÔA, S. DE A. Uma nova rodada de incerteza. *Boletim Macro - FGV/IBRE*, 2020.

BRAEKERS, K.; RAMAEKERS, K.; VAN NIEUWENHUYSE, I. The vehicle routing problem: State of the art classification and review. *Computers & Industrial Engineering*, v. 99, p. 300-313, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2015.12.007>

BRASIL. Ministério da Saúde. *Painel de casos de doença pelo coronavírus 2019 (COVID-19) no Brasil*. Brasil: Ministério da Saúde,

2021. Disponível em: <http://plataforma.saude.gov.br/coronavirus/>. Acesso em: 3 dez. 2021.

COLIN, E. C. *Pesquisa operacional: 170 aplicações em estratégia, finanças, logística, produção, marketing e vendas*. Livros Técnicos e Científicos, 2015.

COSTA, H. G. Model for webibliomining: proposal and application. *Revista FAE*, v. 13, n. 1, p. 115-126, 2010.

COSTA, I. P. A.; MAÊDA, S. M. N.; TEIXEIRA, L. F. H. S. B.; GOMES, C. F. S.; SANTOS, M. Choosing a hospital assistance ship to fight the Covid-19 pandemic. *Revista de Saúde Pública*, 54, p. 79, 2020. <https://doi.org/10.11606/S1518-8787.2020054002792>

DANTZIG, G. B.; RAMSER, J. H. The truck dispatching problem. *Management Science*, v. 6, n. 1, p. 80-91, 1959. <https://doi.org/10.1287/mnsc.6.1.80>

ELGESEM, A. S.; SKOGEN, E. S.; WANG, X.; FAGERHOLT, K. A traveling salesman problem with pickups and deliveries and stochastic travel times: An application from chemical shipping. *European Journal of Operational Research*, v. 269, n. 3, p. 844-859, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.02.023>

EMBRAER. *A Força Aérea Brasileira no combate ao coronavírus*. Operação COVID-19. Embraer, 2020. Disponível em: <https://embraer.com.br/pt/a-forca-aerea-brasileira-no-combate-ao-coronavirus>. Acesso em: 3 dez. 2021.

FORÇA AÉREA BRASILEIRA (FAB). *KC-390 Millennium transporta 10 toneladas de materiais para Manaus e Boa Vista*. Operação Covid-19. FAB, 2020. <https://www.fab.mil.br/noticias/mostra/36178/>. Acesso em: 3 dez. 2021.

FRANCO, L. A.; MONTIBELLER, G. Problem structuring for multicriteria decision analysis interventions. *Wiley Encyclopedia of Operations Research and Management Science*, 2010.

- GOMES, J.; MARIZ, E. C.; SILVA, A. M.; KAWAMOTO JÚNIOR, L. T. K. Programação linear aplicada à mobilidade urbana: análise do trajeto da residência à escola de estudantes universitários. *Revista Eniac Pesquisa*, v. 8, n. 2, p. 280-297, 2019.
- GUEVARA, C.; PENAS, M. S. Surveillance routing of COVID-19 infection spread using an intelligent infectious diseases algorithm. *IEEE Access*, v. 8, p. 201925-201936, 2020. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3036347>
- JUNEJA, S. S.; SARASWAT, P.; SINGH, K.; SHARMA, J.; MAJUMDAR, R.; CHOWDHARY, S. Travelling salesman problem optimization using genetic algorithm. In: AMITY INTERNATIONAL CONFERENCE ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE. *Anais...* 2019. p. 264-268.
- KEENEY, R. L. Creativity in decision making with value-focused thinking. *Sloan Management Review*, v. 35, p. 33, 1994.
- KEENEY, R. L. *Value-focused thinking: a path to creative decisionmaking*. Cambridge: Harvard University, 1992.
- KEENEY, R. L. Value-focused thinking: Identifying decision opportunities and creating alternatives. *European Journal of Operational Research*, v. 92, n. 3, p. 537-549, 1996. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(96\)00004-5](https://doi.org/10.1016/0377-2217(96)00004-5)
- LAPORTE, G. The vehicle routing problem: An overview of exact and approximate algorithms. *European Journal of Operational Research*, v. 59, n. 3, p. 345-358, 1992. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(92\)90192-C](https://doi.org/10.1016/0377-2217(92)90192-C)
- MARINHA DO BRASIL. *Diretoria de Aeronáutica da Marinha realiza primeiro acionamento dos motores de um avião KC-2*. Brasil: Marinha, 2018. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/noticias/diretoria-de-aeronautica-da-marinha-realiza-primeiro-acionamento-dos-motores-de-um-aviao-kc/>. Acesso em: 1º dez. 2021.
- MINISTÉRIO DA DEFESA. *Marsh Aviation Company divulga imagens do KC-2 Turbo Trader da Marinha do Brasil*. Brasil: Ministério da Defesa, 2021. Disponível em: <https://www.defesa.tv.br/marsh-aviation-company-divulga-imagens-do-kc-2-turbo-trader-da-marinha-do-brasil/>. Acesso em: 1º dez. 2021.
- MOREIRA, R. S. COVID-19: unidades de terapia intensiva, ventiladores mecânicos e perfis latentes de mortalidade associados à letalidade no Brasil. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 36, n. 5, e00080020, 2020. <https://doi.org/10.1590/0102-311X00080020>
- OYOLA, J.; ARNTZEN, H.; WOODRUFF, D. L. The stochastic vehicle routing problem, a literature review, part I: models. *EURO Journal on Transportation and Logistics*, v. 7, n. 3, p. 193-221, 2018. <https://doi.org/10.1007/s13676-016-0100-5>
- OZAMIZ-ETXEBARRIA, N.; DOSIL-SANTAMARIA, M.; PICAZA-GORROCHATEGUI, M.; IDOAGA-MONDRAGON, N. Niveles de estrés, ansiedad y depresión en la primera fase del brote del COVID-19 en una muestra recogida en el norte de España. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 36, n. 4, e00054020, 2020. <https://doi.org/10.1590/0102-311x00054020>
- RASMUSSEN, T. E.; KOELLING, E. E. A military perspective on the vascular surgeon's response to the COVID-19 pandemic. *Journal of Vascular Surgery*, v. 71, n. 6, p. 1821-1822, 2020. <https://doi.org/10.1016%2Fj.jvs.2020.03.036>
- SANTOS, M.; MARTHA, L. C.; REIS, L.; TEIXEIRA, L.F.H.S.B. Utilização do algoritmo Branch and Bound na otimização da produção de uma indústria de produtos plásticos. *Revista de Trabalhos Acadêmicos Lusófona*, v. 2, n. 2, p. 218, 2019.
- SANTOS, M.; QUINTAL, R. S.; PAIXÃO, A. C.; GOMES, C. F. S. Simulation of Operation of an Integrated Information for Emergency Pre-Hospital Care in Rio de Janeiro Municipality. *Procedia Computer Science*, v. 55, p. 931-938, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.07.111>
- SCHIFFER, M.; SCHNEIDER, M.; WALTHER, G.; LAPORTE, G. Vehicle routing and location routing with intermediate stops: a review. *Transportation Science*, v. 53, n. 2, p. 319-343, 2019.
- SUTTER, A.; LLOR, C.; MAIER, M.; MALLÉN, C.; TATSIONI, A.; VAN WEERT, H.; WINDAK, A.; STOFFERS, J. Family medicine in times of 'COVID-19': A generalists' voice. *European Journal of General Practice*, v. 26, n. 1, p. 58-60, 2020. <https://doi.org/10.1080/13814788.2020.1757312>
- TEIXEIRA, L. F. H. S. B.; RIBEIRO, P. C. C.; GOMES, C. F. S.; SANTOS, M. Utilização do método SAPEVO-M com parâmetros do modelo SCOR 12.0 para ranqueamento dos fornecedores em uma cadeia de suprimentos de material hospitalar da Marinha do Brasil. *Revista Pesquisa Naval*, n. 31, p. 54-66, 2019.
- TSPSG. *TSP Solver and Generator*. 2011. Disponível em: <https://tspsg.info/en>. Acesso em: 3 dez. 2021.
- VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. Manual for VOSviewer version 1.6. 8. *CWTS Meaningful Metrics*. Leiden: Universiteit Leiden, 2018.



Figura 3

ESTAÇÃO ANTÁRTICA COMANDANTE FERRAZ

NOVA METODOLOGIA PARA AMOSTRAGEM DE MATERIAL PARTICULADO E BIOAEROSSÓIS NO AMBIENTE ANTÁRTICO

New methodology for the sampling of particulate material and bioaerosols in the Antarctic environment

Luiz Antonio da Costa Rodrigues¹ , Marcelo Leal Gregório² 

Resumo: A participação da Marinha do Brasil na pesquisa antártica permite o apoio logístico e operacional necessário ao desenvolvimento da atividade científica na região. O presente trabalho apresenta a primeira contribuição científica do Instituto de Pesquisas Biomédicas do Hospital Naval Marcílio Dias para pesquisa na área de transporte atmosférico de material particulado e microrganismos. Utilizando um protótipo de amostrador atmosférico, foram realizadas coletas atmosféricas na Ilha Rei George, Antártica, que permitiram o resgate de grãos de pólen originados na América do Sul. As evidências foram sustentadas por modelos atmosféricos gerados na Plataforma *Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory* (HYSPLIT), corroborando a eficácia do equipamento em desenvolvimento e a viabilidade do uso de grãos de pólen na detecção da dinâmica de massas de ar.

Palavras-chave: Pesquisa Antártica. Material particulado. Amostrador atmosférico.

Abstract: The participation of the Brazilian Navy in the Antarctic research allows for the logistical and operational support necessary for the development of scientific activity in the Region. This work presents the first scientific contribution of the Institute of Biomedical Research of the Marcílio Dias Naval Hospital for research in the area of atmospheric transport of particulate material and microorganisms. Using a prototype of an atmospheric sampler, atmospheric collections were carried out on King George Island, Antarctica, which allowed the rescue of pollen grains native to South America. The evidence was supported by models generated by the Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory Platform (HYSPLIT), corroborating the effectiveness of the equipment under development and the feasibility of using pollen grains to detect the dynamics of air masses.

Keywords: Antarctic research. Particulate material. Atmospheric sampler.

1. 2º Sargento-enfermeiro, auxiliar do Comitê de Ética em Pesquisa do Hospital Naval Marcílio Dias, Mestre em Ciências Biológicas pelo Museu Nacional (UFRJ), Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: rodriguespalino@gmail.com

2. Médico. Encarregado do Instituto de Pesquisas Biomédicas do Hospital Naval Marcílio Dias, Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: leal.gregorio@marinha.mil.br

1. INTRODUÇÃO

A história da Marinha do Brasil revela intensa dedicação aos valores nacionais e ao desenvolvimento científico e tecnológico. A expressão de criatividade, inovação e competência dos audazes marinheiros marca as fainas desenvolvidas e o cumprimento das missões recebidas. Nesse contexto, a criação do Programa Antártico brasileiro no ano de 1982 incumbiu à Marinha do Brasil a missão de contribuir para a pesquisa científica de alta qualidade desenvolvida na Antártica. O Continente Antártico representa uma das regiões mais preservadas do planeta. Com área de 13,9 milhões de km² e manto de gelo com espessura média de 2,1 km, podendo alcançar até 4,8 km (FOX et al., 1994), encontra-se localizado na porção austral do globo terrestre. Circundado por uma zona de tempestades ciclônicas, geograficamente isolado dos demais continentes e distante dos grandes centros industriais, a Antártica apresenta menores índices de poluição quando comparada ao manto de gelo Groenlandês (BOUTRON, 2004).

Vasta bibliografia científica versa sobre o aumento da temperatura média local nas últimas cinco décadas (GOLDEMBERG, 2011). A relativa proximidade do Continente Antártico com a América do Sul expõe o continente austral às ações antrópicas. Nesse aspecto, a conexão atmosférica e o possível transporte sinótico de massas de ar entre a América do Sul e a Antártica podem permitir o transporte e a deposição de particulados em diferentes matrizes na região do Continente Antártico (GOLDEMBERG, 2011). Alguns autores relatam o registro de grãos de pólen na Antártica, oriundos de diferentes regiões do planeta, provenientes de espécies nativas do Chile, Argentina e Nova Zelândia (KAPPEN; STRAKA, 1988). Além das questões ambientais, associadas ao transporte de material particulado, o carreamento de substâncias que ofereçam risco biológico deve figurar no contexto das pesquisas estratégicas nas regiões polares e para os mares.

2. OBJETIVOS

Verificar a viabilidade do uso de protótipo de amostrador atmosférico na coleta de um biotraçador consistente que

permita a análise de transporte atmosférico entre a América do Sul e a Antártica.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. ÁREA DE ESTUDO

A Ilha Rei George pertence ao arquipélago das Shetlands do Sul, possui área de 520.000 km² e encontra-se a aproximadamente 1.000 km de distância do extremo sul da América do Sul. Formada por uma extensão geológica do soerguimento da Península Antártica, está separada desta por 20 km de extensão do canal Antártica (Figura 1).

A topografia das áreas cobertas por gelo apresenta geleiras isoladas, massas de gelo morto e terminação das frentes de gelo em falésia (BREMER, 1998). As regiões livres de gelo apresentam cobertura de neve por um período de aproximadamente nove meses ao longo do ano (VOGT; BRAUN, 2004). A ilha possui área de 1.492 km², extensão longitudinal de 77 km e latitudinal de 19 a 23 km, e sua altitude máxima é de 810 m. É traspassada por uma faixa montanhosa que se estende até a latitude 63°S, com largura média de 70 km, além de um platô interno com elevação de 1.500 m. A topografia da ilha participa na caracterização do clima na região e de ilhas vizinhas, atuando no direcionamento de correntes de vento e na retenção de massas de ar (KING; TURNER, 1997).

3.2. AMOSTRAGEM ATMOSFÉRICA

A amostragem foi realizada utilizando-se protótipo de amostrador atmosférico desenvolvido no Instituto de Pesquisas Biomédicas do Hospital Naval Marcílio Dias. O equipamento consiste em um cilindro plástico composto de reservatório primário, com peneira para regulação das partículas capturadas, e reservatório secundário para captura e deposição do particulado. Duas aberturas estão localizadas na porção superior do amostrador; a primeira permite a captação de amostras de ar e a segunda consiste na extração de ar por pressão negativa.

O pedido de proteção intelectual do desenvolvimento e do amostrador propriamente dito foi enviado à Diretoria Geral de Desenvolvimento Nuclear e Tecnológico da Marinha por meio do Ofício nº 985, de 30 de maio de 2019. O referido equipamento foi previamente testado

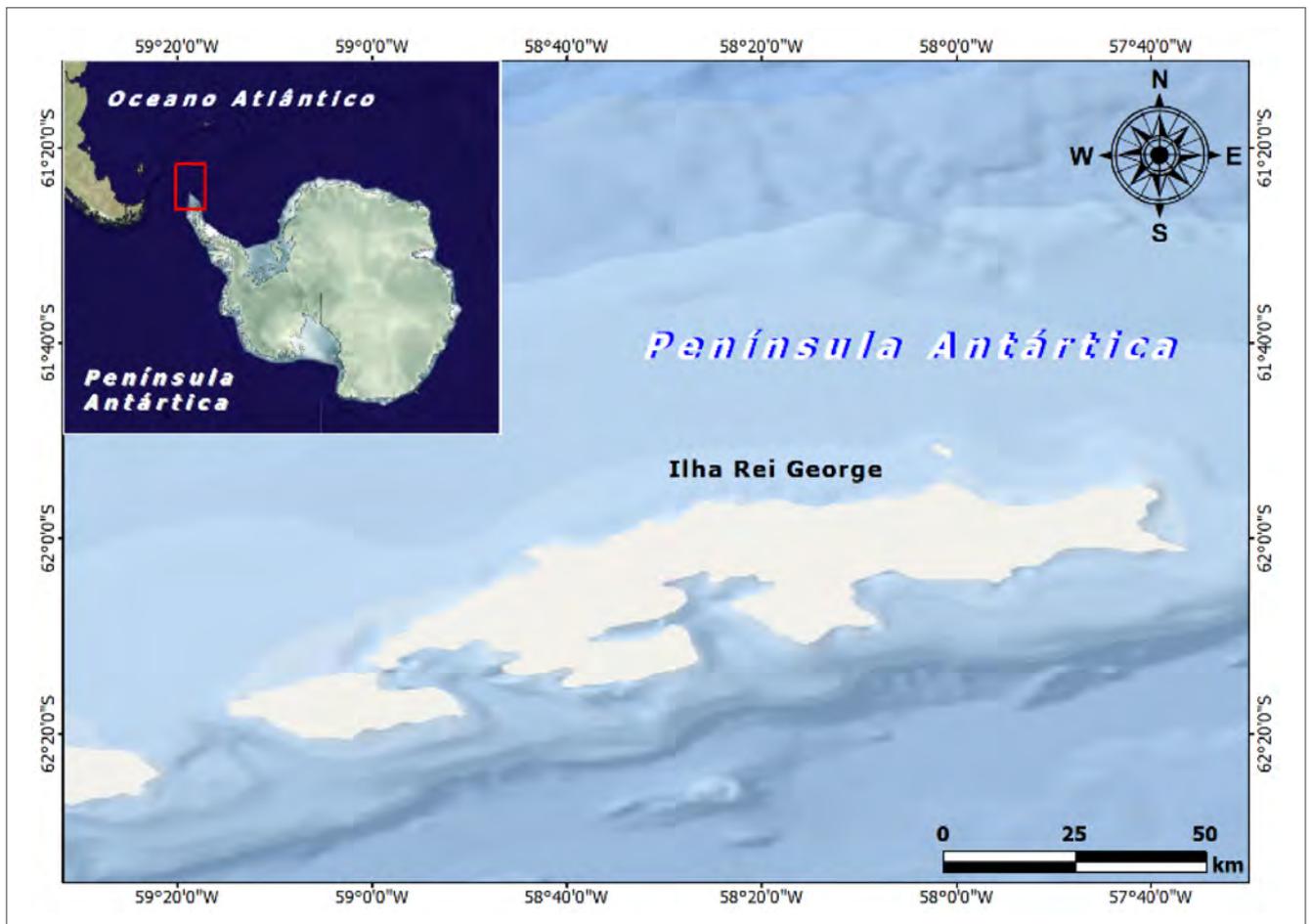


Figura 1. Localização da Ilha Rei George no Continente Antártico.

em ambientes internos e externos, tendo sido eficiente na coleta de amostras para análises moleculares capazes de detectar partículas virais de Sars-CoV-2, além de grãos de pólen e esporo.

A coleta foi realizada pelos pesquisadores Paulo Câmara, da Universidade de Brasília, e Luiz Rosa, da Universidade Federal de Minas Gerais, ao longo da XXXVIII Operação Antártica. O equipamento de amostragem foi instalado no abrigo Punta Plaza, Ilha Rei George, para coleta contínua entre os dias 13 de dezembro do ano de 2019 e 19 de fevereiro do ano de 2020, em vazão de 28 L/min. Após o período de amostragem, as amostras foram transportadas para o Brasil, acondicionadas em refrigerador, a bordo do navio Almirante Maximiano. Ao desembarcar no País, foram transportadas

para o Instituto de Pesquisas Biomédicas do Hospital Naval Marcílio Dias. As amostras foram processadas seguindo a metodologia proposta por Rodrigues et al. (2018). Após o processamento das amostras, foram estudadas cinco lâminas palinológicas e a identificação dos palinomorfos seguiu a metodologia proposta por Barth e Melhem (1995).

3.3. MODELAGEM ATMOSFÉRICA

Para a modelagem de massas de ar transportadas por longas distâncias, foram utilizados modelos gerados pela plataforma *Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory* (HYSPLIT), uma ferramenta da *National Oceanic and Atmospheric Agency* (NOAA), que, pela conjugação de gradientes de altitude e posicionamento global, elabora

modelos com relativa precisão. Os modelos foram gerados utilizando a seguinte configuração: banco de dados Reanalysis, “Backward trajectories”, latitude-longitude $-62^{\circ}32'S, -29^{\circ}65'W$, altitude 300 m, máximo de 10 horas de modelagem e 24 trajetórias.

4. RESULTADOS

A execução do experimento representa o maior período de amostragem relatado para amostras polínicas na pesquisa antártica brasileira, bem como compõe a primeira participação o Instituto de Pesquisas Biomédicas do Hospital Naval Marçílio Dias na pesquisa antártica.

Foi amostrado o volume total de 2.419.200 L de ar ao longo do verão austral de 2019–2020. A análise polínica permitiu a identificação de grãos de pólen de oito táxons distintos. Entre os grãos de pólen identificados, foi possível registrar os de espécies das famílias Betulaceae e Cyperaceae. Os táxons

identificados apresentam ampla distribuição e ocorrem na América do Sul (Figura 2).

A análise das trajetórias para o período de coleta atmosférica revelou uma tendência de deslocamento de massas de ar que tem como termo fonte a América do Sul (Figura 3).



Figura 2. Fotomicrografia de grãos de pólen. (A) *Cyperaceae* sp. — grão de pólen em mônade, heteropolar, médio (25 m), 4-aperturado, superfície rugulada; (B) *Corylus* sp. (*Betulaceae*) — grão de pólen em mônade, isopolar, médio (37,5 m), 3-porado, superfície escabrada.

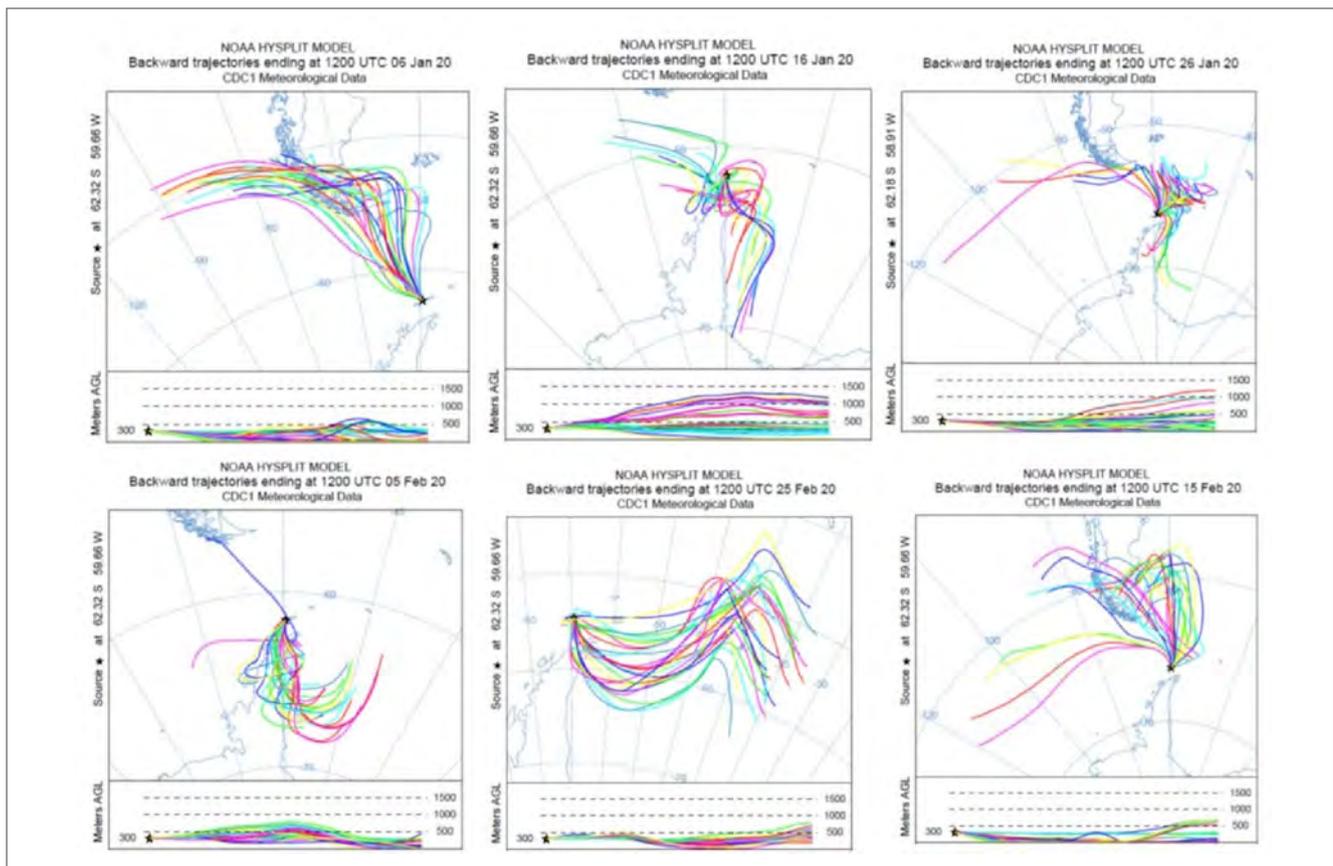


Figura 3. Modelos atmosféricos para o período de coleta.

5. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos permitiram concluir que os grãos de pólen identificados foram transportados por via aérea ao longo de distâncias superiores a 3.000 km. A aplicação do grão de pólen como biotraçador possui potencial para a identificação do termo fonte de massas de ar e tal precisão é ancorada na morfologia polínica. O estudo da morfologia da exina, sua ornamentação e comportamento diante dos diversos estados físicos de elementos atmosféricos (vapor, gelo e neve) demonstra potencial para estudos futuros. Os dados de sensoriamento remoto e de campo em ciências atmosféricas

são de extrema importância e utilizam plataforma e acordos de cooperação internacionais.

Diante de tal realidade, o uso do grão de pólen pode otimizar a elaboração de propostas e projetos na área. Esse grão é um biotraçador eficiente por permitir a identificação de seu termo fonte em escala regional. O protótipo do amostrador atmosférico em desenvolvimento demonstrou eficácia no ambiente antártico, podendo ser útil ao desenvolvimento de pesquisas atmosféricas. Complementarmente, o amostrador poderá ser aplicado ao processo de análises da qualidade do ar interno da Estação Antártica Comandante Ferraz.

REFERÊNCIAS

BARTH, O.M.; MELHEM, T.S. *Glossário ilustrado de palinologia*. Campinas: Editora Unicamp, 1995.

BOUFRON, C.F. Historical reconstruction of the earth's past atmospheric environment from Greenland and Antarctic snow and ice cores. *Environmental Reviews*, v. 3, n. 1, 2004. <https://doi.org/10.1139/a95-001>

BREMER, U.F. *Morfologia e bacias de drenagem da cobertura de gelo da Ilha Rei George, Antártica*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

FOX, A.; PAUL, A.; COOPER, R. Measured properties of the Antarctic ice sheet derived from the SCAR Antarctic digital database. *Polar Record*, v. 30, n. 174, p. 201-206, 1994. <https://doi.org/10.1017/S0032247400024268>

GOLDEMBERG, J. (org.). *Antártica e as mudanças globais: um desafio para a humanidade*. São Paulo: Blucher, 2011. (Série Sustentabilidade, v. 9).

KAPPEN, L.; STRAKA, H. Pollen and spores transport into the Antarctic. *Polar Biology*, v. 8, p. 173-178, 1988. <https://doi.org/10.1007/BF00443450>

KING, J.C.; TURNER, J. *Antarctic meteorology and climatology*. Cambridge: Cambridge University Press, 1997.

RODRIGUES, L.A.C. et al. A methodological proposal for the recovery of palynomorphs from snow and ice samples. *Acta Botanica Brasílica*, v. 32, n. 4, p. 667-669, 2018. <https://doi.org/10.1590/0102-33062018abb0002>

VOGT, S.; BRAUN, M. Influence of glaciers and snow cover on terrestrial and marine ecosystems as revealed by remotely-sensed data. *Pesquisa Antártica Brasileira*, v. 4, p. 105-118, 2004.



Figura 4

LABORATÓRIO DE GEOQUÍMICA AMBIENTAL FORENSE

UMA SISTEMÁTICA PARA PRIORIZAÇÃO DE PROJETOS DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO PARA O CORPO DE FUZILEIROS NAVAIS

A prioritization method for science, technology, and innovation projects in Brazilian marine corps

Fabricio Baroni de Carvalho¹

Resumo: A pesquisa e o desenvolvimento de equipamentos de combate são chave para o Corpo de Fuzileiros Navais do futuro. Aliado a um programa de aquisição bem estruturado, o desenvolvimento de tecnologias pode colocar uma Força em patamar acima de seus oponentes. Diante da escassez de recursos, cresce em importância a priorização dos projetos de pesquisa. As técnicas de apoio multicritério à decisão podem auxiliar nessa tarefa, considerando todos os aspectos envolvidos e apoiando o tomador de decisão. Foi utilizado o método *Measuring Attractiveness by a Categorical-Based Evaluation Technique* (MACBETH) para determinar a prioridade de alocação de recursos em projetos de ciência, tecnologia e inovação de interesse do Corpo de Fuzileiros Navais. O estudo mostra como as variáveis envolvidas influenciam a alocação de recursos e como uma mudança de cenário pode afetar os resultados.

Palavras-chave: Apoio multicritério à decisão. Ciência e tecnologia. Alocação de recursos.

Abstract: Combat equipment research and development is the key to the future Marine Corps. Combined with a well-structured acquisition program, the development of technologies can make a Force superior of that of its opponents. In a scarcity of resources situation, the prioritization of research projects is very important. The multicriteria decision aid techniques can support the decision maker. The MACBETH method was used to determine the funds allocation priority in science, technology, and innovation projects of interest to the Marine Corps. The study shows how the variables involved influence the allocation of resources and how a change in scenario can affect the results.

