

# **ANÁLISE MULTICRITÉRIO PELO MÉTODO PROMETHEE-SAPEVO-M1: Avaliação de Viaturas Operativas Pesadas para emprego nas operações do Corpo de Fuzileiros Navais**

**Miguel Ângelo Lellis Moreira**  
**miguellellis@hotmail.com**  
IME

**Marcos dos Santos**  
**marcosdossantos\_doutorado\_uff@yahoo.com.br**  
IME

**Carlos Francisco Simões Gomes**  
**cfsg1@bol.com.br**  
UFF

**Resumo:** Dada a necessidade de a Marinha do Brasil estar realizando aquisições de novas Viaturas Operativas Pesadas para emprego nas operações táticas e logísticas pelo Corpo de Fuzileiros Navais, o artigo baseia-se em um estudo de avaliação multicritério em prol de estar ordenando e identificando a viatura mais favorável para emprego. Como forma de Apoio Multicritério à Decisão é trabalhado o novo método híbrido PROMETHEE-SAPEVO-M1, mediante este modelo possibilitar avaliações tanto de dados quantitativos como de variáveis qualitativas, necessárias à problemática de decisão. A modelagem avaliada, mediante a utilização de uma ferramenta computacional, mostra sua eficiência e eficácia, entregando um formato estruturado e transparente quanto à definição dos pesos nos respectivos critérios de avaliação, juntamente com um modelo de análise de resultados integrado, composta por três diferentes tipos de avaliações de preferência, viabilizando uma espécie de análise de sensibilidade ao caso avaliado. O conceito de análise intra-critério por limiar de veto também é apresentado, indicando pontos de diferença acima da média identificados entre pares de alternativas nos dados critérios. O método empregado mostra-se adequado quanto as necessidades da problemática, provendo a Marinha do Brasil e Corpo de Fuzileiros Navais uma análise robusta, permitindo identificar a Viatura Operativa mais

benéfica para emprego em suas operações.

**Palavras Chave: Tomada de Decisão - Multicritério - PROMETHEE - Marinha do Brasil -**

## 1. INTRODUÇÃO

Baseando-se na Estratégia Nacional de Defesa (BRASIL, 2012), no que tange a Marinha do Brasil (MB), visando assegurar sua capacidade de projeção de poder, é necessário a esta possuir meios navais, aeronavais e de Fuzileiros Navais em permanente condição de pronto emprego (BRASIL, 2014). Em concordância com a Estratégia Nacional de Defesa e com seus objetivos, é necessário a MB prover o desenvolvimento do potencial logístico de defesa e de mobilização nacional (BRASIL, 2012).

A logística militar tem por objetivo garantir a efetividade das operações militares, adequando a capacidade de sustentar continuamente as forças armadas, configurando os recursos logísticos aos múltiplos cenários atuais e futuros. Para garantia dos objetivos, compreende-se a logística militar, como um conjunto de atividades fundamentais que apoiem a movimentação, criação, manutenção, engajamento e desativação das forças em operações de modo contínuo (BRASIL, 2018).

Neste cenário, mais especificamente relacionado ao Corpo de Fuzileiros Navais (CFN), pertencente a MB, tem-se as Viaturas Operativas Pesadas (VtrOP), meios de transportes destinados ao emprego em atividades táticas e logísticas. As viaturas estão ligadas diretamente às operações de combate, sendo projetadas a processos de militarização que viabilizem o emprego em qualquer terreno, estando sujeitas a utilização sob condições adversas de clima ou que apresentem restrições de visibilidade (BRASIL, 2012).

Conforme apresentado por Santos (2019), as VtrOP utilizadas atualmente pelo CFN, não permitem o atendimento integral necessário as operações militares, a partir do momento que os modelos de transporte apresentam diversas restrições de emprego ou um acervo com vida útil já expirada. Neste contexto, há a necessidade quanto a MB estar provendo recursos, de modo que estes sejam destinados a aquisição de novas VtrOP, viabilizando em última instância, a garantia do Poder Nacional.

Dada a hipótese de uma possível aquisição de novas viaturas, é necessário estar considerando um conjunto de variáveis que possam estar influenciando diretamente e indiretamente no emprego das VtrOP nas operações realizadas pelo CFN. Segundo Santos *et al.* (2015), mediante a utilização de métodos e algoritmos oriundos da Pesquisa Operacional (PO), é possível estar estruturando a situação problemática e obtendo soluções favoráveis para problemas presentes nas mais diversas áreas da atuação humana.

Relacionada a uma análise decisória, onde busca-se identificar a VtrOP mais favorável a aquisição diante de um conjunto de múltiplas variáveis de influência, uma aplicação de Métodos de Apoio Multicritério à Decisão (AMD) viabilizariam a MB e ao CFN uma análise robusta, a partir do momento que as modelagens presentes no AMD, viabilizam estar avaliando problemas complexos de forma transparente, com a introdução de múltiplos critérios, normalmente havendo trade-off entre eles, gerando resultados por meio de seleções, ordenações ou classes (ALMEIDA *et al.* 2015)

Segundo Cinelli *et al.* (2020), havendo inúmeros métodos AMD, é sempre necessário analisar o tipo de problema em avaliação para que o método em uso seja adequado a estrutura de avaliação desejada. Desta forma, é necessário ao algoritmo em utilização, viabilizar não só uma análise quantitativa, mas também prover técnicas de avaliação qualitativas que possibilitem indicar e expor, de forma transparente, a subjetividade das relações de preferência estabelecidas pelo decisor (CARDOSO *et al.*, 2009).

Dentro do cenário apresentado, o artigo tem por objetivo estar apresentando uma análise decisória por meio de uma avaliação robusta, relacionada a identificação do modelo de VtrOP mais favorável para aquisição e aplicação nas operações táticas e logísticas do CFN. Para avaliação do caso será utilizada e apresentada uma nova modelagem AMD nomeada PROMETHEE-SAPEVO-M1, a modelagem em questão se tornou satisfatória a partir do

momento que seu formato se enquadra aos requisitos da proposta, viabilizando uma avaliação com dados de diferentes naturezas, um formato estruturado de obtenção de pesos nos critérios e diferentes análises de resultados.

