

ESTRATÉGIA PARA COMPRA DE OPORTUNIDADE DE UMA FRAGATA PARA A MARINHA DO BRASIL A PARTIR DO MÉTODO MULTICRITÉRIO THOR
ESTRATEGIA PARA LA OPORTUNIDAD DE COMPRA DE UNA FRAGATA PARA LA MARINA DE BRASIL A PARTIR DEL MÉTODO MULTICRITERIO THOR
STRATEGY FOR BUYING OPPORTUNITY FROM A FRIGATE FOR THE BRAZILIAN NAVY USING THE THOR MULTICRITERIA METHOD

Fabricio Maione Tenório *, **
fabriciomte@gmail.com

Marcos dos Santos *
marcosdossantos_doutorado_uff@yahoo.com.br

Carlos Francisco Simões Gomes ***
cfsgl@bol.com.br

Jean de Carvalho Araujo **
jean.carvalhorj@gmail.com

* Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro – Brasil

** Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Rio de Janeiro – Brasil

*** Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro – Brasil

Resumo

O presente artigo tem como objetivo fundamentar a escolha de um navio para a Marinha do Brasil prevendo preencher a lacuna deixada entre a desativação dos navios atuais, que se encontram próximos do fim da vida útil, e a entrada em serviço dos novos navios. Dentre as inúmeras ferramentas de Apoio Multicritério à Decisão (AMD), foi empregado o método THOR. O estudo levou em consideração uma gama de meios atuais de várias Marinhas, tendo os seus principais parâmetros elencados por meio de uma análise conjunta com Oficiais da Marinha do Brasil com mais de vinte anos de carreira. A aplicação do THOR sinalizou a aquisição do navio DDG-51 como a melhor alternativa, no entanto, diante da impossibilidade de compra, foram analisados dois cenários adicionais: o primeiro, contemplando apenas as alternativas do segundo grupo (F-100, T-45 DARING, F-125 e LCF); e o segundo excluindo as alternativas de melhor e pior desempenho. O preço não foi levado em consideração nesta análise, porém, dispondo dos valores de aquisição dos navios é possível fazer uma nova análise. Conclui-se que o estudo deveria continuar buscando o critério de custo, com sua multidimensionalidade.

PALAVRAS CHAVE: AMD, THOR, Navios, Marinha do Brasil

Resumen

El presente artículo tiene como objetivo fundamentar la elección de un barco adecuado para la Marina de Brasil, previendo llenar el vacío que se genera entre la desactivación de los barcos existentes debido al final de su vida útil y la entrada en servicio de los nuevos barcos. Dentro de las innumerables herramientas del Métodos Multicriterio de Toma de Decisiones (MCDM), fue empleado para la realización del análisis el método THOR. El estudio consideró una variedad de medios actuales de distintas Marinas. Los parámetros principales analizados en el mismo fueron seleccionados a través de un análisis conjunto con Oficiales de la Marina Brasileña con más de veinte años de carrera. La aplicación de THOR señaló la compra de DDG-51 como la mejor alternativa. Caso presentarse una imposibilidad de compra, se analizaron dos escenarios alternativos posibles: el primero, contemplando solamente las alternativas del segundo grupo (F-

100, T-45 DARING, F-125 y LCF), y el segundo excluyendo las alternativas de mejor y peor desempeño. Cabe destacar que la variable de precio no fue contemplada en este análisis. Por lo tanto, si se contase con los valores de adquisición de los barcos, un nuevo análisis podría ser realizado. Se puede concluir que para un mejor resultado del análisis se debe continuar buscando un criterio de precio, en toda su multidimensionalidad.

PALABRAS CLAVE: AMD, THOR, Barcos, Marina de Brasil

Abstract

This currently article has the objective of basing the choose of a ship for Brazilian Navy, predicting to fill the gap in left between deactivation of existing ships, that can be found near the end of their service life and the entry into service of the new ships. Among several Multi-criteria Decision Making (MCDM) instruments, the THOR method was used. The study considered a range of current ways from numerous navies, having its main parameters listed through a joint analysis with Brazilian navy officers with more than twenty years of career. The THOR's application signalled the purchase of DDG-51 as the best alternative, though given the impossibility of purchase, two additional scenarios were analysed: The first, contemplating only the alternatives of the second group (F-100, T-45 DARING, F-125 and LCF); and the second excluding the best and the worst performing alternatives. The price was not considered in this analysis, on the other hand, with the acquisition values of the ships, a new analysis can be done. It can be concluded that the study should continue to search for a cost criterion with its multidimensionality.

KEYWORDS: MCDM, THOR, Ships, Brazilian Navy

1. INTRODUÇÃO

Segundo a Estratégia Nacional de Defesa (END), o Brasil configura-se como país pacífico por tradição e por convicção, tendo suas relações internacionais regidas pelos princípios constitucionais da não intervenção, defesa da paz, solução pacífica dos conflitos e democracia. Faz parte da identidade do brasileiro, estando enraizado em seus valores, a vocação para a convivência harmônica. Dessa forma, não se deseja exercer domínio sobre outros povos, mas sim o engrandecimento do país sem a necessidade de imperar (BRASIL, 2016).

O preparo da defesa contra ameaças e agressões deve acompanhar o crescente desenvolvimento do Brasil. Dentre os Objetivos Nacionais de Defesa (OND), estão à garantia da soberania, do patrimônio nacional e da integridade territorial, estruturação de Forças Armadas (FFAA) com adequadas capacidades organizacionais e operacionais, criação de condições sociais e econômicas de apoio à Defesa Nacional no Brasil. Inclui-se, também, a contribuição para a paz e a segurança internacionais e a proteção dos interesses brasileiros nos diferentes níveis de projeção externa do País (BRASIL, 2016).