Keywords: Multicriteria decision aid. Science and technology. Resources allocation.

¹ Chefe do Departamento de Ciência, Tecnologia e Inovação do Centro Tecnológico do Corpo de Fuzileiros Navais - Rio de Janeiro, RJ - Brasil.
E-mail: baroni@marinha.mil.br

1. INTRODUÇÃO

A Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (BRASIL, 2018) para o Desenvolvimento Nacional (ENCTI) destaca a importância da Ciência, Tecnologia e Inovação (CTI) como eixo estruturante do desenvolvimento do Brasil, com especial atenção à geração e à apropriação do conhecimento científico e tecnológico. No entanto, diante da limitação de recursos e da grande amplitude de diferentes tipos de demanda, é importante priorizar as atividades de pesquisa e desenvolvimento para que os resultados obtidos contribuam efetivamente para a solução dos problemas mais significativos.

2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é criar uma sistemática para a priorização de projetos de interesse do Corpo de Fuzileiros Navais (CFN), por meio do método de apoio multicritério *Measuring Attractiveness by a Categorical-Based Evaluation Technique* (MACBETH). Este trabalho está organizado da seguinte forma: a seção 3 trata da metodologia utilizada, e a 4 apresenta a revisão da literatura. A seção 5 traz a estruturação dos critérios com a avaliação de atratividade de cada critério. A seção 6 apresenta os resultados diante das alternativas e da avaliação de desempenho, com as recomendações mediante as análises dos resultados e de sensibilidade. Na seção 7 são apresentadas as conclusões e, ao final do trabalho, está a bibliografia.

3. METODOLOGIA

Este trabalho utilizou inicialmente uma pesquisa bibliográfica para verificar o que há descrito na literatura sobre o processo em questão. Em seguida, realizou uma pesquisa descritiva na forma de estudo de caso, em que quatro possibilidades de projetos de pesquisa e desenvolvimento foram avaliadas segundo critérios estabelecidos. Para levantar esses critérios, foi efetuada uma pesquisa de campo qualitativa com oficiais que trabalham com pesquisa e desenvolvimento no CFN, a fim de determinar quais critérios são importantes na seleção de um projeto. Para a determinação da importância relativa entre os critérios, foi conduzida uma pesquisa quantitativo-descritiva com

o chefe do Departamento de Ciência, Tecnologia e Inovação do Centro Tecnológico do CFN (CTecCFN). Desse ponto em diante, foi aplicado o método MACBETH para a determinação do projeto mais indicado ao CFN.

4. REVISÃO DA LITERATURA

Há registro de diversos trabalhos que buscam apoiar o processo decisório nas organizações por meio de métodos de apoio multicritério. Guenka e Martins (2017) utilizaram o método *Analytic Hierarchy Process* (AHP) para avaliar fontes de energia sustentável para o Mato Grosso do Sul, tais quais Santos et al. (2016), que buscaram selecionar um navio de guerra de médio porte para ser construído no Brasil. Ainda na linha da escola americana, Almeida et al. (2017) utilizaram o MACBETH para determinar a localização de um novo parque tecnológico, considerando aspectos como distância entre parques, número de universidades, número de empresas, produto interno bruto e políticas de incentivo; e Carvalho e Teixeira (2017) selecionaram uma viatura tática leve para utilização no CFN. O método Eliminação e Escolha como Expressão da Realidade (ELECTRE, do inglês *Elimination and Choice Expressing Reality*) III, buscando uma solução balanceada, foi utilizado por Carvalho e Santos (2017) na seleção de um oficial do CFN para uma missão da Organização das Nações Unidas (ONU). Pessoa et al. (2020) utilizaram multicritério e programação linear inteira para apoiar a decisão de projetos de CTI na Marinha do Brasil (MB) considerando o método FITradeoff para a construção de uma função de preferência do decisor. Também Costa et al. (2020) utilizaram o método *Simple Aggregation of Preferences Expressed by Ordinal Vectors — Multi Decision Makers* (SAPEVO-M) para selecionar um navio de assistência hospitalar para realizar atividades de combate à COVID-19 no estado do Amazonas.

O método MACBETH, escolhido para este trabalho, é uma metodologia de apoio à decisão que permite avaliar opções levando em conta múltiplos critérios. Utiliza julgamentos qualitativos para realizar a ponderação dos critérios. As comparações entre opções são realizadas aos pares. Como método de critério único de síntese, as pontuações obtidas em cada critério são convertidas em uma pontuação única, o que significa que se admite a compensação de um critério de baixo de desempenho por outro de alto desempenho.

5. ESTRUTURAÇÃO DOS CRITÉRIOS

Para que um projeto seja aprovado na MB, ele deve necessariamente: ser de interesse de um órgão de direção setorial, estar relacionado aos meios em construção ou que ainda serão construídos e estar relacionado a uma das áreas temáticas de pesquisa. No entanto, a priorização de projetos aprovados deve levar em conta uma série de fatores que irão distingui-los em sua relevância. Em pesquisa realizada com os envolvidos com CTI no CFN, verificaram-se alguns critérios relevantes a serem considerados por ocasião da priorização dos projetos. Esta pesquisa foi feita por meio de entrevistas com oficiais experientes na área de pesquisa e desenvolvimento, e indagou quais os fatores relevantes em um projeto. Os aspectos que foram apontados por mais oficiais são descritos no Quadro 1.

No que diz respeito aos critérios de um projeto, é importante destacar dois aspectos: o primeiro é qual será a importância relativa entre eles e como serão valoradas as *performances* de cada projeto em cada critério. Assim, a avaliação relativa entre os critérios foi feita com base em julgamentos que são, em algumas situações, quantitativos e, em outras, qualitativos, obedecendo a uma comparação verbal entre os critérios. Dessa forma, em entrevista com o chefe do CTecCFN, foram definidas as escalas constantes no Quadro 2.

Após a estruturação inicial dos critérios, foi possível avaliar a importância relativa entre eles. Isso é importante e precisa ser adequado ao CFN e ao momento que o país atravessa. Isso porque, em linhas gerais, pode-se imaginar que o critério capacidade fosse o mais importante, mas particularmente, no momento atual, o custo pode ser fator decisivo. Naturalmente, diante de mudança de conjuntura política e econômica, essa estruturação pode ser refeita de modo que esteja sempre refletindo a realidade. Sendo assim, com o *software* M-MACBETH® foi realizada uma comparação verbal entre os critérios, dada em termos de diferenças de atratividades, definidas como: muito fraca, fraca, moderada, forte, muito forte ou extrema. Como resultado, obteve-se o histograma de pesos dos critérios, no qual se pode observar que o custo é um fator decisivo para a priorização do projeto, com peso de quase 47,61% nos fatores da decisão. A dualidade aparece como segundo critério em relevância, com 23,81%, seguida pela questão da capacidade adquirida, com 16,67%. Os demais critérios, quando somados, não atingem sequer o índice de importância do terceiro critério. A diferença de

Quadro 1. Critérios para priorização de um projeto.

Critério	Descrição
Tecnologia de combate ou de apoio	O CFN tem maior carência de tecnologias a serem utilizadas diretamente pelos militares desdobrados no campo de batalha, apesar de também haver interesse nas tecnologias aplicadas nas atividades de retaguarda.
Projeto traz nova capacidade ao CFN	Novas capacidades elevam o patamar de operação e condizem com as características expedicionárias do CFN. Naturalmente novas capacidades são prioridades, mas também há interesse em potencializar as que já existem.
Nacionalização	O desenvolvimento da base industrial de defesa é fundamental para as aspirações do país. Assim, um projeto que utiliza tecnologia nacional ou faz com que o conhecimento seja absorvido pelas empresas do país é mais interessante.
Dualidade do projeto	A captação de recursos é facilitada quando o projeto possui aplicação em outras instituições, como: indústria, Forças Auxiliares e outras Forças Armadas.
Custo	Diante da escassez de recursos, projetos de menor custo tendem a ter maior probabilidade de serem contemplados, aumentando assim a produção intelectual e tecnológica do CFN.

CFN: Corpo de Fuzileiros Navais.

atratividade e o histograma de pesos dos critérios estão ilustrados na Figura 1.

6. RESULTADOS

Utilizando a sistemática MACBETH e o *software* M-MACBETH®, foi criada uma situação hipotética, em

Quadro 2. Estruturação dos critérios.

Critério Dualidade		Critério Nacionalização	
Base de comparação qualitativa		Base de comparação qualitativa	
Nível qualitativo	Nível qualitativo	Nível de nacionalização (%)	Abreviado
Interessa à MB e à sociedade civil	Excelente	(80, 100)	Excelente
Interessa à MB e às Forças Auxiliares	Muito bom	(60, 80)	Muito bom
Interessa à MB e a outra Força Armada	Bom	(40, 60)	Bom
Interessa somente à MB	Fraco	(20, 40)	Regular
Critério Emprego		(10, 20)	Ruim
Base de comparação Qualitativa		[0, 10)	Péssimo
Tipo de emprego	Abreviado	Critério Custo	
Combate	Excelente	Base de comparação quantitativa	
Apoio de Serviços	Bom	Custo em R\$ x 1.000	Descrição
Critério Capacidade		(0, 100)	Excelente
Base de comparação Qualitativa		(100, 500)	Muito bom
Capacidade		(500, 1.000)	Bom
Traz nova capacidade	Excelente	(1.000, 2.500)	Regular
Amplia capacidade existente	Bom	(2.500, 5.000)	Ruim

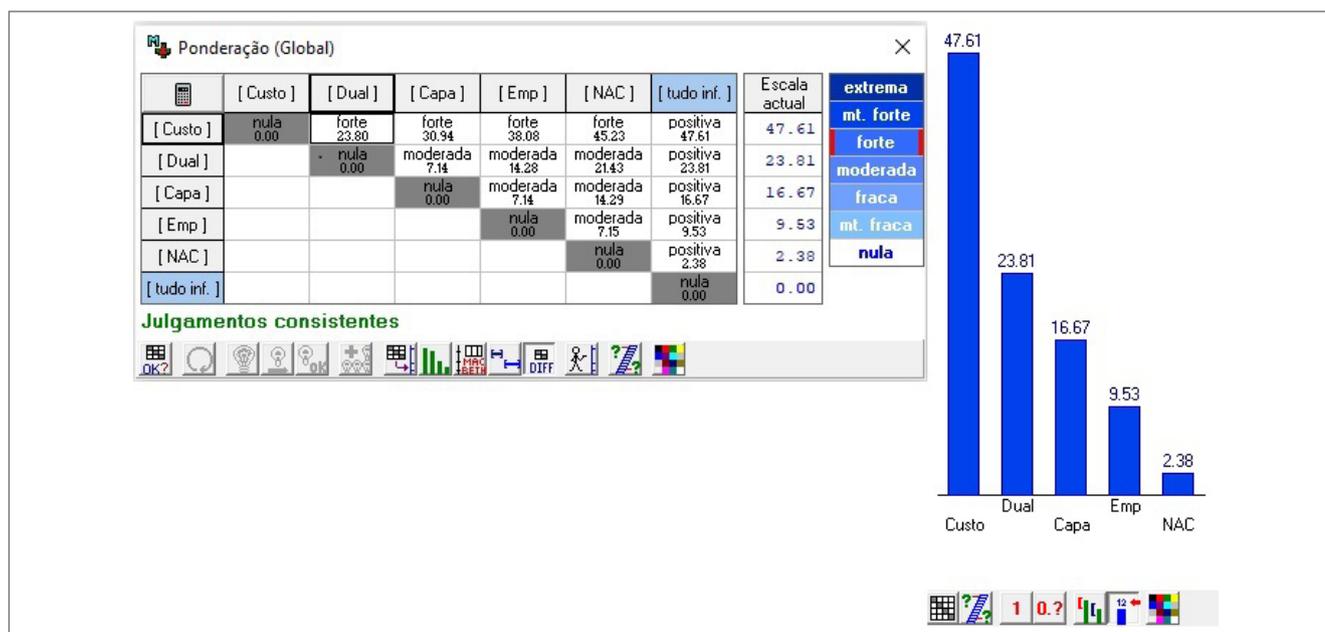


Figura 1. Diferença de atratividade entre os critérios e histograma de pesos.

que o Centro Tecnológico do CFN possui quatro projetos de pesquisa e desenvolvimento estabelecidos e com pré-projetos redigidos e em condições de serem submetidos à sistemática de CTI na MB ou a órgãos de fomento, conforme ilustrado no Quadro 3.

Quando submetidas às escalas verbais criadas para o modelo de apoio à decisão, as características resultam na tabela de *performances* ilustrada na Figura 2. Essa tabela, aliada ao peso estabelecido para os critérios, gerará um resultado para cada alternativa em cada critério e um resultado global, conforme ilustrado na Figura 3. Pode-se observar que o projeto do robô expedicionário é apontado como projeto prioritário, com pontuação 83,29, seguido por dispositivo de pontaria digital com 70,91 pontos, preditor de toxidade com 58,57 pontos e robô de descontaminação emissor de radiação ultravioleta tipo C (UVC) com 25,24 pontos.

Esse resultado é fortemente influenciado pelo fato de o robô expedicionário só ser dominado no critério dualidade

pelo preditor de toxidade e pelo robô UVC. No entanto, estes dois últimos projetos apresentam desempenho muito inferior em custo, que é um critério com extremamente elevado. Assim, na conjuntura analisada, é interessante que o CFN priorize o investimento no robô expedicionário.

Com base na informação de que o robô expedicionário só é dominado no critério dualidade e, mesmo assim, apenas pelo preditor e pelo robô UVC, é possível realizar a análise de sensibilidade para o referido critério comparando essas alternativas. O resultado é ilustrado nas Figuras 4 e 5. Na Figura 4, pode-se observar que a dualidade, cujo peso é 23,81, precisaria ser elevada para 67,7 para que o preditor passasse a ser uma alternativa mais interessante. Na Figura 5, observa-se que, para que o robô UVC fosse uma alternativa mais interessante, a dualidade deveria receber peso 81,8. Ambas as alterações não são razoáveis, uma vez que implicariam forte redução de peso dos demais critérios, o que ratifica o robô expedicionário como projeto prioritário para as condições avaliadas.

Quadro 3. Projetos do Departamento de Ciência, Tecnologia e Inovação do Centro Tecnológico do Corpo de Fuzileiros Navais.

Projeto	Custo	Nacionalização	Emprego	Dualidade	Capacidade
Dispositivo de pontaria digital	R\$ 600.000	45%	Combate	MB e Forças Auxiliares	Nova
Robô UVC	R\$ 3.000.000	40%	Apoio de Serviços	MB e sociedade civil	Ampliação de existente
Preditor	R\$ 700.000	50%	Combate	MB e sociedade civil	Ampliação de existente
Robô reconhecimento	R\$ 120.000	65%	Combate	MB e Forças Auxiliares	Nova

UVC: emissor de radiação ultravioleta tipo C; MB: Marinha do Brasil.

Opções	Dual	NAC	Custo	Emp	Capa
DPD	Muito bom	Bom	Bom	Excelente	Excelente
UVC	Excelente	Bom	Ruim	Bom	Bom
RE	Muito bom	Muito bom	Muito bom	Excelente	Excelente
PRE	Excelente	Bom	Bom	Excelente	Bom

Figura 2. Performance das alternativas segundo a escala verbal.

Opções	Global	Dual	NAC	Custo	Emp	Capa
[tudo sup.]	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
RE	83.29	81.82	80.00	75.00	100.00	100.00
DPD	70.91	81.82	60.00	50.00	100.00	100.00
PRE	58.57	100.00	60.00	50.00	100.00	0.00
UVC	25.24	100.00	60.00	0.00	0.00	0.00
[tudo inf.]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pesos :		0.2381	0.0238	0.4761	0.0953	0.1667

Figura 3. Pontuações das alternativas.

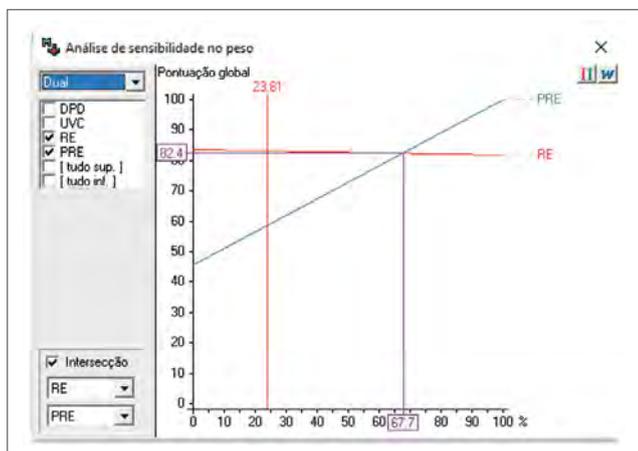


Figura 4. Análise de sensibilidade em dualidade entre o robô expedicionário e o preditor.

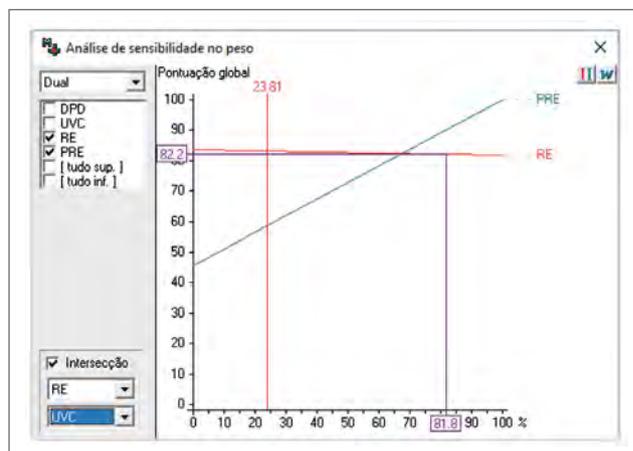


Figura 5. Análise de sensibilidade em dualidade entre o robô expedicionário e o robô emissor de radiação ultravioleta tipo C.

7. CONCLUSÃO

Os métodos de apoio multicritério à decisão são excelentes ferramentas para auxiliar os tomadores de decisão. A realidade brasileira de escassez de recursos para CTI demanda a aplicação racional e criteriosa do dinheiro. Quanto mais escasso, mais nobre fica o recurso. O método MACBETH

mostrou-se adequado à priorização de projetos para o CFN, permitindo o registro dos mecanismos decisórios e das variáveis que, caso sofram alteração, podem influenciar o resultado. Dessa forma, sugere-se que esse procedimento seja oficializado como ferramenta de priorização de projetos de CTI do CFN, conduzidos pelo CTecCFN ou por outras instituições de pesquisa.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. R.; FARIA, L. B.; SOARES, G.; MELLO, J. C. C. B. S. O uso do método Macbeth para determinar a localização de um novo parque tecnológico. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL*, 49., 2017, Blumenau. *Anais [...]*. Blumenau, 2017.

BRASIL. *Estratégia nacional de ciência, tecnologia e inovação*. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, 2018. Disponível em: http://www.finep.gov.br/images/afinep/Politica/16_03_2018_Estrategia_Nacional_de_Ciencia_Tecnologia_e_Inovacao_2016_2022.pdf. Acesso em: 5 maio 2021.

CARVALHO, F. B.; SANTOS, M. (2017). Apoio multicritério na seleção de um observador militar para uma missão da organização das Nações Unidas. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL*, 49., 2017, Blumenau. *Anais [...]*. Blumenau, 2017.

CARVALHO, F. B.; TEIXEIRA, L. S. Apoio multicritério à decisão na seleção de uma viatura tática leve através do método Macbeth. *Engevista*, v. 19, n. 4, p. 961-974, 2017. <https://doi.org/10.22409/engevista.v19i4.918>

COSTA, I. P. A.; MAÊDA, S. M. N.; TEIXEIRA, L. F. H. S. B.; GOMES, C. F. S.; SANTOS, M. Apoio humanitário ao combate à pandemia do

covid-19 no estado do Amazonas: uma abordagem multicritério para escolha de um navio de assistência hospitalar da Marinha do Brasil mais adequado a ser empregado. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL*, 52., 2020, João Pessoa. *Anais [...]*. João Pessoa, 2020.

GUENKA, C. A.; MARTINS, C. L. Avaliação de fontes alternativas de energia sustentáveis para o estado do Mato Grosso do Sul: uma análise multicritério com o método AHP. *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL*, 49., 2017, Blumenau. *Anais [...]*. Blumenau, 2017.

PESSÔA, L. A. M., COSTA, H. C. E MOTA, C. M. M. Multicritério e programação linear inteira em auxílio à decisão de projetos de ciência e tecnologia na Marinha do Brasil. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL*, 52., 2020, João Pessoa. *Anais [...]*. João Pessoa, 2020.

SANTOS, M.; GOMES, C. F. S.; OLIVEIRA, A. S.; COSTA, H. G. Uma abordagem multicritério para seleção de um navio de guerra de médio porte a ser construído no Brasil. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL*, 48., 2016, Vitória. *Anais [...]*. Vitória, 2016.



Figura 5

SUBMARINO RIACHUELO (S-40) REALIZANDO PROVAS DE MAR

GERENCIAMENTO DE INTEGRIDADE ESTRUTURAL BASEADO EM RISCO PARA NAVIOS DE SUPERFÍCIE

Risk-based structural integrity management for surface ships

André Ricardo Mendonça Pinheiro¹, André Gustavo Barbosa²,
João Felipe Costa Casares³

Resumo: Este artigo apresenta estudo de inspeção, manutenção e reparo baseado em risco e avaliação global de estruturas de meios de superfície para subsidiar tomadas de decisão.

Palavras-chave: Gerenciamento de integridade estrutural. Risco.

Abstract: This paper presents a risk-based inspection, maintenance and repair study, and a global assessment of surface ship structures to support decision making.

Keywords: Structural integrity management. Risk.

1. INTRODUÇÃO

O envelhecimento de estruturas navais pode ser definido como sua deterioração progressiva por consequência do uso operacional e de influências ambientais. A deterioração estrutural é observada nas seguintes formas (ISSC, 2009): dano ao revestimento, corrosão, trinca, deformação e alteração nas propriedades do material.

A necessidade de contínua operação de meios em um cenário de restrição de recursos, no qual se fazem necessários menores custos operacionais, apresenta conflito com a natural deterioração das estruturas navais ao longo do tempo, cujas consequências afetam diretamente o meio ambiente e a segurança do navio e de seu pessoal e material embarcados.

Tal problemática demanda uma gestão otimizada das atividades que contribuem para a conservação da integridade de estruturas navais, pois a manutenção de um nível adequado de confiabilidade estrutural do navio se torna imprescindível para garantir o desempenho satisfatório durante seu ciclo de vida.

Dessa forma, considera-se o gerenciamento da integridade estrutural (GIE) um subprocesso da gestão do ciclo de vida (GCV), que tem por objetivo assegurar a adequada integridade estrutural do meio para sua missão (*fit for service*) durante todo o seu ciclo de vida, até seu desfazimento (CASARES, 2020a).

No ano de 2017, a Diretoria de Engenharia Naval foi incumbida pela Diretoria-Geral do Material da Marinha de implementar sistemática de gerenciamento de integridade estrutural de fragatas classe Niterói e da corveta classe Barroso. Para o atendimento de tal demanda foram necessárias diversas interações com sociedades classificadoras, com a Universidade de São Paulo, além de extensas pesquisas bibliográficas para elaborar uma especificação de serviço de Engenharia que buscasse técnicas no estado da arte. Por fim, foi realizado o processo licitatório nº 63007.002659/2017-15, denominado de “Análise de Integridade Estrutural (AIE)”, com assinatura de contrato em junho de 2018 com a sociedade classificadora RINA Brasil, de origem italiana, objetivando, por um

1. Chefe do Departamento de Sistemas de Casco da Diretoria de Engenharia Naval - Rio de Janeiro, RJ, Brasil. E-mail: andre.ricardo@marinha.mil.br

2. Encarregado da Divisão de Estruturas Navais da Diretoria de Engenharia Naval - Rio de Janeiro, RJ, Brasil. E-mail: andre.gustavo.barbosa@gmail.com

3. Ajudante da Divisão de Estruturas Navais da Diretoria de Engenharia Naval - Rio de Janeiro, RJ, Brasil. E-mail: casares@umich.edu

período de 15 anos, a identificação de providências referentes às intervenções corretivas e preventivas decorrentes do estudo.

No ano de 2020 foram entregues resultados das análises para a fragata *Constituição* e a corveta *Barroso*. Durante o desenvolvimento do trabalho para esses dois navios, que contou com participação técnica de engenheiros da Diretoria de Engenharia, foram aprofundados os conhecimentos no âmbito do gerenciamento de integridade estrutural (GIE), vislumbrando-se a necessidade de estender técnicas adquiridas a outros meios da Marinha do Brasil.

Todo o processo possibilitou o desenvolvimento, pela Diretoria de Engenharia Naval, de um método disciplinado de análise de risco aplicado a processos de inspeção, manutenção e reparo, considerado um legado do contrato. Tal metodologia, denominada de Risk-Based Inspection, Maintenance and Repair (RB[IMR]), foi utilizada de forma complementar aos resultados obtidos pela AIE, o que possibilitou o ranqueamento dos reparos indicados com relação a seus riscos associados, permitindo, assim, a otimização de recursos com redução dos custos atrelados a manutenções e reparos indicados aos meios.

A metodologia desenvolvida pela Diretoria de Engenharia Naval foi formalizada no estudo DEN-EST-MEIOS_DIV-841-001, tendo como consequente desenvolvimento o Manual Técnico DEN-MNT-MEIOS_DIV-841-001, *Manual de Inspeção e Avaliação Estrutural Baseada em Risco para Navios de Superfície*, denominado de “ENGENAINSPEC” (CASARES, 2020b).

2. OBJETIVOS

Os objetivos do GIE, balizado pelo RB(IMR), são: permitir a elaboração de um detalhado plano de inspeção e priorizar os reparos e manutenções com base em risco; estimar os custos associados à inspeção, manutenção e reparo para planos plurianuais com base em risco; otimizar a aplicação de recursos em inspeção, manutenção e reparo por meio de suas prioridades com base em risco; reduzir a subjetividade do processo de avaliação estrutural; reduzir o tempo no processo de inspeção e avaliação; majorar a confiabilidade na segurança do meio ambiente, do navio, do pessoal e do material embarcados; elencar um índice de zero a dez para a avaliação estrutural, associado a um juízo de valor, melhor subsidiando tomadas de

decisão; contribuir para a avaliação de meios dispostos à compra por oportunidade; e armazenar dados de inspeção, manutenção e reparo em banco de dados (histórico de registros).

É importante destacar que o objetivo do RB(IMR) não é reduzir o escopo de inspeção, manutenção e reparo, e sim utilizar os recursos dedicados a tais atividades de forma eficiente, reduzindo o risco global do sistema, o que é especialmente significativo em quadro de restrição de recursos. Assim, de forma metafórica, pode-se dizer que o RB(IMR) proporciona o “equilíbrio entre recursos e riscos”, em que os riscos se traduzem em níveis de necessidades de inspeção, manutenção e reparo (SERRATELLA et al., 2008).

3. METODOLOGIA

Uma das atividades mais relevantes para a avaliação técnica e o monitoramento da condição estrutural de um navio é a realização de uma criteriosa inspeção estrutural. Esta deve ser baseada em um planejamento com escopo de inspeção predefinido, de forma que se possam priorizar componentes de alto risco, determinar os intervalos de inspeção, observar os mecanismos esperados de falha, selecionar o melhor método de inspeção e definir os requisitos dos dados inspecionados (DNV, 2010). Dessa forma, torna-se necessário o estabelecimento de procedimentos que permitam orientar os navios e as Organizações Militares Prestadoras de Serviços (OMPS), com o objetivo de estabelecer “o que, quando, onde e como inspecionar” e “o que reportar”.

Segundo o estudo desenvolvido pela Diretoria de Engenharia Naval — DEN (CASARES, 2020a), verificou-se que a melhor maneira de abordar todos os processos no âmbito do GIE seria por meio de uma metodologia de análise de risco semiquantitativa, com abordagem do tipo *Preliminary Hazard Analysis* (PrHA). O PrHA é um método de avaliação de risco que define os perigos, cenários de acidentes e riscos de uma estrutura específica, processo ou sistema. Seu objetivo é desenvolver uma listagem ordenada de risco para o sistema que está sendo analisado, de forma a contribuir para tomada de decisão (WILCOX et al., 1996). Os resultados do PrHA permitem que a administração concentre esforços e recursos naquelas áreas de maior risco. É uma ferramenta útil e preliminar de avaliação de risco que não requer abordagem analítica significativa e pode ser um precursor para uma análise

mais aprofundada e quantitativa. O referido estudo também propõe em que nível de risco seria razoável evoluir a análise para quantitativa com respeito ao custo benefício.

O GIE concebido pela Marinha do Brasil, balizado pela RB(IMR), envolve três fases: fase I (planejamento), fase II (inspeção) e fase III (avaliação). As três são sequenciais e cíclicas, pois os dados colhidos na inspeção anterior alimentam informações para o planejamento da próxima inspeção.

O RB(IMR), alicerce de todo o processo, é composto de RBI, RBM e RBR e é disposto nas fases supracitadas da seguinte forma:

- RBI: fase de planejamento e inspeção (fases I e II);
- RBM e RBR: fase de avaliação (fase III).