O artigo será dividido em cinco seções, contextualizado o assunto, a seção 2 apresentará o referencial teórico do artigo, descrevendo os principais conceitos de uma avaliação multicritério e apresentando os principais métodos. A terceira seção tem por objetivo detalhar a estrutura axiomática do método em utilização. Na seção 4 será apresentado o estudo de caso, detalhando cada etapa de avaliação com a modelagem e apresentando as análises e resultados obtidos. A seção 5 conclui o estudo, indicando os principais pontos do método utilizado e os pontos favoráveis de sua utilização quanto ao problema em análise.

## 2. MÉTODOS AMD

De acordo com Greco *et al.* (2016), toda disciplina desenvolvida nas áreas da PO e engenharia de decisão, e que especificamente buscam dar suporte a uma avaliação de alternativas, analisadas com relação a um conjunto de critérios, podem ser reconhecidas como avaliações AMD.

Desta forma, um método AMD é definido como um processo de análise decisória que avalia alternativas, a partir da identificação de um conjunto de critérios que influenciam na decisão, reconhecendo as preferências do agente decisor e permitindo usar estas informações para a construção de um modelo de preferência agregada (CINELLI, 2017). As modelagens AMD permitem a comparação entre as alternativas por um modelo axiomático, indicando ao final uma solução satisfatória ao problema. Vale ressaltar que os métodos AMD não visam apresentar ao decisor uma solução definitiva quanto a resolução de uma problemática, mas sim apoiar o processo decisório, satisfazendo as restrições requisitadas no contexto analisado (GOMES e GOMES, 2019).

Conforme apresentado por Watróbski e Jankowski (2015), inúmeros são os métodos AMD, entretanto nenhum foi desenvolvido para resolver todos os tipos de problemáticas de decisão, mas sim para apoiarem o decisor em um problema específico, considerando problemáticas do tipo de ordenação, classificação ou seleção. Dentre os métodos presentes no campo acadêmico, os principais são os métodos das escolas americana (compensatória) e francesa (não-compensatória). No primeiro caso, existem os métodos AHP (*Analytic Hierarchy Process*), MAUT (*Multi-attribute Utility Theory*) e TOPSIS (*Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*). Relacionados a escola francesa, tem-se a família de métodos ELECTRE (*Elimination and Choice Expressing the Reality*) e PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*).

### 2.1. MÉTODO PROMETHEE

O método PROMETHEE, proposto por Brans *et al.* (1984) é um modelo não-compensatório designado para a avaliação de problemáticas do tipo de ordenação, objetivando a construção de relações de sobreclassificação entre as alternativas, ranqueando-as da mais favorável até a menos propícia como forma de solução do problema. Uma das principais características do método PROMETHEE são sua clareza e estabilidade, onde a noção de critério generalizado é usada na construção da relação valorada de sobreclassificação. (BRANS e SMET, 2016).

O método em sua estrutura base, é destinado a avaliações de dados de natureza quantitativa, onde o decisor deve indicar a função de maximização ou minimização para cada critério, juntamente com a função de normalização que mais se adequa ao critério em avaliação. Especificando os pesos para cada critério, são gerados os índices de preferência global, explicitando no contexto avaliado as relações de preferência entre as alternativas, obtendo ao final a sobreclassificação desejada (BRANS *et al.*, 1986).

## 2.2. MÉTODO SAPEVO-M

O método SAPEVO-M (*Simple Aggregation of Preferences Expressed by Ordinal Vectors - Multi Decision Makers*), é uma evolução do método SAPEVO proposto por Gomes *et al.* (1997), viabilizando uma análise de dados tanto da natureza quantitativa como de naturezas qualitativas, mediante entradas ordinais. O método é destinado a problemáticas que buscam esclarecer a decisão mais favorável pelo reagrupamento das ações em classes de equivalência, ordenando as alternativas de modo parcial ou total.

## 2.3. MÉTODO PROMETHEE-SAPEVO-M1

A modelagem proposta por Moreira *et al.* (2019), surgiu da necessidade de se estar avaliando dados de diferentes naturezas de uma forma equivalente, a partir do momento que os métodos da família PROMETHEE se restringiam em análises por entradas cardinais.

O Método PROMETHEE-SAPEVO-M1 é caracterizado por um modelo que realiza a junção da estrutura axiomática do método PROMETHEE com as técnicas de avaliações presentes no método SAPEVO-M. Desta forma o método permite avaliar critérios quantitativos e qualitativos, gerando uma sobreclassificação das alternativas. Por meio dos resultados obtidos, a modelagem também viabiliza uma análise de resultados em três formatos distintos de análise, permitindo uma análise de sensibilidade a um dado caso.

Relacionado a um formato de avaliação monodecisória, o método também permite, mediante entradas ordinais, a estruturação das preferências entre os critérios, possibilitando gerar os pesos, indicando o grau de importância de cada critério no conjunto avaliado. Um ponto adicional da proposta é a indicação de um valor de veto para cada critério, indicando por meio deste uma diferença maior ou igual ao grau de preferência a ser definido pelo decisor, gerando assim mais informações que apoiem na obtenção de uma solução satisfatória.

## 3. ALGORITMO PROMETHEE-SAPEVO-M1

A modelagem é dividida em seis etapas de avaliação. Primeiramente é realizado a estruturação da avaliação, definindo o conjunto de alternativas  $A$  e os conjuntos de critérios qualitativos  $h$  e quantitativos  $j$ . A segunda etapa está relacionada a avaliação das alternativas pelos critérios qualitativos, seguida pela terceira etapa respectiva a avaliação dos critérios quantitativos. A etapa quatro é designada a identificação dos graus de importância de cada critério, gerando assim seus respectivos pesos. A quinta etapa é destinada a ponderação das preferências normalizadas e obtenção dos fluxos de importância. A última etapa é caracterizada pelas análises dos resultados, sendo trabalhado três formas diferentes, e uma análise intra-critério gerada a partir de um valor de veto.