Dentro deste escopo, a Marinha do Brasil (MB) tem a seguinte missão: “Preparar e empregar o Poder Naval, a fim de contribuir para a Defesa da Pátria; para a garantia dos poderes constitucionais e, por iniciativa de qualquer destes, da lei e da ordem; para o cumprimento das atribuições subsidiárias previstas em Lei; e para o apoio à Política Externa” (BRASIL, 2019).

Para o atingir os objetivos supracitados é preciso que a MB possua os meios minimamente necessários para exercer suas atribuições constitucionais, sendo corretamente dimensionada e tecnologicamente equipada. No entanto, devido às sucessivas restrições orçamentárias, a MB conta, atualmente, com uma Esquadra subdimensionada de apenas 11 navios escoltas, estando muitos deles próximos do fim da vida

útil (FUOCO, 2018). Até 2024, data prevista de entrega da primeira Fragata classe Tamandaré, o país possuirá apenas cinco navios de escolta em atividade. Dessa forma, é de se esperar que a MB efetue “compras de oportunidade”, a fim de manter o aprestamento da Esquadra, bem como o adestramento de toda a sua estrutura operativa, até a entrada em serviço das fragatas classe “Tamandaré”.

O artigo tem como objetivo selecionar um navio para compra mediante o uso do método multicritério de apoio à decisão THOR, devendo ser identificada a alternativa que “melhor” satisfaça o recompletamento do número de escoltas. O estudo levou em consideração uma gama de meios atuais de várias Marinhas, a partir do referencial abordado em Vogt (2018). A estrutura do artigo está dividida nas seguintes seções: a seção II apresenta uma breve revisão sobre o método THOR, enquanto a seção III contempla a descrição e modelagem do problema proposto. Por sua vez, a seção IV abrange os resultados obtidos e a seção V aborda as considerações finais do trabalho desenvolvido.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O THOR baseia-se em três conceitos axiomáticos/teorias para uso simultâneo: Modelagem de Preferência (aproximando-o da Escola Francesa), Teoria da Utilidade Multiatributo (aproximando-o da Escola Americana) e Teorias que tratam da informação imprecisa. A utilização conjunta destas teorias propicia que a atratividade de uma alternativa seja quantificada, pela criação de uma função agregação não transitiva (GOMES; COSTA, 2015). O uso do THOR permite “analisar mais rápida e eficientemente” as alternativas, considerando o não determinismo do processo de atribuição de pesos e quantificar o não determinismo reaplicando-o no processo de ordenação das alternativas (CARDOSO *et al.*, 2009).

De acordo com Gomes (2005), as principais contribuições do THOR ao multicritério envolvem:

- I. apresentar um algoritmo híbrido que engloba conceitos da Teoria dos Conjuntos Aproximativos (TCA), Teoria dos Conjuntos Nebulosos, Teoria da Utilidade e modelagem de preferências;
- II. ordenar alternativas discretas em processos decisórios transitivos ou não;
- III. eliminar critérios redundantes, levando em conta se há dualidade na informação por meio da TCA e se ocorre imprecisão no processo decisório mediante a utilização da teoria dos conjuntos nebulosos.
- IV. quantificar a imprecisão, utilizando-a no Método de Apoio Multicritério à Decisão (AMD);
- V. permitir a entrada de dados simultâneos de diferentes decisores, permitindo que os mesmos expressem seu(s) juízo(s) de valor(es) em escala de razões, intervalos ou ordinal;
- VI. permitir que os decisores, no caso de não serem capazes de atribuir pesos a tais critérios, consigam trabalhar sem a atribuição de pesos, uma vez que podem fazer uso de um recurso que atribui pesos aos critérios em uma escala ordinal. O THOR permite a entrada de preferências ordinais para os critérios, gerando pesos para estes, podendo ser classificado, portanto, como método cardinal e parcialmente ordinal;
- VII. eliminar a necessidade de atribuição de um valor, normalmente arbitrário para a concordância, conforme alguns algoritmos que têm a modelagem de preferências como base.

Para aplicação da metodologia é necessário que o decisor represente a importância relativa entre os critérios na forma de um peso, estabeleça um limite de preferência (p_j) e de indiferença (q_j) para cada critério j , estabeleça a discordância e a pertinência dos valores dos pesos atribuídos a cada critério, assim como a pertinência da classificação da alternativa no critério (GOMES *et al.*, 2010).

Para Vieira *et al.* (2006), o fato de se estabelecer uma discordância para cada critério se relaciona com a

não existência de critérios nos quais a intensidade de preferência de b em relação a a ultrapasse um limite aceitável.

Diante da falta de segurança e imprecisão no julgamento de valor empregado nos métodos de apoio multicritério à decisão, faz-se necessário quantificar a imprecisão para cada peso e para cada classificação das alternativas. Os decisores devem expressar os níveis de certeza por meio da utilização de índices de pertinência, associando a um elemento do universo um número real do intervalo $[0,1]$. Um índice de pertinência igual a 1 corresponde a absoluta certeza, ou seja, o decisor está plenamente seguro do peso atribuído ao critério, enquanto um índice de pertinência igual a zero indica absoluta incerteza. Utilizam-se dois índices de pertinência para refletir o grau de incerteza dos tomadores de decisão, um deles referindo-se aos pesos dos critérios e o outro à classificação das alternativas em cada critério. A retirada de um critério supostamente irrelevante pode conduzir a decisões com altos níveis de imprecisão no caso de existirem critérios com um alto grau de incerteza, ou seja, uma pertinência próxima de zero, ou na existência de alternativas classificadas neste critério com altos valores de imprecisão. Uma alternativa com grande imprecisão, mesmo que apresente uma boa pontuação, pode ser classificada abaixo de uma de menor imprecisão (GOMES *et al.*, 2008; GOMES; COSTA, 2015).

