

Aplicação do método híbrido AHP-TOPSIS-2N para seleção de um helicóptero de ataque a ser adquirido pela Marinha do Brasil

Sérgio Mitihiro do Nascimento Maêda¹, José Victor de Pina Corriça², Arthur Pinheiro de Araújo Costa³, Carlos Francisco Simões Gomes⁴, Marcos dos Santos⁵, Luiz Paulo Fávero⁶, Luiz Frederico Horácio de Souza de Barros Teixeira⁷, Igor Pinheiro de Araújo Costa⁸

¹⁴⁸Universidade Federal Fluminense (UFF) - Rua Passo da Pátria, 156 – 209, São Domingos, Niterói – RJ

⁷⁸Centro de Análises de Sistemas Navais (CASNAV) - Praça Barão de Ladário, s/nº, Ilha das Cobras, Rua da Ponte, Ed. 23, Centro, Rio de Janeiro – RJ

⁵Instituto Militar de Engenharia (IME) - Praça Gen. Tibúrcio, nº 80, Praia Vermelha, Urca, Rio de Janeiro – RJ

⁶Universidade de São Paulo (USP) - Rua da Reitoria, 374 – Cidade Universitária, Butantã, São Paulo – SP

²³Marinha do Brasil - Ilha de Mocanguê Grande, s/nº - Ponta D'Areia - Niterói - RJ

sergiomnmaeda@gmail.com, jvctor97@gmail.com, thurcos91@gmail.com, cfsg1@bol.com.br,
marcosdossantos_doutorado_uff@yahoo.com.br, lpfaverov@usp.br, frederico.horacio@gmail.com, costa_igor@id.uff.br

RESUMO

Este artigo tem como objetivo aplicar o método híbrido AHP-TOPSIS-2N para seleção de um helicóptero de ataque a ser adquirido pela Marinha do Brasil. Foram comparados seis modelos de helicópteros, dentre os mais utilizados pelas Forças Armadas de países desenvolvidos. O helicóptero selecionado seria empregado no apoio de fogo necessário às Operações Anfíbias do Corpo de Fuzileiros Navais. Os helicópteros tiveram seis critérios - velocidade máxima, carga útil, quantidade de foguetes, quantidade de mísseis ar-terra, alcance, canhão principal e quantidade de munições para os canhões – avaliados por oficiais aviadores da Marinha do Brasil. A aplicação do método AHP-TOPSIS-2N apresentou como resultado duas listas de ordenação e priorização dos helicópteros, proporcionando uma análise de sensibilidade mais rica e robusta, trazendo maior segurança, transparência e simplicidade ao processo decisório. Após a aplicação do método, a aeronave AH-64E APACHE foi escolhida como a mais indicada a ser adquirida para o cumprimento da missão.

PALAVRAS-CHAVES: AHP-TOPSIS-2N; Análise Multicritério; Processo decisório; Marinha do Brasil; Aeronave.

ABSTRACT

This paper aims to apply the hybrid method AHP-TOPSIS-2N for the selection of an attack helicopter to be acquired by the Brazilian Navy. Six helicopter models were compared, among the most used by the Armed Forces of developed countries. The selected helicopter would be employed in the fire support required by the Marine Corps Amphibious Operations. The helicopters had six criteria - maximum speed, payload, number of rockets, number of air-to-ground missiles, range, main cannon and amount of ammunition for the cannons – evaluated by airship officers of the Brazilian Navy. The application of the AHP-TOPSIS-2N method presented as a result two lists of ordering and prioritization of the helicopters, providing a richer and more robust sensitivity analysis, bringing greater security, transparency and simplicity to

the decision-making process After the application of the method, the AH-64E APACHE aircraft was chosen as the most suitable to be acquired for the fulfillment of the mission.

KEYWORDS: AHP-TOPSIS-2N; Multicriteria Analysis; Decision-making process; Brazilian Navy; Aircraft.

1. INTRODUÇÃO

Aprovada pelo Decreto nº 6.703, de 18 de dezembro de 2008 a Estratégia Nacional de Defesa (END), que foi atualizada em 2012, visa garantir a segurança do país tanto em tempo de paz, quanto em situações de crise, estabelecendo diretrizes para a adequada preparação e capacitação das Forças Armadas Brasileiras (FFAA). A END foi desenvolvida, também, para atender às necessidades de equipamento dos Comandos Militares, reorganizando a indústria de defesa para que as tecnologias mais avançadas estejam sob domínio nacional e instituindo ações estratégicas de médio e longo prazo objetivando a modernização da estrutura nacional de defesa (Brasil, 2008).

É imprescindível que se disponha de FFAA modernas, equipadas e capacitadas para garantir sua soberania e interesses estratégicos, e que respaldem sua política externa e posicionamentos nos fóruns internacionais. Em 2019 foi promulgado pela Marinha do Brasil um documento intitulado Política Naval (PN) o qual orienta, em conformidade com a END, o planejamento estratégico da Marinha do Brasil (MB), cujo cumprimento impõe a disponibilidade de forças navais aptas a atuarem em consonância com a magnitude político-estratégica e econômica do Brasil no cenário internacional (Marinha do Brasil, 2019).

De acordo com os objetivos e diretrizes estabelecidos na Política Nacional de Defesa (PND) e na Estratégia Nacional de Defesa (END), documentos de alto nível que condicionam o preparo e o emprego das Forças Armadas, cabe à MB o emprego do Poder Naval (Marinha do Brasil, 2019). Ainda de acordo com aquele documento, o Poder Naval deve possuir capacidade e credibilidade suficientes para dissuadir eventuais forças adversas de conduzirem ações hostis nas Águas Jurisdicionais Brasileiras (AJB). A ação de presença de unidades navais no Atlântico Sul, onde se insere a “Amazônia Azul”, e nos rios das bacias Amazônica e Paraguai-Paraná será fator essencial para o fortalecimento dessa dissuasão. Assim, a Força deve estar preparada, tanto para atuar numa crise interestatal, como para fiscalizar e reprimir a atuação de grupos adversos praticando atividades ilegais nas Águas Jurisdicionais Brasileiras (AJB).

