

## SELEÇÃO DE CAVALO MECÂNICO PARA A MARINHA DO BRASIL UTILIZANDO O MÉTODO MULTICRITÉRIO DE APOIO À TOMADA DE DECISÃO TOPSIS-M

Jonathas Vinícius Gonzaga Alves Araujo (IME) jonathasvaa@gmail.com  
Marcos dos Santos (IME) marcosdossantos@ime.eb.br  
Carlos Francisco Simões Gomes (UFF) cfsg1@bol.com.br

### Resumo

É importante ressaltar a relevância do transporte de cargas para as forças armadas, e, para isso, precisa-se tomar a melhor decisão referente à melhor alternativa dentre as opções existentes. Tomando este cenário como referência, no presente artigo foram utilizados métodos de apoio à tomada de decisão, sendo eles o TOPSIS e TOPSIS-M para verificar se há convergência nos resultados a partir uso da variação da técnica. O intuito do trabalho é demonstrar a funcionalidade do método TOPSIS-M com o exemplo proposto, em que objetiva apoiar decisores na obtenção de veículos para a Marinha do Brasil. Dentre os modelos selecionados como alternativas, a melhor opção segundo o método utilizado foi o IVECO HI-WAY 800S56TZ. Segundo este trabalho, o método mostrou-se eficiente no auxílio à tomada de decisão para aquisição de novos veículos para Marinha do Brasil.

**Palavras-Chaves:** Método Multicritério; TOPSIS-M; Tomada de Decisão.

### 1. Introdução

Teoria da decisão é uma forte maneira para fornecer suporte ao decisor na escolha da solução de melhor qualidade, assim como a preferência dos resultados em termos de custo e benefício. A complexibilidade na escolha de uma alternativa é ampliada em equivalência à dificuldade do problema, considerando os riscos e incertezas relacionadas. Etapas distintas estão envolvidas na tomada de decisão, tais como a identificação da adversidade e dos critérios, a seleção do método, análise, avaliação das alternativas e a averiguação da eficiência da solução almejada. (ALVES, 2018)

Opricovic e Tzeng (2004) afirmam que o nível gerencial é evidenciado no ambiente da tomada de decisão e que as soluções propostas podem ser aceitas ou não pelos decisores pelo

sistema de otimização. A complexidade na tomada de decisão se dá por riscos associados a incertezas. Com isso, a tomada de decisão propõe diferentes abordagens e técnicas com a finalidade de ser possível tornar a decisão mais coerente e assertiva (MOREIRA, 2011).

O transporte de cargas pesadas é de fundamental importância para as forças armadas, visto que é necessário um veículo que tenha a segurança necessária para a garantir a preservação da carga.

O TOPSIS é uma técnica de tomada de decisão difundida e utilizada com bastante frequência com finalidade de avaliar o desempenho das alternativas por meio da semelhança com a solução ideal (HWANG e YOON, 1981).

O trabalho em questão utilizará uma variação do método TOPSIS, o TOPSIS-M, proposto por Cattoni et.al em 2019. A variação pretende dar mais importância em satisfazer as requisições do decisor. Ao fim do trabalho, será apresentado os resultados dos métodos TOPSIS e TOPSIS-M para verificar se há convergência nos resultados a partir uso da variação da técnica.

Este estudo tem como finalidade demonstrar a funcionalidade do método TOPSIS-M com o exemplo proposto, onde visa apoiar decisores na obtenção de veículos para a Marinha do Brasil.

Busca-se com o presente trabalho o auxílio na tomada de decisão para a aquisição de novas viaturas para a Marinha do Brasil, especificamente cavalos mecânicos para o transporte de cargas pesadas.

## **2. Metodologia**

### **2.1. TOPSIS**

O algoritmo TOPSIS (do inglês: Technique for Order Preference by Smilarity to Ideal Solution) foi desenvolvido por Hwang e Yoon (1981) sendo uma técnica bastante conhecida e utilizada para avaliar performance das alternativas através da similaridade da mesma com a solução ideal (HWANG e YOON, 1981). Sendo sua ideia central e mais básica bem direta (SHIH et al., 2007).