Dadas duas alternativas a e b , três situações devem ser consideradas na utilização do THOR: S_1 , S_2 e S_3 . Na utilização do algoritmo S_1 , as alternativas só têm sua atratividade pontuada em situações onde ocorre $aP_j b$. Desta forma, comparando a alternativa a com as demais alternativas, identificam-se os critérios em que ocorre $aP_j b$, levando em consideração os limites de preferência (P designa preferência estrita, Q designa preferência fraca), indiferença (I designa indiferença) e discordância, verificando se a condição imposta é satisfeita. Se for satisfeita, sabe-se que a domina b . As relações P , I e Q estão expressas nas equações 1, 2 e 3 respectivamente.

$$aPb \leftrightarrow g(a) - g(b) > +p \quad (1)$$

$$aIb \leftrightarrow -q \leq |g(a) - g(b)| \leq +q \quad (2)$$

$$aQb \leftrightarrow q < |g(a) - g(b)| \leq p \quad (3)$$

As equações (4), (5) e (6) refletem as três situações para que uma alternativa seja classificada melhor do que a outra (GOMES,1999).

$$S1: \sum_{j=1}^n (w_j | aP_j b) > \sum_{j=1}^n (w_j | aQ_j b + aI_j b + aR_j b + bQ_j a + bP_j a) \quad (4)$$

$$S2: \sum_{j=1}^n (w_j | aP_j b + aQ_j b) > \sum_{j=1}^n (w_j | aI_j b + aR_j b + bQ_j a + bP_j a) \quad (5)$$

$$S3: \sum_{j=1}^n (w_j | aP_j b + aQ_j b + aI_j b) > \sum_{j=1}^n (w_j | aR_j b + bQ_j a + bP_j a) \quad (6)$$

Na utilização do algoritmo S_2 , as alternativas têm sua atratividade pontuada em situações onde ocorre $aP_j b$ e $aQ_j b$. Já na utilização do algoritmo S_3 , as alternativas têm sua atratividade pontuada em situações onde ocorre $aP_j b$, $aQ_j b$ e $aI_j b$. Nos algoritmos S_2 e S_3 , verifica-se um cenário mais flexível, no qual uma menor diferença entre as alternativas permite classificar uma alternativa como melhor que outra (RANGEL; GOMES, 2010).

A depender do modelo, o critério pode ser classificado como verdadeiro-critério, quase-critério ou pseudocritério. No modelo verdadeiro-critério, qualquer diferença entre os valores da função (ou critério) g implica uma situação de preferência estrita, ocorrendo à situação de indiferença quando a $f(g)$ assume o mesmo valor tanto para a quanto para b . No entanto, é razoável admitir que pequenas diferenças $g(a) - g(b)$ traduzem igualmente uma indiferença entre a e b . Dessa forma, pode-se inserir um outro critério denominado limite de indiferença (q), representando o maior desvio compatível com uma situação de indiferença entre a e b . Neste modelo, denominado quase-critério, a existência de qualquer desvio ligeiramente superior ao limite de indiferença, configura uma situação de preferência estrita. No modelo pseudocritério, estabelecem-se limites de indiferença (q) e limites de preferência (p). Desta forma, evita-se a ocorrência de uma passagem brusca entre a indiferença e a preferência estrita, criando uma região de preferência fraca (Q), que se situa entre a indiferença (I) e a preferência estrita (P) (GOMES; GOMES, 2019).

Recomenda-se que o THOR seja utilizado preferencialmente nas situações de pseudocritério e quase-critério, uma vez que o método pode ser utilizado em sua capacidade total. A utilização do THOR na situação do verdadeiro critério, quando os valores de p e q assumem valor igual a zero, leva à igualdade dos ordenamentos correspondentes a S_1 e S_2 (GOMES, 2005; GOMES *et al.*, 2008).

O THOR foi criado por Gomes em 1999 e tem sido empregado, desde então, em diferentes segmentos de atuação. Tenório *et al.* (2019b) realizaram uma pesquisa bibliográfica nas bases *Scielo Brasil*, *Web of Science* e *Scopus*, sendo consultados, também, os artigos dos principais congressos nacionais da área ENGENHARIAS III. Dentre as principais contribuições, destacam-se a aplicação do método multicritério THOR na reciclagem de resíduos no Brasil (GOMES *et al.*, 2008) e a aplicação do método multicritério THOR, juntamente com os métodos ELECTRE (I e II) e PROMETHÉE II, ao problema de escolha de modelos de pagamento eletrônico por cartão de crédito (GOMES; COSTA, 2015).

Gomes *et al.* (2008) apresentaram dois estudos de caso nos quais os decisores apresentavam preferências distintas. O primeiro estudo de caso abordou a análise de alternativas de disposição de resíduos plásticos. Foram considerados quatro tipos de tomadores de decisão: governo, empresários, consumidores e integrado, que representava um ponto de vista balanceado, alcançado por negociações entre os tomadores de decisão. A grande diversidade entre os decisores, evidenciada pelos diferentes propósitos, conhecimentos e nível de conformidade ambiental dos agentes envolvidos e as alternativas de descarte de resíduos plásticos levantadas, mostraram uma valorização diferenciada de cada alternativa por parte dos decisores. Embora as alternativas melhor avaliadas tenham obtido pontuações ligeiramente diferentes (S_1 , S_2 e S_3), a posição relativa das alternativas não foi alterado, prevalecendo sobre todas as outras na visão de cada tomador de decisão.