Para a estruturação da avaliação deve-se considerar uma matriz  $M$  (1), composta por um conjunto de alternativas  $A$ , onde  $a_i \in A, i = 1, \dots, n$ , sendo avaliadas quanto a um conjunto de critérios qualitativos  $h, h = 1, \dots, L$ , e um conjunto de critérios quantitativos  $j, j = 1, \dots, k$ .

		Alternativas				
		$a_1$	$a_2$	$a_3$	...	$a_n$
Critérios	$h_1$	$a_{11}$	$a_{21}$	$a_{31}$	...	$a_{n1}$
	$h_L$	$a_{1L}$	$a_{2L}$	$a_{3L}$	...	$a_{nL}$
	$j_1$	$a_{11}$	$a_{21}$	$a_{31}$	...	$a_{n1}$
	$j_k$	$a_{1k}$	$a_{2k}$	$a_{3k}$	...	$a_{nk}$

(1)

### 3.1. AVALIAÇÃO QUALITATIVA

A avaliação destinada ao conjunto de critérios de natureza qualitativa,  $h, h = 1, \dots, L$ . O processo é caracterizado por uma análise comparativa entre as alternativas pertencentes ao conjunto A, para cada critério pertencente ao conjunto  $h$ . A avaliação é viabilizada mediante entradas ordinais, indicadas por meio de uma escala de preferências verbais, indicando a relação de preferência entre cada par comparado, conforme apresentado na tabela 1.

**Tabela 1:** Escala de Importância.

Absolutamente pior / Absolutamente menos importante	-3
Muito Pior / Muito menos importante	-2
Pior / Menos importante	-1
Equivalente / Tão importante quanto	0
Melhor / Mais importante	1
Muito melhor / Muito mais importante	2
Absolutamente melhor / Absolutamente mais importante	3

**Fonte:** Moreira *et al.* (2019)

Para cada critério qualitativo, é obtida uma matriz de relação entre as alternativas. Por meio da equação (2) os valores são normalizados, gerando assim um grau de importância daquela alternativa no dado critério.

$$v = \frac{\sum a_{ij} - \min a_{ij}}{\max a_{ij} - \min a_{ij}} \quad (2)$$

Obtido os graus das alternativas no critério avaliado, as grandezas são submetidas a uma nova avaliação de maximização,  $P_j(a_1, a_2) = P(x) = P[f(a_1) - f(a_2)]$ , em prol de identificar as diferenças entre as alternativas. Na sequência é obtida uma matriz de diferenças, que serão normalizadas pela equação (3). Ao final é obtido uma matriz normalizada para cada critério pertencente ao conjunto  $h$ .

$$P(x) = \begin{cases} x/r & x \leq r \\ 1 & x > r \end{cases} \quad (3)$$

### 3.2. AVALIAÇÃO QUANTITATIVA

Nesta etapa é mantida a estrutura de avaliação base do método PROMETHEE. Estabelecendo as funções de preferência generalizadas para cada critério quantitativo  $j, j = 1, \dots, k$ , é definido (4) para maximização dos valores, ou (5) para minimização.

$$P_j(a_1, a_2) = P(x) = P[f(a_1) - f(a_2)] \quad (4)$$

$$P_j(a_1, a_2) = P(x) = P[f(a_2) - f(a_1)] \quad (5)$$

Definida as diferenças, é necessário indicar a função de normalização. Conforme exposto por Brans *et al.* (1986) há seis tipos de funções que permitem obter a normalização dos valores, entretanto não sendo exaustivo a estas. A tabela 2 expõem cada tipo de função juntamente com seus parâmetros de avaliação.

**Tabela 2:** Seis tipos de funções de preferência.

Tipo	$P(x)$	Parâmetros	Tipo	$P(x)$	Parâmetros
<i>Crítério Verdadeiro</i>	$P(x) = \begin{cases} 0 & x = 0 \\ 1 & x > 0 \end{cases}$	–	<i>Pseudocrítério (Variação Discreta)</i>	$P(x) = \begin{cases} 0 & x \leq q \\ 1/2 & q < x \leq p \\ 1 & x > p \end{cases}$	$q, p$
<i>Quase Crítério</i>	$P(x) = \begin{cases} 0 & x \leq q \\ 1 & x > q \end{cases}$	$q$	<i>Pseudocrítério (Variação Linear)</i>	$P(x) = \begin{cases} 0 & x \leq q \\ \frac{x-q}{p-q} & q < x \leq p \\ 1 & x > p \end{cases}$	$q, p$
<i>Semicrítério</i>	$P(x) = \begin{cases} x/p & x \leq p \\ 1 & x > p \end{cases}$	$p$	<i>Gaussiano</i>	$P(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 0 \\ 1 - e^{-x^2/2s^2} & x \geq 0 \end{cases}$	$s$

Fonte: Adaptado de Brans *et al.* (1986)

Caso não seja possível definir uma grandeza cardinal para os parâmetros de indiferença ( $q$ ) e preferência ( $p$ ) a modelagem sugere um valor para cada. Quanto ao limite de indiferença,  $q = x$ , sendo  $x$  o menor valor ( $x \in A_j$ ) e ( $x > 0$ ). Relacionado ao limite de preferência é definido como a média das diferenças positivas da matriz pertencente ao conjunto  $j$ , sendo definida pela equação (6).

$$p_j = \frac{\sum a_i}{n} \quad (6)$$

### 3.3. PESOS DOS CRITÉRIOS

Para a obtenção dos pesos, é considerado um conjunto  $j$  formado pelos critérios qualitativos e quantitativos, sendo  $j = 1, \dots, L + k$ . Mediante a utilização da escala de importância (tabela 1), será obtido as relações de importância.