Desde que a primeira versão da Estratégia Nacional de Defesa colocou como missão elevar o patamar das FFAA, cada Força apresentou a sua concepção de mudança militar: a MB priorizou a modernização (Teixeira Junior, 2019). O Poder Naval compreende a capacidade de utilização do mar e das águas interiores, ao dispor de uma força com propriedade expedicionária, em permanente condição de pronto emprego, assegurando a projeção de poder sobre terra. Esta força é caracterizada por um conjugado anfíbio, composto por uma Força Naval, um Grupamento Operativo de Fuzileiros Navais (GptOpFuzNav) embarcado, e os meios aeronavais adjudicados, em condições de cumprir missões relacionadas às tarefas básicas do Poder Naval (Marinha do Brasil, 2017).

Dentre os meios aeronavais necessários para a realização de missões aeronavais, destaca-se o uso de helicópteros de ataque, próprios para atividades de reconhecimento e de apoio de fogo aéreo, em virtude de sua grande quantidade de armamentos e capacidade de

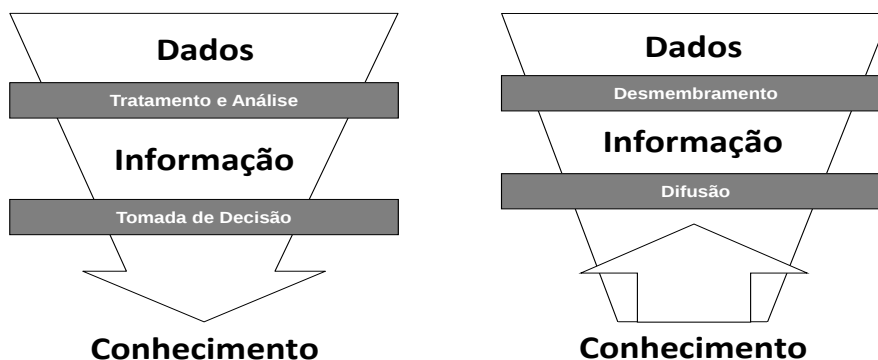
engajar alvos aéreos e terrestres. Essa função atualmente é exercida por helicópteros de porte menor e com baixo poder de fogo, os quais poderiam ser substituídos por meios mais modernos, específicos para essa finalidade, garantindo assim um melhor desempenho na execução de tais atividades. Desse modo, seria de grande valia ao Corpo de Fuzileiros Navais (CFN) que a MB adquirisse novos helicópteros com capacidades para prover o apoio de fogo necessário às Operações Anfíbias (OpAnf), capazes de efetuar reconhecimento aéreo avançados e apoio aéreo ofensivo, principalmente no combate a veículos blindados e tropas inimigas em solo.

A END prevê, sob a condução do Ministério da Defesa, a aquisição de helicópteros de transporte e de reconhecimento e ataque, adquiridos com compensação comercial, industrial e tecnológica (Brasil, 2012). Considerando tal necessidade, devido à quantidade, diversidade e complexidade de modelos existentes atualmente, a tarefa de selecionar um meio que seja mais adequado às necessidades da MB, objetivando prestar apoio às operações desempenhadas pelos Fuzileiros Navais, não é nada simples.

Os modelos de helicópteros existentes e utilizados nas principais Forças Armadas do mundo podem ser analisados à luz de vários critérios, sejam eles qualitativos ou quantitativos, como por exemplo: velocidade, armamentos, autonomia e capacidade de carga, e alguns mais complexos, como manobrabilidade, sistemas e tecnologias agregadas. Para Santos *et al.* (2019), no processo para a tomada da decisão, a Engenharia de Produção se torna um mecanismo fundamental no assessoramento dos gestores. Dentro desta 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).

Ressalta-se a relevância da hierarquia entre dados, informação e conhecimento em PO. Os dados, quando tratados e analisados, transformam-se em informações. Já o conhecimento é gerado no momento em que tais informações são reconhecidas e aplicadas na tomada de decisão. Analogamente, a hierarquia reversa também pode ser aplicada, visto que o conhecimento, quando difundido ou explicitado, torna-se uma informação que, quando desmembrada, tem capacidade para gerar um conjunto de dados (Fávero & Belfiore, 2019). A Figura 1 apresenta esta lógica, fundamental para o campo da PO.

Figura 1 - Importância da Hierarquia entre Dados, Informação e Conhecimento em PO.



Fonte: Adaptado de Fávero e Belfiore (2019).

Neste sentido, a PO é uma área que cuida da otimização dos processos organizacionais e de métodos de resolução de problemas e apoio à decisão, entre outros. Procura aperfeiçoar as operações existentes e/ou ajudar no processo de tomada de decisão, visando não só fornecer subsídios racionais, bem como proporcionar ferramentas quantitativas ao processo de tomada de decisões (Gomes & Gomes, 2019). A ferramenta de PO usada neste artigo para a escolha do helicóptero de ataque mais adequado a ser adquirido pela MB é o método de Apoio Multicritério à Decisão (AMD) híbrido AHP-TOPSIS-2N. Este artigo visa, portanto, aplicar um método de AMD no estado da arte para contribuir com a solução de um problema complexo da área militar.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Segundo Colombo et al (2019), o método de AMD híbrido AHP-TOPSIS-2N, proposto inicialmente por Souza *et al.* (2018), é constituído por duas técnicas de tomada de decisão multicritério que são usualmente adotadas em cenários complexos, caracterizados pela presença de objetivos múltiplos e conflitantes: os métodos AHP e TOPSIS. Para compreender o método, é necessário um entendimento prévio das duas técnicas que o compõem.