O segundo estudo teve como temática a reciclagem de resíduos de construção e demolição. Os mesmos quatro tipos de tomadores de decisão (governo, empresas, consumidores e integrado) foram considerados utilizando o mesmo método indireto, selecionando-se três especialistas para cada setor. Além dos três algoritmos usuais (S_1 , S_2 e S_3) com a utilização de pesos, foi utilizado uma quarta abordagem (S_3), na qual não havia necessidade de atribuição de pesos. A diferença entre os quatro conjuntos de resultados não alterou a hierarquia das alternativas, três alternativas se mostraram melhores em todos os conjuntos analisados. Os resultados foram agrupados, inicialmente, em quatro conjuntos em ordem decrescente de ordenação de prioridades e, posteriormente transformados em três: alternativas de melhor performance, alternativas de performance média e alternativas de baixa performance. O estudo

também levou em consideração, um grau razoável de incerteza, devido à falta de preenchimento de algumas informações. Como solução, foram estimados valores com base em instalações com características semelhantes, introduzindo-os no THOR juntamente com o grau de incerteza de cada uma das informações existentes. Como contribuição teórica, destaca-se a inclusão de melhorias no recurso do índice de pertinência introduzido pela primeira vez pelo THOR, que leva em conta a incerteza das informações fornecidas pelos tomadores de decisão.

Gomes e Costa (2015) avaliaram diferentes tecnologias de pagamento eletrônico comumente aplicado no Brasil mediante os métodos AMD THOR (S_1 , S_2 e S_3), ELECTRE (I e II) e PROMETHÉE II. O estudo buscou avaliar se existiam diferenças, e quais eram, quando as três metodologias eram aplicadas para resolver o problema de escolha do modo de pagamento eletrônico por cartão de crédito. Os autores realizaram uma busca relevante sobre a utilização de cartões de crédito no país, em seguida definiram os critérios necessários para aplicação das metodologias, bem como suas características, pesos e alternativas. Ao aplicar os três métodos de ordenação, constataram que os métodos THOR S_3 , ELECTRE II e PROMETHÉE II convergiram para a adoção de um tipo de cartão de crédito, enquanto os métodos THOR S_1 , S_2 indicaram empate entre as alternativas e ELECTRE I incomparabilidade entre elas. Assim, verificando a robustez dos resultados, foi possível obter uma ordenação e auxiliar o decisor na análise de necessidades da organização e optar pela alternativa indicada.

3 DESCRIÇÃO E MODELAGEM DO PROBLEMA

Navios de escolta são compostos por fragatas, corvetas e contratorpedeiros (destróieres). Esses navios se diferenciam por seu tamanho, pela quantidade de armamento e pela força do motor. Uma escolta tem como função proteger uma unidade de maior valor, que pode ser um navio aeródromo, um navio transporte de tropas ou um navio de apoio logístico. Assim, sua função precípua é destruir ou neutralizar aeronaves e navios inimigos. Para tal, as fragatas brasileiras, por exemplo, têm mísseis anti-navio, canhões e lançadores de torpedos.

Os navios escoltas devem possuir capacidade antissubmarino, anti-superfície e antiaérea de defesa de ponto (disponibilidade de mísseis). Devem possuir capacidade de transporte, abastecimento, operação e manutenção de helicópteros, com capacidade para atacar alvos de superfície e submarinos, e realização de operações de esclarecimento (SANTOS *et al.*, 2016). A MB possui, no ano de 2019, 11 navios escolta, com idade média superior a 30 anos, próximos do fim da sua vida útil (FUOCO, 2018). Assim, impera a necessidade de repor os navios que vão sair de serviço para que sua capacidade mínima de combate não seja ainda mais comprometida.

Dos 11 navios escolta que restam, seis fragatas classe “Niterói”, duas fragatas classe “Greenhalgh” (*Type 22*), duas corvetas classe “Inhaúma” e uma corveta classe “Barroso”. Até 2025, pelo menos seis navios serão desativados, pois sua vida útil está chegando ao fim e apenas dois navios deverão durar até 2028, excetuando-se a “Barroso”, que foi incorporada em 2008. Três fragatas classe “Niterói”, duas fragatas *Type 22* e uma corveta deverão ser desativadas antes de 2025. As três fragatas restantes que deverão receber uma revitalização, devem seguir operando no máximo até 2028. A corveta “Julio de Noronha”, que passou por remotorização, será a última corveta classe “Inhaúma” a ser desativada. Até a entrada em serviço da primeira corveta classe “Tamandaré”, que tem data de incorporação prevista para 2024, a Esquadra Brasileira só poderá contar com cinco navios de escolta, um número muito baixo para as missões destinadas à MB. A possibilidade no atraso da entrega das fragatas “Tamandaré” não deve ser desconsiderada (GALANTE, 2018).

A corveta “Barroso”, por exemplo, levou cerca de 14 anos para ficar pronta, devido à falta de recursos para terminá-la (PODER NAVAL, 2008). Nesse ínterim, a MB pode buscar compras de oportunidade de navios no exterior para preencher a lacuna deixada entre a desativação dos navios atuais e a entrada em serviço dos novos navios.

Os estudos que seguem têm como objetivo auxiliar a MB no processo de tomada de decisão de um navio de referência para compra ou construção. Para tal, será utilizado o método THOR. Foram selecionadas oito alternativas de navios a serem utilizadas.

I. F-124 (D) - A classe F-124 *Sachsen* é a mais recente classe de fragatas da Marinha da Alemanha, dotadas de tecnologia de ponta de defesa aérea. O projeto destas fragatas baseia-se no da classe F123 *Brandenburg*, mas com características *stealth* (defesa para detecção de radar) melhoradas, e incorpora também o radar avançado multi-funções APAR, bem como o radar de longo alcance SMART-L, alegadamente capaz de detectar aviões e mísseis *stealth*. Embora designadas como fragatas, o seu tamanho e características podem comparar-se aos dos contratorpedeiros.