3.1. FASE I: PLANEJAMENTO

Esta fase envolve todos os procedimentos, métodos e critérios utilizados para se estimarem, previamente à inspeção, as áreas de maior risco do meio a ser inspecionado (RBI). Com o ranqueamento de risco dessas áreas, é possível montar um escopo detalhado das atividades, frequências e métodos de inspeção, compondo o Plano de Inspeção (PI).

Esse ranqueamento é feito segundo o índice de risco (IR), definido como risco da unidade de inspeção (RUI). Tal índice é o maior valor entre outros dois: risco típico da unidade de inspeção (RTUI) e risco particular da unidade de inspeção (RPUI).

O RTUI é obtido por meio de análise de risco, via dados estatísticos, do tipo e das características do compartimento avaliado. Tais dados são obtidos do histórico de inspeção, armazenado pela administração em banco de dados. Ressalta-se que os dados armazenados por tipo de compartimento/região são oriundos das avaliações visuais da estrutura durante as inspeções realizadas, conforme os preceitos do item 3.2 deste artigo.

O RPUI é obtido pela análise de risco do chapeamento e dos reforçadores da unidade de inspeção. A avaliação dos elementos estruturais deverá ser feita mediante regra adotada pela administração. Para o estabelecimento do RPUI, necessita-se de planos do projeto original e documentos complementares da estrutura que contemplem possíveis alterações estruturais ao longo da vida do meio. Para subsidiar a análise de risco nas unidades de inspeção consideradas, realiza-se cálculo da razão entre verificações de propriedades estruturais de elementos primários, secundários e terciários em relação aos limites da regra adotada. Tais verificações compreendem

cálculos de tensão viga-navio, dimensionamento de seção transversal dos reforçadores e de espessura de chapeamento, cálculo de flambagem e de fadiga, considerando carregamentos, posicionamento longitudinal e o tipo de compartimento para a estimativa de perda de espessura por corrosão. A razão calculada permite ranquear a avaliação da unidade de inspeção em sete níveis de frequência de falha, um dos parâmetros utilizados na análise de risco, a qual será realizada de forma análoga à apresentada no item 3.3 deste artigo.

É importante mencionar que o RTUI é constantemente atualizado com os novos dados obtidos nas inspeções, enquanto o RPUI é fixo para cada classe de navio. Dessa forma, mesmo que não exista histórico inicial, a utilização da metodologia é válida ($RUI = RPUI$). No decorrer do tempo, com o histórico sendo armazenado pela administração e tendo a análise estatística aderido a padrões de tipicidade das regiões inspecionadas, o RTUI poderá ser utilizado.

3.2. FASE II: INSPEÇÃO

A inspeção do navio envolve a coleta de dados em regiões de análise considerando-se seis critérios predefinidos de inspeção:

- condição de pintura;
- corrosão generalizada;
- presença de *pitting*/alvéolos ou *grooving*;
- presença de deformação;
- presença de trincas;
- limpeza, manutenção e proteção catódica.

O procedimento é baseado no American Bureau of Ships Hull Inspection and Maintenance Program (ABS, 2017) com adaptações para meios militares.

A região sob análise será definida como unidade de inspeção (UI), sendo, prioritariamente, admitida como um compartimento do navio graças a sua praticidade de mapeamento no planejamento e no registro de dados de inspeção. Apêndices estruturais e hélices de passo fixo também serão considerados como UI e deverão ser avaliados no que couber quanto aos critérios de inspeção. O escopo de quais locais serão inspecionados é definido com base nas análises de risco na fase I (planejamento).

Cada um dos seis critérios é avaliado para cada UI segundo uma pontuação inteira de 1 a 7, denominada de índice de frequência de falha (IFF), que tem o intuito de ranquear, por julgamento de engenharia, a frequência de falha estimada com base na degradação da UI à luz dos critérios de

inspeção. O IFF de cada critério para cada UI irá denotar sua condição como boa, regular ou ruim e corresponderá a uma das três cores, respectivamente: verde, amarelo ou vermelho. O IFF de cada critério de inspeção possui para cada um dos sete níveis no “ENGENAINSPEC”: descrições detalhadas sobre a condição do material, ações/repares padronizados e registros fotográficos balizadores do estado do material.

Adicionalmente aos IFF, será atribuída para cada critério de inspeção uma pontuação inteira de 1 a 4, denominada de índice de consequência de falha (ICF). O ICF ranqueia, qualitativamente, a consequência da falha, a qual é avaliada como o grau do dano causado desde que tal falha ocorra (pequeno, significativo, severo ou catastrófico) e segundo três tipos de consequência (efeitos na segurança do pessoal, efeitos no navio e efeitos no meio ambiente). A consequência da falha, quando não envolve perda de estanqueidade, danos ao pessoal ou ao meio ambiente, pode ser avaliada em termos da resistência estrutural residual considerando a falha do elemento. Assim, de maneira

a possibilitar a adequada avaliação de consequência de falha em estruturas, os componentes estruturais são classificados de acordo com o impacto de suas falhas na resistência residual em três categorias de elementos: primário, secundário e terciário.

3.3. FASE III: AVALIAÇÃO

Representa-se o RUI como o maior risco entre os seis critérios avaliados naquela UI. O risco associado a cada um dos seis critérios é estabelecido por meio de uma matriz de risco 7x4, conforme adotado pela *IMO Guidelines on FSA* (IMO, 2018): uma pontuação é atribuída em uma escala discreta de 1 a 7 para a condição do material avaliada no critério em lide (IFF) e outra pontuação é atribuída em uma escala discreta de 1 a 4 para a consequência da falha em efeitos de segurança do pessoal, navio e meio ambiente (ICF). A matriz de risco é apresentada na Figura 1 (CASARES, 2020a).

O IR em cada um dos seis critérios é determinado pela Equação 1:

IFF	Frequência de Falha	MATRIZ DE RISCO				
7	Frequente	7	8	9	10	
6		6	7	8	9	
5	Razoável	5	6	7	8	
4		4	5	6	7	
3	Remota	3	4	5	6	
2		2	3	4	5	
1	Extremamente Remota	1	2	3	4	
Consequência de Falha		Pequena	Significante	Severa	Catastrófica	
TIPOS	Efeitos na segurança do pessoal	Somente um ferimento ou pequenos ferimentos	Multiplos ferimentos ou ferimento grave	Uma fatalidade ou multiplos ferimentos graves	Multiplas Fatalidades	
	Efeitos no navio	Avaria local	Avaria não severa no navio	Avaria severa no navio	Perda total do meio	
	Efeitos no Meio Ambiente	Pequeno efeito	Efeito local	Grande efeito	Efeito massivo	
ICF		1	2	3	4	
					Risco Alto	
					Risco Moderado	
					Risco Baixo	

IFF: índice de frequência de falha; ICF: índice de consequência de falha.

Figura 1. Matriz de risco.

$$IR = IFF + ICF - 1, \text{ logo } RUI = \max \{IR_i\}, \quad (1)$$

$i = 1, \dots, 6$ (critérios de inspeção)

Define-se:

Risco Estrutural do Navio (REN) = maior RUI entre todas as UI;

Condição Estrutural Geral (CEG) = mediana dos RUI.

Assim, a definição da avaliação estrutural do navio é realizada por meio da Tabela 1, que possui como dados de entrada os valores de REN (colunas) e CEG (linhas) e, como dado de saída, o valor de AEN (interseção da linha CEG com a coluna REN):

Para cada valor de AEN, apresenta-se seu juízo de valor e recomendam-se as seguintes ações:

- $10,0 \geq AEN \geq 8,5$ (excelente): somente riscos baixos. Nenhuma ação além de monitoramento e pequenas ações preventivas ou corretivas;

- $8,4 \geq AEN \geq 7,1$ (bom): quantidade majoritária de riscos baixos em relação aos moderados. Correção das não conformidades que apresentam risco moderado;
- $7,0 \geq AEN \geq 6,5$ (regular): quantidade majoritária de riscos moderados em relação aos baixos. Correção das não conformidades que apresentam risco moderado;
- $6,4 \geq AEN \geq 3,6$ (regular-ruim): quantidade majoritária de riscos baixos em relação aos moderados e/ou altos. Correção das não conformidades que apresentam risco alto e moderado. Prioritariamente das que apresentam risco alto;
- $3,5 \geq AEN \geq 2,0$ (ruim): quantidade majoritária de riscos altos e/ou moderados em relação aos baixos. Avaliar a aceitabilidade do custo-benefício dos reparos em detrimento do desfazimento do meio (do ponto de vista estrutural) ou da realização de análise computacional por elementos finitos da estrutura, considerando corrosão e

Tabela 1. Avaliação estrutural do navio.

AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DO NAVIO (AEN)			REN									
			BAIXO				MODERADO		ALTO			
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CEG	RUIM	10										0.0
		9.5										0.1
		9										0.2
		8.5									0.8	0.3
		8								1.4	1.0	0.4
		7.5								1.5	1.1	0.5
	7							1.8	1.6	1.2	0.6	
	6.5							1.9	1.7	1.3	0.7	
	REGULAR	6						6.5	3.2	2.8	2.4	2.0
		5.5						6.6	3.3	2.9	2.5	2.1
5						6.9	6.7	3.4	3.0	2.6	2.2	
4.5						7.0	6.8	3.5	3.1	2.7	2.3	
BOM	4				8.5	7.8	7.1	5.8	5.1	4.3	3.6	
	3.5				8.6	7.9	7.2	5.9	5.2	4.4	3.7	
	3			9.2	8.7	8.0	7.3	6.0	5.3	4.5	3.8	
	2.5			9.3	8.8	8.1	7.4	6.1	5.4	4.6	3.9	
	2		9.7	9.4	8.9	8.2	7.5	6.2	5.5	4.7	4.0	
	1.5		9.8	9.5	9.0	8.3	7.6	6.3	5.6	4.8	4.1	
1	10.0	9.9	9.6	9.1	8.4	7.7	6.4	5.7	4.9	4.2		

REN: risco estrutural do navio; CEG: condição estrutural geral.

Fonte: Casares (2020a).

carregamentos, de forma a prever manutenções necessárias para manter o navio em condição operativa por mais tempo; e

- $1,9 \geq AEN \geq 0,0$ (péssimo): quantidade significativa de riscos altos em relação aos demais riscos. Avaliar a aceitabilidade do custo-benefício dos reparos em detrimento do desfazimento do meio (do ponto de vista estrutural).

Na medida em que é comum não ser possível inspecionar todas as UI de um escopo de campanha de inspeção, definiu-se confiabilidade da inspeção (CI) como a razão da ponderação da quantidade de UI inspecionadas em relação à ponderação de todas as UI do escopo de inspeção, tomando-se como peso o RUI ou ICF de cada UI (o RUI das UI não inspecionadas será aquele estimado na fase de planejamento, conforme demonstrado no item 3.1 deste artigo. Alternativamente, o ICF poderá ser utilizado caso a fase de planejamento não tenha sido realizada). É considerada válida a inspeção com CI superior a 50%, que possibilita garantir a maior contribuição global de compartimentos relevantes (apresentam riscos mais altos) na avaliação do navio. Compartimentos com acesso visual inferior a 25% são considerados riscos desconhecidos e farão parte do escopo de inspeções futuras em curto prazo, juntamente com os riscos altos. Ressalta-se que uma inspeção estrutural pode ter um mapeamento de risco (MR) (razão da quantidade de UI inspecionadas em relação à quantidade total de UI) superior a 50% e possuir uma CI inferior a 50%. Nesse caso, conclui-se que os compartimentos inspecionados, de forma geral, são pouco relevantes em relação aos não inspecionados, em termos de risco.

4. RESULTADOS

A metodologia apresentada teve larga aplicação em diversas avaliações de estado do material no que tange ao sistema de estruturas para meios distritais, navios da Diretoria de Hidrografia e Navegação, navios de apoio e navios escoltas da Esquadra. Para estes últimos, a metodologia RB(IMR) teve especial importância no sentido de permitir, em um curto período de tempo (15 dias a partir da demanda inicial, considerando-se inspeções), a emissão de juízo de valor com

respeito à estrutura de seis navios-escolta, de forma criteriosa e balizada pelo risco, possibilitando melhores e tempestivos subsídios às decisões da Alta Administração Naval quanto à extensão da vida útil dos meios, dada a estimativa de incorporação das futuras fragatas classe “Tamandaré”.

Adicionalmente, a metodologia foi empregada para a avaliação do estado da estrutura de meios, originalmente não militares, requisitados para possíveis compras por oportunidade, o que demonstra a flexibilidade de sua aplicação.

Na medida em que os resultados aplicados aos meios da Marinha do Brasil são reservados, indicaremos os resultados do navio hipotético *Risco*, de forma a ilustrar a potencialidade da metodologia. O histograma da distribuição de riscos e o percentual de distribuição de riscos altos por critério de inspeção são apresentados na Figura 2.

Considerando-se as inspeções no navio *Risco*, apresentam-se:

- REN: 8 (alto);
- CEG: 3 (bom);
- AEN: 5,3 (regular-ruim);
- quantidade de UI: 355;
- quantidade de UI com risco alto: 17 (5% das UI do escopo da inspeção);
- quantidade de UI com risco moderado: 53 (15% das UI do escopo da inspeção);
- quantidade de UI com risco baixo: 171 (48% das UI do escopo da inspeção);
- MR: 68%;
- CI: 54% (aprovada).

A listagem de não conformidades é indicada em um formulário de inspeção (FI), o qual ordena as UI em ordem decrescente de riscos. Assim, as ações necessárias devem ser tomadas na ordem apresentada, considerando-se cada recomendação associada a seu respectivo nível de IFF para cada um dos seis critérios de inspeção (RBR e RBM).

Caso os riscos altos sejam eliminados, a AEN subirá para 7,3 (bom). Assim, os efeitos da mitigação de riscos altos são preponderantes para a avaliação estrutural do navio. A realização de reparos de baixo risco pouco influenciam na avaliação. Dessa forma, recomenda-se que os custos estimados para reparo considerem somente riscos altos e moderados, o que representa redução de custos em 48% das UI avaliadas, fato extremamente relevante em quadro de restrição orçamentária.

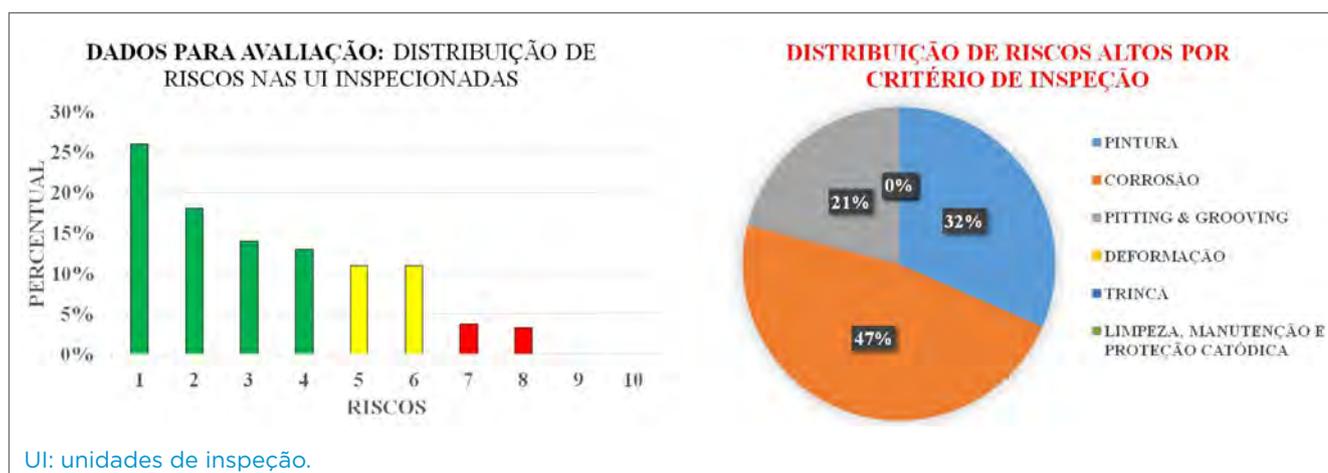


Figura 2. (A) Histograma da distribuição de riscos. (B) Percentual de distribuição de riscos altos por critério de inspeção.

5. CONCLUSÃO

A metodologia RB(IMR), utilizada de forma basilar com respeito ao processo de GIE, tem proporcionado resultados concretos perante as necessidades da Marinha do Brasil. As estratégias de inspeção, manutenção e reparo sofreram alterações com o tempo, e a abordagem baseada em risco representa uma significativa evolução no GIE em comparação às estratégias tradicionais (baseadas no tempo e na condição)

(SERRATELLA et al., 2008). Isso porque permite, entre outras vantagens, a alocação de recursos (financeiro, mão de obra, tempo, equipamentos, análises etc.) à inspeção, manutenção e reparo de forma coerente com a ordenação de riscos.

Como tendência futura, vislumbram-se a normatização dos processos, a utilização de aplicativos de dispositivos móveis para armazenar dados durante as inspeções e, à proporção de um maior amadurecimento, a evolução para processos em um espectro mais quantitativo de análise.

REFERÊNCIAS

AMERICAN BUREAU OF SHIPPING (ABS). *Inspection Grading Criteria for the ABS Hull Inspection and Maintenance Program (HIMP)*. American Bureau of Shipping, 2017.

CASARES, J. F. C. *DEN-EST-MEIOS_DIV-841-001*: estudo de implementação de inspeção baseada em risco (RBI), reparo baseado em risco (RBR), plano de inspeção e avaliação estrutural de navios de superfície. Rio de Janeiro: Diretoria de Engenharia Naval, 2020a.

CASARES, J. F. C. *ENGENAINSPEC*: manual de inspeção e avaliação estrutural baseada em risco para navios de superfície. Rio de Janeiro: Diretoria de Engenharia Naval, 2020b.

DET NORSKE VERITAS (DNV). *Recommended practice - DNV-RP-G101: risk based inspection of offshore topsides static mechanical equipment*. Det Norske Veritas, 2010.

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION (IMO). *MSC-MEPC.2-Circ.12-Rev.2: revised guidelines for formal safety assessment (FSA)*

for use in the imo rule-making process. Londres: International Maritime Organization, 2018.

ISSC. Condition assessment of aged ships and offshore structures. In: INTERNATIONAL SHIP AND OFFSHORE STRUCTURES CONGRESS, 17., 2009, Seoul. *Anais [...]*. Seoul: ISSC, 2009. 365 p.

SERRATELLA, C.; WANG, G.; TIKKA, K. Risk-based inspection and maintenance of aged structures. In: PAIK, J. K.; MELCHERS, R. E. (org.). *Condition assessment of aged structures*. Cambridge: Woodhead, 2008. p. 497-528.

WILCOX, R. C.; KARASZEWSKI, Z. J.; AYYUB, B. M. Methodology for risk-based technology applications to marine system safety. In: SHIP STRUCTURE SYMPOSIUM, 1996, Arlington. *Anais [...]*. Arlington: Society of Naval Architects and Marine Engineers and Ship Structure Committee, 1996.



Figura 6

DISPLAY DO SISTEMA DE GERENCIAMENTO DA AMAZÔNIA AZUL (SISGAAZ)

BOAS PRÁTICAS DE GESTÃO DO CICLO DE VIDA PARA MEIOS NAVAIS COM PROPULSÃO NUCLEAR

Best practices applied to life cycle management
for ships with nuclear propulsion

Antonelly Assis Gregorio de Sousa¹, José Gilberto Fernandes Junior²,
Eduardo Augusto Maia Bezerra³, Amilton de Sousa Lins Junior⁴,
Carlos Alberto de Abreu Madeira⁵

Resumo: Com o intuito de adquirir o máximo desempenho dos produtos de Defesa, as Forças Armadas Brasileiras vêm empregando técnicas consolidadas de gestão de ciclo de vida (GCV). Em cumprimento às diretrizes da Estratégia Nacional de Defesa, a Marinha do Brasil (MB) procura concluir seu Programa de Desenvolvimento de Submarinos, visando obter a capacidade plena de projetar, construir, operar, manter e descomissionar submarinos convencionais com propulsão diesel-elétrica e com propulsão nuclear. Em virtude das especificidades dos sistemas componentes de um submarino convencional com propulsão nuclear (SCPN), faz-se necessário que a GCV desses meios incorpore inéditos requisitos afetos à segurança nuclear naval. Entre outras iniciativas, a MB criou a Autoridade Naval de Segurança Nuclear e Qualidade (ANSNQ) e a Agência Naval de Segurança Nuclear e Qualidade (AgNSNQ), objetivando promover o licenciamento e a fiscalização desses meios navais e de suas plantas nucleares embarcadas, além do transporte de seu combustível nuclear. Por meio de uma pesquisa bibliográfica, este artigo levantou boas práticas e requisitos de GCV relacionados a submarinos nucleares por forças armadas. Tais resultados foram comparados à sistemática atualmente definida pela Diretoria de Gestão de Programas da Marinha para que, em uma proposta de parceria com a AgNSNQ, possam ser aplicados à GCV do SCPN.

Palavras-chave: Gestão de ciclo de vida. Submarinos nucleares. Segurança Nuclear e Marinha do Brasil.

Abstract: In order to acquire the maximum performance of Defense products, the Brazilian Armed Forces have been employing consolidated Life Cycle Management (GCV) techniques. In compliance with the guidelines of the National Defense Strategy (END), the Brazilian Navy (MB) seeks to complete its Submarine Development Program (PROSUB) in order to obtain full capacity to design, build, operate, maintain, and decommission conventional submarines with propulsion diesel-electric and nuclear-powered. Due to the specificities of the component systems of a Conventional Submarine with Nuclear Propulsion (SCPN), it is necessary that the GCV of these means incorporate unprecedented requirements related to naval nuclear safety. Among other initiatives, MB created the Naval Authority for Nuclear Safety and Quality (ANSNQ) and the Naval Agency for Nuclear Safety and Quality (AgNSNQ) aiming to promote the licensing and inspection of these naval resources and their on-board nuclear plants, in addition to the transport of its nuclear fuel. Through a literature search, this article raised GCV best practices and requirements related to nuclear submarines by armed forces. These results were compared to the system currently defined by the Navy Program Management Board (DGePM) so that, in a proposal for a partnership with AgNSNQ, they can be applied to the SCPN's GCV.

Keywords: Life cycle management. Nuclear submarines. Nuclear Safety and Brazilian Navy.

1. Mestre em Metrologia e Qualidade pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Ajudante da Divisão de Planejamento e Controle da Agência Naval de Segurança Nuclear e Qualidade na Marinha do Brasil - Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: aagregoriodesousa@hotmail.com

2. Engenheiro eletrônico pela Universidade Federal de Pernambuco. Ajudante da Divisão de Garantia da Qualidade da Agência Naval de Segurança Nuclear e Qualidade na Marinha do Brasil - Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: j.gilbertofernandes@gmail.com

3. Engenheiro mecânico pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Ajudante da Divisão de Garantia da Qualidade da Agência Naval de Segurança Nuclear e Qualidade na Marinha do Brasil - Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: haduardo@hotmail.com

4. Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal Fluminense. Ajudante da Divisão de Segurança Nuclear Naval da Agência Naval de Segurança Nuclear e Qualidade na Marinha do Brasil - Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: amilton.slins@gmail.com

5. Mestre em Estudos Estratégicos de Defesa e da Segurança pela Universidade Federal Fluminense. Chefe do Departamento de Planejamento e Desenvolvimento Organizacional da Agência Naval de Segurança Nuclear e Qualidade - Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: abreu.madeira@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2015) define produto como sendo o resultado de um processo, que pode ser, de forma genérica, algo tangível como peças de um maquinário, ferramentas ou roupas, ou algo intangível como serviços.

Especificamente no âmbito das Forças Armadas Brasileiras, uma gama diferenciada de produtos é definida como produtos de defesa (PRODE). Essa nomenclatura é utilizada para classificar os bens, serviços, obras ou informações aplicadas em atividades específicas de defesa, tais como armamentos, munições, fardamentos, meios de transporte e de comunicações e materiais de uso individual e coletivo destinados a aplicação militar, desde que não sejam de uso administrativo (MINISTÉRIO DA DEFESA, 2019a).

Com o intuito de adquirir o máximo desempenho dos PRODE, as Forças Armadas Brasileiras vêm empregando técnicas consolidadas de gestão de ciclo de vida (GCV), baseando-se nas técnicas de engenharia de *software* e sistemas, conforme definido no Manual de Boas Práticas para Gestão do Ciclo de Vida de Sistemas de Defesa.

Em cumprimento às diretrizes da Estratégia Nacional de Defesa (END), a Marinha do Brasil (MB) procura concluir seu principal programa estratégico, denominado de Programa de Desenvolvimento de Submarinos (PROSUB), que objetiva dotar a MB com a capacidade de projetar, construir, operar, manter e descomissionar submarinos convencionais com propulsão *diesel*-elétrica e com propulsão nuclear.

Em virtude das especificidades dos sistemas componentes de um submarino convencional com propulsão nuclear (SCPN), que deve operar de forma a garantir que não haja riscos à tripulação, aos indivíduos do público e ao meio ambiente em razão da exposição indevida à radiação, faz-se necessário que a GCV desses meios incorpore inéditos requisitos afetos à segurança nuclear naval.

Entre outras iniciativas, a MB criou a Autoridade Naval de Segurança Nuclear e Qualidade (ANSNQ), responsável por promover o licenciamento e a fiscalização dos meios navais e de suas plantas nucleares embarcadas, além do transporte de seu combustível nuclear, e a Agência Naval de Segurança Nuclear e Qualidade (AgNSNQ), órgão de assessoria técnica da ANSNQ, ao qual cabe a responsabilidade pela elaboração, revisão e proposição de normas afetas à segurança

nuclear naval, prevendo requisitos que serão aplicáveis em toda a gestão do ciclo de vida de SCPN.

Perante os desafios postulados, este artigo teve como objetivo o levantamento de boas práticas e requisitos de GCV e está estruturado em seis seções: esta primeira, introdutória; a segunda, que contém um referencial teórico; a terceira, que descreve os métodos empregados na pesquisa; a quarta, que apresenta os resultados obtidos; a quinta, em que é feita a discussão desses resultados; e a sexta, que traz uma conclusão a respeito do tema.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. GERENCIAMENTO DO CICLO DE VIDA

Todo produto tem um tempo de vida útil, durante o qual ele entrega algum valor a seu usuário, ou seja, tem utilidade. Esse tempo médio é denominado de ciclo de vida do produto e corresponde à quantidade de tempo em que o produto está disponível para comercialização, tendo início com o ingresso dele no mercado e terminando com sua retirada (MORO, 2018). Considera-se uma característica desse ciclo de vida o projeto do produto, que tem grande relevância não apenas no estudo de sua viabilidade econômica, mas também na implementação da cadeia logística necessária a sua distribuição no mercado consumidor.

A inovação, como forma de diferenciação e agregação de valor aos produtos, tornou-se uma ferramenta de alto valor competitivo no atual mercado globalizado. Ela exige dos fabricantes o contínuo aperfeiçoamento tanto de seus produtos quanto de seus processos, o que consequentemente leva à necessidade de gerenciamento dos diversos fatores ligados ao desenvolvimento dos produtos, principalmente pela complexidade desses sistemas (ENGINEERING USA, 2020). A necessidade da administração desses processos fomentou a definição e o uso dos conceitos de gestão do ciclo de vida do produto (PLM, do inglês *product lifecycle management*), a qual tornou-se uma base fundamental da tecnologia da informação (TI) em fabricação. O PLM está fundamentado na elaboração e no gerenciamento sistemático de forma integral dos dados do produto e da tecnologia utilizada para acessar essa informação e conhecimento, que serão utilizados para tomadas de decisão e melhorias no processo (de aquisição, uso e disposição) (ENGINEERING USA, 2020).

A GCV proporciona à sociedade um conjunto de ferramentas que possibilita a melhoria do processo de compra, habilitando o registro, a organização e a utilização dos dados gerados nos diversos processos de aquisição ou projetos, fornecendo o adequado subsídio aos tomadores de decisões. A GCV tem a capacidade de integrar dados em todos os processos de aquisição, o que permite eliminar esforços redundantes e aumentar a reutilização, tornando tais processos mais eficientes (SCHINDLER, 2010).

Esses fatores são relevantes às indústrias de defesa, pois operam e fornecem produtos e sistemas de alta capacidade tecnológica e complexidade. Isso porque cada nação soberana procura manter um contínuo aperfeiçoamento de seus sistemas defensivos no intuito de assegurar condições de vanguarda em relação a seus rivais, tanto em modos de defesa como de ataque, criando um efeito dissuasório adequado em sua política de defesa (AMARANTE, 2012).

Em vista disso, os processos de aquisição de produtos e sistemas de defesa são de grande relevância aos países e suas políticas de defesa nacional.

Esses processos de aquisição englobam desde o levantamento das necessidades do país e suas respectivas forças até a alienação do material. Isso tanto para o caso de aquisição direta, por intermédio de uma compra, quanto para os de desenvolvimento endógeno. Esse processo é administrado por meio da gestão do ciclo de vida do produto, a qual segue o modelo estabelecido na engenharia de sistemas, baseado na definição, no estudo e na gerência de cinco fases distintas: levantamento das necessidades, pesquisa e desenvolvimento (P&D), produção, utilização e alienação (AMARANTE, 2012).