O Método *Analytic Hierarchy Process* (AHP), desenvolvido por Saaty (1980), consiste em uma técnica quantitativa para o problemas de AMD, sendo uma das mais utilizadas no mundo, devido a sua facilidade e por ser intuitiva. O método é utilizado para ponderar os pesos dos critérios, comparando-os dois a dois segundo uma escala, como ilustrado na Tabela 1. Uma das vantagens do método AHP é que ele permite identificar as inconsistências dos tomadores de decisão. Uma Razão de Consistência (RC) menor que 0,10 é considerada aceitável, enquanto uma RC superior a 0,10 gera a necessidade de a que o tomador de decisão faça avaliações ou julgamentos novamente (García et al., 2014).

Tabela 1 - Escala fundamental de Saaty.

Intensidade de Importância	Definição	Explicação
1	Igual importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo
3	Fraca importância	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação a outra
5	Forte importância	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação a outra.
7	Muito forte importância	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação a outra; sua dominação de importância é demonstrada na prática
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação a outra com o mais alto grau de certeza
2, 4, 6, 8	Valores intermediários	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições

Fonte: Adaptado de Saaty (1980).

O Método *Technique for Order Preferences by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS), apresentado por Hwang e Yoon (1981), ordena as alternativas de acordo com a proximidade da Solução Ideal Positiva (SIP). A melhor alternativa é aquela que está mais próxima da SIP e mais distante da Solução Ideal Negativa (SIN). Para a aplicação do método AHP-TOPSIS-2N, Colombo et al. (2019) definiram nove passos, descritos a seguir:

I. Estabelecimento da Matriz de Decisão, expressando a pontuação de cada alternativa em relação a cada critério analisado;

II. Confecção da Matriz de Ponderação, utilizando a escala fundamental de Saaty, mediante a avaliação par a par de cada critério;

III. Mediante aplicação do método AHP, são obtidos os pesos de cada critério. Ressalta-se a importância do cálculo da RC, a qual deve ser menor que 0,1 para garantia da consistência da análise;

IV. Obtenção da Matriz de Decisão normalizada: no caso do método AHP-TOPSIS-2N são utilizadas duas diferentes normalizações (Souza et al., 2018) (1)(2):

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{(\sum x_{ij})^2}} \quad (1)$$

$$p_{ij} = \frac{p_{ij} - \min p_{ij}}{\max p_{ij} - \min p_{ij}} \quad (2)$$

V. Construção da Matriz de Decisão Normalizada Ponderada: as matrizes ponderadas são obtidas mediante multiplicação dos pesos calculados no passo III pelas matrizes normalizadas:

VI. Obtenção da SIP (A^+) e SIN (A^-) (3);

$$A^+ = \{p_1^+, p_2^+, \dots, p_m^+\}; \quad A^- = \{p_1^-, p_2^-, \dots, p_m^-\} \quad (3)$$

VII. Cálculo das distâncias euclidianas de cada uma das alternativas em relação a SIP (D_i^+) e a SIN (D_i^-) (Souza et al., 2018) (4)(5):

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (p_{ij} - p_j^+)^2} \quad (4)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (p_{ij} - p_j^-)^2} \quad (5)$$

VIII. Cálculo da proximidade relativa à alternativa ideal (6):

$$C_i^+ = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-} \quad (6)$$

IX. Ordenação das preferências.

De acordo com Souza *et al.* (2018), esta metodologia tem as seguintes vantagens:

I - Possibilidade de identificação da forma de normalização do AHP-TOPSIS;

II - A possibilidade de duas normalizações coerentes permite uma análise de sensibilidade do Resultado;

III - Essa análise de sensibilidade permite gerar regras de decisão para agrupar as alternativas em conjuntos;

IV - A combinação AHP-TOPSIS torna o processo axiomáticamente correto;

V - O conceito de hierarquia com pesos associado ao conceito de verificação de quanto uma alternativa está mais perto e mais distante de uma alternativa ideal.

Como principais aplicações do método destacam-se a priorização e distribuição de portfólios de investimentos (Souza *et al.*, 2018), seleção da melhor configuração de poço de petróleo para o desenvolvimento de um campo (Colombo *et al.*, 2019) e ordenação da execução de furos de alívio em revestimentos de poços de petróleo sob risco de colapso (Barbosa *et al.*, 2019).

3. METODOLOGIA E PROBLEMA

Para a viabilização da análise, foram selecionadas seis modelos de helicópteros empregados em Forças Armadas de países desenvolvidos, de eficácia comprovada em combate. Visando trazer maior confiabilidade à avaliação, foram selecionadas apenas informações disponíveis nos manuais dos fabricantes dos helicópteros.

3.1. APRESENTAÇÃO DAS ALTERNATIVAS DE HELICÓPTEROS

I - AH-1Z VIPER - BELL

O Bell AH-1Z VIPER foi construído com o objetivo de atender as necessidades do *United States Marine Corps*, sendo utilizado por esta força desde 2009 (BELL, 2020). Devido ao USMC operar em vários ambientes, principalmente no mar, esta aeronave foi desenvolvida especialmente para suportar as intempéries marítimas. O BELL apresenta flexibilidade de equipagem conforme cada missão específica, com capacidade de transporte de 28 foguetes de precisão teleguiados APKWS; 16 mísseis Ar-Terra HellFire®; 76 foguetes Mk-66® de 70 mm e um canhão principal M-197 de 20 mm com capacidade para 650 munições. Além disso, possui dois mísseis Ar-Ar acoplados à lateral, permitindo a utilização do espaço destinado ao sistema bélico para o armamento de ataque ao solo.