II. LCF (NL) – As quatro fragatas “De Zeven Provinciën” são navios avançados de defesa aérea em serviço na *Koninklijke Marine* (Marinha Real da Holanda). Esta classe, também conhecida como LCF, (*Luchtverdedigings-en commandofregat*), fragata de defesa aérea e de comando foi concebida para a proteção contra ameaças aéreas, mas também têm a bordo armas para engajar alvos de superfície e submarinos: mísseis antinavio *Harpoon* e torpedos anti-submarino Mk.46. A principal arma das “De Zeven Provinciën” é o Mk41 *Vertical Launch System*, cada um com 32 mísseis *Evolved Sea Sparrow* e 32 mísseis SM-2 *Standard IIIA*, com capacidade para interceptar mísseis balísticos. As fragatas são equipadas com a suíte *Thales Anti Air Warfare*, que consiste no radar APAR multifunção, capaz de guiar múltiplos mísseis ESSM e SM-2 simultaneamente contra múltiplos alvos e o radar SMART-L, com alcance de mais de 400km, capaz de detectar e rastrear milhares de alvos simultâneos, até mesmo os *stealth* (PODER NAVAL, 2008a).

III. F-100 (E) – A classe “Álvaro de Bazán” (também conhecida como a classe F100 de fragatas) é uma nova classe de fragatas de defesa do sistema de combate *Aegis* equipadas com a Marinha Espanhola. Os navios são equipados com tecnologia de armas *American Aegis* que lhes permite rastrear centenas de alvos aéreos simultaneamente como parte de sua rede de defesa aérea. A F-100 é um dos poucos navios não-americanos que usam o sistema SPY-1D (PODER NAVAL, 2008b).

IV. FREMM (F) + (I) – A FREMM (*Multipurpose Frigate — Frégate multi-mission* ou *Fregata Europea Multi-Missione*) é resultado do mais ambicioso programa naval cooperativo europeu para França e Itália. São fragatas com capacidade ASW, ASuW, AAW e ataque terrestre. As missões essenciais das FREMM são o domínio do meio aeromarítimo e a participação ativa em conjunto, assim como o apoio ao grupo aeronaval e anfíbio (PODER NAVAL, 2019).

V. HORIZON (F) + (I) – A missão principal das fragatas da classe *Horizon* é a defesa antiaérea contra-ataques de saturação com mísseis anti-navio. Mesmo o projeto tendo este objetivo, ainda sim, o navio conta com uma poderosa capacidade antissubmarina. Os navios da classe *Horizon* contam com modernos e eficientes sistemas de defesa contra radares inimigos e contra armamentos como mísseis anti-navio e torpedos que eventualmente sejam lançados contra o navio (WARFARE BLOG, 2016).

VI. T-45 DARING (UK) – O destróier Tipo 45, também conhecida como a D ou classe *Daring*, é uma classe de seis destróieres de mísseis guiados construídos para *United Kingdom's Royal Navy*. A classe é projetada principalmente para a guerra antiaérea e antimísseis e é construída em torno do sistema de defesa aérea PAAMS (*Sea Viper*) utilizando os radares de longo alcance SAMPSON AESA e S1850M. Os primeiros três destróieres foram montados pela *BAE Systems Surface Fleet Solutions* através de "blocos" parcialmente pré-fabricados construídos em diferentes estaleiros, os três restantes foram construídos pela *BAE Systems Maritime - Naval Ships*

VII. DDG-51 (USNavy) – O *USS Arleigh Burke* (DDG-51) é um contratorpedeiro da classe *Arleigh Burke* pertencente a Marinha de Guerra dos Estados Unidos. O DDG-51 é um destróier multi-missão com ênfase em operações de defesa aérea (AAW) e de água azul. Ao longo da carreira, participou de várias missões humanitárias e militares. Entre elas, a Operação Liberdade Duradoura, a invasão do Iraque em 2003 e a Operação Determinação Inerente.

VIII. F-125 (D) – As fragatas de classe F125 *Baden-Württemberg* são uma série de fragatas da marinha alemã, que foram projetadas e construídas pela ARGE F125, uma *joint-venture* da *Thyssen-Krupp* e da *Lürssen* (PODER NAVAL, 2013).

A partir dos parâmetros apresentados em Vogt (2018), foram elencados, após consulta a Oficiais da Marinha do Brasil com mais de 20 anos de experiência na área, os seguintes critérios:

I. Velocidade Máxima (VMax): Velocidade correspondente ao regime de máxima potência das máquinas. A velocidade máxima de um navio de guerra é raramente utilizada em tempo de paz, pois implica em um maior consumo de combustível e um esforço desnecessário da máquina.

II. Raio de Ação: Distância máxima, em milhas náuticas, que o navio consegue alcançar saindo de sua base, e a ela regressar, sem necessidade de reabastecimento de combustível.

III. Tripulação (T): Conjunto de pessoas, hierarquicamente organizadas, que asseguram a operação de uma embarcação. Inclui pessoal de várias carreiras profissionais certificados responsáveis por assegurar o funcionamento de cada um dos departamentos, seções ou serviços. O número de tripulantes vai depender das missões do navio e da tecnologia embarcada, ou seja, do nível de automação adotado. No outro extremo, uma tripulação mais numerosa diminui o conforto e a autonomia do navio no quesito mantimentos (VOGT, 2018). Considerou-se, no estudo, que quanto maior a tripulação, pior.