Conforme Shih et al. relatam, o TOPSIS possui quatro vantagens:

- som lógico que representa o fundamento da escolha humana;

- valor escalar que representa as melhores e piores alternativas simultaneamente;
- processo de computação simplificado podendo ser programado em uma planilha de forma fácil;
- medidas de desempenho de todas as alternativas de critérios podem ser visualizadas em um poliedro, pelo menos para quaisquer duas dimensões.

Com isso, conforme essa técnica propõe, dentre as alternativas, a melhor é a que está mais perto da solução ideal positiva e mais longe da não ideal ou ideal negativa (KROHLING e SOUZA, 2011).

Sendo assim, a solução ideal é constituída tomando-se os melhores valores obtidos pelas alternativas durante a análise em relação a cada critério de decisão, ao passo que a solução ideal negativa é forma de forma semelhante, tomando-se os piores valores (LIMA JUNIOR e CARPINETTI, 2015).

Segundo Krohling e Souza (2011), a solução ideal positiva é aquela que potencializa os critérios proveitosos e diminui os critérios de custo, ou seja, é aquela constituída dos melhores valores alcançáveis dos critérios de benefício. Em contrapartida, a solução ideal negativa maximaliza os critérios de custo e diminui os critérios de benefício, isto é, resume-se nos piores valores alcançáveis dos critérios de custo (KROHLING e SOUZA, 2011).

Para a aplicação do método, são utilizados 6 passos: a construção da matriz de decisão, o cálculo da matriz normalizada, o cálculo da matriz com os pesos, a identificação da PIS e da NIS, o cálculo das distâncias entre a situação ideal positiva e cada alternativa (D+) e situação ideal negativa e cada alternativa (D-) e o cálculo da similaridade para a posição ideal positiva.

Segundo Gomes e Gomes (2014), existem quatro procedimentos de normalização apresentados nas equações de (1) a (4), habitualmente empregados no cálculo da matriz normalizada, são eles:

1º Procedimento: atua através do valor máximo das pontuações;

$$P_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max x_{ij}}, \text{ onde } i = 1, \dots, m; e, j = 1, \dots, n \quad (1)$$

2º Procedimento: age por meio da diferença de pontuações e o valor máximo e mínimo das pontuações;

$$P_{ij} = \frac{x_{ij} - \min x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}}, \text{ onde } i = 1, \dots, m; e, j = 1, \dots, n \quad (2)$$

3º Procedimento: opera em decorrência da soma das pontuações;

$$P_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}}}, \text{ onde } i = 1, \dots, m; e, j = 1, \dots, n \quad (3)$$

4º Procedimento: procede da raiz quadrada da soma dos quadrados das pontuações;

$$P_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}, \text{ onde } i = 1, \dots, m; e, j = 1, \dots, n \quad (4)$$

A aplicabilidade deste método é detalhada em passos subsequentes que estão detalhados a seguir:

1º Passo- Construção da matriz de decisão: Se dá com a construção de uma matriz de decisão  $m \times n$ , sendo “m” as alternativas e “n” os critérios de avaliação;

$$M = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_j & \dots & C_m \\ \begin{matrix} A_1 \\ \vdots \\ A_i \\ \vdots \\ A_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & \dots & m_{1j} & \dots & m_{1m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ m_{i1} & m_{i2} & \dots & m_{ij} & \dots & m_{im} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ m_{n1} & m_{n2} & \dots & m_{nj} & \dots & m_{nm} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$$\tilde{W} = [\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_m]$$

2º Passo- Cálculo da matriz normalizada: De acordo com Gomes e Gomes (2014) a normalização da matriz de decisão é realizada de várias maneiras. Normalmente o método TOPSIS utiliza a normalização linear, conforme a fórmula (5) abaixo:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (5)$$

O objetivo da normalização é tornar valores de mesma dimensão, adimensionais.