II - T129 ATAK – TURKISH AEROSPACE

Fabricado pela *Turkish Aerospace*, o T129 ATAK foi desenvolvido para atender às necessidades das Forças Armadas da Turquia. É um helicóptero de ataque bimotor, otimizado para a realização de missões de ataque, reconhecimento armado e ataques de precisão, sob diversas condições climáticas e em períodos diurnos e noturnos.

Segundo as informações do fabricante (TURKISH AEROSPACE, 2020), a aeronave é equipada com uma metralhadora de 20mm com capacidade para 500 munições e 76 foguetes

(70mm) integrados; Ainda, baseado nas características das missões podem ser integrados a aeronave 16 x Mísseis Ar-Terra CIRIT® 70mm guiados por laser, 8 mísseis anti-tanque de longo alcance UMTAS® e 8 mísseis ar-ar STINGER®.

III - MI-35M – *RUSSIAN HELICOPTERS*

O helicóptero Mi-35M, atualmente fabricado pela Russian Helicopters e desenvolvido originalmente pela Mil Moscow Helicopter Plant, é um helicóptero de ataque que apresenta como diferencial o seu porte, pois apresenta peso e dimensões relativamente maiores que um helicóptero de ataque comum. Além disso, possui uma cabine de transporte, com capacidade de carregamento de até 08 paraquedistas equipados, cargas internas de até 1500 Kg e até equipe médica para realização de evacuações aeromédicas.

Segundo o fabricante *Russian Helicopters* (2020), o Mi-35Ma possui uma metralhadora dupla de 23 mm com capacidade para até 470 munições; até 80 foguetes (80 mm); até 20 foguetes de 122 mm do tipo S-13®; e até 08 mísseis ar-terra 9M114/9M120®. A aeronave é empregada pelas Forças Armadas da Rússia, Venezuela, Azerbaijão e Brasil, sendo denominado internamente pela Força Aérea Brasileira como AH-2 Sabre.

IV - KA-52K KATRAN - *RUSSIAN HELICOPTERS*

O Ka-52 Katran é a versão projetada para operar em ambiente naval do Ka-52 Aligator, produzido pela Russian Helicopters. Trata-se de uma aeronave de reconhecimento e combate de última geração com objetivo de destruir alvos terrestres blindados e não blindados, tropas e helicópteros inimigos tanto na linha de frente quanto em reservas táticas (*RUSSIAN HELICOPTERS*, 2020). Este helicóptero também possui um pequeno compartimento de carga, é capaz de operar em períodos noturnos e diurnos e sob condições climáticas severas. Este modelo é equipado com uma metralhadora de 30 mm com capacidade para até 460 munições, além dos demais mísseis e foguetes que operam no Mi-35M.

V - HAD TIGER – *AIRBUS*

O HAD Tiger é o helicóptero de ataque multifuncional da Airbus Helicopters, que visa realizar reconhecimento armado, escoltas ar-terra, combates ar-ar, apoio de fogo aéreo e ataques a alvos blindados em terra, de dia ou de noite e em condições adversas (*HELIBRAS*, 2020). Possuem uma versão especial para operação em ambientes marítimos a partir de navios.

A aeronave é equipada com um canhão principal de 30mm com capacidade para 450 munições, 68 foguetes 68 mm ou 52 foguetes 70 mm e até 16 mísseis Hellfire® e infravermelhos ER Spike® ar-terra guiados por fibra ótica. Uma vantagem desta aeronave é a possibilidade de ter sua manutenção realizada no Brasil pela Helibras, empresa subsidiária da *Airbus Helicopters*.

VI - AH-64E APACHE – BOEING

Um dos helicópteros de ataque mais conhecidos mundialmente, o AH-64E APACHE, produzido pela Boeing, é largamente empregado por diversas forças armadas, tais como o Exército dos Estados Unidos, Egito, Grécia, Índia, Indonésia, Israel, Japão, Coréia, Kuwait, Holanda, Catar, Arábia Saudita, Cingapura, Emirados Árabes Unidos e Reino Unido (BOEING, 2020).

Este modelo é equipado com um canhão principal de 30 mm com capacidade de até 1200 munições, sendo a maior capacidade entre os helicópteros de ataque. Ainda, pode operar até 76 foguetes de 70 mm e 16 mísseis Hellfire®. Cabe ressaltar que este modelo de helicóptero já operava no Porta-Helicópteros Atlântico enquanto este pertencia à Royal Navy, comprovando assim sua capacidade de operar em ambientes marítimos.