IV. Artilharia Principal: Armamento ou um conjunto de armamentos que confere a principal defesa ao navio.

V. Artilharia Secundária: Agem em complemento a bateria principal.

VI. AsuW (*Anti-surface warfare*): Ramo da guerra naval que se refere à supressão de combatentes de superfície. Mais genericamente, são quaisquer armas, sensores ou operações destinadas a atacar ou limitar a eficácia das naves de superfície de um adversário.

VII. ASW (*Anti-submarine warfare*): Ramo da guerra submarina que utiliza navios de guerra de superfície, aeronaves ou outros submarinos para localizar, rastrear e deter, danificar ou destruir submarinos inimigos.

VIII. He (helicóptero): Contribui para o valor combatente, transferência de carga e material, evacuação aeromédica.

A Tabela I, a partir do referencial abordado em Vogt (2018), resume as principais características técnicas-operacionais dos principais navios disponíveis no mundo para comercialização.

Tabela 1. Tabela comparativa dos parâmetros de fragatas e destróieres modernos

DADOS TÍPICOS	F-124 (D)	LCF (NL)	F-100 (E)	FREMM (F) + (I)	HORIZON (F) + (I)	T-45 (UK) DARING	DDG-51 (USNavy)	F-125 (D)
L (m)	143,0	144,2	146,7	137,0	153,0	152,4	153,8	149,5
LWL (m)	132,2	-	133,2	-	141,7	143,5	142,0	-
BWL (m)	16,7	18,9	18,6	19,0	20,0	18,0	18,0	18,8
T (m)	5,0	5,2	4,9	5,0	5,1	5,7	6,3	5,0
DISPL. FL. (tons)	5.600	6.050	5.800	5.500	6.700	7.350	8.300	7.200
V Max. (kts)	29	30	29	27	29	29	32	26
Raio Ação	4.000 / 18	5.000 / 18	4.500 / 18	6.000 / 15	7.000 / 18	7.000 / 18	8.150 / 20	4.000 / ?

Propulsão (MW)	CODAG 38,3	CODOG 16,8/37,0	CODAG 47,6	CODLAG 44	CODOG 52,0	IEP 44,4	COGAG 78,8	CODLAG 29,4
Tripulação	230 + 13	200 + 30	202 + 48	145	182 + 48	190 + 45	380	110 + 80
Artilharia Principal (mm)	1x76 mm SupRapid	1x127 mm OTO54LW	1x127/54 Mk 45-2	1x76 mm SupRapid	1x76 mm SupRapid	1x114 mm Mk 8-1	1x127 mm Mk 45-1	1x127 mm OTO62LW
Artilharia Secundária (mm)	2 x 27 mm	2 x CIWS 30 mm	2 x CIWS 20 mm	2 x KBA 25 mm	2 x KBA 25 mm	2 x CIWS 20 mm	2 x CIWS 20 mm	2 x 27 mm 7 x 12,7 mm
AAEW	ESSM SM-2 MR	ESSM SM-2 MR	ESSM SM-2 MR	ASTER-15 /30	ASTER-15 /30	ASTER-15 /30	ESSM SM-2 MR	2 x RAM
ASuW	EXOCET	HARPOON	HARPOON	MM-40	MM-40 III	HARPOON	HARPOON	HARPOON
ASW	MU-90	Mk-46	Mk-46	MU-90	MU-90	STGRAY	ASROC	SUB ROV
He	2 x LYNX	1 x LYNX	1 x SH60B	1 x NH-90	1 x NH-90	LYNX 300	1 x SH60B	2 x NH-90

O critério AAEW (*Anti-air warfare*), embora importante, não foi levado em consideração por conta de os navios em estudo apresentarem características operacionais muito similares. O critério custo é um fator relevante, todavia não se encontrou os valores de todos os navios; e os valores encontrados não eram precisos; logo o critério e a classificação das alternativas nos critérios teriam um valor muito alto de imprecisão, para todas as alternativas, e, portanto, não foi contemplado neste estudo.

A Tabela II apresenta as alternativas e critérios utilizados no estudo, na qual a primeira coluna é composta das alternativas, e as oito colunas seguintes, dos critérios. Cada célula corresponde a uma alternativa de navio classificada no seu respectivo critério. A atribuição da classificação das alternativas dos critérios Artilharia Principal, Artilharia Secundária, ASuW, ASW e He se deu por meio de uma escala de intervalos, onde a distância entre os valores das alternativas foi levada em consideração. A classificação das alternativas, pesos, limites de preferência, limites de indiferença e discordância para cada critério foram atribuídos através de uma análise conjunta com especialistas da área.

Tabela II. Alternativas e critérios utilizados no estudo

	Velocidade Máxima	Raio de Ação (na velocidade de cruzeiro)	Tripulação	Artilharia Principal	Artilharia Secundária	ASuW	ASW	He
F-124(D)	29	4000	-243	1	1	1	1	4
LCF(NL)	30	5000	-230	2,5	6	4	1	1
F-100(E)	29	4500	-250	2,5	4	4	1	3
FREMM (F) + (I)	27	6000	-145	1	3	2	1	3
HORIZON (F) + (I)	29	7000	-230	1	3	3	1	3
T-45 DARING (UK)	29	7000	-235	2	4	4	1	2

DDG-51 (USNavy)	32	8150	-380	2,5	4	4	3	3
F-125 (D)	26	4000	-190	2,5	2	4	2	6

Tabela III. Pesos dos critérios

Crítérios	Peso atribuído
Velocidade Máxima	2
Raio de ação (na velocidade de cruzeiro)	2
Tripulação	1
Artilharia Principal	3
Artilharia Secundária	3
ASuW	3
ASW	3
He	4

Tabela IV. Limiares de preferência e discordância dos critérios

Crítérios	Valor p	Valor q	Discordância
Velocidade Máxima	3	1	6,32
Raio de ação (na velocidade de cruzeiro)	400	40	4231,50
Tripulação	28	14	238,80
Artilharia Principal	1	0,5	1,53
Artilharia Secundária	1	0,5	5,06
ASuW	1	0,5	3,04
ASW	1	0,5	2,03
He	1	0,5	5,06

4. RESULTADOS

Através da utilização dos dados apresentados nas Tabelas II, III e IV, foi possível gerar as ordenações relacionadas na Tabela V. Os cálculos foram efetuados por meio de um sistema computacional denominado THOR 1 (Tenório *et al.*, 2019a) desenvolvido no Instituto Militar de Engenharia (IME).