2.2. GESTÃO DO CICLO DE VIDA EM INSTALAÇÕES NUCLEARES

De acordo com o glossário da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN, 2021), as instalações nucleares são os locais onde materiais nucleares são produzidos, processados, reprocessados, utilizados, manuseados ou estocados em quantidades significativas, sendo os reatores nucleares classificados como instalações desse tipo (CNEN, 2021).

Uma instalação nuclear dotada de reator, cuja atividade finalística é a geração de energia elétrica, faz uso do calor oriundo das reações nucleares, que ocorrem de forma controlada no interior de um reator, para transformar água em vapor. Este será utilizado no acionamento de uma turbina

ligada a um gerador para, dessa forma, produzir a eletricidade (SOARES et al., 2019). São predominantes nessas instalações destinadas à geração de energia elétrica as plantas nucleares do tipo “reator de água pressurizada” (PWR, do inglês *pressurized water reactor*) (CUNHA et al., 2012).

As instalações nucleares que possuem reatores do tipo PWR têm dois circuitos termo-hidráulicos fechados, que utilizam água como fluido de trabalho, sendo o primeiro denominado de sistema de resfriamento do reator, ou circuito primário, onde a água é mantida na fase líquida a temperatura e pressão elevadas, e o segundo denominado de sistema de conversão de energia, ou circuito secundário, onde a água sofre mudança de fase em um ciclo Rankine. Cabe ressaltar que esses circuitos são fisicamente separados, ocorrendo a troca de calor entre os fluidos de trabalho em um equipamento chamado gerador de vapor (CUNHA et al., 2012).

Kibrit e Aquino (2015) sugerem que os responsáveis por uma instalação nuclear devem estabelecer e implementar um sistema de gerenciamento do ciclo de vida, considerando as seguintes fases: projeto, construção, comissionamento, operação, incluindo a previsão de futuras modificações e/ou renovações e descomissionamento.

Levando-se em conta que as instalações nucleares voltadas para a geração de energia elétrica possuem um tempo determinado de funcionamento, surge a necessidade de se pensar, desde seu projeto, quais ações deverão ser adotadas ao fim de sua vida útil. Logo, há a necessidade de serem adotadas, tanto na fase de projeto quanto nos projetos futuros relacionados com modificações ou substituições, as medidas que facilitem a gestão eficaz do ciclo de vida da instalação ao longo da vida útil do reator (CNSC, 2014).

A Figura 1 representa, de forma esquemática, as fases do ciclo de vida de uma instalação nuclear destinada à geração de energia elétrica.

As etapas ilustradas na Figura 1 — de fabricação; cronograma e planejamento da construção; e construção — devem ser contempladas no gerenciamento do ciclo de vida de uma instalação nuclear, em virtude da necessidade de se garantir que os mais diversos componentes e sistemas que a constituem não apresentem degradação prematura, o que afetaria de forma inesperada seu tempo útil de funcionamento (CNSC, 2014).

Durante a fase de comissionamento de uma instalação nuclear, devem ser adotadas medidas apropriadas visando

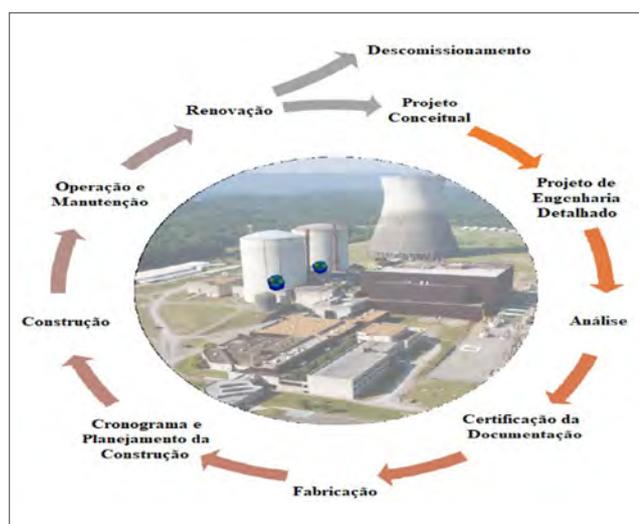


Figura 1. Ciclo de vida de uma instalação nuclear.

garantir que os dados importantes para o gerenciamento do ciclo de vida sejam adquiridos, bem como devem ser verificados os parâmetros e as condições críticas de funcionamento, tais como aqueles considerados na qualificação do equipamento e nas suposições de degradação observadas nas análises de segurança do projeto (CNSC, 2014).

Os operadores das instalações nucleares devem buscar introduzir no gerenciamento do ciclo de vida de suas instalações a implementação de processos, programas e procedimentos que visem gerenciar a degradação e a obsolescência dos mais diversos sistemas e componentes durante a operação dessas instalações, com o objetivo de garantir que as funções de segurança necessárias sejam mantidas durante toda essa fase (CNSC, 2014).

Com o fim de viabilizar economicamente uma instalação nuclear geradora de energia elétrica, dá-se início a seu descomissionamento, visando tornar o espaço onde ela está localizada isento de riscos, ou seja, seguro. O processo de descomissionamento consiste na adoção de diversas ações, entre elas: a verificação dos aspectos legais; as estratégias de descomissionamento; o planejamento; o desmantelamento; a embalagem, o transporte e a estocagem de um grande volume de material radioativo; e recursos humanos e financeiros (MELO; MAIORINO, 2013).

Há a possibilidade de três estratégias a serem seguidas no descomissionamento de plantas nucleares: desmantelamento imediato, com a retirada imediata dos equipamentos, estruturas e material radioativo contidos na instalação e a

liberação do local para uso irrestrito; desmantelamento protelado, que consiste em aguardar um período específico para que ocorra o decaimento radioativo dos produtos de fissão presentes na instalação, permitindo o desmantelamento com níveis de radiação permissíveis pelas normas e recomendações nacionais e internacionais; e confinamento, em que sistemas, estruturas e componentes radioativos são encapsulados em virtude do elevado tempo de decaimento radioativo dos materiais físeis presentes na instalação, devendo-se adotar o constante monitoramento desta para o acompanhamento dos níveis de radiação, para que, quando estes estiverem de acordo com os parâmetros aceitáveis, se proceda com o desmantelamento (MELO; MAIORINO, 2013).

Após a etapa de descomissionamento de uma instalação nuclear ou de ações de descontaminação de sistemas ou troca de combustível nuclear, há a geração de rejeitos radioativos. Estes podem ser classificados como de alto (combustíveis irradiados), médio e baixos níveis de radiação, tendo os de níveis baixos e intermediários baixo custo de tratamento e gerenciamento e exigindo baixa sofisticação tecnológica (CARAJILESCOV; MOREIRA, 2008). Os combustíveis nucleares irradiados, oriundos das recargas dos núcleos dos reatores, são inicialmente armazenados nas piscinas de combustíveis irradiados, que ficam localizadas na própria instalação nuclear até que haja a redução do calor residual. Em seguida, o combustível irradiado pode ser armazenado de forma apropriada em locais destinados para esse fim, ou ser reciclado, caso em que o material é reprocessado e reaproveitado na produção de combustível nuclear (CARAJILESCOV; MOREIRA, 2008).

2.3. GERENCIAMENTO DO CICLO DE VIDA NAS FORÇAS ARMADAS BRASILEIRAS

No âmbito das Forças Armadas, os produtos são avaliados com relação aos aspectos de segurança e qualidade, visando manter sua capacidade de operação. É imprescindível que não haja redução dessas capacidades, como, por exemplo, pela indisponibilidade de algum de seus sistemas. Dessa forma, eles têm que ser geridos buscando-se manter suas características ao longo de sua vida útil. Entretanto, numa realidade de recursos limitados, é necessário fazer uma adequada gestão, equilibrando os recursos disponíveis e a operacionalidade dos sistemas. Dessa forma, a gestão do ciclo de vida de sistemas de defesa (GCVSD) é composta de seis fases (concepção, desenvolvimento, produção, operação, apoio e desfazimento), que

compreendem atividades específicas com foco na otimização dos custos envolvidos ao longo de todo o ciclo de vida dos sistemas de defesa (MINISTÉRIO DA DEFESA, 2019b).

Cabe destacar que a GCVSD aborda questões de risco, tempo de obtenção e qualidade dos sistemas e produtos de defesa, controlando, quantificando e gerindo os custos do ciclo de vida (CCV) de forma que os processos de obtenção sejam consistentes e tenham o compartilhamento de recursos, informação e tecnologias de maneira efetiva e sustentável (MINISTÉRIO DA DEFESA, 2019b).

Uma diferença no gerenciamento do ciclo de vida de produtos civis para produtos de defesa é a adição, no caso dos produtos militares, de uma etapa no fim de sua vida útil. Esta é denominada de revitalização e consiste em uma manutenção minuciosa, capaz de restaurar a capacidade operativa de tal produto ou sistema, ou ainda em sua modernização, que, além recondiçaná-lo, terá incorporado tecnologias atuais, melhorando sua capacidade operativa e tornando-o adequado às necessidades contemporâneas de emprego (MORO, 2018).

No âmbito do Ministério da Defesa (MD), responsável pela realização de estudos voltados ao desenvolvimento das atividades de GCV, foi instituída a Subcomissão de Ciclo de Vida de Produtos de Defesa (CVPRODE), cujo propósito é o assessoramento no desenvolvimento das atividades de implantação e consolidação da GCVSD, em conformidade com as atividades oriundas do Comitê Aliado 327 da Organização do Tratado do Atlântico Norte — OTAN (AC/327); e que foi precedida de uma atualização da doutrina sobre GCVSD relativa ao MD e às Forças Armadas Brasileiras (MINISTÉRIO DA DEFESA, 2019c). Com relação aos sistemas de defesa, o ciclo de vida compreende desde a fase de definição dos requisitos operacionais preliminares, que deverão atender à capacidade militar desejada, até a fase de desfazimento, em que ocorre sua retirada do ambiente operacional e a inutilização do sistema de defesa (MINISTÉRIO DA DEFESA, 2019b).

A MB tem aplicado as ferramentas de GCV nos programas de aquisição de seus novos meios. Os conceitos utilizados na MB estão baseados nas normas estabelecidas na OTAN, com a devida e pertinente contextualização, e combinados aos princípios doutrinários em desenvolvimento no âmbito do MD. A gerência do ciclo de vida dos sistemas de defesa empregado na MB visa assegurar que os processos empregados em cada uma das fases de vida dos sistemas sob sua

propriedade sejam consistentes e consoantes, permitindo o compartilhamento eficiente e coordenado de recursos, informação e tecnologia (GOMES, 2018).

O Exército Brasileiro (EB) tem definida sua doutrina de gestão do ciclo, intitulada *Instruções gerais para a gestão do ciclo de vida dos sistemas e materiais de emprego militar* (SMEM), em que estão estabelecidos métodos, atividades e eventos que ocorrem durante o ciclo de vida dos SMEM. Segundo essas instruções, a GCV deverá ordenar e descrever os principais processos, atividades e eventos que ocorrem durante o ciclo de vida dos produtos, provendo dados e informações em todas as suas fases e designando, ainda, a ordem e os órgãos responsáveis por cada uma dessas etapas. Cabe ressaltar que essa instrução geral está alinhada aos conceitos da engenharia de sistemas (EXÉRCITO BRASILEIRO, 2016).

Por sua vez, a Força Aérea Brasileira (FAB) constituiu o documento *Ciclo de vida de sistemas e materiais da aeronáutica*, que define o planejamento e a execução das fases e eventos, regula e define as responsabilidades de cada organização no âmbito da FAB para a gerência do ciclo de vida. São definidas nove fases: concepção, viabilidade, definição, desenvolvimento ou aquisição, produção, implantação, utilização, revitalização, modernização ou melhoria e desativação. O documento prevê que os materiais ou sistemas sejam acompanhados de certificado de garantia, no qual estarão estabelecidos o desempenho e período de uso requeridos, considerando ainda processos de certificação e estimativa de custos nas fases pertinentes (FAB, 2007).

Cabe ressaltar que no Brasil, de forma geral, os estudos e normas vigentes relativos à GCV de produtos são pouco realizados quando comparados com os afetos ao CCV, cujo objetivo central é a otimização da relação custo-benefício e a melhoria do desempenho com o aumento da confiabilidade e da disponibilidade dos produtos e sistemas (GOMES, 2018).

2.4. DIRETORIA DE GESTÃO DE PROGRAMAS DA MARINHA

Desde de 2013, a MB dispõe da Diretoria de Gestão de Programas da Marinha (DGePM), uma organização militar (OM) dedicada à gestão dos programas e projetos, à obtenção e à manutenção dos sistemas e meios navais por meio do gerenciamento de seu ciclo de vida, desde a concepção até o descarte/descomissionamento. A referida OM atua, também, como organização militar orientadora técnica (OMOT) do

tema GCV, operando em coordenação com as demais diretorias especializadas (DE) e outras OM envolvidas com os programas estratégicos da MB, com o intuito de empregar as diretrizes exaradas pelo MD, assegurando que os requisitos que condicionam a obtenção de sistemas de defesa sejam mantidos ao longo de todo o seu ciclo de vida, buscando uma relação ótima entre custo e eficácia.

2.5. AGÊNCIA NAVAL DE SEGURANÇA NUCLEAR E QUALIDADE

Diante da necessidade de se ter um órgão voltado para o licenciamento de meios navais com propulsão nuclear e o transporte de seu combustível, foi ativada em 5 de fevereiro de 2018 a AgNSNQ, que tem como objetivo o assessoramento técnico da ANSNQ. Esta foi criada após o Comando da Marinha haver sido designado pela Lei nº 13.976, de 2020 (BRASIL, 2020), e posteriormente mantido pela Lei nº 14.222, de 2021 (BRASIL, 2021), como autoridade competente para regular, licenciar, fiscalizar e controlar meios navais com plantas nucleares embarcadas. Dada sua missão de contribuir para a segurança integrada (nuclear e naval) de meios navais e para a garantia da qualidade no desenvolvimento tecnológico de produtos e sistemas navais de defesa, a AgNSNQ desempenha importante papel no setor de Ciência e Tecnologia da MB, em virtude de seu propósito permear os produtos desenvolvidos pelas OM envolvidas no projeto do SCPN, subordinadas ao CTMSP, como também dos Institutos de Ciência e Tecnologia da MB, subordinadas ao CTMRJ. A AgNSNQ faz uso das melhores práticas nacionais e internacionais afetas à segurança nuclear naval na confecção de normas que apoiarão a elaboração dos documentos relativos à GCV de meios navais com propulsão nuclear.

3. MÉTODO DE PESQUISA

Esta pesquisa classifica-se como teórica/conceitual por ter utilizado uma pesquisa bibliográfica, visando obter dados secundários para o cumprimento do objetivo de pesquisa (CAUCHICK-MIGUEL, 2018).

Foram empregadas as combinações de palavras-chave: “gestão do ciclo de vida” AND “submarino nuclear”; na língua inglesa, “*life cycle management*” AND “*nuclear submarines*”; e, em espanhol, “*gestión del ciclo de vida*” AND “*submarinos*

nucleares”. As bases consultadas foram *Scopus*, *Web of Science* e Google Acadêmico, com um recorte temporal de 2009 a 2020. Os artigos, teses e dissertações que apresentaram requisitos com potencial aplicação às fases do ciclo de vida de meios navais com propulsão nuclear foram selecionados. Os resultados foram tabulados e continham: autor e ano; título; breve resumo; e requisitos aplicáveis. Após a tabulação dos requisitos aplicáveis, eles foram discutidos visando ao detalhamento da boa prática empregada.

4. RESULTADOS

O Quadro 1 detalha os resultados selecionados entre as bases de pesquisa, no recorte temporal.

O Quadro 2 abaixo tabula os resultados selecionados.

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Ao se realizar a análise do conteúdo do Quadro 1, percebe-se a carência de estudos que relacionem diretamente a GCV aos meios navais com propulsão nuclear. Tal fato pode estar associado às especificidades desse tipo de meio, uma vez que são poucos os países que detêm a capacidade de projetar, construir e operar tais meios.

A ausência de resultados da base *Web of Science* e a presença de apenas um resultado da base *Scopus* atestam a pertinência do objetivo deste artigo.

Pelo fato de a base de dados do Google Acadêmico reunir a produção científica de diversas outras bases de dados, foi possível obter maior quantidade de resultados que se enquadravam nos critérios desta pesquisa. Isso possibilitou a construção de requisitos-chave relacionados com a GCV a serem considerados nas fases do ciclo de vida de um meio naval com propulsão nuclear.

O Quadro 2 traz uma compilação dos resultados relevantes para a pesquisa, com um breve resumo de cada artigo e os requisitos aplicáveis. Segundo o apresentado por Rivas (2019), afirma-se que mesmo os Estados Unidos, que tradicionalmente investem consideráveis aportes financeiros em suas forças armadas, cederam a pressões de seu Congresso e têm buscado otimizar a aplicação dos recursos destinados a construções de submarinos, tornando esses investimentos mais eficientes.

Quadro 1. Resultados obtidos nas bases.

Base	Termos	Resultados	Resultados selecionados
Web of Science	(gestão do ciclo de vida) AND (submarino nuclear)	0	0
	(<i>lifecycle management</i>) AND (<i>nuclear submarine</i>)	0	
	(<i>gestion del ciclo de vida</i>) AND (<i>submarino nuclear</i>)	0	
	(gestão do ciclo de vida) AND (propulsão nuclear)	0	
	(<i>lifecycle management</i>) AND (<i>nuclear propulsion</i>)	1	
	(<i>gestion del ciclo de vida</i>) AND (<i>propulsion nuclear</i>)	0	
Scopus	(gestão do ciclo de vida) AND (submarino nuclear)	0	1
	(<i>lifecycle management</i>) AND (<i>nuclear submarine</i>)	26	
	(<i>gestion del ciclo de vida</i>) AND (<i>submarino nuclear</i>)	0	
	(gestão do ciclo de vida) AND (propulsão nuclear)	0	
	(<i>lifecycle management</i>) AND (<i>nuclear propulsion</i>)	52	
	(<i>gestion del ciclo de vida</i>) AND (<i>propulsion nuclear</i>)	0	
Google Acadêmico	(gestão do ciclo de vida) AND (submarino nuclear)	31	14
	(<i>lifecycle management</i>) AND (<i>nuclear submarine</i>)	16	
	(<i>gestion del ciclo de vida</i>) AND (submarino nuclear)	11	
	(gestão do ciclo de vida) AND (propulsão nuclear)	14	
	(<i>lifecycle management</i>) AND (<i>nuclear propulsion</i>)	9	
	(<i>gestión del ciclo de vida</i>) AND (<i>propulsión nuclear</i>)	4	
Total		164	15

Quadro 2. Resultados selecionados.

Autor (Ano)	Título	Resumo	Requisitos aplicáveis
Rivas (2019)	“Los submarinos nucleares de ataque (SSN) de Estados Unidos”	A Guerra Fria impulsionou a indústria bélica nos Estados Unidos, acarretando o desenvolvimento de submarinos. Entretanto, os grandes orçamentos envolvidos exigiram maior eficiência dos projetos de desenvolvimento e aquisição e do custo do ciclo de vida. Uma das ações empreendidas foi o desenvolvimento do projeto dos submarinos classe Virgínia, com o objetivo de aumentar o tempo de vida operacional, também tornando sua manutenção mais eficiente.	Simulação para alcançar os períodos ideais de manutenção e operação.
Martin et al. (2018)	<i>An approach to lifecycle management of shipboard equipment</i>	Os navios são compostos de sistemas e equipamentos complexos, que são instalados ou incorporados em diversas etapas de seu ciclo de vida, em muitos casos por empresas e instituições diferentes. Este estudo analisa o gerenciamento do ciclo de vida dos diversos sistemas componentes desses meios, avaliando experiências empíricas e as interfaces ao longo de todo esse ciclo.	Integração dos sistemas de dados e informações dos processos ao longo de todo o ciclo de vida e por todos os agentes envolvidos.

Continua...

Quadro 2. Continuação.

Autor (Ano)	Título	Resumo	Requisitos aplicáveis
Lemerande et al. (2018)	“A system of systems approach to developing a digital asset management environment for the naval enterprise”	O estudo apresenta uma abordagem de sistemas de desenvolvimento de um ambiente de gerenciamento de ativos digitais holístico e abrangente (DAME) em conformidade com a ISO 55001 para aplicação na Royal Australian Navy.	ISO 55000, ISO 55001, ISSO 55002, Sistemas de Sistemas (SoS), Ambiente de Avaliação de Sistemas Digitais (DAME)
Zhang e Zhang (2014)	“Organizing complex engineering operations throughout the lifecycle”	Por intermédio da análise de estudos de casos, são identificadas questões organizacionais na gestão de sistemas complexos de engenharia relacionados com o ciclo de vida, demonstrando como resultado a necessidade de o sistema gerencial alterar o foco do projeto e do desenvolvimento para as fases de manutenção e desfazimento, incluindo se a possibilidade da reciclagem ao fim de sua vida útil.	ISO 55000, ISO 55001, ISSO 55002, Sistemas de Sistemas (SoS), Ambiente de Avaliação de Sistemas Digitais (DAME)
Pal (2015)	“Ship work breakdown structures through different ship lifecycle stages”	Apresenta uma abordagem que utiliza tecnologia da 4ª geração de projeto (4GD) construída em um sistema PLM como solução para o gerenciamento de dados de navios, fazendo a divisão de trabalhos, porém criando vínculos entre as atividades por meio de seus diferentes estágios do ciclo de vida.	Expanded Ship Work Breakdown Structure (ESWBS), tecnologia da 4ª geração de projeto (4GD)
Bhagwat e Chitrao (2020)	“Life cycle costing model for equipment for Indian naval shipbuilding programme”	Estudo realizado por meio de entrevistas não estruturadas no setor de construção naval e operações, visando conceber um processo de custo do ciclo de vida aplicado à Marinha indiana.	Custo Total do Ciclo de Vida do Sistema de Gerenciamento Integrado da Plataforma (Integrated Platform Management System – IPMS).
Cook e Mo (2019)	“Enterprise approach to modelling of risks in the project lifecycle of naval aviation asset ship integration”	O estudo faz um a abordagem de Engenharia de Sistemas para a identificação e a mitigação dos riscos, por intermédio de uma metodologia que traça o perfil de risco relativo de um projeto de aviação ao longo de seu ciclo de vida.	Gerenciamento de Risco, Metodologia 3P (pessoas, processo, produto).
Ford et al. (2015)	“An examination of significant issues in naval maintenance”	Análise do ciclo de vida referente ao estágio de operação dos navios de superfície e submarinos da Marinha Rissó Britânica.	ISO/IEC 15288:2009

ISO: International Organization for Standardization; IEC: International Electrotechnical Commission.

Tais demandas do Congresso estadunidense impulsionaram a Marinha do país a investir na realização de simulações das fases do ciclo de vida de submarinos da classe Virgínia, buscando uma sistemática de utilização desses meios que considerasse o planejamento, as influências políticas e as restrições das

partes interessadas. A referida simulação fez uso de dados históricos dos períodos de manutenção dos submarinos da classe Los Angeles em estaleiros públicos, e a análise dos resultados identificou a necessidade de mudanças de planos e/ou políticas alternativas e forneceu informações sobre quais mudanças

poderiam gerar maiores impactos na redução dos períodos de manutenção e no aumento nos períodos de operação.

Em que pese Martin et al. (2018) não ter abordado especificamente submarinos, seu relatório apresentou a problemática advinda da complexa combinação entre os numerosos e distintos sistemas e equipamentos a bordo dos meios da Marinha estadunidense, desde seus cascos até seus sistemas de combate. A pesquisa identificou como principais problemas afetos à manutenção e à modernização de meios: a necessidade de aprimoramento de estrutura organizacional, procedimentos, políticas, padronização de banco de dados, catalogação de sobressalentes, confecção de orçamentos; e a previsão de ciclos de manutenção e operação. Segundo os autores, a utilização do *software The Maintenance Figure of Merit System*, que compila diversos dados dos sistemas e equipamentos dos meios, auxiliou na previsão da prontidão, nos reparos recomendados e nos custos de ciclo de vida dos sistemas e equipamentos dos meios.

Debruçando-se sobre problemática semelhante à estudada por Martin et al. (2018), Lemerande et al. (2018) descreveu a necessidade da Marinha australiana — que possui meios com diversos sistemas heterogêneos e independentes embarcados em seus navios de superfície e submarinos — de coletar, tratar e disseminar os dados desses sistemas visando ao gerenciamento eficaz de seu ciclo de vida. Para o autor, a solução mais adequada seria convergir para uma abordagem de sistema de sistemas (SoS) alinhada aos requisitos da norma ISO 55001, conectando vários sistemas independentes, novos e legados, em um ambiente amplo, complexo e colaborativo, e buscando fornecer uma solução mais abrangente, adaptativa, ágil, conectada e autônoma. Ainda segundo Lemerande et al. (2018), essa abordagem melhoraria o gerenciamento de recursos navais, sistemas de suporte e serviços da força.

Zhang e Zhang (2014) identificaram as principais questões organizacionais envolvidas no gerenciamento de operações complexas de serviços de engenharia afetos ao ciclo de vida de produtos de elevada durabilidade, tais como: aeronaves, submarinos, trens de alta velocidade, plataformas de petróleo e plantas de geração de energia nuclear. Segundo os autores, as organizações priorizam objetivos de desempenho distintos conforme a fase do ciclo de vida: a inovação, nas fases iniciais; a eficiência, no meio do ciclo de vida; e a flexibilidade, no fim e nas fases posteriores ao ciclo de vida, sendo ainda apontadas as questões ambientais e sociais relacionadas com

a reciclagem e com o descarte desses produtos. Eles concluem que: as organizações que buscam maior capacidade de inovação equilibram os requisitos de operações relacionados com criatividade e confiabilidade simultaneamente; as organizações que buscam maior eficiência caracterizam-se por recursos de engenharia concentrados, processos de operações padronizados, governança centralizada, infraestrutura de suporte global e gerenciamento estratégico da cadeia de suprimentos; e as organizações que buscam maior flexibilidade geralmente caracterizam-se por possuírem recursos de engenharia dispersados com clientes ou centros de distribuição, processos operacionais adaptáveis para as necessidades do cliente, governança descentralizada, infraestrutura de suporte local e gerenciamento estratégico da cadeia de suprimentos com foco na capacidade de resposta.

Pal (2015) aborda a utilização da *Ship Work Breakdown Structure* (SWBS) — estruturas analíticas de projeto — nos projetos de construção naval e as dificuldades de se manter essa classificação nas fases iniciais do ciclo de vida, bem como durante as fases posteriores. Em seu trabalho, versa a respeito de uma nova abordagem implementada pela Siemens, que alinha o gerenciamento do ciclo de vida de produtos (PLM) aos componentes da tecnologia de 4ª geração de projeto (4GD), permitindo gerenciar dados dos equipamentos ou sistemas dos navios por meios de SWBS diferentes, porém vinculados, que podem ser rearranjados conforme a necessidade dos usuários durante o projeto do navio ou projetos semelhantes, bem como as demais fases de seu ciclo de vida.

Bhagwat e Chitrao (2020) estudaram o ambicioso programa de expansão da esquadra da Marinha indiana, que planeja possuir, até o ano de 2030, 200 novos meios navais. Tal programa visa elevar o país ao seleto grupo de nações capazes de projetar e construir navios aeródromos e submarinos com propulsão nuclear. Segundo os autores, apesar dos esforços da indústria indiana na atualidade, os equipamentos e sistemas que dotam esses meios são importados, em razão de suas especificidades e de apresentarem custo inferior ao dos produzidos nacionalmente; isso porque fabricá-los envolveria a necessidade de seu desenvolvimento no próprio país e, como a aquisição ocorreria em pequenas quantidades, haveria elevado custo envolvido. Cabe ressaltar que Bhagwat e Chitrao (2020) observaram que a Marinha indiana considera apenas o custo de aquisição dos equipamentos quando busca por fornecedores, deixando de computar os custos envolvidos

com sua operação e manutenção. Entretanto, quando o valor do equipamento é estimado levando-se em consideração sua manutenção e operação, verifica-se que o preço dos produtos nacionais torna-se mais competitivo, pois as parcelas que compõem o valor estimado referente à operação e à manutenção nacionais são inferiores às dos valores praticados internacionalmente, como fazem outras instituições que consideram o custo total do ciclo de vida, o que se mostra relevante quando se busca a precificação dos produtos durante as fases da GCV.

Cook e Mo (2019) exploraram os perigos envolvidos nas operações de navios com aeronaves embarcadas. Estudaram a dinâmica entre as partes interessadas, os procedimentos executados e a integração de equipamentos e sistemas que permite a operação segura desses meios durante todo o seu ciclo de vida. Os autores apresentaram um modelo de gestão no método dos três elementos “P” — produto, processo e pessoas — em um ambiente organizacional (3PE), com o objetivo de identificar, analisar e gerenciar continuamente os riscos envolvidos por meio da redução ou mitigação. O modelo foi validado pelos autores com o auxílio de um estudo de caso realizado em uma grande empresa contratada para projetar e construir uma nova classe de navio porta-helicópteros. Apesar de os próprios autores afirmarem que o método é deficitário em priorização dos riscos identificados, alinhado a outras metodologias já consolidadas ele pode ser facilmente empregado.