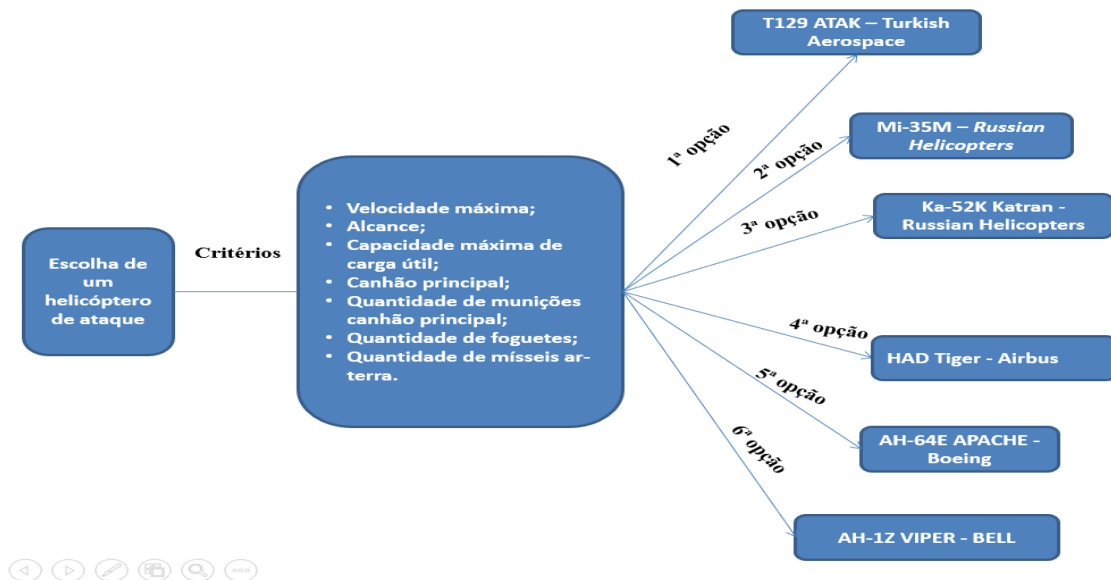
3.2 CRITÉRIOS DE COMPARAÇÃO

Considerando as especificidades relativas de cada helicóptero avaliado, o que tornaria a comparação inviável, neste artigo serão levados em consideração apenas os aspectos comuns a todas as aeronaves. Para a determinação dos critérios, foram realizadas entrevistas com alguns Oficiais aviadores da MB com vários anos de experiência.

Santos (2018) apresenta a espiral do processo decisório, concebida como uma abstração mental, uma vez que o processo decisório acerca de um problema se desdobra em oito etapas, partindo de uma situação problemática, até a decisão de implementação ou não do modelo. A partir daí a percepção da situação problemática ganha uma nova dimensão, incorporando novos fatos da realidade subjacente que antes não tinham sido levados em consideração. Isso levará a um novo entendimento do problema, e, talvez, conduzirá a um novo objetivo, fazendo com que todo o processo se repita.

Considerando as aeronaves apresentadas neste trabalho, os critérios julgados importantes pelos militares da MB entrevistados e as informações técnicas das aeronaves disponibilizadas pelos fabricantes em seus meios oficiais, a situação problemática foi moldada em um esquema, baseado no mapa mental proposto por (Santos *et al.*, 2016), conforme a Figura 2:

Figura 2 - Mapa Mental da Escolha de um Helicóptero de Ataque.



Fonte: Adaptado de Santos et al. (2016).

A partir deste mapa mental, foram selecionados os seguintes critérios de comparação:

- i. **Velocidade Máxima:** Velocidade desenvolvida com o regime máximo dos motores, essencial para realização de reconhecimento, interceptações e apoio de fogo às tropas em situações críticas;
- ii. **Alcance:** Considerando que um Teatro de Operações possa ter grandes dimensões, quanto maior for o alcance de uma aeronave maior será a capacidade de atuação em diferentes missões;
- iii. **Carga Útil:** Medida obtida ao se reduzir o peso da aeronave do peso máximo de decolagem da mesma. Tal medida é importante pois influenciará diretamente no alcance, na quantidade de combustível e munições/armamento que o helicóptero poderá carregar.
- iv. **Canhão Principal:** arma amplamente utilizada no combate aproximado, que consiste em ações aéreas por aeronaves de asa fixa e rotativa contra alvos hostis que estão próximos a forças amigas. Tal componente pode ser utilizado contra tropas em solo, veículos, edificações ou até mesmo aeronaves hostis. Para este estudo serão comparados os calibres desta arma, aonde quanto maior o calibre maior será o poder de destruição dos projéteis.
- v. **Quantidade de Munições do Canhão Principal:** Devido a importância de um apoio de fogo eficaz e duradouro, é relevante a quantidade de munições do canhão principal que uma aeronave pode portar.
- vi. **Quantidade de Foguetes:** Este tipo de armamento é utilizado principalmente contra alvos em terra, podendo ser guiados ou não. Devido a grande necessidade de apoio de fogo nas missões do CFN, quanto maior for a quantidade de foguetes embarcados melhor este apoio será prestado.

- vii. **Quantidade de Mísseis Ar-Terra:** Possuem grande poder de destruição e normalmente são guiados a laser, podendo ser utilizados contra veículos blindados, edificações e outros tipos de alvos. Todavia, devido ao seu maior porte são transportados em menor número do que os foguetes nas aeronaves de combate.

4. APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP-TOPSIS-2N

Nesta seção, são realizados todos os passos descritos anteriormente para a aplicação do método AHP-TOPSIS-2N.

4.1 MATRIZ DE DECISÃO

A partir dos critérios e alternativas estabelecidos anteriormente, obtém-se a matriz de decisão (Tabela 2).

Tabela 2 - Dados operativos dos helicópteros analisados.

	Velocidade Máx (Km/h)	Carga Útil (Kg)	Canhão Principal (mm)	Qtd.de Munições do Canhão Principal	Qtd. de Foguetes	Qtd. Mísseis Ar-Terra	Alcance (Km)
T129 ATAK	281	2710	20	500	76	16	537
Mi-35M	310	2400	23	470	80	20	460
BELL AH-1Z VIPER	370	2615	20	650	76	16	485
Ka-52K Katran	300	3300	30	460	80	12	460
Tiger HAD	271	2030	30	450	68	8	740
AH-64E APACHE	279	2835	30	1200	76	16	476

Fonte: Autores (2020).

4.2 OBTENÇÃO DOS PESOS DOS CRITÉRIOS

Primeiramente, é feita a comparação par a par dos critérios, por meio do método AHP, pelos decisores, os quais, após consenso, avaliaram as notas, observando a escala fundamental de Saaty. Após a avaliação paritária pelos decisores, foi obtida a matriz de avaliação dos critérios (tabela 3).

Tabela 3 - Matriz de avaliação dos critérios.