Para a avaliação é definido um valor de soma máxima e mínima possível dentro do conjunto  $j$ , onde  $n = L + K$ , conforme exposto nas equações (7) e (8):

$$\text{soma mínima} = (n - 1) \cdot -3 \quad (7)$$

$$\text{soma máxima} = (n - 1) \cdot 3 \quad (8)$$

Quanto mais próximo uma pontuação estiver de um dos limites, maior ou menor importância este critério apresentará na avaliação. As grandezas obtidas serão normalizadas pela equação (9). Normalizadas as grandezas, os valores são somados e equivalentes a 1, desta forma os pesos são ponderados respectivamente a cada critério.

$$v = \frac{\sum a_{ij} - (\text{soma mínima})}{(\text{soma máxima}) - (\text{soma mínima})} \quad (9)$$

### 3.4. ÍNDICE DE PREFERÊNCIA PONDERADA GLOBAL

Obtidas as matrizes normalizadas, com os pesos gerados, é calculado para cada par de alternativas o grau de preferência global, gerando um índice de preferência daquela alternativa  $a_1$  quanto  $a_2$ , onde (10):

$$\pi(a_1, a_2) = \sum_{j=1}^n \alpha_j P_j(a_1, a_2) \quad (10)$$

### 3.4.1. FLUXOS DE IMPORTÂNCIA

Caracterizado pela soma das preferências globais de  $a_1$  em relação as demais alternativas do conjunto A, o fluxo de importância positivo (11), indica o grau de dominância daquela alternativa quanto as demais, desta forma, quanto maior o fluxo positivo, mais favorável se torna a alternativa.

$$\Phi^+(a_1) = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{x \in A} \pi(a_1, x) \quad (11)$$

Representando a soma das preferências das demais alternativas relacionadas a  $a_1$ , o fluxo de importância negativo (12), indica que quanto maior o seu índice, menos dominância a alternativa apresenta na avaliação.

$$\Phi^-(a_1) = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{x \in A} \pi(x, a_1) \quad (12)$$

Mediante a diferença entre os fluxos positivos e negativos é gerado o fluxo de importância líquido (13), neste caso, quanto maior o valor, mais favorável a alternativa se torna dentro do contexto de avaliação.

$$\Phi(a_1) = \Phi^+(a_1) - \Phi^-(a_1) \quad (13)$$

### 3.5. ANÁLISES DE PREFERÊNCIA

No modelo proposto três tipos de avaliações são utilizadas de forma integrada, são elas: avaliações de preferência parciais, totais e por intervalos. As análises empregadas são características dos métodos PROMETHEE I, II e III respectivamente.

#### 3.5.1. AVALIAÇÃO DE PREFERÊNCIA PARCIAL

Utilizando os fluxos positivos (11) e negativos (12), a avaliação viabiliza estabelecer uma pré-ordem parcial das alternativas, onde (14)(15)(16):

$$\begin{aligned} \blacksquare \quad a_1 \text{ é preferível a } a_2 \quad (a_1 P a_2) \quad \text{se} \quad & \begin{cases} \Phi^+(a_1) > \Phi^+(a_2) \text{ e } \Phi^-(a_1) < \Phi^-(a_2) \\ \Phi^+(a_1) = \Phi^+(a_2) \text{ e } \Phi^-(a_1) < \Phi^-(a_2) \\ \Phi^+(a_1) > \Phi^+(a_2) \text{ e } \Phi^-(a_1) = \Phi^-(a_2) \end{cases} \quad (14) \end{aligned}$$

$$\blacksquare \quad a_1 \text{ é indiferente a } a_2 \quad (a_1 I a_2) \quad \text{se} \quad \Phi^+(a_1) = \Phi^+(a_2) \text{ e } \Phi^-(a_1) = \Phi^-(a_2) \quad (15)$$

$$\blacksquare \quad a_1 \text{ é incompatível a } a_2 \quad (a_1 R a_2) \quad \text{se} \quad \begin{cases} \Phi^+(a_1) > \Phi^+(a_2) \text{ e } \Phi^-(a_1) > \Phi^-(a_2) \\ \Phi^+(a_1) < \Phi^+(a_2) \text{ e } \Phi^-(a_1) < \Phi^-(a_2) \end{cases} \quad (16)$$

#### 3.5.2. AVALIAÇÃO DE PREFERÊNCIA TOTAL

Gerada a partir dos fluxos líquidos, a avaliação visa estabelecer uma pré-ordem total das alternativas, onde (17)(18):

$$\blacksquare \quad a_1 \text{ é preferível a } a_2 \quad (a_1 P a_2) \quad \text{se} \quad \Phi(a_1) > \Phi(a_2) \quad (17)$$

$$\blacksquare \quad a_1 \text{ é indiferente a } a_2 \quad (a_1 I a_2) \quad \text{se} \quad \Phi(a_1) = \Phi(a_2) \quad (18)$$

### 3.5.3. AVALIAÇÃO DE PREFERÊNCIA POR INTERVALOS

Considerando como amostra o conjunto de fluxos líquidos, é definido um valor de erro padrão, que aplicado aos fluxos são obtidos intervalos, gerados pelos limites inferiores ( $x$ ) e superiores ( $y$ ), conforme exposto na equação (19), onde (20)(21):

$$\begin{cases} x_{a_1} = \bar{\Phi}(a_1) - \alpha\sigma_{a_1} \\ y_{a_1} = \bar{\Phi}(a_1) + \alpha\sigma_{a_1} \end{cases} \quad (19)$$

$$\begin{cases} a_1 \text{ é preferível a } a_2 \text{ (} a_1 P a_2 \text{)} & \text{se} & x_{a_1} > y_{a_2} \end{cases} \quad (20)$$

$$\begin{cases} a_1 \text{ é indiferente a } a_2 \text{ (} a_1 I a_2 \text{)} & \text{se} & x_{a_1} \leq y_{a_2} \text{ e } x_{a_2} \leq y_{a_1} \end{cases} \quad (21)$$

### 3.6. ANÁLISE INTRA-CRITÉRIO POR VETO

Para cada critério avaliado é sugerido um valor de veto como forma de análise. Ressaltando que o veto não influencia na obtenção dos fluxos de importância, mas sim serve como uma informação adicional indicando uma relação de preferência igual ou maior que o limite de preferência, atendendo a restrição (22).

$$v_j \geq p_j \geq q_j \quad (22)$$

Relacionado aos critérios qualitativos, a presença de valores, iguais ou maiores que o veto, é indicada nas matrizes normalizadas da avaliação qualitativa, item 3.1. Para critérios qualitativos o valor do veto será  $v_h = 1$ , desta forma qualquer comparação de alternativas em que o valor seja igual a  $v_h$ , é indicado ao agente decisor.