A aplicação do THOR sinalizou a aquisição do navio DDG-51 (*USNavy*) como a melhor alternativa (Tabela V). Nitidamente, nota-se a existência de três grupos. De modo mais perceptível em S_3 , o primeiro grupo composto pela alternativa DDG-51, que apresenta um amplo destaque em relação às demais alternativas, o segundo grupo formado pelas alternativas: F-100, T-45 DARING, F-125 e LCF e um terceiro grupo composto pelas alternativas HORIZON, FREMM e F-124.

Tabela V. Ordenação das alternativas

S ₁		S ₂		S ₃	
DDG-51 (USNavy)	3.851	DDG-51 (USNavy)	4.78	DDG-51 (USNavy)	6.026
LCF(NL)	3.611	F-100(E)	3.785	F-100(E)	4.897
F-100(E)	3.611	F-125 (D)	3.667	T-45 DARING (UK)	4.357
F-125 (D)	3.55	T-45 DARING (UK)	3.307	F-125 (D)	4.1
HORIZON (F) + (I)	3.5	LCF(NL)	3.175	LCF(NL)	3.984
T-45 DARING (UK)	3.5	HORIZON (F) + (I)	1.5	HORIZON (F) + (I)	1.689
FREMM (F) + (I)	3.0	FREMM (F) + (I)	1.0	FREMM (F) + (I)	1.184
F-124(D)	1.5	F-124(D)	1.0	F-124(D)	0.515

Serão realizadas análises mais detalhadas, através da avaliação de dois cenários, uma vez que a alternativa DDG-51 pode se tornar inviável economicamente devido ao seu custo de aquisição (Grupo 1).

Cenário 01: Serão analisadas apenas ordenações com as alternativas do segundo grupo (Tabela VI), excluindo-se o terceiro grupo (F-124; FREMM e HORIZON) por apresentar pontuação mais baixa. Neste, a alternativa T-45 DARING apresentou o melhor desempenho em todos os tipos de ordenação (S1, S2 e S3).

Tabela VI. Ordenação das alternativas no primeiro cenário

S ₁		S ₂		S ₃	
T-45 DARING (UK)	1.5	T-45 DARING (UK)	1.5	T-45 DARING (UK)	2.07
F-100(E)	1.5	F-100(E)	1.5	F-100(E)	1.955
LCF(NL)	1.5	LCF(NL)	1.5	LCF(NL)	1.898
F-125 (D)	1.5	F-125 (D)	1.5	F-125 (D)	1.833

Cenário 02: A alternativa DDG-51 apresentou o melhor desempenho enquanto a alternativa F-124 apresentou o pior desempenho em todos os tipos de ordenação (S_1 , S_2 e S_3). Será feita, dessa forma, uma análise contemplando as alternativas restantes (Tabela VII).

Tabela VII. Ordenação das alternativas no segundo cenário

S_1		S_2		S_3	
F-125 (D)	2.5	F-125 (D)	2.817	F-100(E)	3.602
T-45 DARING (UK)	2.5	T-45 DARING (UK)	2.696	T-45 DARING (UK)	3.579
F-100(E)	2.5	F-100(E)	2.674	LCF(NL)	3.206
LCF(NL)	2.5	LCF(NL)	2.564	F-125 (D)	3.2
HORIZON (F) + (I)	2.5	HORIZON (F) + (I)	1	HORIZON (F) + (I)	0.931
FREMM (F) + (I)	2.5	FREMM (F) + (I)	0.5	FREMM (F) + (I)	0.517

No segundo cenário, a alternativa F-125 foi melhor classificada na situação S_2 , que tem sua atratividade pontuada nas situações onde ocorre $aP_j b$ e $aQ_j b$. Já em S_3 , que adota uma situação mais flexível, à alternativa de melhor pontuação foi a F-100.

Conclusão

Em termos operacionais, o melhor navio é o DDG-51. Deve-se salientar, no entanto, se o Brasil teria recursos financeiros para adquiri-lo. O preço não foi levado em consideração nesta análise, porém, dispondo dos valores de aquisição dos navios é possível fazer uma nova análise. Verificou-se que as alternativas F-100, T-45, LCF e F-125 permaneceram como as mais bem pontuadas. Conclui-se que o estudo deveria continuar buscando o critério de custo, com sua multidimensionalidade; focando nestas quatro alternativas. Existindo a possibilidade, que deve ser considerada, da aquisição, ser uma combinação de duas alternativas.

Referências

BRASIL. Ministério da Defesa. Estratégia Nacional de Defesa (END). 2016. Disponível em <http://www.defesa.gov.br/noticias/29093-minutas-do-livro-brancoda-pnd-e-da-end-estao-disponiveis-para-leitura>. Acesso em 06 jun. 2019.

BRASIL. Ministério da Defesa. Marinha do Brasil. Missão e Visão de Futuro da Marinha, 2019. Disponível em <https://www.marinha.mil.br/content/missao-e-visao-de-futuro-da-marinha>. Acesso em 06 jun 2019

CARDOSO, R. S.; XAVIER, L. H.; GOMES, C. F. S. & ADISSI, P. J. Uso de SAD no apoio à decisão na destinação de resíduos plásticos e gestão de materiais. *Pesquisa Operacional, SOBRAPO*, v. 29, n. 1, 2009, pp. 67–95.