Ford et al. (2015) pesquisaram as fases mais onerosas do ciclo de vida de meios navais: operação, manutenção e regeneração, conforme a classificação de fases estabelecidas na norma da International Organization of Standardization/International Electrotechnical Commission (ISO/IEC) 15288:2008, adotada pela Marinha britânica. Por meio de entrevistas semiestruturadas realizadas com as principais partes interessadas em cada fase, os autores caracterizaram e destacaram como principais problemas comuns: riscos, obsolescência e disponibilidade de mão de obra para navios de superfície e submarinos. Segundo Ford et al. (2015), as principais medidas adotadas pela Marinha britânica foram: a gestão de suprimentos para submarinos nucleares, em virtude dos longos períodos submersos; seu genuíno Projeto Faraday, chefiado pelo Oficial Chefe de Engenharia Naval, responsável por capacitar a força na gestão de pessoal e nas informações relativas às necessidades da manutenção; os investimentos em seu centro de gestão de estoques como iniciativa para aprimorar o planejamento, o fornecimento e

a demanda por sobressalentes; e seu programa de extensão do ciclo de vida de suas fragatas, como esforço contra a obsolescência desses meios.

6. CONCLUSÃO

As boas práticas de gestão têm que ser a tônica de todos aqueles que administram recursos financeiros, materiais e pessoais. Os recursos sempre serão escassos, cabendo ao gestor se munir de todas as ferramentas que possibilitem a efetividade de seu emprego, permitindo-lhe extrair o máximo daquilo que é disponibilizado. Como apresentado, a GCV é aplicada no âmbito das Forças Armadas de diversos países, seja de economias desenvolvidas, seja daquelas em desenvolvimento. Com as Forças Armadas Brasileiras não poderia ser diferente. Há real necessidade do emprego de GCV nos PRODE, especialmente na MB, no tocante ao SCPN. O conjunto de ferramentas inerentes à GCV permite o aperfeiçoamento do ciclo de vida dos produtos nas fases de concepção, desenvolvimento, produção, operação, manutenção, apoio e desfazimento. Como observado nos resultados encontrados, há um esforço mundial das nações em empregar a GCV na otimização dos custos envolvidos ao longo do ciclo de vida de seus meios e sistemas de defesa. Em que pese a impossibilidade de se aplicar ao SCPN as boas práticas apontadas por Rivas (2019); o fato de a integração de sistemas, a técnica do custo total do ciclo de vida do Sistema de Gerenciamento Integrado da Plataforma, o gerenciamento de riscos e a metodologia SoS — apontadas, respectivamente, por Martin et al. (2018), Lemerande et al. (2018), Zhang e Zhang (2014), Bhagwat e Chitrao (2020) e Cook e Mo (2019) — já se encontrarem em utilização pela DGePM por meio da aplicação do Ministério da Defesa (2019b); e em virtude de a AgNSNQ já operar seguindo a SWBS, conforme apontado por Pal (2015), sugere-se que a MB coordene esforços para que se internalizem os requisitos das normas ISO 55000, ISO 55001, ISO 55002 e ISO/IEC 15288 — apontados por Lemerande (2018), Zhang e Zhang (2014) e Ford et al. (2015) — por meio de um grupo de trabalho formado por representantes da DGePM e da AgNSNQ. Tal iniciativa poderia mostrar-se como vetor do aprimoramento da estrutura organizacional de manutenção nas fases já contempladas pelas normas da ANSNQ, bem como no delineamento das fases de apoio e de desfazimento do SCPN.

REFERÊNCIAS

- AMARANTE, J.C.A. *A base industrial de defesa brasileira*. Rio de Janeiro: Ipea, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA ISONORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR ISO 9000: sistema de gestão da qualidade – fundamentos e vocabulários*. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
- BHAGWAT, A.; CHITRAO, P.C. Life cycle costing model for equipment for Indian naval shipbuilding programme. In: TUBA, M.; AKASHE, S.; JOSHI, A. (org.). *ICT systems and sustainability*. Singapore: Springer, 2020. p. 71-81.
- BRASIL. *Lei nº 13.976, de 7 de janeiro de 2020*. Dispõe sobre a competência do Comando da Marinha para promover o licenciamento e a fiscalização dos meios navais e suas plantas nucleares embarcadas para a propulsão e para o transporte de seu combustível nuclear. Brasil, 2020.
- BRASIL. *Lei nº 14.222, de 15 de outubro de 2021*. Cria a Autoridade Nacional de Segurança Nuclear (ANSN), altera as Leis nos. 4.118, de 27 de agosto de 1962, 6.189, de 16 de dezembro de 1974, 6.453, de 17 de outubro de 1977, 9.765, de 17 de dezembro de 1998, 8.691, de 28 de julho de 1993, e 10.308, de 20 de novembro de 2001; e revoga a Lei nº 13.976, de 7 de janeiro de 2020. Brasil, 2021.
- CANADIAN NUCLEAR SAFETY COMMISSION (CNSC). *REGDOC-2.6.3. Fitness for Service: Aging Management*. Ottawa: CNSC, 2014.
- CARAJILESCOV, P.; MOREIRA, J.M.L. Aspectos técnicos, econômicos e sociais do uso pacífico de energia nuclear. *Ciência e Cultura*, v. 60, n. 3, p. 33-36, set. 2008.
- CAUCHICK-MIGUEL, P.A. (org.). *Metodologia de pesquisa em engenharia De produção e gestão de operações*. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.
- COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (CNEN). *Glossário do Setor Nuclear e Radiológico Brasileiro*. Rio de Janeiro: Comissão Nacional de Energia Nuclear, 2021.
- COOK, M.; MO, J.P.T. Enterprise approach to modelling of risks in the project lifecycle of naval aviation asset ship integration. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON TRANSDISCIPLINARY ENGINEERING, 26., 2019. *Anais... Ispe INC.*, p. 419-428.
- CUNHA, M.S.; BOAS, F.V.; KAMINSKI, P.C. Considerações sobre confiabilidade no projeto de submarinos. *Produto & Produção*, v. 13 n. 1, p. 114-130, fev. 2012. <https://doi.org/10.22456/1983-8026.24059>
- ENGINEERING USA. *Product Lifecycle Management (PLM) para a indústria discreta*. ENGINEERING USA, 2020. Disponível em: https://www.engusa.com/pt_br/solution/product-lifecycle-management-plm-for-discrete-industry. Acesso em: 14 jan. 2020.
- EXÉRCITO BRASILEIRO. *Instruções gerais para a gestão do ciclo de vida dos sistemas e materiais de emprego militar*. Brasília: 2016. Disponível em: http://www.dct.eb.mil.br/images/conteudo/DSMEM/normas/IG--01-018_2016-Ciclo-de-Vida-do-SMEM.pdf. Acesso em: 10 set. 2019.
- FORÇA AÉREA BRASILEIRA (FAB). *Ciclo de vida de sistemas e materiais da aeronáutica*. Brasília: FAB, 2007. Disponível em: <https://dokumen.site/download/dca-400-06-0307-a5b39f03248689>. Acesso em: 13 set. 2020.
- FORD, G.; MCMAHON, C.; ROWLEY, C. An examination of significant issues in naval maintenance. *Procedia CIRP*, v. 38, p. 197-203, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.07.082>
- GOMES. *Gestão do ciclo de vida com foco em sistemas complexos*. In: SEMINÁRIO DE GESTÃO DA AQUISIÇÃO DE DEFESA, 1., 2018. *Anais...* Rio de Janeiro, 2018.
- KIBRIT, E.; AQUINO, A.R. Sustainability management system model of operating organizations of research reactors. *International Nuclear Safety Journal*, v. 4, n. 4, p. 23-37, 2015.
- LEMERANDE, T.; RD, H.; SA, H. A system of systems approach to developing a digital asset management environment for the naval enterprise. In: SYSTEMS ENGINEERING TEST AND EVALUATION CONFERENCE 2018: UNLOCKING THE FUTURE THROUGH SYSTEMS ENGINEERING, 2018. *Anais... Engineers Australia*, 2018. p. 325.
- MARTIN, B.; YARDLEY, R.J.; PARDUE, P.; TANNEHILL, B.; WESTERMAN, E.; DUKE, J. *An approach to lifecycle management of shipboard equipment*. Santa Mônica: Rand Corporation, 2018.
- MELO, A.T.S.; MAIORINO, J.R. Avaliação das atividades de resíduos de baixa no sistema primário e sistemas auxiliares de reatores PWR com propósito de desmantelamento nuclear. In: INTERNATIONAL NUCLEAR ATLANTIC CONFERENCE, 2013, Recife. *Anais... Recife*, 2013.
- MINISTÉRIO DA DEFESA. *Guia de empresas e produtos de defesa*. Brasil: Agência 2A Comunicação, 2019a.
- MINISTÉRIO DA DEFESA. *Manual de boas práticas para a gestão do ciclo de vida de sistemas de defesa*. Brasília: Ministério da Defesa, 2019b. Disponível em: https://www.gov.br/defesa/pt-br/assuntos/caslode/arquivos/gestao-do-ciclo-de-vida-de-sistemas-de-defesa/manual_md_40_m_01_13jan2020.pdf. Acesso em: 9 abr. 2020.
- MINISTÉRIO DA DEFESA. Portaria nº 916, de 26 de fevereiro de 2019. *Boletim do Exército*, n. 10, p. 17-18, 8 mar. 2019c.
- MORO, N. Life cycle of a military product. *Scientific Bulletin*, v. 23, n. 2, p. 103-111, 2018. <https://doi.org/10.2478/bsaft-2018-0013>
- PAL, M. Ship work breakdown structures through different ship lifecycle stages. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER APPLICATIONS IN SHIPBUILDING, 2015. *Anais...* 2015.
- RIVAS, E.C. Los submarinos nucleares de ataque (SSN) de Estados Unidos. *Revista General de Marina*, v. 276, n. 5, p. 833-849, 2019.
- SCHINDLER, C.M. *Product lifecycle management: a collaborative tool for defense acquisitions*. 147f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia de Sistemas) – Naval Postgraduate School, Monterey, Califórnia, 2010.
- SOARES, F.A.S.; MADEIRA, J.G.F.; CLARA, M.L.P.C. Análise energética de uma usina nuclear com reator BWR e estudo comparativo com a Usina Nuclear Angra 2 do modelo PWR. *Revista Brasileira de Energia*, v. 25, n. 1, p. 26-42, 2019. <https://doi.org/10.47168/rbe.v25i1.422>
- ZHANG, Y.; ZHANG, L. Organizing complex engineering operations throughout the lifecycle: a service-centred view and case studies. *Journal of Service Management*, v. 25, n. 5, p. 580-602, 2014. <https://doi.org/10.1108/JOSM-07-2013-0182>



Figura 7

SEÇÃO DO S-BR PASSANDO PELO TÚNEL DE ACESSO AO ESTALEIRO DE CONSTRUÇÃO

ANÁLISE DA DETECÇÃO DE DRONES POR RADAR MARÍTIMO DE NAVEGAÇÃO EMPREGANDO O SOFTWARE *ADVANCED REFRACTIVE EFFECTS PREDICTION SYSTEM (AREPS)*

Analysis of drone detection by marine navigation radar using AREPS software

Anderson Silva Soares¹, Willian Sathler Lino Soares², Guilherme Ribeiro Colen³, André Pinheiro da Silveira⁴, Paulo Victor Gonçalves Sampaio⁵, Vanessa Przybylski Ribeiro Magri⁶

Resumo: Os *drones* estão conquistando um espaço cada vez maior na sociedade; sua tecnologia vem evoluindo e permitindo que eles se tornem menores e mais eficientes. Entretanto, sua crescente aplicação está-se tornando um problema pelo fato de que essas aeronaves podem ser empregadas para finalidades ilícitas. Logo, é imprescindível saber como os sensores presentes nos meios navais se comportam na tarefa de detectar tais objetos, que possuem valores reduzidos de seção reta radar. O presente estudo visa analisar o desempenho do radar *VisionMaster FT 250* na detecção de *drones*, especialmente do modelo *DJI Phantom 4*, utilizando o *software Advanced Refractive Effects Prediction System (AREPS)*. A análise realizada identificou o alcance máximo de detecção e as melhores configurações para esse caso. Com isso um fluxograma de operação do radar foi desenvolvido com o objetivo de orientar seus operadores a realizar o monitoramento dessa ameaça. Conclui-se que o radar pode ser empregado para a detecção de *drones* com certas restrições.

Palavras-chave: Detecção. AREPS. Drone. Sessão reta radar. Configuração radar.

Abstract: Drones are conquering an increasing space in society, their technology has been evolving and allowing them to become smaller and more efficient. However, their increasing application is becoming a problem due to the fact that these aircrafts can be used for illegal purposes. Therefore, it is essential to know how the sensors in naval resources behave in the task of detecting such objects, which have reduced values of radar cross section. The present study analyzed the performance of the *VisionMaster FT 250* radar in detecting drones, especially the *DJI Phantom 4* model, using the *Advanced Refractive Effects Prediction System (AREPS)* software. The analysis performed identified the maximum detection range and the best settings for this case. Thus, a radar operation flowchart was developed to guide its operators to monitor this threat. It is concluded that the radar can be used to detect drones with certain restrictions.

Keywords: Detection. AREPS. Drone. Radar cross section. Radar setup.

1. Capitão de corveta. Mestre em Engenharia Elétrica. Encarregado da Divisão de Reconhecimento Eletrônico, Centro de Guerra Acústica e Eletrônica da Marinha, Niterói, RJ - Brasil. E-mail: anderson.soares@marinha.mil.br

2. Capitão-Tenente. Mestrando em Engenharia de Telecomunicações pela Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ - Brasil. E-mail: willian.sathler@marinha.mil.br

3. Doutor em Engenharia Elétrica. Professor do Centro de Instrução Almirante Wandenkolk, Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: guilherme.colen@marinha.mil.br

4. Suboficial. Graduando em Matemática. Supervisor da Divisão de Análise de Campo de Guerra Eletrônica do Centro de Guerra Acústica e Eletrônica da Marinha, Niterói, RJ - Brasil. E-mail: pinheiro.da@marinha.mil.br

5. Capitão-Tenente. Graduado em Ciências Navais. Encarregado da Seção de Inteligência Eletrônica, Centro de Guerra Acústica e Eletrônica da Marinha, Niterói, RJ - Brasil. E-mail: paulo.sampaio@marinha.mil.br

6. Doutora em Eletromagnetismo. Professora do Departamento de Engenharia de Telecomunicações da Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ - Brasil. E-mail: vanessamagri@id.uff.br

1. INTRODUÇÃO

Drone é um termo popularmente divulgado pela mídia, porém, de acordo com Brasil (2020), o correto é aeronave não tripulada (UA, do inglês *unmanned aircraft*). As UA podem ser classificadas em aeronaves remotamente pilotadas (RPA, do inglês *remotely piloted aircraft*) e em aeronaves autônomas. As primeiras são pilotadas remotamente por um operador, e as últimas possuem tecnologia para que seu voo seja programado previamente e não necessite de intervenção humana durante o percurso. Adicionalmente, as aeronaves que são empregadas em finalidades recreativas são denominadas de aeromodelos.

As RPA multirotores, como o *DJI Phantom 4* ilustrado na Figura 1, são de fácil aquisição e estão em constante evolução, com melhores sensores e baterias que as tornam mais eficientes e menores a cada ano (MICHEL, 2019). Esse tipo de RPA é amplamente empregado em diversas atividades, como: fotografia aérea, inspeção de infraestrutura, monitoramento agrícola, serviços de emergência e entrega de pequenas mercadorias, graças a sua manobrabilidade e alcance (POITEVIN, 2017). Todavia, as RPA multirotores também podem ser empregadas em atividades ilícitas como espionagem, interdição de aeroportos e até atentados terroristas (MICHEL, 2019).

Dessa forma, existe a necessidade de que estudos sejam realizados para descobrir o nível de proteção que os atuais sistemas de detecção empregados nos navios possuem diante dessa ameaça. Além disso, a necessidade deste estudo justificava-se pelo fato de que essas RPA são caracterizadas por um valor reduzido de sessão reta radar (RCS, do inglês *radar cross*

section) por seu reduzido tamanho e pelos materiais com que são construídas (SEMKIM et al., 2020).

A RCS representa a força reflexiva de um alvo, ou em outras palavras a visibilidade que um objeto possui para o radar. Bruder (2013) afirma que o valor de RCS em aplicações como análises de detecção estatística é descrito por seu valor médio. Outro ponto importante relacionado à RCS é que, de acordo com Sholnik (1981), seu valor tende a aumentar quando se utilizam frequências maiores.

Nesse sentido, Drozdowicz (2016) apresentou um sistema experimental baseado em radares de onda contínua modulado em frequência (FMCW), que opera em 35 GHz e pode ser utilizado para acompanhamento e reconhecimento de RPA multirotores. Já Semkim et al. (2020) analisaram a RCS de diversos RPA para a faixa de frequências de 26 até 40 GHz. Enfim, Null et al. (2017) apresentaram um sistema baseado em radares de múltiplas entradas e múltiplas saídas (MIMO) e de multiplexação por divisão de frequência ortogonal (OFDM) para vigilância de grandes áreas e detecção de *drones*.

Tendo em vista esse panorama, o presente estudo visa analisar o desempenho da detecção do radar de navegação *VisionMaster FT 250* (FT 250), da empresa *Northrop Grumman Sperry Marine B.V.*, na tarefa de detectar um RPA quadricóptero modelo *DJI Phantom 4*. Permite-se assim mensurar se esse radar, já existente em meios navais com a finalidade de navegação, tem o potencial de ser utilizado para a detecção desse tipo de aeronave. Dessa forma, contribui-se para o planejamento de futuras missões que incluam essa nova ameaça. Adicionalmente, o radar selecionado é um equipamento consolidado no mercado e que possui seus dados técnicos disponibilizados em fonte aberta na internet. Por fim, a escolha da RPA dá-se pelo fato de se tratar de um modelo popular, de fácil aquisição, que possui elevada manobrabilidade e a capacidade de transportar uma câmera de alta resolução, podendo ser empregada para atividades de espionagem.

O estudo identificou as melhores configurações de operação do radar para a tarefa proposta, os valores de alcance e a altitude máxima de detecção. De posse dessas informações, criou-se um fluxograma de operação do radar com o objetivo de orientar os operadores na tarefa de monitorar a ameaça em foco, extraíndo a máxima eficiência do radar. Por fim, este trabalho possibilita mensurar a operacionalidade do radar escolhido para a tarefa proposta.



Fonte: DJI Phantom 4 (2021).

Figura 1. Aeronave remotamente pilotada quadricóptero *DJI Phantom 4*.

2. OBJETIVOS

O objetivo geral desta pesquisa é analisar o desempenho do radar FT 250 na tarefa de detectar um RPA multirotor. Os objetivos específicos são obter as melhores configurações de operação de acordo com a escala de alcance selecionada, obter os valores de alcance de detecção máximo para diferentes altitudes, obter a altitude máxima de detecção para cada largura de pulso (τ) e gerar aos operadores desse radar instruções para maximizar a detecção e o monitoramento de RPA iguais ou similares ao *DJI Phantom 4*, por meio de um fluxograma.

3. METODOLOGIA

Com o objetivo de realizar simulações com a RCS de uma RPA multirotor, foi empregado o resultado obtido por Sedivy e Nemeč (2021), que ao realizar medidas em câmara anecoica encontraram o valor médio de RCS monostático de $0,02 \text{ m}^2$ para a RPA *DJI Phantom 4*, para a frequência de 9 GHz. A RCS monostática é obtida utilizando o transmissor (Tx) e o receptor (Rx) espacialmente colocalizados, ou seja, quando a mesma antena é usada para transmissão e recepção (BRUDER, 2013). Esse valor de RCS foi inserido no *software* AREPS para gerar a configuração do alvo. Esse programa é empregado em pesquisas científicas e em análises operacionais militares para a modelagem de propagação eletromagnética e a predição do alcance de detecção de radares em função das condições ambientais (PATTERSON, 2007). Para gerar os resultados, o AREPS também foi configurado com os dados do radar FT 250 e os dados atmosféricos da região costeira próxima à cidade do Rio de Janeiro (RJ).

Os parâmetros do radar FT 250 — frequência, potência de pico, τ , figura de ruído do receptor, máximo alcance instrumentado, frequência de repetição de pulso (f_p), ganho da antena, taxa de rotação da antena (ω_m), largura de feixe horizontal e largura de feixe vertical — foram obtidos de manual técnico (NORTHROP GRUMMAN SPERRY MARINE, 2006) e usados para gerar as configurações do radar no *software*, como apresentado na Figura 2.

O radar FT 250 utiliza uma antena formada por *array de slots*, motivo por que, para representar o padrão de irradiação dessa antena, foi escolhido o padrão *sinc(x)* não normalizado.

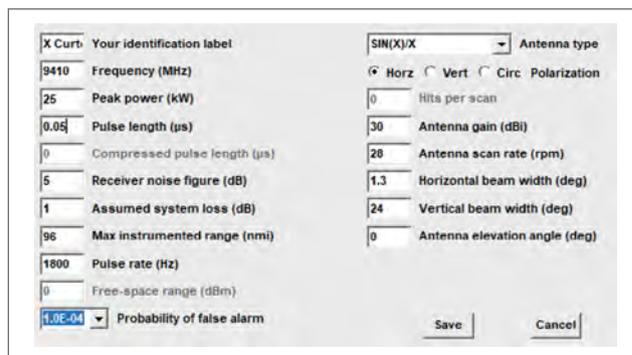


Figura 2. Tela de inserção dos parâmetros do radar no *software* AREPS, para a configuração 2.

Além disso, foi usado como perdas assumidas pelo sistema o valor de 1 dB, pois se considerou que o sistema possui poucas perdas. A probabilidade de falso alarme, que é a probabilidade de na ausência de sinal de eco um pico de ruído ser detectado erroneamente como um sinal útil, foi configurada na maior constante possível pelo fato de RPA similares à analisada possuírem pequeno valor de RCS, o que tende a aumentar o valor da probabilidade de falso alarme (POITEVIN, 2017). Essas configurações também foram inseridas no *software* AREPS.

O radar FT 250 pode trabalhar com as frequências de 3.050 MHz (banda S) e 9.410 MHz (banda X). A banda X foi a escolhida para as simulações, pois é a que oferece melhor identificação e discriminação de alvos. Adicionalmente, de acordo com o manual técnico, o radar opera com diferentes valores de τ , f_p , ω_m e escala de alcance. O operador pode realizar a seleção dos valores desses parâmetros no *display* de operação do radar (NORTHROP GRUMMAN SPERRY MARINE, 2006).

Os valores de τ são: pulso curto ($0,05 \mu\text{s}$), pulso médio ($0,25 \mu\text{s}$) e pulso longo ($0,75 \mu\text{s}$), que são selecionados no *display* de operação de maneira manual ou automática. Ademais, para pulso curto, a f_p pode ser configurada em 1.800 Hz ou 3.000 Hz; já para pulso médio, a f_p admite apenas o valor de 1.800 Hz; e, para pulso longo, o valor de f_p é 785 Hz. Em todas as larguras de pulso, a ω_m pode ser configurada em 28 ou 45 RPM (NORTHROP GRUMMAN SPERRY MARINE, 2006). As oito configurações selecionadas para a banda X são apresentadas na Tabela 1.

O radar permite ao operador a seleção dos valores da escala de alcance apresentados na Tabela 2. Ademais, para

Tabela 1. Configurações da banda X utilizadas na simulação.

N°	τ (μ s)	f_p (Hz)	ω_m (RPM)
1	0,05	1,800	45
2	0,05	1,800	28
3	0,05	3,000	45
4	0,05	3,000	28
5	0,25	1,800	28
6	0,25	1,800	45
7	0,75	785	28
8	0,75	785	45

Fonte: Northrop Grumman Sperry Marine (2006).

Tabela 2. Escalas de alcance disponíveis ao operador.

Escala de alcance em milhas náuticas (mn)	Escala de alcance em metros (m)	τ (μ s)	Configurações
0,125	231,5	0,05	1 a 4
0,25	463	0,05	1 a 4
0,5	926	0,05/0,25	1 a 6
0,75	1.389	0,05/0,25	1 a 6
1,5	2.778	0,05/0,25	1 a 6
3	5.556	0,05/0,25/0,75	1 a 8
6	11.112	0,25/0,75	5 a 8
12	22.224	0,25/0,75	5 a 8
24	44.448	0,25/0,75	5 a 8
48	88.896	0,75	7 e 8
96	177.792	0,75	7 e 8

Fonte: Northrop Grumman Sperry Marine (2006).

cada valor dessa escala apenas algumas configurações existentes na Tabela 1 são disponíveis, pois, ao se alterar a escala de alcance, o radar limita os valores de τ .

Para cada configuração apresentada na Tabela 1, o *software* AREPS gerou o alcance de detecção em diferentes altitudes; o alcance máximo de detecção e a altitude máxima de detecção foram identificados em cada caso. O radar não fornece ao operador a informação de altitude, porém saber em

qual altitude uma UA pode se aproximar sem ser detectada é importante para estimar o nível de proteção que o radar fornece. O *software* foi configurado para gerar resultados com o valor máximo de exatidão disponível, de 90%. De posse desses resultados, um fluxograma de operação foi desenvolvido para guiar os operadores na tarefa de maximizar a eficiência desse radar para a detecção e o monitoramento de objetos com RCS igual ou similar ao da ameaça em foco.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

Utilizando os dados das simulações obtidas pelo *software* AREPS, as Figuras 3, 4 e 5 foram criadas. Elas apresentam, respectivamente, os resultados das configurações presentes na Tabela 1, que utilizam pulso curto, médio e longo.

De acordo com a Figura 3 é possível observar que, para o pulso curto de duração 0,05 μ s, a detecção é realizada até o alcance máximo de 5.186 m na altitude de 25 m, e que a altitude máxima de detecção é de 807 m, com alcance máximo de 3.704 m. Além disso, a configuração que obteve melhor desempenho foi a 4, com f_p de 3.000 Hz e ω_m de 28 RPM.

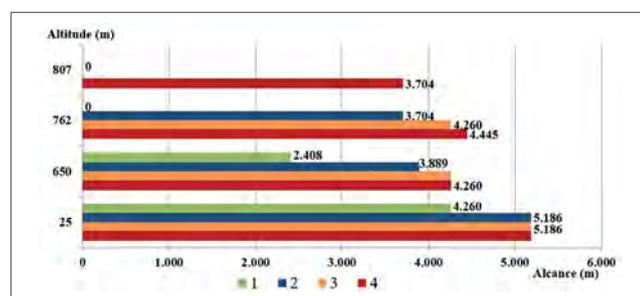


Figura 3. Valores do alcance da detecção radar para diferentes valores de altitude, empregando pulso curto.

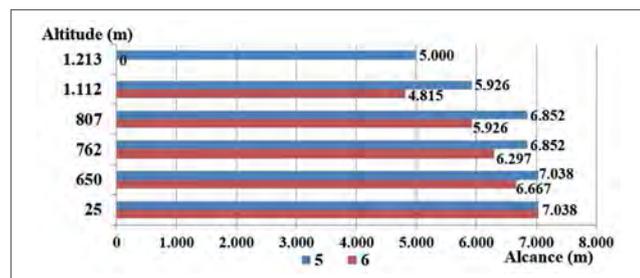


Figura 4. Valores do alcance da detecção radar para diferentes valores de altitude, empregando pulso médio.

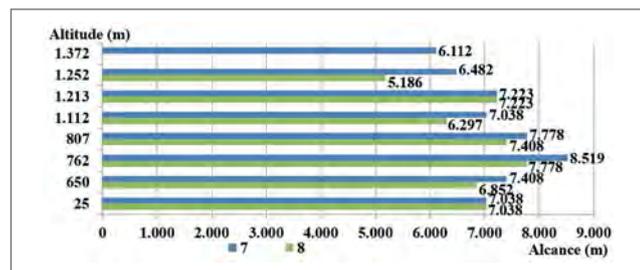


Figura 5. Valores do alcance da detecção radar para diferentes valores de altitude, empregando pulso longo.

Ao se analisar a Figura 4, nota-se que com o pulso médio de duração de 0,25 μ s é possível detectar o RPA ao alcance máximo de 7.038 m em 25 m e 650 m de altitude. A altitude máxima de detecção é de 1.213 m, com alcance de detecção máximo de 5.000 m. De forma complementar, a configuração que obteve os melhores resultados foi a 5, com f_p de 1.800 Hz e ω_m de 28 RPM.

Podemos perceber, ao observar a Figura 5, que o emprego do pulso longo de duração 0,75 μ s permite maiores alcance e altitude de detecção se comparado às demais τ . Adicionalmente, a configuração 7 obteve melhores resultados, com alcance máximo de detecção de 8.519 m para a altitude de 762 m e altitude máxima de detecção de 1.372 m. A RPA *DJI Phantom 4* possui teto máximo de serviço acima do nível do mar, de 6.000 m (DJI PHANTOM 4, 2021); logo, caso se aproxime acima de 1.372 m, não será detectada.

Na presença da ameaça em lide, o operador do radar precisa estar atento à seleção da escala de alcance, τ , ω_m e de f_p . Isso porque τ está relacionada à resolução em distância. A resolução em distância representa a partir de que ponto se começa a confundir dois ou mais alvos como sendo um só, devido a pouca separação em distância entre os alvos em relação ao radar (SHOLNIK, 1981). Menores valores de τ fornecem melhor resolução em distância e, pelo pequeno valor da RCS do objeto em análise, é desejável que o radar opere com a maior capacidade de resolução em distância para melhor acompanhamento do alvo (POITEVIN, 2017).