Quanto aos critérios quantitativos, a análise é referente as matrizes de diferenças, obtidas pelas funções (4) ou (5), expostas no item 3.2. Neste caso, o valor do veto é indicado pela equação (23), representando o dobro da média das diferenças positivas da matriz pertencente ao conjunto  $j$ . Entretanto, para que o valor de veto seja mantido, duas restrições são analisadas, são elas (24) e (25):

$$v_j = 2 \left( \frac{\sum a_i}{n} \right) \quad (23)$$

$$\begin{cases} \text{se } v_j < p_j & \text{então } v_j = p_j \end{cases} \quad (24)$$

$$\begin{cases} \text{se } v_j > 2(p_j) & \text{então } v_j = 2(p_j) \end{cases} \quad (25)$$

## 4. ESTUDO DE CASO

Dada a necessidade de aquisição de novas VtrOP para o CFN, foi definido um conjunto de três viaturas (figura 1), prospectando obter a hierarquização das alternativas em prol de identificar o modelo mais favorável para emprego nas operações táticas e logísticas.

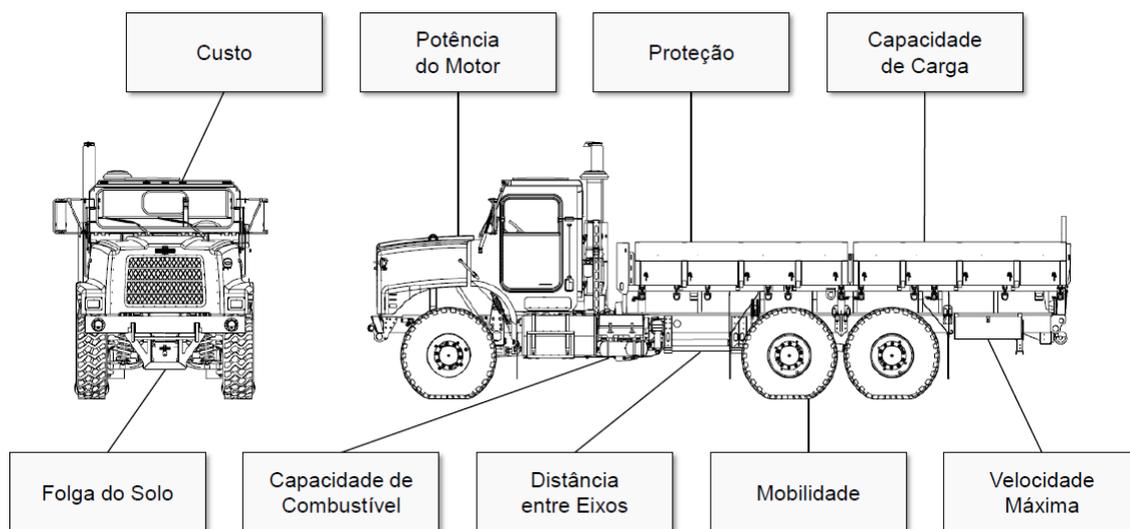


**Figura 1:** Viaturas Operativas.

**Fonte:** Autores (2020)

Para a implementação do método PROMETHEE-SAPEVO-M1 ao caso, foi utilizado um software relativo ao método (MOREIRA et al., 2020), possibilitando a avaliação de modo trivial, gerando resultados detalhados tanto por scripts como por análises gráficas. A ferramenta utilizada opera conforme a estrutura axiomática do método, avaliando etapa por etapa.

Mediante dados fornecidos por oficiais do CFN, experientes quanto a utilização de viaturas pesadas, foram avaliadas variáveis que influenciam diretamente no desempenho das viaturas e na aquisição. A partir das informações adquiridas, foi definido um conjunto composto por nove critérios de avaliação, sendo três de natureza qualitativa e seis quantitativos (figura 2).



**Figura 2:** Configuração de critérios das VtrOP.

**Fonte:** Autores (2020)

Conforme exposto na tabela 3, os critérios definidos são considerados de extrema importância para avaliação, influenciando diretamente na aquisição e posteriormente no desempenho efetivo prospectado para o emprego nas operações táticas e logísticas.

**Tabela 3:** Descrição dos critérios de avaliação.

<b>Critério</b>	<b>Natureza</b>	<b>Descrição</b>
<i>Proteção</i>	Qualitativa	Critério característico ao nível de proteção do veículo, considerando blindagem e materiais utilizados, necessários as operações táticas e transporte de tropa;
<i>Custo</i>	Qualitativa	Critério de influência direta quanto a aquisição, entretanto por sigilo de valores, os dados serão tratados de forma qualitativa;
<i>Mobilidade</i>	Qualitativa	Variável crítica, relacionada a mobilidade, desempenho e dirigibilidade da VtrOP em terrenos de difícil acesso para veículos pesados;
<i>Velocidade máxima</i>	Quantitativa	Critério ligado diretamente ao desempenho do veículo e considerado em operações de deslocamento;
<i>Potência do motor</i>	Quantitativa	Um dos critérios de maior influência, considerado pela diversidade de terreno ao emprego das viaturas e necessidade de motores de alto desempenho;
<i>Capacidade de combustível</i>	Quantitativa	Variável relativa à capacidade da VtrOP se manter em operação sem a necessidade de abastecimento;

<i>Capacidade de carga</i>	Quantitativa	Característica relativa à capacidade de carregamento em operações logísticas, considerando cargas de peso e difícil movimentação;
<i>Distância entre eixos</i>	Quantitativa	Característica relativa à capacidade de movimentação em terrenos não planos;
<i>Folga do solo</i>	Quantitativa	Critério de extrema importância, mediante ao emprego em terrenos com alta diversificação de níveis.