3º Passo- Cálculo da matriz com os pesos: Realiza-se a multiplicação da matriz normalizada pelos pesos dos critérios correspondentes. Obtêm-se a determinação dos pesos através da fórmula (6) pela compreensão de valor do decisor ou de um grupo de decisores. Hwang e Yoon (1981) utilizam para a aquisição dos pesos a aplicação de pesos lineares;

$$r_{ij} = w_j n_{ij}, \quad i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n \quad (6)$$

Sendo o peso do atributo ou critério e:

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1$$

4º Passo- Identificação da solução ideal (PIS) e da solução não-ideal (NIS): Nesta fase, designa-se os melhores níveis, que caracterizam a solução ideal ( $S^+$ ) para cada um dos critérios considerados. Opera-se da mesma forma em relação aos piores níveis, que correspondem a solução não-ideal, ( $S^-$ ). São empregadas as equações destacadas abaixo:

$$S^+ = \{(maxv_{ij} | j \in J), (minv_{ij} | j \in J')\}$$

$$S^- = \{(minv_{ij} | j \in J), (maxv_{ij} | j \in J')\}$$

5º Passo- Cálculo das distâncias entre a situação ideal positiva e cada alternativa ( $D^+$ ) e situação ideal negativa e cada alternativa ( $D^-$ ): Determina-se a medida de separação para cada alternativa em referência à solução ideal e não-ideal. Decorrente das fórmulas (7) e (8) abaixo, calcula-se as distâncias euclidianas entre cada alternativa e sua solução ideal positiva ( $D^+$ ) e sua solução não-ideal ( $D^-$ ).

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n [v_{ij}(x) - v_j^+(x)]^2} \quad (7)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n [v_{ij}(x) - v_j^-(x)]^2} \quad (8)$$

6º Passo- Cálculo da similaridade para a posição ideal positiva: Em síntese, alcança-se o coeficiente C ou resposta da aproximação da situação ideal (C) e a definição da ordenação das alternativas, por meio da equação (9):

$$C_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-} \quad (9)$$

A classificação das alternativas ocorre de forma decrescente em conformidade com os valores do coeficiente de aproximação, estabelecidos no intervalo [0,0; 1,0]. As opções mais satisfatórias são aquelas que apresentam o desempenho geral mais próximo de 1,0.

## 2.2. TOPSIS-M

A extensão do método em questão atribui maior importância em cumprir as solicitações do usuário (CATTONI et al., 2019). Nesta extensão, os valores escolhidos para cada critério são indicados pelo usuário. Realiza-se o método TOPSIS de modo normal, contudo emprega-se ao valor do critério da alternativa um valor base de 70%, propondo alcançar ou não o valor

solicitado pelo usuário. Por consequência, representam menos no ranking total das alternativas os valores que ultrapassarem o valor solicitado.

O TOPSIS-M calcula um valor de *matching*  $M_i$  para cada alternativa utilizando a fórmula (10):

$$M_i = \sum_{j=1}^n \left( \frac{0.7}{n} \right) xm_{ij}, \quad (10)$$

Onde  $xm_{ij}$  é 1 se o valor de critério  $x_{ij}$  responde ao valor solicitado, e 0 não responde. Embasado em tais valores, o cálculo da proximidade relativa da solução ideal sofre a mudança apresentada na fórmula (11):

$$C_{i*} = 0.3 \left( \frac{S_{i-}}{S_{i*} + S_{i-}} \right) + M_i \quad (11)$$

Assim sendo, 70% do valor final será composto pelos valores do *matching*, e os 30% restantes serão compostos por  $M_i$  e os valores normais do TOPSIS.

### 3. Estudo de Caso

Foram escolhidos através de pesquisa com especialista três modelos de veículos para a execução do método, sendo eles o Mercedes-Benz Actros 2553 6x2 LS apresentado na Figura 1, o Iveco HI-WAY 800S56TZ 6x4 exibido na Figura 2 e o Volkswagen Meteor 29.520 exposto na Figura 3. Todos os três modelos podem ser utilizados para o transporte de cargas pesadas, como insumos, veículos blindados e etc.

Figura 1 - Mercedes-Benz Actros 2553 6x2 LS



Fonte: Mercedes-Benz (2021)

Figura 2 - Iveco HI-WAY 800S56TZ 6x4



Fonte: IVECO (2021)

Figura 3 - Volkswagen Meteor 29.520



Fonte: RETIMAQ (2021)

Um especialista foi consultado para a determinação dos critérios a serem comparados no método, sendo eles o preço, potência, torque, cilindrada, velocidade máxima, capacidade do tanque de combustível, peso bruto total combinado (PBTC) e a capacidade máxima de tração (CMT).