	Velocidade Máxima (Km/h)	Carga Útil (Kg)	Canhão Principal (mm)	Qtd.de Munições do Canhão Principal	Qtd. de Foguetes	Qtd. Mísseis Ar-Terra	Alcance (Km)
Velocidade Máxima (Km/h)	1	2	1/2	1/3	1/2	1/3	1/2
Carga Útil (Kg)	½	1	1/3	1/3	1/4	1/3	1
Canhão Principal (mm)	2	3	1	1	1/2	1/2	3
Qtd.de Munições do Canhão	3	3	1	1	2	1	1
Qtd. de Foguetes	3	4	2	1/2	1	1/2	4
Qtd. Mísseis Ar-Terra	3	3	2	1	2	1	3

Alcance (Km)	2	1	1/3	1	1/4	1/3	1
--------------	---	---	-----	---	-----	-----	---

Fonte: Autores (2020).

A Tabela 4 - Consistência da matriz de avaliação dos critérios mostra os valores relacionados à consistência da avaliação paritária dos critérios. Ressalta-se o valor de RC – 0,0585 –, menor que o valor mínimo aceitável, de 0,1. Portanto, os valores dos pesos obtidos após a análise dos decisores podem ser considerados consistentes.

Tabela 4 - Consistência da matriz de avaliação dos critérios.

Lambda máximo	7,4634
Razão de consistência	0,0585
Índice de consistência	0,0772

Fonte: Autores (2020).

A Tabela 5 - Pesos obtidos após análise par a par dos critérios apresenta os pesos dos critérios obtidos mediante aplicação do método AHP. Analisando os resultados, observa-se um peso muito maior dado aos critérios relativos ao poder de fogo das aeronaves, como quantidade de mísseis Ar-Terra, foguetes e parâmetros referentes ao canhão principal dos helicópteros.

Tabela 5 - Pesos obtidos após análise par a par dos critérios.

Velocidade Máx (Km/h)	0,0757
Carga Útil (Kg)	0,586
Canhão Principal (mm)	0,1586
Qtd.de Munições do Canhão Principal	0,191
Qtd. de Foguetes	0,1878
Qtd. Mísseis Ar-Terra	0,2467
Alcance (Km)	0,0836

Fonte: Autores (2020).

4.3 OBTENÇÃO DAS MATRIZES DE DECISÃO NORMALIZADAS

Utilizando a primeira normalização (equação 1), obtém-se a Tabela 6.

Tabela 6 - Matriz normalizada - 1ª normalização.

	Velocidade Máx (Km/h)	Carga Útil (Kg)	Canhão Principal (mm)	Qtd.de Munições do Canhão Principal	Qtd. de Foguetes	Qtd. Mísseis Ar-Terra	Alcance (Km)
T129 ATAK	0,3788	0,4133	0,3151	0,3016	0,4077	0,4313	0,4093
Mi-35M	0,4168	0,366	0,3624	0,2835	0,4291	0,5392	0,3506
BELL AH-1Z VIPER	0,4974	0,3988	0,3151	0,3921	0,4077	0,4313	0,3697
Ka-52K Katran	0,4033	0,5033	0,4726	0,2775	0,4291	0,3235	0,3506
Tiger HAD	0,3643	0,3096	0,4726	0,2715	0,3648	0,2157	0,5641
AH-64E APACHE	0,3751	0,4324	0,4726	0,724	0,4077	0,4313	0,3628

Fonte: Autores (2020).

A Tabela 7 - Matriz ponderada - 1ª normalização. apresenta os valores normalizados ponderados, após multiplicação pelos pesos dos critérios obtidos anteriormente. Os valores normalizados variam de $0 < V < 1$.

Tabela 7 - Matriz ponderada - 1ª normalização.

	Velocidade Máx (Km/h)	Carga Útil (Kg)	Canhão Principal (mm)	Qtd.de Munições do Canhão Principal	Qtd. de Foguetes	Qtd. Mísseis Ar-Terra	Alcance (Km)
T129 ATAK	0,0286	0,0242	0,0493	0,0576	0,0766	0,1064	0,0342
Mi-35M	0,0316	0,0214	0,0568	0,0541	0,0806	0,133	0,0293
BELL AH-1Z	0,0377	0,0234	0,0493	0,0749	0,0766	0,1064	0,0309
Ka-52K	0,0305	0,0295	0,074	0,053	0,0806	0,0798	0,0293
Tiger HAD	0,0276	0,0181	0,074	0,0519	0,0685	0,0532	0,0472
AH-64E	0,0284	0,0253	0,074	0,1383	0,0766	0,1064	0,0303

Fonte: Autores (2020).

Utilizando a segunda normalização (equação 2), obtém-se a Tabela 8. Vale ressaltar que, nesta normalização, diferentemente da primeira, os valores variam de $0 \leq V \leq 1$, como por exemplo as alternativas T129 ATAK e BELL AH-12 VIPER à luz do critério Canhão Principal, que obtiveram valor 0, pois apresentam o pior desempenho neste quesito. Em contrapartida, destaca-se a alternativa MI-35M, que obteve nota 1 nos critérios Quantidade de foguetes e Mísseis de ar-terra, pois apresenta o melhor desempenho nos dois quesitos entra as alternativas avaliadas.

Tabela 8 - Matriz normalizada - 2ª normalização.

	Velocidade Máx (Km/h)	Carga Útil (Kg)	Canhão Principal (mm)	Qtd.de Munições do Canhão Principal	Qtd. de Foguetes	Qtd. Mísseis Ar-Terra	Alcance (Km)
T129 ATAK	0,101	0,5354	0	0,0667	0,6667	0,6667	0,275
Mi-35M	0,3939	0,2913	0,3	0,0267	1	1	0
BELL AH-	1	0,4606	0	0,2667	0,6667	0,6667	0,0893
Ka-52K	0,2929	1	1	0,0133	1	0,3333	0
Tiger HAD	0	0	1	0	0	0	1
AH-64E	0,008	0,6339	1	1	0,6667	0,6667	0,0571

Fonte: Autores (2020).