Fonte: Autores (2020)

#### 4.1. AVALIAÇÃO PROMETHEE-SAPEVO-M1

Definido as alternativas e critérios de avaliação, é obtido a matriz de avaliação do problema, conforme exposto na tabela 4. Na matriz são detalhados os valores quantitativos para cada alternativa no dado critério e quanto aos critérios qualitativos, são descritas características perceptíveis pelo decisor quanto cada alternativa.

Tabela 4: Matriz de avaliação.

Crítérios	Unimog U-5023	Oshkosh MK27	Constellation 31320	Função	Normalização	Parâmetros
<i>Proteção</i>	Alta	Alta	Média	--	--	--
<i>Custo</i>	Alto	Alto	Médio	--	--	--
<i>Mobilidade</i>	Média	Alta	Média/Alta	--	--	--
<i>Velocidade máxima (km/h)</i>	89	105	96	Max	<i>semicritério</i>	$p = 30$
<i>Pontência do motor (hp)</i>	230	425	315	Max	<i>semicritério</i>	$p = 150$
<i>Capacidade de combustível (l)</i>	240	295	550	Max	<i>semicritério</i>	$p = 100$
<i>Capacidade de carga (t)</i>	14.5	13.8	14.5	Max	<i>semicritério</i>	$p = 5$
<i>Distância entre eixos (m)</i>	3.85	3.9	3.74	Min	<i>semicritério</i>	$p = 1$
<i>Folga do solo (cm)</i>	46	42.5	45	Max	<i>semicritério</i>	$p = 20$

Fonte: Autores (2020)

Mediante a utilização de um software desenvolvido em linguagem Python, a avaliação é iniciada, sendo registrado a quantidade e nomes das alternativas e critérios. Já estruturado, o software inicia a avaliação quanto aos critérios qualitativos, sendo eles: *Proteção*, *custo* e *mobilidade*. Conforme exposto na figura 3, foi indicado as relações de preferência entre cada alternativa para cada critério, obtendo assim as matrizes de relações. Seguindo o processo axiomático definido na seção 3.1 é obtido as grandezas de preferência entre cada par de alternativas, representado pelas matrizes normalizadas, detalhadas na parte direita da figura 3.

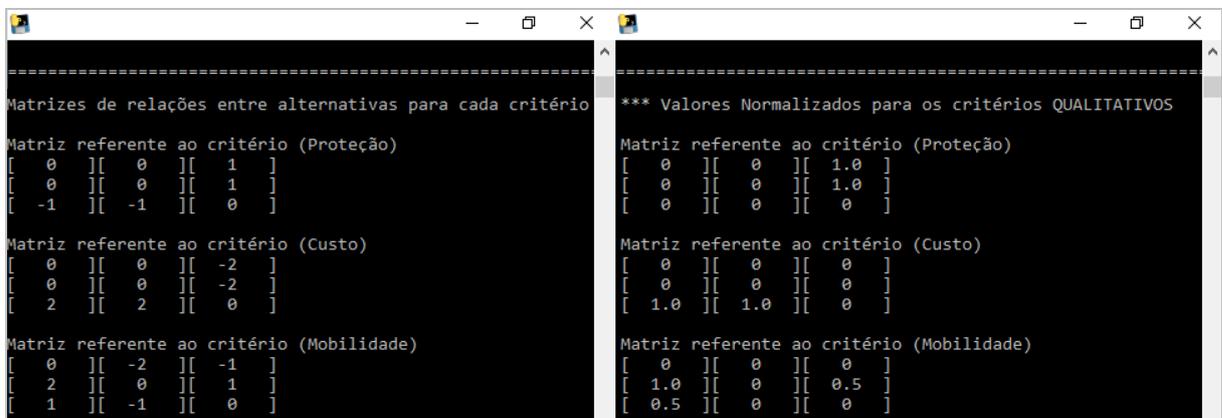
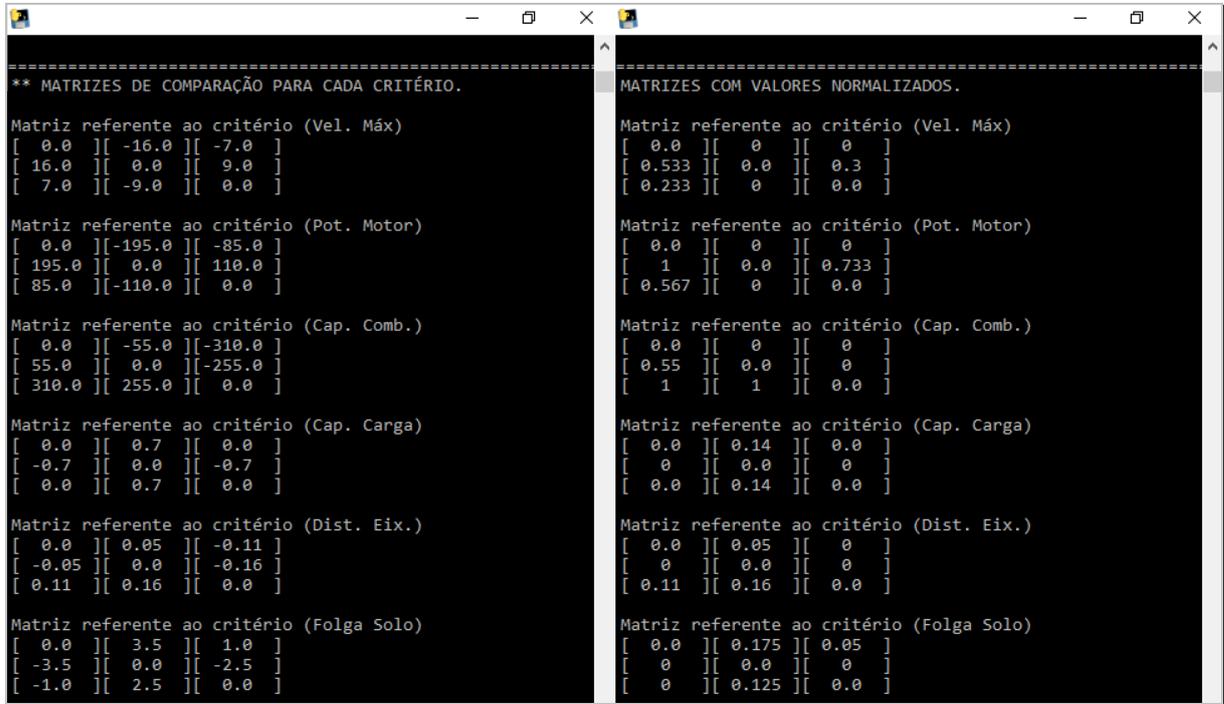