Os dados sobre os veículos foram obtidos nas fichas técnicas disponibilizadas nos sites das montadoras e estão apresentados na Tabela 1 com a matriz de decisão juntamente com o valor requisitado pelo usuário, os respectivos pesos dos critérios e a definição se o critério é monotônico de custo ou de lucro.



**Tabela 1:** Matriz de Decisão com os valores requisitados e os pesos dos critérios.

	Valor Requisitado							
	700000	530	2500	12500	120	1000	25	70
Pesos	Mín	Máx	Máx	Máx	Máx	Máx	Máx	Máx
	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1
	Preço (R\$)	Potência (cv)	Torque (Nm)	Cilindrada (cc)	Velocidade Máxima (km/h)	Cap. do Tanque de Combustível (L)	PBTC (t)	CMT (t)
Mercedes-Benz Actros 2553	803.500,00	530	2600	12800	120	1015	28,1	60
IVECO HI-WAY 800S56TZ	597.557,00	560	2500	12880	124	900	29,8	80
VW Meteor 29.520	660.400,00	520	2500	12419	120	940	23	80

Fonte: Autores (2021)

A Tabela 2 a seguir apresenta os valores já normalizados de acordo com a fórmula (5) e ponderados com a fórmula (6), juntamente com as respectivas soluções ideais e não-ideais.

**Tabela 2:** Matriz de Decisão normalizada e ponderada.

	Preço (R\$)	Potência (cv)	Torque (Nm)	Cilindrada (cc)	Velocidade Máxima (km/h)	Cap. do Tanque de Combustível (L)	PBTC (t)	CMT (t)
Mercedes-Benz Actros 2553	0,133 9718 12	0,056989 247	0,0592 44114	0,0581838 64	0,0570936 82	0,061500188	0,1196 38122	0,046 8521 29
IVECO HI-WAY 800S56TZ	0,099 6338 45	0,060215 054	0,0569 65494	0,0585475 13	0,0589968 05	0,054532186	0,1268 76016	0,062 4695 05
VW Meteor 29.520	0,110 1119 91	0,055913 978	0,0569 65494	0,0564519 85	0,0570936 82	0,056955839	0,0979 24442	0,062 4695 05
Solução Ideal	0,099 6338 45	0,060215 054	0,0592 44114	0,0585475 13	0,0589968 05	0,061500188	0,1268 76016	0,062 4695 05
Solução Não-Ideal	0,133 9718 12	0,055913 978	0,0569 65494	0,0564519 85	0,0570936 82	0,054532186	0,0979 24442	0,046 8521 29

Fonte: Autores (2021)

A Tabela 3 a seguir traz os valores encontrados das distâncias positivas e negativas, calculadas com as fórmulas (7) e (8) seguidas da proximidade relativa obtida com a fórmula (9).

**Tabela 3:** Distâncias positivas e negativas e os respectivos valores das proximidades relativas.

	$S_i^+$	$S_i^-$	C
Mercedes-Benz Actros 2553	0,038595	0,023008	0,37349
IVECO HI-WAY 800S56TZ	0,007331	0,04783	0,8671
VW Meteor 29.520	0,031628	0,028619	0,47503

**Fonte:** Autores (2021)

A Tabela 4 mostra o ranking dos caminhões de acordo com a proximidade relativa encontrada, sendo o melhor veículo o que apresentar a maior proximidade relativa e assim sucessivamente.

**Tabela 4:** Valores das proximidades relativas considerando o valor de *matching*.

	C*	Ranking
Mercedes-Benz Actros 2553	0,37349	2º Lugar
IVECO HI-WAY 800S56TZ	0,8671	1º Lugar
VW Meteor 29.520	0,47503	3º Lugar

**Fonte:** Autores (2021)

A Tabela 5 apresenta o resultado, a nível de comparação do método TOPSIS e do método TOPSIS-M.