A Figura 6 apresenta um fluxograma sugerido de operação do radar para o monitoramento da ameaça em análise. As escalas de alcance usadas são apresentadas na Tabela 2 e as configurações, na Tabela 1. Assim, caso o radar ainda não tenha detectado a RPA, é recomendado que opere com sua máxima capacidade de detecção — que, segundo a Figura 5, é obtida pela configuração 7 — e utilize a escala de alcance de 6 mn (11.112 m), tendo em vista que a capacidade máxima de detecção do radar para esse objeto é de 8.519 m, assim não necessitando de escala de alcance superior a essa.

Uma vez que a RPA tenha sido detectada, é importante saber qual a distância a que ela se encontra do radar, para que se possam adotar a melhor configuração e escala de alcance. Se ela estiver a mais de 3 mn (5.556 m), é desejável utilizar a configuração 7 e a escala de 6 mn, pois nessa situação é melhor utilizar a máxima capacidade de detecção. Entretanto, quando essa aeronave estiver entre 3 mn e 1,5 mn, é recomendado alterar a escala de alcance para 3 mn e a configuração para 5,

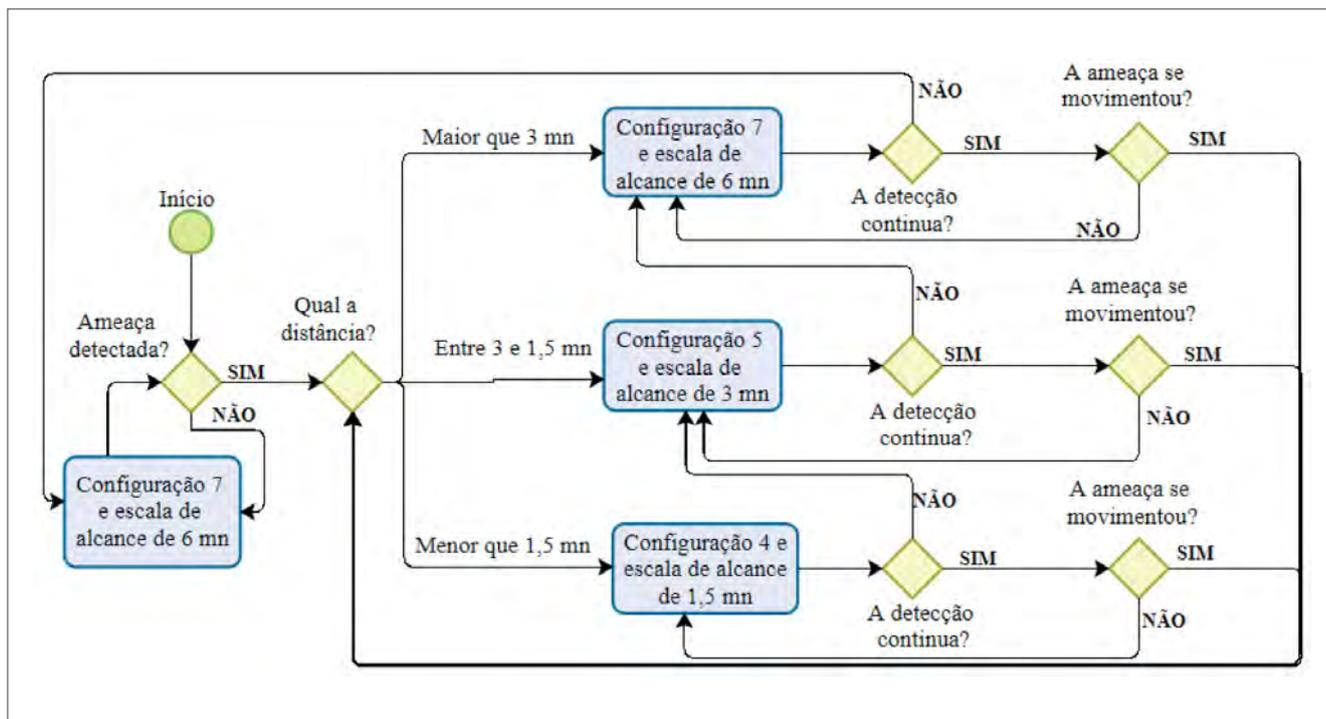


Figura 6. Fluxograma sugerido de operação do radar na presença de uma aeronave remotamente pilotada DJI Phantom 4.

pois nesse caso utilizar pulso médio proporcionará o alcance de detecção necessário e melhorará a resolução em distância. Além disso, a redução da escala para 3 mn proporciona melhor visualização desse alvo no *display* do radar.

Por fim, no momento em que essa ameaça estiver a menos de 1,5 mn (2.778 m) do radar, é indicado que se passe a usar a escala de 1,5 mn e a configuração 4, já que nesse caso o uso de pulso curto gerará alcance de detecção suficiente e proporcionará melhor resolução em distância. Além disso, o uso da escala de 1,5 mn oferecerá melhor visualização desse alvo pelo operador. Em todos esses cenários, o operador deve ficar atento para as situações em que a detecção parar ou a ameaça se movimentar. Nesses casos, será preciso modificar a configuração do radar de acordo com o fluxograma apresentado na Figura 6.

CONCLUSÃO

Conforme com os resultados apresentados, é possível notar que o radar em análise realiza a detecção da RPA DJI

Phantom 4, pois a configuração 7 fornece alcance de detecção de até 8.519 m para a altitude de 762 m. Contudo, essa RPA possui a capacidade de se aproximar a altitudes superiores a 1.372 m e não ser percebida pelo radar.

Outro ponto importante é que o emprego de ω_m de 28 RPM se mostrou mais eficiente para todos os valores de τ analisados. Adicionalmente, para pulso curto, o uso de f_p de 3.000 Hz apresentou melhores resultados. Finalmente, o operador do radar deve ter atenção na seleção das configurações e escalas de alcance, de acordo com o fluxograma sugerido, para otimizar a detecção e o monitoramento.

Este trabalho apresentou resultados baseados em simulações. Como sugestão de trabalhos futuros, propõem-se testes em campo que empreguem o radar FT 250 e a RPA DJI Phantom 4 ou similar para fins de comparação com os resultados simulados obtidos.

A abordagem utilizada no presente estudo pode ser empregada para outros radares na tarefa de detectar outras UA, permitindo assim realizar uma análise operacional de diferentes radares em relação à tarefa de detectar esse tipo de aeronave.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Defesa. *ICA 100-40, Aeronaves não tripuladas e o acesso ao espaço aéreo brasileiro*. Brasil: Ministério da Defesa, 2020.

BRUDER, J.B. IEEE radar standards and the radar systems panel. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, v. 28, p. 19-22, 2013. <https://doi.org/10.1109/MAES.2013.6559377>

DJI PHANTOM 4. Disponível em: https://www.topdrone.com.br/drones/dji/Phantom%204?PS=8&map=c,b,specificationFilter_93. Acesso em: 14 out. 2021.

DROZDOWICZ, J. et al. 35 GHz FMCW drone detection system. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE RADAR, Cracóvia, 2016. *Anais [...]*. 2016.

MICHEL, A.H. *Counter-Drone Systems*. Nova York: Centro de Estudos de Drones, Universidade Bard, 2019.

NORTHROP GRUMMAN SPERRY MARINE. *VisionMaster FT: Ships Manual*. Surrey: Northrop Grumman Sperry Marine, 2006.

NULL, B. et al. MIMO OFDM Radar System for Drone Detection. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE RADAR, 18., 2017, Praga. *Anais [...]*. 2017.

PATTERSON, W.L. *Advanced Refractive Effects Prediction System (AREPS)*. San Diego: Centro de Guerra Espacial e Naval, 2007.

POITEVIN, P. et al. Challenges in detecting UAS with radar. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL IEEE DE CARNAHAN, 2017. *Anais [...]*. 2017.

SEDIVY, P.; NEMEC, O. *Drone RCS Statistical Behaviour*. Pardubice: Organização do Tratado do Atlântico Norte, Organização de Ciência e Tecnologia, 2021.

SEMKIM, V. et al. Analyzing radar cross section signatures of diverse drone models at mmWave frequencies. *IEEE Access*, v. 8, p. 48958-48969, 2020. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2979339>

SHOLNIK, M.L. *Introduction to radar systems*. 3. ed. Cingapura: McGraw-Hill, 1981.



Figura 8

SUBMARINO “RIACHUELO” POSICIONADO NO “SHIPLIFT”

PROPAGAÇÃO DE FREQUÊNCIA ULTRA-ALTA SOBRE A SUPERFÍCIE DO MAR APLICADA À VIGILÂNCIA ACÚSTICA DA COSTA BRASILEIRA

Ultra-high frequency propagation over sea surface
applied to acoustic surveillance of the Brazilian coast

Stilson Veras Cardoso¹, Leonardo Pestana de Souza², Vitor Luiz Gomes Mota³,
Leni Joaquim de Matos⁴, Vanessa Przybylski Ribeiro Magri⁵

Resumo: Esta pesquisa visa ao estudo e à análise das transmissões de frequência ultra-alta (UHF) que podem ser utilizadas em um projeto de vigilância acústica da costa brasileira pela Marinha do Brasil. Inclui cálculos e simulações das perdas de percurso por meio do modelo da Terra esférica, considerando a propagação sobre a superfície do mar entre boias de vigilância acústica e navios que irão coletar os dados, a ponto de atingir distâncias superiores a 20 milhas náuticas.

Palavras-chave: Vigilância, Acústica, Transmissão, UHF, Boia, Navio.

Abstract: This research aimed to study and analyze UHF transmissions that can be used in an Acoustic Surveillance Project of the Brazilian Coast for the Brazilian Navy. It also includes calculations and simulations of path losses through the spherical Earth model, considering the propagation on the sea surface between acoustic surveillance buoys and ships that will collect the data, reaching distances greater than 20 nautical miles.

Keywords: Surveillance, Acoustics, Transmission, UHF, Buoy, Ship.

1. Servidor Civil Nível Superior. Mestre em Engenharia Oceânica e Tecnologista Pleno do Grupo de Sistemas Acústicos Submarinos, Instituto de Pesquisas da Marinha, Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: stilson@marinha.mil.br

2. Capitão de Corveta. Mestrando em Engenharia de Telecomunicações, Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ - Brasil. E-mail: leonardo.pestana@marinha.mil.br

3. Doutorado em Engenharia de Telecomunicações, Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ - Brasil. E-mail: vitorluiz@id.uff.br

4. Doutora em Engenharia Elétrica. Professora do Departamento de Engenharia de Telecomunicações, Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ - Brasil. E-mail: lenijm@id.uff.br

5. Doutora em Engenharia Elétrica. Professora do Departamento de Engenharia de Telecomunicações da Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ - Brasil. E-mail: vanessamagri@id.uff.br

1. INTRODUÇÃO

O Brasil possui uma extensa área marítima denominada Amazônia Azul, que é a principal via do comércio exterior do país e rica em recursos naturais e minerais. Nesse vasto espaço oceânico, devem existir garantias de segurança e condições para exercer a autoridade do Estado. Isso requer capacidade de vigilância, com o objetivo de identificar eventuais ameaças e transmitir os dados coletados para centros de processamento e análise tática, permitindo atuar perante situações adversas. Contribuindo para esse fim, é conveniente que a Marinha do Brasil instale um projeto piloto de vigilância acústica da costa brasileira, o qual poderá servir de base na composição de uma rede de sensoriamento acústico submarino.

Um modelo genérico de projeto de vigilância acústica da costa brasileira é mostrado na Figura 1. O sistema é composto de boias equipadas com hidrofones para recepção de sinais acústicos de embarcações de superfície e submersas que estejam navegando em sua região de abrangência. Os dados acústicos brutos são pré-processados, e são mantidos apenas sinais coerentes com ruídos de embarcações. Instalam-se um

Automatic Identification System (AIS) para transmissão da identificação da boia e recepção de dados eventualmente transmitidos por embarcações, um *Global Navigation Satellite System* (GNSS) para fornecer sua localização, placas solares e bateria para suprir energia, unidade central de processamento (CPU) e memória para processamento e armazenamento das informações transmitidas e recebidas e antena de frequência ultra-alta (UHF) para transmissão e recepção entre as boias e entre estas e navios ou outros meios que recebam as informações.

Para que esse sistema tenha ampla cobertura, ele deve ser modular, permitindo que se adicionem boias onde se deseja ampliar o alcance. A fim de que os navios que irão coletar os dados possam realizar essa tarefa sem a necessidade de se deslocarem demasiadamente, poupando tempo e recursos, o sistema será concebido de forma que as boias tenham cobertura de, pelo menos, 20 milhas náuticas (37,04 km). Dessa forma, elas deverão ser instaladas com espaçamento entre si de distâncias compatíveis com essa cobertura e ter capacidade para se comunicarem nesse mesmo alcance com os navios que irão coletar os dados.

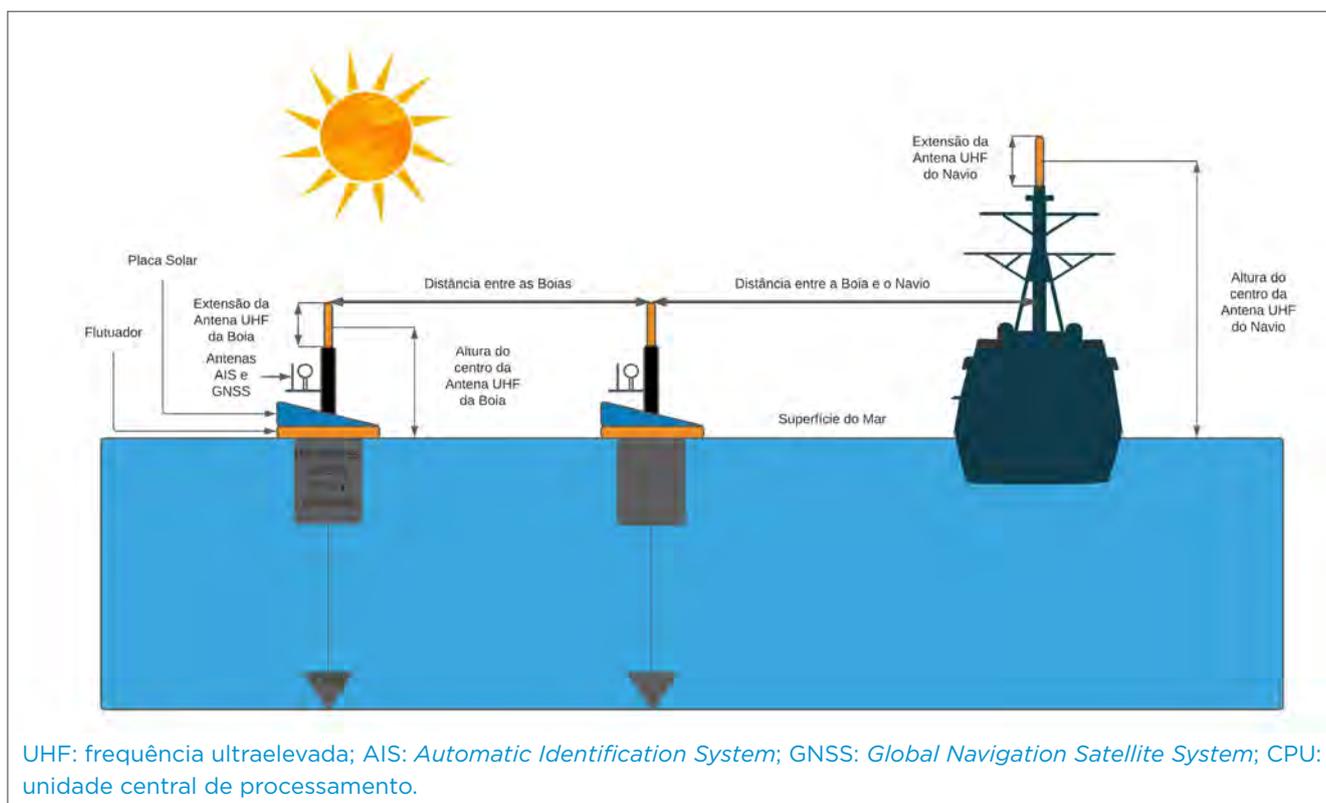


Figura 1. Esquema de projeto de vigilância acústica da costa brasileira.

Com o propósito de viabilizar as transmissões requeridas no projeto, optou-se por utilizar um enlace de radiofrequência, tendo em vista que os serviços de comunicação celular não estão disponíveis em regiões no mar afastadas da costa, e as comunicações por satélite, apesar de proporcionarem alta mobilidade (FREITAS, 2018), apresentam custo elevado e tornam os usuários dependentes da confiabilidade e da garantia de sigilo das empresas que prestam esses serviços. O enlace de radiofrequência, por outro lado, não demanda custo de mensalidade para transmissão e constitui uma rede militar própria para essa finalidade.

Posto isso, a proposta deste artigo é contribuir com uma análise das transmissões UHF, que podem ser utilizadas em um projeto de vigilância acústica da costa brasileira, por meio de simulações das perdas de percurso e empregando o modelo da Terra esférica (DAL BELLO, 2014; ITU-R, 2019), considerando a boia e o navio parados no momento em que se estabelece a comunicação do enlace UHF de vigilância.

Ressalta-se que, caso se opte pela coleta de dados em mobilidade nos navios, deve-se substituir o modelo de Terra esférica, aplicado para esse enlace fixo, por um de predição apropriado para o canal rádio móvel marítimo, aplicável para a faixa de frequências desejada. Cabe observar também que, neste artigo, o cálculo de cobertura de sinal foi efetuado considerando-se o estado de mar calmo, de forma que o balanço das boias é desprezado.

2. OBJETIVOS

A finalidade deste trabalho é avaliar a transmissão UHF que pode ser utilizada em um projeto de vigilância acústica da costa brasileira, calculando-se as perdas de percurso para diferentes frequências, distâncias e alturas das antenas, com a finalidade de viabilizar a cobertura de, pelo menos, 20 milhas náuticas.

3. METODOLOGIA

Para as simulações, foi utilizado o método de cálculo para Terra esférica formulado a seguir, para transmissão UHF sobre a superfície do mar, sendo os resultados apresentados em gráficos obtidos no *software* MATLAB®.

Para distâncias que satisfazem à Equação 1, a propagação deve ser calculada sobre a Terra esférica se:

$$d \geq 15^3 \sqrt{\lambda_m} \quad (1)$$

Em que:

d = a distância, em km, entre as antenas de transmissão (Tx) e recepção (Rx);

λ_m = o comprimento de onda, em m, dado pela razão da velocidade de propagação do sinal (3×10^8 m/s) e sua frequência em Hz.

No caso de Equação 1 ser satisfeita, devem-se calcular as distâncias ao horizonte rádio (Equações 2 e 3):

$$d_{Tx-HR} = \sqrt{2a_e h_1} \quad (2),$$

$$d_{Rx-HR} = \sqrt{2a_e h_2} \quad (3)$$

Em que:

d_{Tx-HR} = a distância (retilínea), em km, da antenna da estação de transmissão ao horizonte rádio;

d_{Rx-HR} = a distância (retilínea), em km, da antenna da estação de recepção ao horizonte rádio;

$h_{1(ou\ 2)}$ = a altura de transmissão (ou recepção), em km;

a_e = o raio equivalente da Terra, em km, dado por $a_e = Ka = 8493,33$ km, em que a é o raio da Terra em km ($a = 6370$ km) e K é o fator próprio para a região do enlace, igual a $4/3$ para a atmosfera padrão.

Como referência da altura da antenna da boia, foi utilizado valor próximo àquele do Projeto da Raia Virtual de Tiro do Centro de Apoio a Sistemas Operativos (CASOP) (SOUZA, 2019). Tal sistema opera entre 400 e 500 MHz, portanto a frequência central desse intervalo também foi utilizada como referência. Para as diferentes alturas da antenna do navio que irá receber os dados das boias, foram propostos valores que abrangem a maioria dos mastros nos navios utilizados pela Marinha do Brasil. Assim, calcularam-se as perdas de percurso na transmissão sobre a superfície do mar para distâncias de 15 até 50 km, nas frequências de 300 MHz, 450 MHz, 1 GHz, 2 GHz e 3 GHz, visando cobrir toda faixa de frequência UHF, para a altura do centro da antenna UHF da boia de 3 m e a altura do centro da antenna UHF do navio em 3, 10, 20, 30, 40 e 50

m da superfície do mar, conforme Figura 1. Com tais dados, empregando-se a Equação 1, verificou-se que para as frequências limite inferior e superior se obtêm, respectivamente:

Para $f = 300\text{MHz}$, então $d > 15\text{km}$, e para $f = 3\text{GHz}$, então $d > 6,96\text{km}$.

Com base nas Equações 2 e 3, as distâncias ao horizonte rádio são iguais a 7,14 km para 3 m de altura da antena e 29,14 km para 50 m.

As seguintes condições podem ocorrer (Figura 2).

Para todas as distâncias de 15 até 50 km, em que o transmissor Tx é uma boia, conclui-se que o receptor Rx seja ele outra boia ou o navio, encontra-se na zona de difração da Terra esférica. Então, deve-se calcular (Equações 4 e 5):

$$X = 2,188 \cdot \beta \cdot f^{1/3} \cdot a_e^{-2/3} \cdot d \quad (4)$$

$$Y_{1(ou2)} = 9,575 \cdot 10^{-3} \cdot \beta \cdot f^{2/3} \cdot a_e^{-1/3} \cdot h_{1(ou2)} \quad (5)$$

Em que:

β = um parâmetro que considera o tipo de solo e a polarização.

Para a polarização horizontal, qualquer que seja a frequência superior a 20 MHz sobre a terra, polarização vertical e frequência acima de 300 MHz sobre o mar, utiliza-se $\beta = 1$; f é a frequência portadora de transmissão, em MHz; e $h_{1(ou2)}$ é a altura de transmissão (ou recepção), em m.

A perda no espaço livre é dada por Equação 6:

$$FSL(dB) = -[32,44 + 20 \log(d) + 20 \log(f_{MHz})] \quad (6)$$

E a perda adicional de sinal na zona de difração é uma função dos fatores $F(X)$ e $G(Y_{1(ou2)})$ (Equação 7):

$$L_d(dB) = -[F(X) + G(Y_1) + G(Y_2)] \quad (7)$$

Em que (Equações 8 e 9):

$$F(X) = \begin{cases} 11 + 10 \log(X) - 17,6X; & \forall X \geq 1,6 \\ -20 \log(X) - 5,6488X^{1,425}; & \forall X < 1,6 \end{cases} \quad (8)$$

$$G(Y_{1(ou2)}) = \begin{cases} 17,6(B - 1,1)^{1/2} - 5 \log(B - 1,1) - 8; & \forall B > 2 \\ 20 \log(B + 0,1B^3); & \forall B < 2 \end{cases} \quad (9)$$

Com (Equação 10):

$$B = \beta Y_{1(ou2)} \quad (10)$$

A perda total de sinal no percurso é a soma das perdas de sinal na zona de difração e no espaço livre (Equação 11).

$$L(dB) = L_d(dB) + FSL(dB) \quad (11)$$

Para alguns casos em que o transmissor Tx é um navio, conclui-se que o receptor Rx, uma boia, encontra-se na zona de interferência. Para que nesses casos haja comunicação entre o navio e a boia, devem-se calcular (Equações 12, 13, 14, 15 e 16):

$$m = \frac{d^2}{4ae(h_1+h_2)} \quad (12),$$

$$c = \frac{|h_1-h_2|}{h_1+h_2} \quad (13)$$

$$b = 2 \sqrt{\frac{m+1}{3m}} \cos \left[\frac{\pi}{3} + \frac{1}{3} \cos^{-1} \left(\frac{3c}{2} \sqrt{\frac{3m}{(m+1)^3}} \right) \right], \forall m > 0 \quad (14)$$

$$d_1 = \frac{(d+bd)}{2} \quad (15),$$

$$d_2 = \frac{(d-bd)}{2} \quad (16)$$

Em que:

d_1 e d_2 = as distâncias retilíneas, em km, das antenas Tx e Rx ao ponto de tangência.

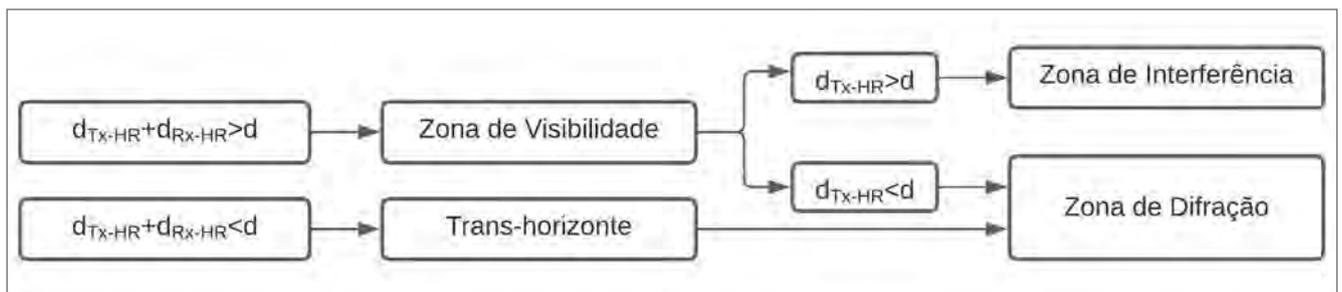


Figura 2. Fluxograma para identificar se a transmissão ocorre na zona de interferência ou na zona de difração.

Para a situação de frequências acima de 10 MHz, calcule-se (Equações 17 e 18):

$$h = \frac{\left(h_1 - \frac{d_1^2}{2ae}\right)d_2 + \left(h_2 - \frac{d_2^2}{2ae}\right)d_1}{d} \quad (17),$$

$$h_{req} = 0,552 \sqrt{\frac{d_1 d_2 \lambda}{d}} \quad (18)$$

Em que:

d_1, d_2, a_e devem ser utilizados em km para h , e d_1, d_2, d em m para h_{req} .

Para $h \geq h_{req}$, a perda L_d é igual a zero. No caso de $h < h_{req}$, deve-se calcular o raio da Terra equivalente modificado aem , em km, dado por Equação 19:

$$aem = 0,5 \left(\frac{d}{\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}}\right)^2 \quad (19)$$

Em que:

d deve ser utilizado em m.

Deve-se então calcular a perda L_d em dB, por Equação 20:

$$L_d = \left[1 - \frac{h}{h_{req}}\right] L_h \quad (20)$$

Em que:

a perda L_h , em dB, é calculada pela Equação 7, utilizando aem , em km, nas Equações 4, 5, 8 e 9. Em seguida, deve-se calcular a perda L , em dB, conforme a Equação 11.

Para identificar o *beamforming* e a região de cobertura das antenas das boias e do navio, foi simulada uma antena monopolo para ser utilizada neste projeto. A Figura 3 mostra o esquema e apresenta as distâncias A e B, em km, e o ângulo γ , em graus, que formam as regiões de cobertura dessas antenas, considerando seu respectivo diagrama de radiação.

A distância entre as antenas é dada por d , em km, e o ângulo α , em graus, é o ângulo de abertura de meia potência da antena (HPBW), posicionada tanto no navio quanto na boia, o qual é obtido da análise do diagrama polar de potência irradiada em campo distante. Esse parâmetro está de acordo com o resultado da diretividade das antenas, que são consideradas de forma ideal como um monopolo centrado na frequência de 420 MHz.

A Figura 3 apresenta o diagrama de radiação polar das antenas, obtido por meio de simulação eletromagnética 3D no

software HFSS, que permite assim descrever o apontamento entre as antenas da boia e do navio em grandes distâncias na condição de mar calmo.

4. RESULTADOS

Para cada frequência analisada, foram calculadas as distâncias mínimas entre as antenas de transmissão e de recepção, considerando o modelo da Terra esférica, como mostra a Tabela 1. Tendo em vista que em 300 MHz a distância mínima é de 15 km, optou-se por realizar as análises partindo desse valor e chegando até 50 km, o que cumpre o objetivo do projeto de alcance mínimo de 20 milhas náuticas (37,04 km).

Para as simulações, foram calculadas as perdas de percurso, de acordo com as Equações 1 até 11, para a transmissão da boia para o navio ou outra boia, em função das distâncias entre as antenas para as alturas de 3, 10, 20, 30, 40 e 50 m nas frequências de 300 MHz, 450 MHz, 1 GHz, 2 GHz e 3 GHz, como mostram os gráficos das Figuras 4A até 4E. Para cada distância, foram destacadas as menores perdas de percurso

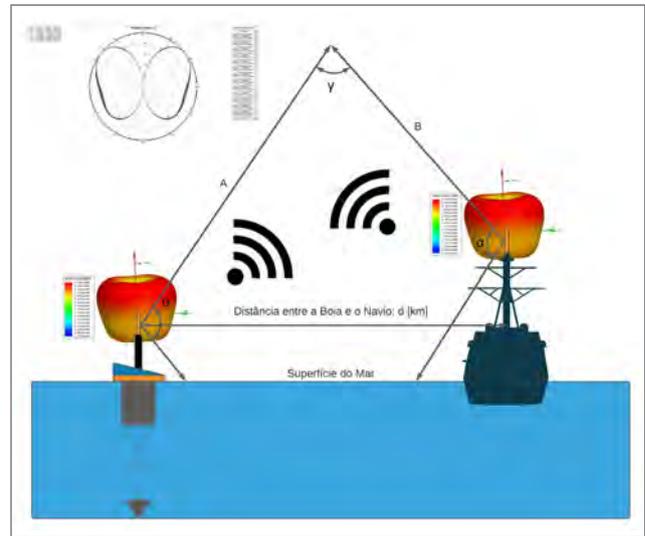


Figura 3. Beamforming e região de cobertura das antenas da boia e do navio.