FUOCO, T. Marinha fará licitação de U\$ 1,6 bi em navios de guerra no 1T19. 2018. Disponível em <<https://economia.uol.com.br/noticias/bloomberg/2018/11/12/marinha-fara-licitacao-de-u-16-bi-em-navios-de-guerra-no-1t19.htm?cmpid=copiaecola>> Acesso em 06 jun. 2019

GALANTE, A. Esquadra Brasileira deve perder mais seis navios de escolta até 2025. 2018. Disponível em: <<https://www.naval.com.br/blog/2018/09/27/esquadra-brasileira-deve-perder-mais-seis-navios-de-escolta-ate-2025/>>. Acesso em: 04 de jun. de 2019.

GOMES, C. F. S.; NUNES, K. R.; XAVIER, L. H.; CARDOSO, R. & VALLE, R. Multicriteria decision making applied to waste recycling in Brazil. *Omega*, v. 36, n. 3, 2008, pp. 395–404.

GOMES, C. F. S. THOR - Um Algoritmo Híbrido de Apoio Multicritério à Decisão para Processos Decisórios com Alternativas Discretas. 1999, 233 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1999.

GOMES, C. F. S. Using MCDA methods THOR in an application for outranking the ballast water management options. *Pesquisa Operacional*, v. 25, n. 1, 2005, pp. 11–28.

GOMES, C. F. S.; COSTA, H. G. Aplicação de métodos multicritério ao problema de escolha de modelos de pagamento eletrônico por cartão de crédito. *Production*, v. 25, n. 1, 2015, pp 54–68.

GOMES, C. F. S.; GOMES, L. F. A. M.; MARANHÃO, F. J. C. Decision analysis for the exploration of gas reserves: merging todim and thor. *Pesquisa Operacional*, v. 30, n. 3, 2010, pp. 601–617.

GOMES, L. F. A. M.; GOMES, C. F. S. *Princípios e Métodos para Tomada de Decisão Enfoque Multicritério*. 6ª Edição. Rio de Janeiro: Atlas, 2019.

PODER NAVAL. Finalmente, a corveta Barroso. 2008. Disponível em: <<https://www.naval.com.br/blog/2008/08/19/finalmente-a-barroso/>>. Acesso em: 04 de jun. de 2019.

PODER NAVAL. Batizada a primeira fragata F125 alemã, a ‘Baden-Württemberg’. 2013. Disponível em: <<https://www.naval.com.br/blog/2013/12/22/batizada-a-primeira-fragata-f125-alema-a-baden-wuerttemberg/>>. Acesso em: 04 de jun. de 2019.

PODER NAVAL. Candidata à nova escolta da MB: De Zeven Provincien. 2008a. Disponível em: <<https://www.naval.com.br/blog/2008/08/27/candidata-a-nova-fragata-da-mb-de-zeven-provincien/>>. Acesso em: 04 de jun. de 2019.

PODER NAVAL. Candidata à nova escolta da MB: fragata espanhola F-100. 2008b. Disponível em: <<https://www.naval.com.br/blog/2008/08/29/candidata-a-nova-escolta-da-mbfragata-espanhola-f100/>>. Acesso em: 04 de jun. de 2019.

PODER NAVAL. Itália oferece fragatas FREMM ao Brasil. 2019. Disponível em: < <https://www.naval.com.br/blog/2019/01/30/italia-oferece-fragatas-fremm-ao-brasil/>>. Acesso em: 04 de jun. de 2019.

RANGEL, L. A. D.; GOMES, L. F. A. M. O. Apoio Multicritério à Decisão na avaliação de candidatos. *Production*, v. 20, n. 1, 2010, pp. 92–101.

SANTOS, M., GOMES, C. F. S., OLIVEIRA, A. S., E COSTA, H. G. Uma abordagem multicritério para seleção de um navio de guerra de médio porte a ser construído no Brasil. In: *Anais XLVIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, Vitória, 2016.

TENORIO, F. M.; ARAUJO, J.C.; SANTOS, M.; GOMES, C. F. S. THOR 1 [software computacional]. Rio de Janeiro, 2019a.

TENORIO, F. M.; SANTOS, M.; GOMES, C. F. S. Revisitando o método THOR: uma pesquisa bibliométrica. In: *SIMPÓSIO DE PESQUISA OPERACIONAL E LOGÍSTICA DA MARINHA*, 19., 2019, Rio de Janeiro, RJ. *Anais [...]*. Rio de Janeiro: Centro de Análises de Sistemas Navais, 2019b.

VIEIRA, G. B. B.; PASA, G. S.; GOMES, C. F. S. & SANTOS, C. H. S. Identificação de hub ports na costa brasileira – uma comparação entre a análise conjunta e o sad-thor. In: *Anais XXXVIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, Goiânia, 2006.

VOGT, R. Novo estudo de um escolta para a Marinha do Brasil. *Revista Marítima Brasileira*, v. 138, n. 01/03, 2018, pp. 47-74.

WARFARE BLOG. FRAGATA CLASSE HORIZON Novos horizontes na cooperação naval europeia. 2016. Disponível em: < <https://www.warfareblog.com.br/2016/01/fragata-classe-horizon-novos-horizontes.html>>. Acesso em: 04 de jun. de 2019.

Recebido em: 21/02/2020

Aceito em: 10/05/2020

Endereço para correspondência:

Fabricio Maione Tenório

fabriciomte@gmail.com



Esta obra está licenciada sob uma [Licença Creative Commons Attribution 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)