A Tabela 9 apresenta os valores normalizados ponderados, após multiplicação pelos pesos dos critérios obtidos anteriormente.

Tabela 9 - Matriz normalizada ponderada - 2ª normalização.

	Velocidade Máx (Km/h)	Carga Útil (Kg)	Canhão Principal (mm)	Qtd.de Munições do Canhão Principal	Qtd. de Foguetes	Qtd. Mísseis Ar-Terra	Alcance (Km)
T129 ATAK	0,0076	0,0314	0	0,0127	0,1252	0,1645	0,023
Mi-35M	0,0298	0,0171	0,047	0,0051	0,1878	0,2467	0
BELL AH-	0,0757	0,027	0	0,0509	0,1252	0,1645	0,0075
Ka-52K	0,0222	0,0586	0,1566	0,0025	0,1878	0,0822	0
Tiger HAD	0	0	0,1566	0	0	0	0,0836
AH-64E	0,0061	0,0371	0,1566	0,191	0,1252	0,1645	0,0048

Fonte: Autores (2020).

4.4 OBTENÇÃO DAS ORDENAÇÕES PARA AS DUAS NORMALIZAÇÕES

A Tabela 10 apresenta as ordenações das alternativas após os dois processos de normalização.

Tabela 10 - Ordenação das alternativas nos dois processos de normalização.

1ª Normalização			2ª Normalização		
	Classificação	Pontuação		Classificação	Pontuação
AH-64E APACHE	1º	0,7587	AH-64E APACHE	1º	0,6852
Mi-35M	2º	0,4791	Mi-35M	2º	0,5684
BELL AH-1Z VIPER	3º	0,4421	Ka-52K Katran	3º	0,4965
T129 ATAK	4º	0,3778	BELL AH-1Z VIPER	4º	0,4785
Ka-52K Katran	5º	0,2809	T129 ATAK	5º	0,4333
Tiger HAD	6º	0,2037	Tiger HAD	6º	0,3204

Fonte: Autores (2020).

Após aplicação do método AHP-TOPSIS-2N, observa-se que a existência de três clusters:

(1) Cluster 1: Contempla as alternativas com pontuações entre 0,4791 e 0,7587 na primeira normalização e entre 0,5684 e 0,6852 na segunda: Helicópteros AH-64E APACHE e MI-35M. Ressalta-se que o APACHE apresentou a melhor ordenação nos dois cenários, podendo ser considerado o helicóptero mais indicado a ser adquirido pela Marinha do Brasil;

(2) Cluster 2 – Engloba as alternativas com pontuações entre 0,2809 e 0,4421 na primeira normalização e entre 0,4333 e 0,4965 na segunda: Helicópteros BELL AH-1Z VIPER, T129 ATAK e KA-52K Katran;

(3) Cluster 3 – Helicóptero Tiger HAD, que obteve o pior desempenho nos dois processos de normalização.

4.5 ANÁLISE DE RESULTADOS

Analisando os resultados obtidos, observa-se que os helicópteros APACHE e MI-35M apresentaram as melhores classificações nos dois processos de normalização, pelo fato de apresentarem os melhores desempenhos nos critérios que obtiveram os maiores pesos após análise dos decisores – Quantidade de mísseis ar-terra, canhão principal, foguetes e munições.

É interessante observar que o APACHE foi a única alternativa que não apresentou nota igual a zero em nenhum dos critérios analisados na segunda normalização, o que ilustra bem a regularidade dessa alternativa em todos os critérios. Em contrapartida, o TIGER, alternativa com a pior classificação, apresentou nota mínima em cinco dos sete critérios avaliados, dentre os que obtiveram a maior relevância na avaliação paritária dos decisores. Esse desempenho baixo justifica sua classificação ruim nos dois cenários.

É interessante observar que as alternativas BELL AH-1Z VIPER, T129 ATAK e KA-52K, componentes do cluster 2, apresentaram alterações significativas nas duas formas de normalização. Vale ressaltar que a alternativa que apresenta a maior quantidade de notas máximas é o helicóptero Ka-52K Katran, que apresenta o melhor desempenho em três dos sete critérios, porém nos demais critérios não apresenta bom desempenho. Essa alternativa é a que apresenta a maior diferença nas classificações nos dois cenários (5ª colocada na primeira normalização e 3ª na segunda), fruto dessa disparidade entre o excelente desempenho em alguns critérios e o péssimo desempenho nos demais. Nota-se também que as diferenças relativas de pontuação na primeira normalização são sensivelmente maiores que na segunda.

5. CONCLUSÕES

O objetivo deste artigo foi atingido, com a determinação do helicóptero mais adequado a ser adquirido pela MB, tendo sido escolhido o AH-64E APACHE, o qual apresentou o melhor resultado nos dois cenários.

A possibilidade de avaliação de duas formas de normalização fornece uma análise de sensibilidade mais rica e robusta, permitindo observar o comportamento das alternativas nos dois cenários. Essa característica confere mais transparência ao processo decisório acerca de um problema complexo, como o objeto deste artigo. Ressalta-se que o método AHP-TOPSIS-2N se mostrou extremamente eficiente para a análise proposta, possibilitando a obtenção dos pesos dos critérios, levando em consideração a opinião de múltiplos decisores, além da robustez gerada pela análise de proximidade da Solução Ideal Positiva.

O método pode ser utilizado para resolução dos mais diversos problemas reais do cotidiano, sendo assim um método de grande utilidade voltado para a contribuição da tomada de decisão de alto nível. Ressalta-se que futuramente pode-se identificar mais critérios de comparação, uma vez que alguns dados são sigilosos. A aplicação do método pode ajudar sobremaneira os tomadores de decisão a estruturarem melhor os problemas complexos do dia a

dia. Sugere-se que este modelo de ordenação e distribuição em clusters de alternativas usando o AHP-TOPSIS-2N pode ser expandido em outras aplicações, servindo de base para tomadas de decisão nas mais diversas áreas dos setores público e privado.