Tabela 1. Distâncias mínimas para a faixa de frequência ultra-alta no modelo da Terra esférica.

f [MHz]	300	450	1.000	2.000	3.000
Distâncias mínimas [km]	15,00	13,10	10,04	7,97	6,96

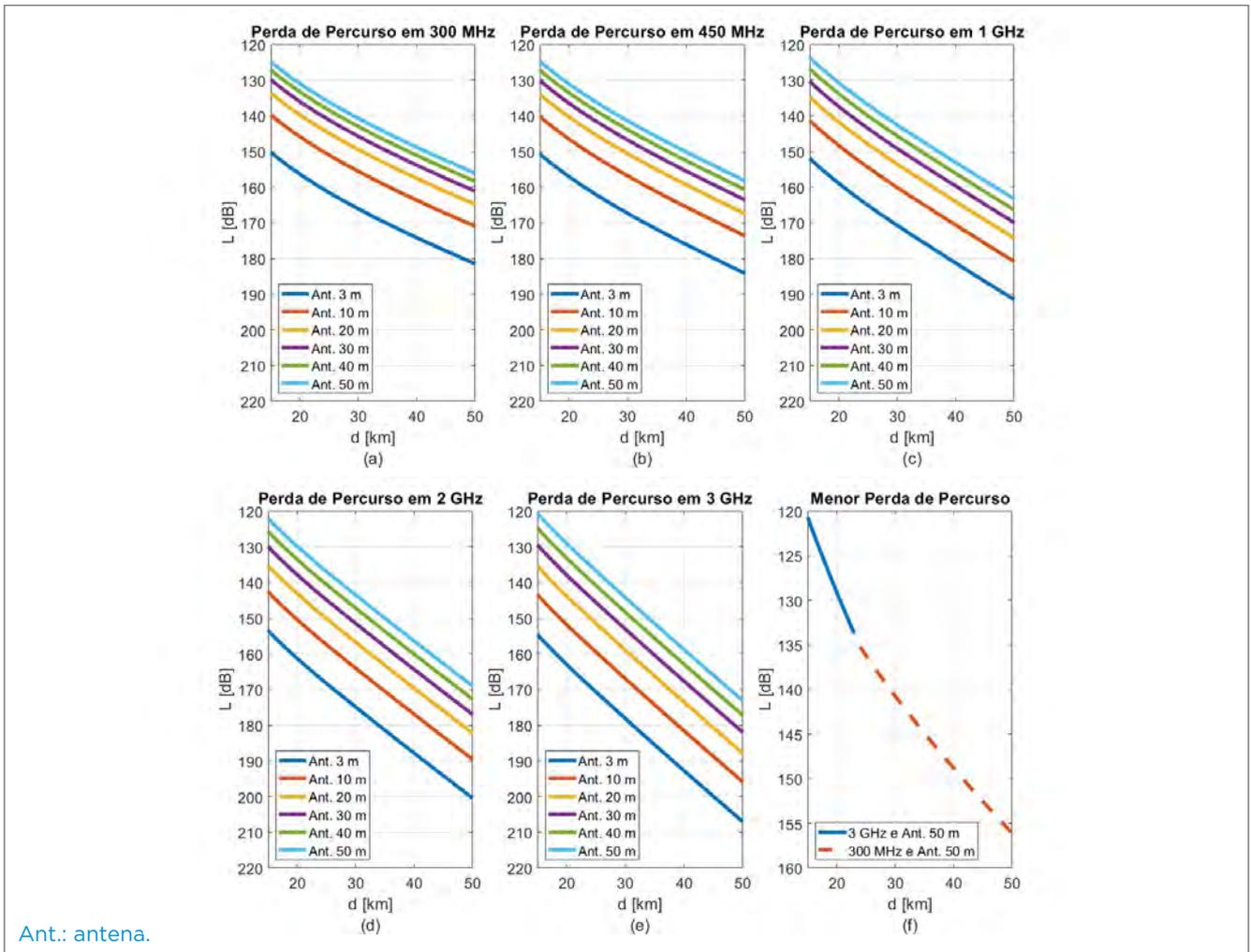


Figura 4. Gráficos da perda de percurso com a distância: (A) 300 MHz; (B) 450 MHz; (C) 1 GHz; (D) 2 GHz; (E) 3 GHz; (F) menor perda de percurso com a distância.

calculadas, como mostra o gráfico da Figura 4F e, adicionalmente, foram calculadas as perdas de percurso para distância de 20 milhas náuticas em função da altura das antenas de 3 até 50 m, como mostra o gráfico da Figura 5.

A Tabela 2 apresenta os casos em que as perdas de percurso na transmissão do navio para a boia, calculadas de acordo com as Equações 12 a 20, foram superiores às da boia para o navio.

Para a Figura 3, foram calculadas as distâncias $A = 17,77$ km e $B = 17,72$ km para $d = 15$ km e $A = 59,18$ km e $B = 59,13$ km para $d = 50$ km, que formam as regiões de cobertura das antenas para os limites de distância entre boia e navio, considerando-se a antena do navio de 50 m, $\gamma = 50^\circ$ e o ângulo de abertura de meia potência $\alpha = 116^\circ$.

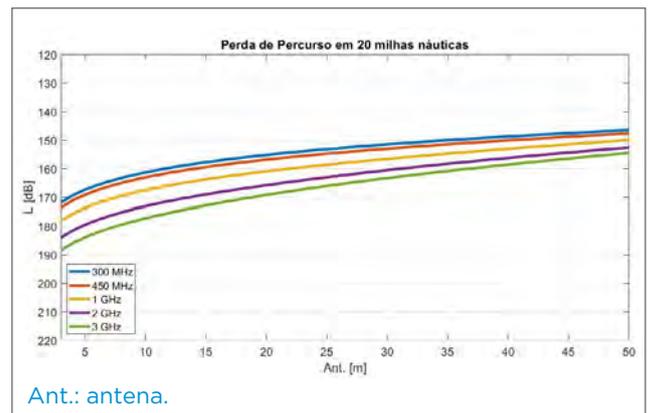


Figura 5. Gráfico da perda de percurso com a altura da antena em 20 milhas náuticas, nas diferentes frequências.

Tabela 2. Perdas de percurso para os casos em que na transmissão do navio para a boia foram superiores às da boia para o navio.

d [km]	L [dB]								
	Ant. 50 m, f = 3 GHz			Ant. 50 m, f = 2 GHz			Ant. 40 m, f = 3 GHz		
	Navio → Boia	Boia → Navio	Δ	Navio → Boia	Boia → Navio	Δ	Navio → Boia	Boia → Navio	Δ
15	123,00	120,66	2,33	123,18	122,07	1,10	125,07	124,76	0,31
16	124,16	122,44	1,73	124,31	123,73	0,58	-	-	-
17	125,25	124,16	1,09	125,37	125,34	0,03	-	-	-
18	126,28	125,84	0,43	-	-	-	-	-	-

5. CONCLUSÕES

Com base nas simulações, é possível concluir que, para mesma frequência de transmissão, as perdas de percurso elevam-se com o aumento da distância entre as antenas e com a redução da altura da antena do navio.

Para cada quilômetro acrescentado na distância entre as antenas, nas transmissões da boia para o navio, pode-se observar que até, 23 km, a frequência de 3 GHz com altura da antena do navio de 50 m apresenta a menor perda de percurso. Já entre 23 e 50 km, a frequência de 300 MHz com altura da antena do navio de 50 m é a que apresenta a menor perda de percurso.

Para a distância de 20 milhas náuticas (37,04 km) entre as antenas, as perdas decrescem com o aumento da altura da antena e com a redução da frequência de transmissão.

A maior variação das perdas de percurso ocorre no caso da transmissão em 50 km entre a frequência de 300 MHz com altura da antena do navio de 50 m (156,12 dB) e

3 GHz com altura da antena do navio ou outra boia de 3 m (207,07 dB).

No caso da transmissão em 20 milhas náuticas, a maior variação entre as perdas de percurso é para a antena do navio ou outra boia com altura de 3 m, sendo a menor perda de percurso para a frequência de 300 MHz (171,89 dB) e a maior em 3 GHz (188,48 dB).

Para as perdas de percurso nas transmissões do navio para boia de 15 até 18 km, foi possível identificar alguns casos para antenas do navio de 40 e 50 m, nas frequências de 2 e 3 GHz, em que as perdas de percurso foram superiores às das transmissões da boia para o navio. Sendo assim, deve-se considerar a maior perda de percurso a fim de garantir que seja possível a comunicação do navio com as boias.

As análises deste artigo servirão de referência para transmissões UHF realizadas entre boia e navio, considerando-se os valores de perda de propagação do sinal sobre a superfície do mar, em distâncias de até 50 km, cujos enlaces podem ser caracterizados experimentalmente.

REFERÊNCIAS

ANSYS HFSS 15.0. *Software*. Disponível em: <https://www.ansys.com/products/electronics/ansys-hfss>. 30 nov. 2021.

DAL BELLO, J.C.R. *Propagação de ondas eletromagnéticas: teorias e projetos*. Rio de Janeiro: Publit, 2014.

FREITAS, L. de L. *Análise da propagação troposférica em meios inhomôgenos bidimensionais marítimos utilizando traçado de raios e dados meteorológico de boias oceanográficas*. Dissertação

(Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

ITU-R P.526-15. *Propagation by diffraction*. 2019.

MATHWORKS INC. *Matrix Laboratory (Matlab) software*. MathWorks Inc., 2018.

SOUZA, L.C.C. de. *Contribuições ao desenvolvimento do projeto da raia virtual de tiro da Marinha*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.



Figura 9

TRANSFERÊNCIA DE SEÇÕES DO SUBMARINO TONELERO (S-42)

DESENVOLVIMENTO DE PELE TRIDIMENSIONAL *IN VITRO* PARA ESTUDOS DE RADIODERMITE, CICATRIZAÇÃO, TUMORIGÊNESE E SCREENING DE BIOATIVOS MARINHOS

In vitro three-dimensional skin development for radiodermatitis, healing, tumorigenesis, and marine bioproduct screening

Giselle Pinto de Faria Lopes^{1*} , Isabel Virgínia Gomes e Silva^{2*} ,
Angelica Maria Schettino³, Angélica Ribeiro Soares⁴ ,
Maria Alice Fusco de Souza⁵ , Ricardo Coutinho⁶ 

Resumo: Dentre os processos do mapa estratégico da Marinha (PEM2040), nosso estudo de P&D na área das ciências da saúde e ciências navais contempla modernizar a força naval e obter a capacidade operacional plena, contribuindo relevantemente com o desenvolvimento nacional. O ineditismo e o potencial de aplicabilidade da inovação tecnológica proposta são consolidados nesse estudo pelo desenvolvimento de um modelo de pele tridimensional *in vitro* como ferramenta para o acompanhamento de patologias, como a radiodermite e o câncer de pele mostrados nesse trabalho, além de ser validado para testes de novas estratégias terapêuticas de uso tópico, exemplificado pelo emprego de um bioativo marinho extraído de algas verdes como candidato a biofármaco. Esse estudo multidisciplinar agrega diferentes áreas temáticas de estratégia de ciência, tecnologia e inovação da Marinha do Brasil por ajustar as demandas de Pesquisa Básica e Aplicada de modo a permitir a obtenção das capacidades operacionais da Marinha do Amanhã e do Futuro.

Palavras-chave: Pele *in vitro*, Radiodermite, Tumorigênese, Cicatrização, Bioativo marinho.

Abstract: Among the processes of the Navy's strategic map (PEM2040), our R&D study in health and naval sciences contemplates the modernization of the naval force and achieving full operational capacity, significantly contributing to national development, as a result for society by the map from 2020 to 2040. The novelty and applicability potential of the technological innovation proposed with the development of this *in vitro* three-dimensional skin model, seeking to mimic the microenvironment and validate this tool with treatment effects, such as the induction of radiodermatitis and melanoma. This multidisciplinary study brings together different thematic areas of the Brazilian Navy's science, technology, and innovation strategy, as it adjusts the demands of Basic and Applied Research to obtain the operational capabilities of the Navy of Tomorrow and of the Future.

Keywords: *In vitro* skin, Radiodermatitis, Tumorigenesis, Healing, Marine bioproduct.

1. Servidora civil nível superior, pesquisadora associada, encarregada da Divisão de Bioprodutos, do Departamento de Biotecnologia Marinha, da Superintendência de Pesquisa do Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira - Arraial do Cabo, RJ - Brasil. E-mail: giselle.lopes@marinha.mil.br

2. Doutoranda do Programa Associado de Pós-Graduação em Biotecnologia Marinha do Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira/Universidade Federal Fluminense - Arraial do Cabo, RJ - Brasil. E-mail: isabel.virginia.1995@gmail.com

3. Capitão de fragata (médica), assistente da Clínica de Cirurgia Plástica do Hospital Naval Marcílio Dias - Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: angelica.schettino@marinha.mil.br

4. Professora associada do Núcleo em Ecologia e Desenvolvimento Socioambiental de Macaé, da Universidade Federal do Rio de Janeiro - Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: angelica.r.soares@gmail.com

5. Capitão-Tenente (RM2-médica veterinária), encarregada da Divisão de Cirurgia Experimental do Instituto de Pesquisas Biomédicas do Hospital Naval Marcílio Dias - Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: alice.fusco@marinha.mil.br

6. Servidor civil nível superior, pesquisador titular, chefe do Departamento de Biotecnologia Marinha e coordenador do Programa Associado de Pós-Graduação em Biotecnologia Marinha do Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira/Universidade Federal Fluminense - Arraial do Cabo, RJ - Brasil. E-mail: ricardo.coutinho@marinha.mil.br

*Igual contribuição.

1. INTRODUÇÃO

O Plano Estratégico da Marinha 2040 (PEM2040) é consolidado por diferentes ações estratégicas navais. Entre elas, destacam-se a contribuição do ambiente marítimo e fluvial para a sobrevivência e prosperidade do Brasil e sua evolução e busca pela independência científica e tecnológica do país. A inovação na atividade científica que envolve a biodiversidade da Amazônia Azul é necessária para sensibilizar a sociedade para a importância do mar e das águas interiores, por constituírem uma imensa fonte de recursos naturais. Tal produção de conhecimento, de caráter científico-tecnológico, nos espaços marítimos e fluviais pode resultar em futuros aproveitamentos econômicos em prol do desenvolvimento nacional. Em uma visão prospectiva do poder marítimo, a plataforma continental brasileira representa um patrimônio a ser estudado e aproveitado, o que torna importante sua adequada proteção.

Entre os processos do mapa estratégico da Marinha (PEM2040), nosso estudo de pesquisa e desenvolvimento na área das ciências da saúde e ciências navais contempla modernizar a força naval (OBNAV6) e obter a capacidade operacional plena (OBNAV7), contribuindo relevantemente com o desenvolvimento nacional, como resultado para a sociedade previsto pelo mapa de 2020 a 2040. Este estudo multidisciplinar agrega diferentes áreas temáticas de estratégia de ciência, tecnologia e inovação da Marinha do Brasil por ajustar as demandas de pesquisa básica e aplicada, de modo a permitir a obtenção das capacidades operacionais da Marinha do Amanhã e do Futuro. A identificação e a obtenção das tecnologias necessárias ao combatente do futuro e aos meios navais, aeronavais e de fuzileiros navais das Marinhas do Amanhã e do Futuro só se materializarão com o desenvolvimento de novas tecnologias. Fruto de partes de duas teses de doutorado, abordando aspectos que influenciam diretamente na área temática de ciência e tecnologia, temos a nuclear e energia, considerando radiações ionizantes na saúde e bancos de tecidos biológicos; a saúde do combatente e da família naval, no desempenho humano e saúde, bioengenharia; e como aspectos do meio ambiente operacional questões de bioprospecção da biodiversidade marinha.

A radiodermite (ou radiodermatite) é resultado da exposição da pele à radiação ionizante, forma de energia que atua removendo elétrons de átomos ou moléculas de materiais, incluindo tecidos vivos. A radiodermite pode ocorrer como

resultado de um ataque ou desastre nuclear, mas também pode ser observada no tecido saudável de pacientes expostos ao tratamento do câncer por radioterapia (SINGH et al., 2016; CDC, 2021).

Na história da humanidade, o uso de energia ionizante em guerras mostrou ao mundo a severidade dos seus efeitos. Os eventos ocorridos na Segunda Guerra Mundial nas cidades de Hiroshima e Nagasaki iniciaram o conhecimento, na prática e da pior maneira, do potencial de dano e morte das radiações, deixando à mostra a gama de possibilidades de lesões cutâneas induzidas pela radiação e seu poder de cronificação. Outros eventos se sucederam às explosões nas cidades japonesas, como acidentes em usinas nucleares — Chernobil, em 1986, e Fukushima, em 2011 — e, nacionalmente, o evento trágico de Goiânia (GO), onde uma fonte radioativa de céσιο foi descartada de modo errôneo. Todos esses incidentes descortinaram inúmeros sintomas da síndrome da radiação aguda e das lesões térmicas causadas pela exposição inadvertida à radiação e, da mesma forma, expuseram as dificuldades do tratamento dessas lesões, cuja evolução é lenta, dolorosa e mutilante.

A radiação ionizante não deve ser apenas uma preocupação relativa aos efeitos adversos da terapia oncológica, mas também uma preocupação de saúde pública, por causa do potencial e real evento radiológico/nuclear, como por exemplo o bioterrorismo (RYAN, 2012). Com isso, expõe-se a importância das pesquisas para um melhor entendimento sobre a fisiopatologia da radiodermite (que ainda não foi totalmente esclarecida) e, assim, obtenção da melhor forma de tratamento (WILLIAMS; MCBRIDE, 2011).

Independentemente da causa da radiodermite, acidental ou decorrente de terapia, o Hospital Naval Marcílio Dias está apto para atender e tratar os pacientes, sendo até mesmo considerado o centro de referência para assistência às vítimas da radiação ionizante. A especialização dessa organização militar no atendimento a pacientes radioacidentados remonta o ano de 1972, com a ativação do Serviço de Medicina Nuclear, e desde então o adestramento e o preparo da tripulação proporcionaram a indicação do hospital naval a centro de referência para assistência a radioacidentados pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (REVISTA NAVIGATOR, 2008).

Do ponto de vista da clínica médica, as repercussões cutâneas da exposição à radiação ionizante variam em

gravidade, curso e prognóstico, sendo classificadas como agudas ou crônicas. As lesões agudas podem variar de eritema simples à ulceração, tendo início de uma a quatro semanas do começo da exposição à radiação. As lesões crônicas são caracterizadas por fibrose, atrofia, hipo ou hiperpigmentação e desenvolvimento de malignidades cutâneas, podendo ocorrer após meses ou anos da exposição à radiação (BRAY et al., 2016).

Na medicina nuclear, a radiação ionizante é utilizada para destruir as células tumorais ou impedir que elas se multipliquem (INCA, 2021). Infelizmente, os pacientes oncológicos submetidos à radioterapia apresentam incidência de até 95% de radiodermite, em diferentes graus de severidade, de acordo com dados norte-americanos (SINGH et al., 2016). No Brasil, um estudo realizado com 112 pacientes oncológicos no Ambulatório de Radioterapia da Unidade de Alta Complexidade em Oncologia da Universidade de Brasília (UnB) mostrou incidência de radiodermite entre 48 e 100%, dependendo da região onde se encontrava o tumor (BONTEMPO et al., 2021). Um total de nove estudos que descrevem a incidência de câncer de pele nas Forças Armadas dos Estados Unidos foi identificado, com quatro estudos específicos para melanoma, o câncer de pele mais agressivo. Os resultados do estudo revelaram risco aumentado de melanoma associado ao serviço militar ou ao *status* de prisioneiro de guerra. O serviço em ambientes tropicais foi relacionado ao aumento da incidência de câncer de pele melanoma e não melanoma entre os soldados da Segunda Guerra Mundial. Vários dos estudos revisados implicaram o aumento da exposição ao sol durante o serviço militar e a falta de proteção solar suficiente como as causas das taxas mais altas de câncer de pele entre as populações militares e veteranas dos Estados Unidos em comparação com a população não militar do país.

Diante disso, esperamos com este estudo evidenciar o ineditismo e o potencial de aplicabilidade da inovação tecnológica proposta com o desenvolvimento desse modelo de pele tridimensional *in vitro* buscando mimetizar o microambiente e validar essa ferramenta com efeitos de tratamento, como a indução da radiodermite e do melanoma, seguindo o princípio da substituição, um dos três princípios dos 3R de Russell e Burch (1959), cujo compromisso com a substituição, redução e refinamento do uso de animais caracteriza a base da regulação da utilização dos animais em ensino e pesquisa em todo o mundo, incluindo o Brasil, por meio

das regulamentações emanadas pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações.

2. OBJETIVO

Desenvolver e caracterizar pele tridimensional *in vitro* com células saudáveis, além de validá-la como ferramenta biotecnológica mediante a indução das patologias radiodermite e câncer de pele.

3. METODOLOGIA

3.1. LINHAGENS CELULARES E MODELO TRIDIMENSIONAL

Os experimentos foram realizados com linhagens de células saudáveis Hacat (queratinócitos), NIH-3T3 (fibroblastos) e B16F10 (melanoma) provenientes do banco de células do Rio de Janeiro (Figura 1).

As células foram cultivadas em monocamada na presença e na ausência de um bioativo marinho isolado de algas verdes em doses crescentes: 1, 5, 25, 125 e 625 µg/mL. A atividade mitocondrial, por sua vez, foi quantificada pelo teste de viabilidade por MTT por meio de espectrofotometria a 570 nm.

Realizaram-se três experimentos independentes em quintuplicata para o cálculo da IC50. As três linhagens foram cultivadas por 72 h com meio DMEM/F12 suplementado com glicose (33 mM), glutamina (2 mM), bicarbonato de sódio (3 mM), penicilina (0,5 U/mL), estreptomicina e 10% de soro fetal bovino.

Após determinar o IC50 do melanoma, primeiramente, as células 3T3 foram cultivadas sob arcabouço de agarose (1%) na presença e na ausência das células de melanoma B16F10, compondo a derme *like*. No dia seguinte, foram semeados os queratinócitos, e esperaram-se três dias para que se formassem camadas da epiderme *like*. Depois, os esferoides foram tratados ou com irradiação (4Gy por 5 min) ou com um composto bioativo e cultivados por 72 h com meio DMEM/F12 suplementado com glicose (33 mM), glutamina (2 mM), bicarbonato de sódio (3 mM), penicilina (0,5 U/mL), estreptomicina e 10% de soro fetal bovino, para possibilitar a formação completa dos esferoides. Após o tratamento, os esferoides foram

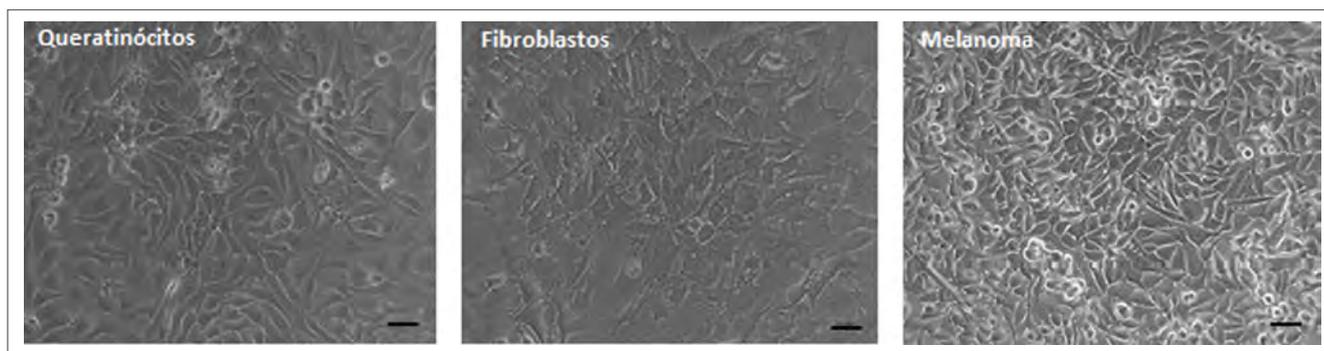


Figura 1. Linhagens celulares sadias e tumoral para o desenvolvimento do modelo tridimensional de pele.

transferidos para um molde *array* com 2% de agarose para inclusão dos esferoides em parafina. Ocorreram dois experimentos independentes e pelo menos 30 esferoides foram incluídos em cada um.

3.2. PROCESSAMENTO HISTOLÓGICO

Os esferoides apontados em todas as condições experimentais descritas foram corados com azul de toluidina (1%), fixados com formaldeído (10%), desidratados com bateria de álcool (50, 70, 90, 100%)-xilol e incluídos em parafina para a realização de cortes (4 μm) no micrótomo e coloração. As lâminas contendo *array* de 60 esferoides sofreram a desparafinização e a reidratação e, em seguida, foram imersas por 1 minuto na hematoxilina de Harris. Foi feita a clarificação com água corrente. Posteriormente, os esferoides foram imersos em eosina amarelada por 1 minuto, e, em seguida, lavou-se e montou-se a lâmina com lamínula para a observação pelo microscópio Zeiss acoplado a um computador com o *software* Image-Pro Express.

4. RESULTADOS

4.1. POTENCIAL CITOTÓXICO DO BIOATIVO MARINHO EXTRAÍDO DE ALGA VERDE

Para a determinação da IC₅₀ do bioativo em questão, as células de melanoma foram cultivadas em monocamada com crescentes concentrações, obtendo-se IC₅₀ de 42,7 μm . É possível observar alterações na morfologia das células entre

25 e 125 μm , bem como a diminuição da atividade mitocondrial a partir de 25 μm comparado ao controle (Figura 2). Para verificar a especificidade do efeito citotóxico, utilizaram-se o valor próximo a IC₅₀ e a concentração máxima para o tratamento das células sadias.

Foi demonstrado que o bioativo também foi consideravelmente citotóxico para queratinócitos e fibroblastos a partir de 125 μm , evidenciado pelas fotomicrografias em contraste de fase (Figura 2), entretanto os fibroblastos demonstraram maior resistência, e foi calculado o índice de seletividade entre as linhagens, chegando a 3,78 a razão entre IC₅₀ do melanoma e IC₅₀ dos fibroblastos, sendo significativamente seletivo acima de 2.

4.2. MODELO TRIDIMENSIONAL DE PELE *IN VITRO*

Após determinar o IC₅₀ do melanoma, primeiramente, as células 3T3 foram cultivadas sob arcabouço de agarose na presença e na ausência das células de melanoma B16F10, compondo a *derme like*. No dia seguinte, foram semeados os queratinócitos, e esperaram-se três dias para que se formassem camadas da epiderme *like*.

Para testar o modelo para radiodermite, o esferoide de pele sadia foi irradiado, enquanto os esferoides em cocultura com o melanoma foram tratados com a IC₅₀ do bioativo marinho por 72 h. Os esferoides com o melanoma apresentaram maior variação na morfologia em relação aos de pele sadia (Figura 3), entretanto foi quantificado o volume dos esferoides após os tratamentos, e não houve variação significativa (dados não mostrados).