Figura 3: Avaliação qualitativa, software PROMETHEE-SAPEVO-M1.

Fonte: Autores (2020)

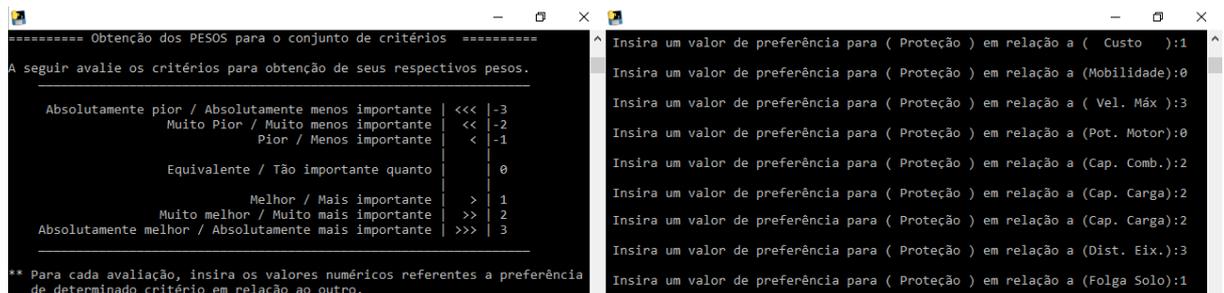
Dando sequência a avaliação do caso, é iniciada a avaliação quanto aos critérios quantitativos. Nesta etapa são definidos os valores quantitativos respectivos a cada alternativa em cada critério, também sendo necessário definir se o critério deve ser minimizado ou maximizado. De acordo com a tabela 4, apenas o critério *distância entre eixos* será minimizado, os demais serão maximizados. As diferenças obtidas, geram uma matriz de comparação para cada critério, conforme exposto na área esquerda da figura 4.



**Figura 4:** Avaliação quantitativa, software PROMETHEE-SAPEVO-M1.  
**Fonte:** Autores (2020)

Para cada critério quantitativo foi indicado uma função de normalização, viabilizando uma avaliação equivalente entre as diferentes grandezas de cada critério. Na avaliação, todos os critérios foram submetidos a uma função *semicritério*, definindo um limite de preferência estrita ( $p$ ) para cada um e uma variação linear para as alternativas com diferenças abaixo do limite, os valores registrados no software são detalhados na tabela 4. As matrizes normalizadas na avaliação quantitativa são detalhadas na área direita da figura 4.

Com a obtenção das relações de preferência entre cada alternativa em cada critério específico, é dado continuidade com a obtenção dos pesos, indicando a relação de importância de cada critério na avaliação do conjunto. Conforme exposto na figura 5, é realizada uma avaliação par a par entre os critérios, sendo registrados a relação de importância entre cada par avaliado.



**Figura 5:** Obtenção de pesos, software PROMETHEE-SAPEVO-M1.  
**Fonte:** Autores (2020)

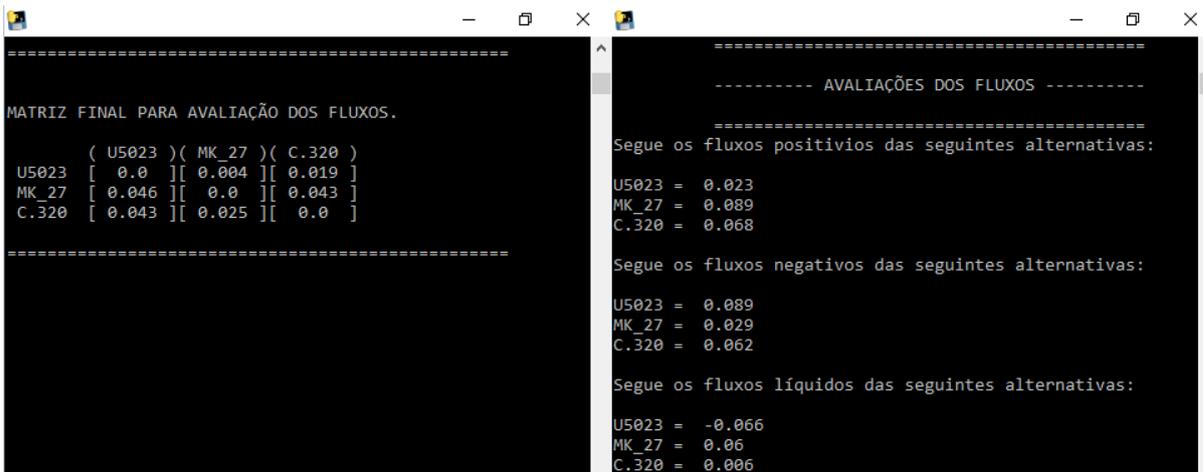
Com as relações definidas é obtido uma matriz de relações, viabilizando gerar os valores de *soma máxima* e *soma mínima*, detalhados na seção 3.4. Na avaliação também são obtidas as pontuações de importância para cada critério, as pontuações normalizadas e ao final os respectivos pesos. Todos os valores são detalhados na figura 6.