REFERÊNCIAS

- Barbosa, H. M., Gomes, C. F. S., & dos Santos, M. (2019). APLICAÇÃO DO MÉTODO HÍBRIDO AHP-TOPSIS-2N PARA ORDENAÇÃO DA EXECUÇÃO DE FUROS DE ALÍVIO EM REVESTIMENTOS DE POÇOS DE PETRÓLEO SOB RISCO DE COLAPSO. *Anais Do XIX Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística Da Marinha, Rio de Janeiro*.
- BELL. (2020). *BELL AH-1Z*. Disponível Em: <<https://Www.Bellflight.Com/Military/Bell-Ah-1z>>. Acesso Em: 19 de Junho de 2020.
- BOEING. (2020). *AH-64 Apache*. Disponível Em: <<https://Www.Boeing.Com/Defense/Ah-64-Apache/>>. Acesso Em: 19 de Junho de 2020.
- Brasil. (2008). *Decreto nº 6.703, de 18 de dezembro de 2008 aprova a Estratégia Nacional de Defesa, e dá outras providências*. Disponível Em <Http://Www.Planalto.Gov.Br/Ccivil_03/_ato2007-2010/2008/Decreto/D6703.Htm>. Acesso Em 18 de Junho de 2020.
- Brasil. (2012). *Estratégia Nacional de Defesa (END)*. Disponível Em: <Http://Www.Defesanet.Com.Br/Defesa/Noticia/32308/END---Estrategia-Nacional-de-Defesa/>.
- Colombo, D., dos Santos, M., & Gomes, C. F. S. (2019). SELEÇÃO DA MELHOR CONFIGURAÇÃO DE POÇO DE PETRÓLEO PARA O DESENVOLVIMENTO DE UM CAMPO UTILIZANDO O MÉTODO AHP TOPSIS 2N. *Anais Do XIX Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística Da Marinha, Rio de Janeiro*.
- Fávero, L. P., Belfiore, P. (2019). *Data Science for Business and Decision Making*. Academic Press Elsevier. Cambridge, MA.
- García, J. L., Alvarado, A., Blanco, J., Jiménez, E., Maldonado, A. A., & Cortés, G. (2014). Multi-attribute evaluation and selection of sites for agricultural product warehouses based on an analytic hierarchy process. *Computers and Electronics in Agriculture*, 100, 60–69.
- Gomes, L., & Gomes, C. F. S. (2019). *Princípios e métodos para a tomada de decisão: Enfoque multicritério*. São Paulo: Atlas.
- HELIBRAS. (2020). *Tiger HAD*. Disponível Em:

- <https://Www.Helibras.Com.Br/Website/Po/Ref/Tiger_39.Html>. Acesso Em: 19 de Junho de 2020.
- Hwang, C.-L., & Yoon, K. (1981). Methods for multiple attribute decision making. In *Multiple attribute decision making* (pp. 58–191). Springer.
- Marinha do Brasil. (2017). Estado Maior da Armada. *EMA- 305: Doutrina Militar Naval. 1. Ed. Rio de Janeiro.*
- Marinha do Brasil. (2019). *Política Naval*. Disponível Em <<https://Www.Marinha.Mil.Br/Politicanaval>> Acessado Em 18 de Junho de 2020.
- RUSSIAN HELICOPTERS. (2020). *Mi-35M*. Disponível Em: <<http://Www.Russianhelicopters.Aero/En/Helicopters/Military/Mi-35m.Html>>. Acesso Em: 19 de Junho de 2020.
- Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*: McGraw-Hill. Inc. New York, NY.
- Santos, M. dos. (2018). *Proposta de modelagem atuarial aplicada ao setor militar considerando influências econômicas e biométricas*. Tese de Doutorado apresentada no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal Fluminense. Niterói, RJ.
- Santos, M. dos, da Costa Martha, L., & dos Reis, M. F. (2019). UTILIZAÇÃO DO ALGORITMO BRANCH AND BOUND NA OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE UMA INDÚSTRIA DE PRODUTOS PLÁSTICOS. *Revista de Trabalhos Acadêmicos Lusófona*, 2(2), 217–237.
- Santos, M. dos, Gomes, C. F. S., & Oliveira, A. S. (2016). Uma abordagem multicritério para seleção de um navio de guerra de médio porte a ser construído no Brasil. *Anais Do XLVIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*. Vitória, ES.
- Souza, L. P. de, Gomes, C. F. S., & De Barros, A. P. (2018). Implementation of new hybrid AHP–TOPSIS-2N method in sorting and prioritizing of an it CAPEX project portfolio. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 17(04), 977–1005.
- Teixeira Junior, A. W. M. (2019). *Para pensar a transformação do Exército*. Blog Do Exército Brasileiro. Disponível Em [Http://Eblog.Eb.Mil.Br/Index.Php/Menu-Easyblog/Para-Pensar-a-Transformacao-Do-Exercito.Html](http://Eblog.Eb.Mil.Br/Index.Php/Menu-Easyblog/Para-Pensar-a-Transformacao-Do-Exercito.Html). Acessado Em 18 de Junho de 2020.
- Teixeira, L. F. H. de S. de B., Ribeiro, P. C. C., Gomes, C. F. S., & Santos, M. dos. (2019). 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, 1–13.

TURKISH AEROSPACE. (2020). T129 ATAK. Disponível Em:
<<https://Www.Tai.Com.Tr/En/Product/T129-Atak>>. Acesso Em: 19 de Junho de 2020.