**Tabela 5:** Ranking do método TOPSIS e do método TOPSIS-M.

	TOPSIS		TOPSIS-M	
	C	Ranking	C*	Ranking
Mercedes-Benz Actros 2553	0,37349	3º Lugar	0,637048	2º Lugar
IVECO HI-WAY 800S56TZ	0,8671	1º Lugar	0,872629	1º Lugar
VW Meteor 29.520	0,47503	2º Lugar	0,492509	3º Lugar

**Fonte:** Autores (2021)

De acordo com a Tabela 5, o resultado do método TOPSIS seria o IVECO HI-WAY 800S56TZ em primeiro lugar, o VW Meteor 29.520 em segundo lugar e o Mercedes-Benz Actros 2553 em terceiro lugar, já o resultado do método TOPSIS-M teria em terceiro lugar o VW Meteor 29.520, em segundo o Mercedes-Benz Actros 2553 e em primeiro lugar, manteria o IVECO HI-WAY 800S56TZ. O produto do método TOPSIS-M reafirmou o resultado do primeiro lugar obtido anteriormente pelo método TOPSIS.

Pode-se observar que o método TOPSIS-M apresentou proximidades relativas maiores para as alternativas, com resultados mais agrupados, alterando o segundo lugar, mas mantendo o primeiro colocado sendo o veículo IVECO HI-WAY 800S56TZ.

#### 4. Conclusão

Conclui-se que o presente estudo se apresentou eficaz no auxílio à tomada de decisão para a compra de novos veículos para a Marinha do Brasil pois resultou no método TOPSIS-M sendo assertivo e organizado em suas alternativas. Em determinado momento ao apresentar resultados do método TOPSIS comparado ao do TOPSIS-M é testificado uma coerência na utilização do método TOPSIS-M.

Acredita-se que a partir do exposto e exemplificado, o método ao comparar os critérios de avaliação: preço, potência, torque, cilindrada, velocidade máxima, capacidade do tanque de combustível, peso bruto total combinado (PBTC) e a capacidade máxima de tração (CMT), determina um resultado favorável e válido.

#### REFERÊNCIAS

ALVES, M. A. **Proposta de Agregação Robusta de Múltiplos Métodos com Incertezas em Problemas de Tomada de Decisão Multicritério**. 2018. 27-28 f. Tese (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte- MG, 2018.

CATTONI ELIAS, Filipe; FIORESE, Adriano. TOPSIS-M: Uma proposta de extensão ao método TOPSIS visando priorizar o cumprimento de requisitos do usuário. In: ESCOLA REGIONAL DE ALTO DESEMPENHO DA REGIÃO SUL (ERAD-RS), 19., 2019, Três de Maio. **Anais da XIX Escola Regional de Alto Desempenho da Região Sul**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2019.

GOMES, L. F. A. M.; GOMES, C. F. S. Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério. 5 ed. **São Paulo: Atlas**, 2014.

HWANG, C. L.; YOON, K. *Methods for Multiple Attribute Decision Making. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, 58–191. 1981.

KROHLING, Renato; SOUZA, Talles. Dois Exemplos da Aplicação da Técnica TOPSIS para Tomada de Decisão. **Revista de Sistemas de Informação da FSMA** n. 8 pp. 31-3. 2011.

LIMA JUNIOR, Francisco Rodrigues; CARPINETTI, Luiz Cesar Ribeiro. Uma comparação entre os métodos TOPSIS e Fuzzy-TOPSIS no apoio à tomada de decisão multicritério para seleção de fornecedores. **Gest. Prod.**, São Carlos, v. 22, n. 1, p. 17-34, mar. 2015.

MOREIRA, D. A. (2011). Pesquisa Operacional - Curso Introdutório, 2a ed., **Cengage Learning**, São Paulo, 2011.

OPRICOVIC, S. e TZENG, G. H. (2004). *Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS*, **European Journal of Operational Research** 156(2): 445–455 f., 2004.



SHIH, Hsu-Shih; SHYUR, Huan-Jyh; LEE, E. Stanley. An extension of TOPSIS for group decision making. **Mathematical and computer modelling**, v. 45, n. 7-8, p. 801-813, 2007.