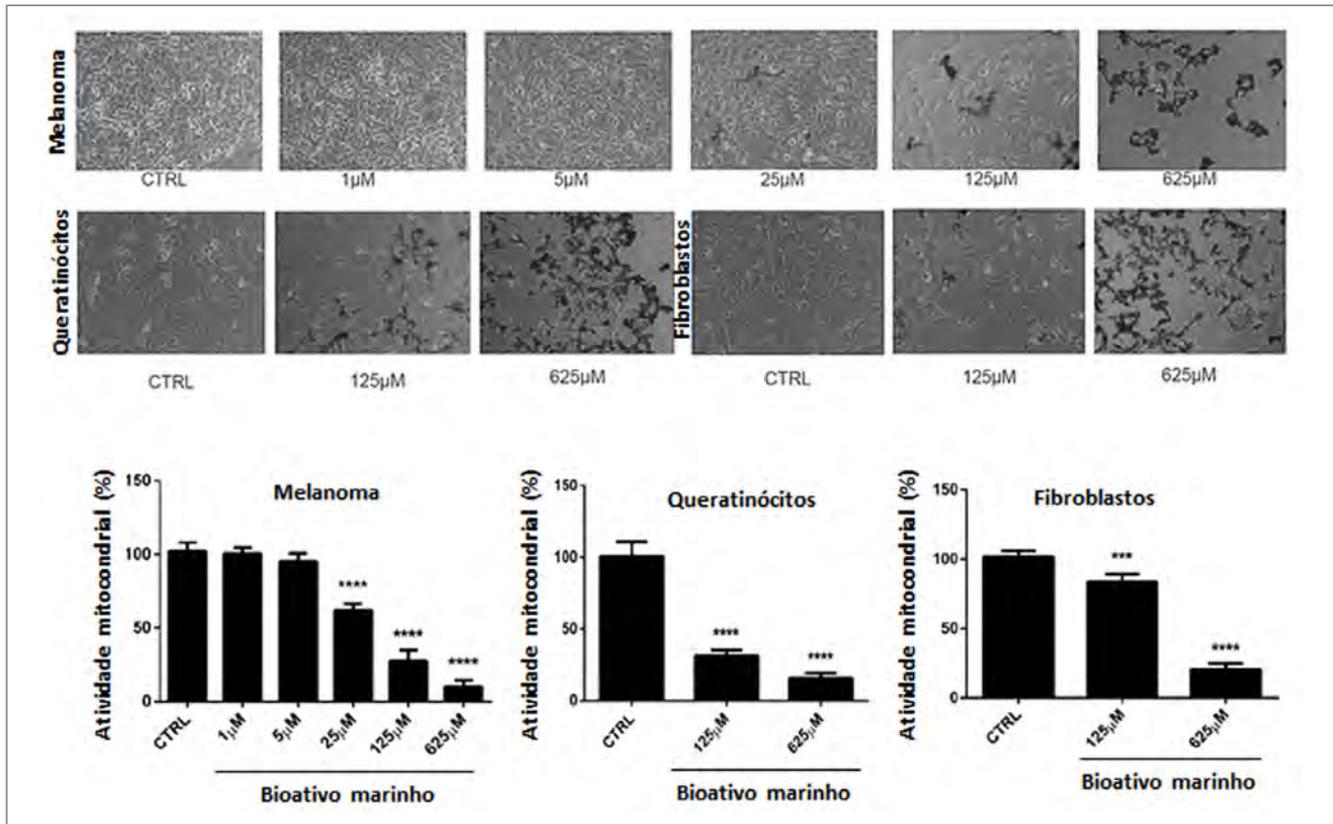


Figura 2. Cultura em monocamada com células saudáveis e tumorais na ausência e na presença do bioativo marinho extraído de alga verde.

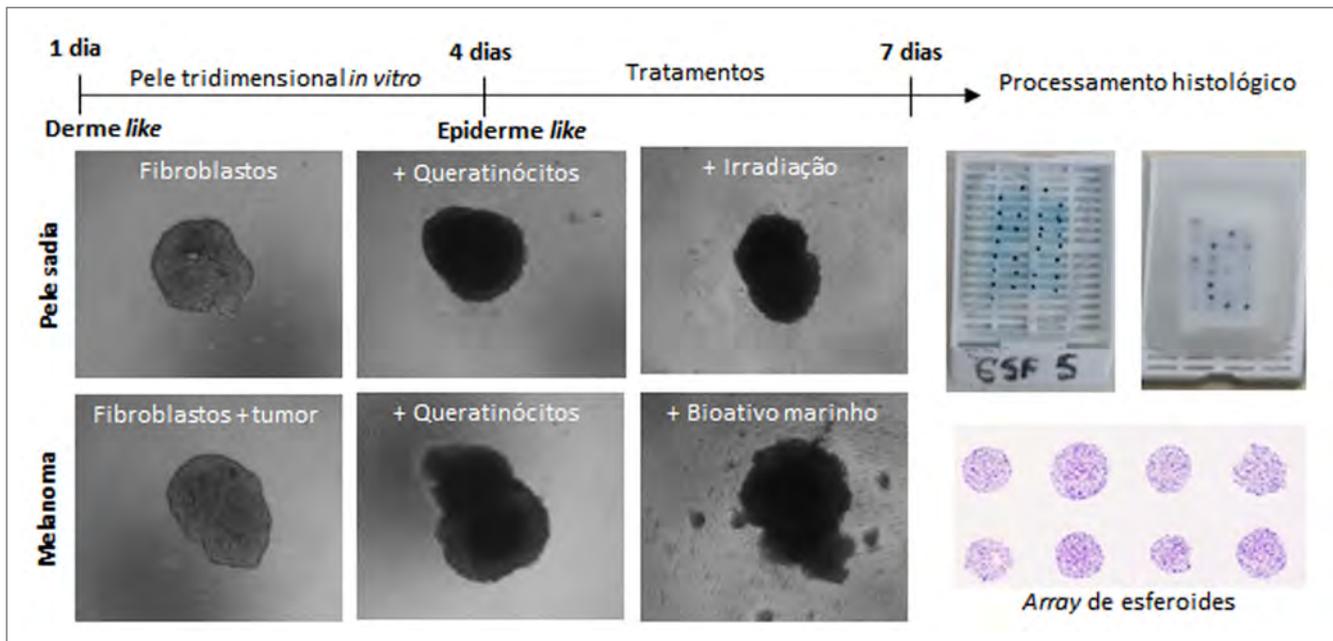


Figura 3. Modelo tridimensional de pele *in vitro*, desenvolvimento da derme e epiderme *like* e sua validação por histologia.

Em ambos os tipos de esferoide, notou-se um escurecimento após o cocultivo com os queratinócitos em contraste de fase (Figura 3). Em comparação ao modelo de radiodermite, o esferoide com melanoma tratado com a IC50 do bioativo marinho mostrou desfazimento após todo o período de tratamento, evidenciando o potencial citotóxico nesse modelo *in vitro* mais complexo que a monocamada.

Em seguida foi feita uma histologia para verificar microscopicamente a resposta celular e validar nosso modelo como uma pele artificial inovadora, simples e acessível que poderá ser utilizada para diferentes questões em dermatologia.

4.3. CARACTERIZAÇÃO HISTOLÓGICA DO MODELO TRIDIMENSIONAL DE PELE

Ao observarmos o meio do esferoide em corte transversal, foi possível reconhecer as diferentes camadas celulares de epiderme e derme *like* no esferoide de pele sadia. Os esferoides irradiados exibiram características clássicas de radiodermite, como a produção em excesso de melanina e o afrouxamento da derme por causa da perda de matriz extracelular. Alguns esferoides também apresentaram células em migração para a epiderme *like*, com perfil de cicatrização diante do dano da radiação (Figura 4). Já o esferoide com o melanoma

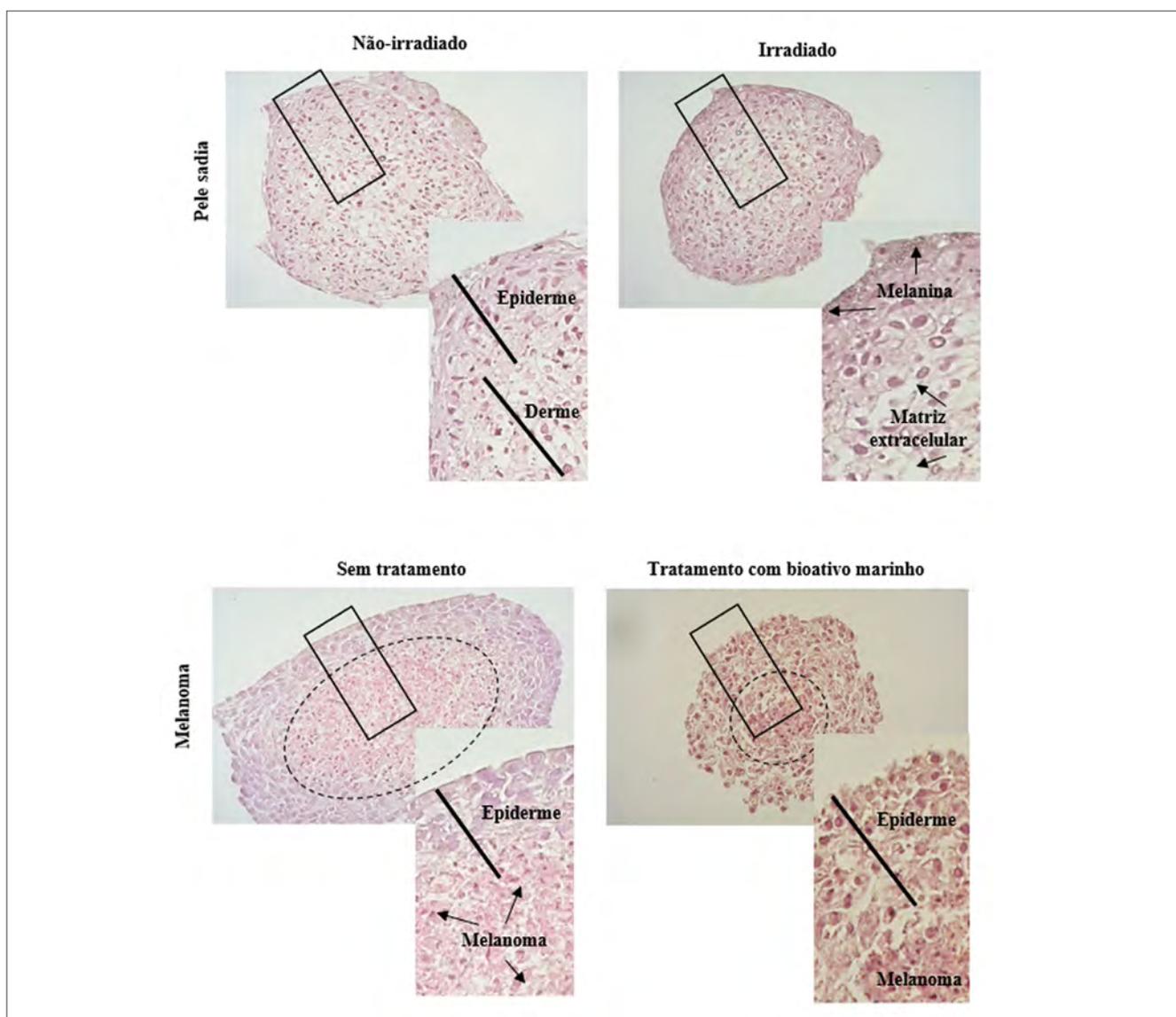


Figura 4. Caracterização histológica do modelo tridimensional de pele *in vitro*, desenvolvimento da derme e epiderme *like*, cicatrização, hiperpigmentação, tumorigênese e *screening* de bioprodutos marinhos.

demonstrou um perfil de invasividade em direção à camada da epiderme *like* e predominou na camada da derme *like*, mimetizando o comportamento da tumorigênese desse tipo de tumor (Figura 4). O tratamento com o bioativo marinho não somente indicou o desfazimento visto no contraste de fase; o corte histológico da maioria dos esferoides também evidenciou redução da massa tumoral localizada na derme. Além disso, em razão da sua citotoxicidade, constatamos desorganização dos queratinócitos, o que reflete o resultado em monocamada (Figura 4).

CONCLUSÃO

O modelo tridimensional de pele *in vitro* apresentado concretiza um potencial de evolução e de busca pela independência científica e tecnológica do país, bem como das atividades relacionadas à inovação, unindo áreas multidisciplinares que necessitam dessa ferramenta em comum e que estão alinhadas aos objetivos do PEM2040, o qual estabelece a atividade científica como uma das vertentes estratégicas para o fortalecimento do conceito político-estratégico da Amazônia Azul.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Defesa. Marinha do Brasil. PEM2040. Brasil: Marinha do Brasil. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/pem2040>. Acesso em: 29 set. 2021.

CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION (CDC). *Radiation studies: ionizing radiation*. Estados Unidos: CDC. Disponível em: https://www.cdc.gov/nceh/radiation/ionizing_radiation.html. Acesso em: 28 set. 2021.

BONTEMPO, P.S.M.; CIOL, M.A.; MENÊSES, A.G.; SIMINO, G.P.R.; FERREIRA, E.B.; REIS, P.E.D. Acute radiodermatitis in cancer patients: incidence and severity estimates. *Revista da Escola de Enfermagem da USP*, v. 55, e03676, 2021. <https://doi.org/10.1590/S1980-220X2019021703676>

BRAY, F.N.; SIMMONS, B.J.; WOLFSON, A.H.; NOURI, K. Acute and chronic cutaneous reactions to ionizing radiation therapy. *Dermatology Therapy (Heidelberg)*, v. 6, n. 2, p. 185-206, 2016. <https://doi.org/10.1007/s13555-016-0120-y>

INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER JOSÉ ALENCAR GOMES DA SILVA (INCA). *Cartilha: radioterapia*. Brasil: INCA. Disponível em: <https://www.inca.gov.br/tratamento/radioterapia>. Acesso em: 29 set. 2021.

REVISTA NAVIGATOR. O Hospital Naval Marcílio Dias (HNMD) – referência no tratamento de vítimas de acidentes radioativos. *Revista Navigator*. Disponível em: revistanavigator.com.br/navig8/cap/N8_cap5.pdf. Acesso em: 29 set. 2021.

RUSSELL, W.M.S.; BURCH, R.L. *The principles of humane experimental technique*. 1959. Disponível em: <https://caat.jhsph.edu/principles/the-principles-of-humane-experimental-technique>. Acesso em: 27 ago. 2021.

RYAN, J.L. Ionizing radiation: the good, the bad, and the ugly. *Journal of Investigative Dermatology*, v. 132, n. 3, p. 985-993, 2012. <https://doi.org/10.1038/jid.2011.411>

SINGH, M.; ALAVI, A.; WONG, R.; AKITA, S. Radiodermatitis: a review of our current understanding. *American Journal of Clinical Dermatology*, v. 17, n. 3, p. 277-292, 2016. <https://doi.org/10.1007/s40257-016-0186-4>

WILLIAMS, J.P.; MCBRIDE, W.H. After the bomb drops: a new look at radiation-induced multiple organ dysfunction syndrome (MODS). *International Journal of Radiation Biology*, v. 87, n. 8, p. 851-868, 2011. <https://doi.org/10.3109/09553002.2011.560996>



Figura 10

ELEMENTO COMBUSTÍVEL DO REATOR NUCLEAR

1. OBJETIVO

A RPN é um periódico científico de publicação anual que apresenta à comunidade científica uma coletânea de estudos desenvolvidos por pesquisadores das áreas científica, tecnológica e de inovação, cujos temas sejam pertinentes às áreas de interesse de CT&I da Marinha do Brasil (MB).

O periódico é publicado pela Diretoria-Geral de Desenvolvimento Nuclear e Tecnológico da Marinha (DGDNTM) e avaliado pelo Sistema de Classificação de Periódicos, Anais, Revistas e Jornais (QUALIS) da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

2. NORMAS EDITORIAIS

2.1 - Características Gerais

2.1.1 - A publicação de artigos é aberta a pesquisadores, per-tinentes ou não à MB, que apresentem trabalhos inéditos, isto é, não publicados em quaisquer revistas ou periódicos e cujas áreas de conhecimento sejam, prioritariamente, de interesse do Sistema de Ciência, Tecnologia e Inovação da Marinha do Brasil (SCTMB), conforme abaixo discriminadas:

a) Sistemas de Armas e Munições

Compreende a capacitação para pesquisar estudar, projetar, desenvolver protótipos e avaliar sistemas de armas e seus componentes *hardware*, controle de armas *software*, armamento de pequeno e médio calibres e munições, necessários às Operações Navais.

b) Ambiente Operacional

Compreende a capacitação para estudar, pesquisar, projetar, desenvolver e inovar modelos, métodos, sistemas, equipamentos, materiais e técnicas que permitam a produção de informações e a ampliação do conhecimento sobre os ambientes oceânico, costeiro, fluvial e lacustre, necessários às Operações Navais.

c) Processos Decisórios

Compreende a capacitação para estudar, pesquisar, projetar, desenvolver protótipos e inovar modelos, métodos, sistemas e técnicas que permitam a produção de informações e a ampliação do conhecimento sobre os processos decisórios, estratégicos, operacionais, gerenciais e de apoio, necessários às Operações Navais.

d) Sensores, Guerra Eletrônica e Guerra Acústica

Compreende a capacitação para estudar, pesquisar, projetar, desenvolver protótipos e inovar sistemas de detecção, de discríção e de contramedidas necessários às Operações Navais.

e) Desempenho Humano e Saúde

Compreende a capacitação para estudar, pesquisar, modelar, projetar e desenvolver protótipos, ampliando o conhecimento biomédico,

farmacotécnico, psicológico, da bioengenharia e da ergonomia, visando a aumentar a capacidade de desempenho, de resistência a situações de pressão e de proteção da saúde do homem quando em combate e dos recursos de treinamento por simuladores.

f) Materiais Especiais

Compreende a capacitação para estudar, pesquisar, projetar e desenvolver protótipos e experimentos de materiais para dificultar a detecção de plataformas, para absorção de energia e proteção e detecção Nuclear, Biológica, Química e Radiológica (NBQR), para processos especiais de soldagem, para emprego na área nuclear, materiais resistentes à abrasão, ao impacto balístico e de materiais energéticos, ou ainda, materiais que possuam outras características físico- químicas especiais.

g) Energia

Compreende a capacitação para estudar, pesquisar, modelar, projetar e desenvolver protótipos e experimentos envolvendo sistemas de geração, exceto nuclear, de acumulação e de distribuição de energia e sistemas de propulsão.

h) Arquitetura Naval e Plataformas

Compreende a capacitação para estudar, pesquisar, projetar, simular e desenvolver protótipos, modelos e experimentos de plataformas navais, anfíbias, terrestres e aéreas, visando à previsão do seu comportamento nas diversas condições do meio ambiente onde atuarão, da configuração de seus sensores e armas e da configuração de seus sistemas de propulsão e governo, necessários às Operações Navais.

i) Cibernética (Tecnologia da Informação) e Comunicações

Esta área compreende dois segmentos: a cibernética (tecnologia da informação) e a tecnologia das comunicações, antes tratadas de forma isolada e atualmente abordadas de forma integrada, considerando a convergência de suas respectivas tecnologias.

O segmento da cibernética, com ênfase na tecnologia da informação, compreende a capacitação para estudar, pesquisar, projetar, simular e desenvolver protótipos, modelos e experimentos, visando ao desenvolvimento e à qualidade do software, à topologia das redes de computadores, à criptologia e às medidas de apoio à guerra cibernética de interesse da Marinha.

O segmento da tecnologia da comunicação compreende a capacitação para estudar, pesquisar, projetar, simular e desenvolver protótipos, modelos e experimentos visando à comunicação de dados e/ou voz e à avaliação de desempenho das comunicações.

j) Nanotecnologia

Compreende a capacitação para estudar, pesquisar, projetar, modelar, simular e desenvolver protótipos e experimentos envolvendo a engenharia do átomo, que leve à criação de elementos, substâncias e materiais inexistentes na natureza e que atendam a necessidades específicas.

k) Nuclear

Compreende a capacitação para estudar, pesquisar, projetar, modelar, simular e desenvolver protótipos e experimentos envolvendo as atividades afetas ao ciclo do combustível nuclear e a geração de energia nuclear para propulsão naval.

2.1.2 - Os autores dos artigos em submissão deverão acompanhar o andamento do processo de seleção e efetuar as solicitações indicadas, por e-mail endereçado à caixa-postal . dgdntm.pesquisanaval@marinha.mil.br.

2.1.3 - O(s) artigo(s) em submissão será(ão) encaminhado(s) ao Conselho Editorial da RPN, por e-mail endereçado(s) à caixa-postal dgdntm.pesquisanaval@marinha.mil.br, em formato digital devidamente assinado(s) pelo(s) autor(es), devendo ser acompanhado(s) do Modelo “Carta para Submissão de artigo”, devidamente assinado.

2.1.4 - O artigo em submissão não poderá ser submetido para publicação em outras revistas, simultaneamente com a RPN, implicando em cancelamento da submissão.

2.1.5 - Os artigos originais serão submetidos à aprovação da Comissão Editorial, sem qualquer identificação de autoria, garantindo que sejam preservados o critério de sigilo do autor e a isenção na submissão para avaliação por pares.

2.1.6 - O processo de seleção dos artigos envolve a avaliação prévia do Conselho Editorial da RPN, quanto ao cumprimento das Normas para Submissão de Artigos Científicos à RPN e da Comissão Editorial, bem como os pareceres apresentados pela Comissão Editorial, que deverão selecionar os artigos a serem publicados.

2.1.7 - No caso de haver número de artigos maior do que o comportado pela edição, os excedentes poderão ser reservados para publicação nas edições subsequentes, sendo esta situação informada aos respectivos autores.

2.1.8 - Após aprovação do artigo em submissão, os autores serão comunicados formalmente e encaminharão ao Conselho Editorial a “Declaração de Responsabilidade e Transferência de Direitos Autorais para Publicação de Artigo na Revista Pesquisa Naval”. No caso de autoria múltipla, a declaração poderá ser assinada apenas pelo autor responsável pela submissão do artigo, o qual se responsabilizará pelos demais.

2.1.9 - A versão final do artigo será adequada ao padrão de formatação gráfico da revista. Não serão fornecidas separatas. Os artigos estarão disponíveis no formato “pdf” no endereço eletrônico da revista.

2.1.10 - Quando da submissão, será solicitado ao autor que enquadre o artigo em uma das áreas de interesse do SCTMB, discriminadas no item 2.1.1. O Conselho Editorial, sempre que julgar necessário, poderá alterar essa indicação.

2.1.11 - A revisão gramatical e a obediência às normas de referência, citadas no item 2.2.16, deverão ser obrigatoriamente providenciadas pelo autor do trabalho, antes de sua submissão. Entretanto, no intuito de zelar pelo padrão culto da língua portuguesa, o Conselho

Editorial da RPN se reserva ao direito de efetuar, nos originais, alterações de ordem normativa, ortográfica e gramatical, respeitando, porém, o estilo dos autores. As provas finais serão enviadas aos autores para a devida ratificação.

2.1.12 - Os autores dos artigos publicados não perceberão qualquer tipo de remuneração ou pró-labore.

2.1.13 - Os trabalhos publicados passam a ser propriedade da RPN, sendo permitida a reprodução parcial ou total dos trabalhos, desde que a fonte seja citada.

2.1.14 - A RPN fica autorizada, em caráter de exclusividade, a publicar os artigos indicados na “Declaração de Responsabilidade e Transferência de Direitos Autorais para Publicação de Artigo na Revista Pesquisa Naval”, encaminhado de acordo com o item 2.1.8, pelo prazo e nas condições ali estabelecidas.

2.1.15 - O Português é o idioma oficial da RPN. Em caráter excepcional, por decisão do Conselho Editorial, poderão ser aceitos trabalhos em outro idioma.

2.1.16 - Os artigos publicados, bem como as opiniões emitidas nesses artigos, são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

2.2 - Características Técnicas

2.2.1 - Os artigos serão submetidos ao Conselho Editorial, conforme item 2.1.3, em arquivo eletrônico gravado na extensão “RTF” (Rich Text Format) e com tamanho máximo de 2 MB.

Formato:

- a) margens: superior e esquerda 3 cm; direita e inferior de 2 cm; e
- b) papel A4 (21cm X 29,7cm).

2.2.2 - A estrutura dos artigos conterá as seguintes seções, na sequência indicada, de acordo com a ABNT/NBR 6022 – Artigo em publicação periódica científica e impressa:

2.2.3 - O artigo possuirá até vinte (20) páginas, incluindo os elementos pré-textuais, texto e pós-textuais.

2.2.4 - **Título:** será breve e suficientemente específico e descritivo, contendo as palavras-chave que representem o conteúdo do texto, acompanhado de sua tradução para o idioma inglês.

Formato: com espaçamento entrelinhas simples, na fonte *Times New Roman*, tamanho 14 em negrito, com efeito itálico para o título em inglês, letras maiúsculas e minúsculas e parágrafo centralizado.

2.2.5 - **Identificação dos autores:** deverá constar o nome completo de cada autor, seguido do título profissional e titulação acadêmica, informação completa sobre a afiliação do autor (incluindo instituição de origem, vínculo funcional, cidade, estado e país) e o endereço eletrônico para contato.

Formato: espaçamento entre linhas simples, fonte *Times New Roman*, tamanho 10, letras maiúsculas e minúsculas e parágrafo centralizado. Aplicar o efeito negrito somente para o nome do autor.

2.2.6 – **Resumo/Abstract:** o resumo elaborado será de caráter informativo, de acordo com a ABNT/NBR 6028 – Informação e Documentação – Resumo - Apresentação, com o máximo de 250 palavras, ressaltando o objetivo, o método, os resultados e as conclusões.

Formato: espaçamento entre linhas simples, fonte *Times New Roman*, tamanho 12, com efeito itálico para o *abstract*, e parágrafo justificado.

2.2.7 – **Referências:** serão apresentadas em ordem alfabética no final do artigo, de acordo com a ABNT/NBR 6023 – Referências – Elaboração. Todas as referências deverão ser citadas no texto de acordo com o sistema alfabético (autor-data).

Formato: espaçamento entre linhas simples, fonte *Times New Roman*, tamanho 12 e parágrafo justificado.

2.2.8 – **Citações:** serão apresentados de acordo Citação: NBR 10520 - Citações em documentos – Apresentação. Nas citações diretas, especificar no texto a(s), página(s), volume(s), tomo(s) ou seção(ões) da fonte consultada. No texto, até três linhas, essas citações devem estar contidas entre aspas duplas. As aspas simples são utilizadas para indicar citação no interior da citação.

As citações diretas, no texto, com mais de três linhas, devem ser destacadas com recuo de 4 cm da margem esquerda, com letra menor que a do texto utilizado e sem aspas.

Nas citações indiretas, a indicação da(s) página(s) consultada(s) é opcional.

2.2.9 – Com o propósito de atender ao item 2.1.5, os elementos textuais do artigo não poderão conter qualquer forma de identificação do(s) autor(es).

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

3.1 - Os autores dos artigos em submissão ao respectivo processo de seleção serão oportunamente informados sobre o seu andamento, por e-mail, até a publicação da RPN.

3.2 - Os autores receberão dois exemplares da edição que consta a publicação de seus artigos, considerando que ela também será disponibilizada na versão digital no sítio eletrônico da RPN. Caberá ao Conselho Editorial da RPN a responsabilidade pelo envio das revistas aos autores.

3.3 - Os artigos poderão ser encaminhados a qualquer tempo pelos interessados, com a ressalva de que apenas os trabalhos apresentados até o dia 30 de setembro estarão aptos a concorrer a publicação no ano seguinte.

3.4 - Quaisquer informações adicionais deverão ser encaminhadas à: Diretoria-Geral de Desenvolvimento Nuclear e Tecnológico da Marinha Assessoria de Relações Institucionais e Comunicação Social Conselho Editorial da Revista Pesquisa Naval Rua da Ponte s/nº Ed. 23 do AMRJ, 2º andar, Ilha da Cobras - Centro CEP 20091-000 - Rio de Janeiro- RJ e-mail: dgdntm.pesquisanaval@marinha.mil.br Tel: (21) 2104-7458

MODELO

CARTA PARA SUBMISSÃO DE ARTIGO

Ao Presidente do Conselho Editorial da Revista Pesquisa Naval
Diretoria-Geral de Desenvolvimento Nuclear e Tecnológico da Marinha
Rua da Ponte s/nº Ed. 23 do AMRJ, 2º andar, Ilha da Cobras - Centro
CEP 20091-000 - Rio de Janeiro- RJ

Assunto: Submissão de Artigo à Revista Pesquisa Naval

Senhor Presidente,

Submeto(emos) para análise desse Conselho, o artigo intitulado “_____”, na área de interesse em CT&I da MB “_____”, de acordo com o inciso 2.1.1 das Normas Editoriais para publicação na Revista Pesquisa Naval.

Identificação do(s) autor(es): nome completo, filiação, função, formação, endereço, telefones de contato, e-mail e resumo do curriculum vitae anexo.

Declaro(amos) que aceito(amos) as normas para submissão de artigos à Revista Pesquisa Naval.

Local, em ___ de _____ de 20__.

assinatura do(s) autor(es) do artigo

MODELO

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE E DE TRANSFERÊNCIA DE DIREITOS AUTORAIS PARA PUBLICAÇÃO DE ARTIGO NA REVISTA PESQUISA NAVAL

Ao Presidente do Conselho Editorial da Revista Pesquisa Naval
Diretoria-Geral de Desenvolvimento Nuclear e Tecnológico da Marinha
Rua da Ponte s/nº Ed. 23 do AMRJ, 2º andar, Ilha da Cobras - Centro
CEP 20091-000 - Rio de Janeiro- RJ

Assunto: Declaração de Responsabilidade e de Transferência de Direitos Autorais para Publicação de Artigo na Revista Pesquisa Naval.

Declaro(amos) que o artigo intitulado “_____”, enviado à Revista Pesquisa Naval, periódico científico da Diretoria-Geral de Desenvolvimento Nuclear e Tecnológico da Marinha, é um artigo original e o seu conteúdo não está sendo considerado para publicação em outras revistas, seja no formato impresso ou eletrônico.

Certifico(amos) que participei(amos) suficientemente da elaboração do artigo para tornar pública minha(nossa) responsabilidade pelo seu conteúdo.

Cedo(emos), com exclusividade, os direitos autorais do artigo supracitado à Diretoria-Geral de Desenvolvimento Nuclear e Tecnológico da Marinha, para publicação na Revista Pesquisa Naval, sendo vedada qualquer reprodução, total ou parcial, em qualquer outra parte ou meio de divulgação impressa ou eletrônica, sem que seja obtida, por escrito, a prévia e necessária autorização do Conselho Editorial da Revista.

Aceito(amos) as condições deste termo.

Local, em ___ de _____ de 20__.

assinatura do(s) autor(es) do artigo

PRODUÇÃO EDITORIAL



ZEPPELINI
PUBLISHERS