	Proteção	Custo	Mobilidade	Vel. Máx.	Pot. do motor	Cap. combustível	Cap. de carga	Dist. entre eixos	Folga do solo		Pontos Obtidos	Pontos Normalizados	Pesos
Proteção	0	1	0	3	0	2	2	3	1	=	12	= 0,750	= 0,167
Custo	-1	0	-2	1	-2	0	0	1	-1	=	-4	= 0,417	= 0,093
Mobilidade	0	2	0	3	0	2	2	3	1	=	13	= 0,771	= 0,171
Velocidade máxima	-3	-1	-3	0	-3	-2	-2	0	-2	=	-16	= 0,167	= 0,037
Potência do motor	0	2	0	3	0	2	2	3	1	=	13	= 0,771	= 0,171
Capacidade de combustível	-2	0	-2	2	-2	0	0	2	-1	=	-3	= 0,438	= 0,097
Capacidade de carga	-2	0	-2	2	-2	0	0	2	-1	=	-3	= 0,438	= 0,097
Distância entre eixos	-3	-1	-3	0	-3	-2	-2	0	-3	=	-17	= 0,146	= 0,032
Folga do solo	-1	1	-1	2	-1	1	1	3	0	=	5	= 0,604	= 0,134

Soma máxima = 24  
Soma mínima = -24

**Figura 6:** Relações de preferência para obtenção dos pesos, software PROMETHEE-SAPEVO-M1.  
**Fonte:** Autores (2020)

Com os pesos dos critérios obtidos, é gerado os índices de preferência global, mediante a ponderação dos pesos nas matrizes normalizadas, obtidas nas etapas anteriores. Os índices obtidos definem uma preferência global de cada alternativa sobre a outra no contexto avaliado, a partir dos valores é possível definir os fluxos de importância conforme apresentando na figura 7. O fluxo positivo indica um grau de dominância de cada alternativa, o fluxo negativo representa o quanto aquela alternativa foi dominada no contexto e por fim o fluxo líquido é representado pela diferença entre o fluxo positivo e negativo.



**Figura 7:** Índice de preferência global e fluxo de importância, software PROMETHEE-SAPEVO-M1.  
**Fonte:** Autores (2020)

#### 4.2. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Mediante os fluxos obtidos é possível analisar os resultados mediante três tipos de avaliações de preferência, são elas: Avaliação de preferência parcial, total e por intervalos. Cada modelo tem uma forma de manipulação dos fluxos específicas. No software trabalhado,

para cada modelo de análise é gerado um resultado mediante script, detalhando a avaliação par a par, e gráficos, gerando uma análise visual aprimorada do contexto.

A avaliação de preferência parcial, é indicada pelos fluxos positivos e negativos, quanto maior o índice positivo e menor o índice negativo, mais favorável é a alternativa. No contexto avaliado, figura 8, a alternativa de melhor desempenho foi a viatura *Oshkosh MK27* sendo preferível as demais alternativa do conjunto, apresentando o maior fluxo positivo e menor fluxo negativo. A alternativa *Constellation 31320* apresentou preferência apenas quanto a alternativa *Unimog U-5023*, que na avaliação indicou não preferência quanto as demais.

```

-----
---- AVALIAÇÃO DE PREFERÊNCIA PARCIAL ----
-----

Segue as avaliações segundo o método PROMETHEE I para cada caso em específico.
Relações de PREFERÊNCIA, INDIFERENÇA e INCOMPATIBILIDADE.

Avaliação quanto a alternativa (U5023):
(U5023) NÃO é PREFERÍVEL a (MK_27).
(U5023) NÃO é PREFERÍVEL a (C.320).

Avaliação quanto a alternativa (MK_27):
(MK_27) é PREFERÍVEL a (U5023).
(MK_27) é PREFERÍVEL a (C.320).

Avaliação quanto a alternativa (C.320):
(C.320) é PREFERÍVEL a (U5023).
(C.320) NÃO é PREFERÍVEL a (MK_27).
    
```

**Figura 8:** Avaliação de preferência parcial, software PROMETHEE-SAPEVO-M1.  
**Fonte:** Autores (2020)

A segunda forma de avaliação, preferência total, é obtida mediante o fluxo de importância líquido, gerando um ranqueamento das opções. Na avaliação (figura 9), a viatura *Oshkosh MK27* se manteve como a alternativa de melhor desempenho, sendo precedida pelas alternativas *Constellation 31320* e *Unimog U-5023*, respectivamente nessa ordem.

```

-----
---- AVALIAÇÃO DE PREFERÊNCIA TOTAL ----
-----

Segue a ordenação de melhores alternativas quanto aos fluxos:
MK_27 = 0,06
C_320 = 0,006
U5023 = -0,066
    
```

**Figura 9:** Avaliação de preferência total, software PROMETHEE-SAPEVO-M1.  
**Fonte:** Autores (2020)

A avaliação de preferência por intervalos é viabilizada por meio do conjunto de fluxos líquidos, sendo considerado como uma amostra para a obtenção de um valor de erro padrão. Mediante o erro padrão, são gerados limites inferiores ( $x$ ) e superiores ( $y$ ), e os fluxos líquidos de cada alternativa são considerados o centro do intervalo obtido.

Pela avaliação, a partir do momento que há a interseção entre dois intervalos, a relação prévia de preferência, passa a ser considerada como relação de indiferença entre duas alternativas. No dado caso, o valor de erro padrão foi de 0.036, gerando os limites  $x$  e  $y$  para cada alternativa, conforme detalhado na figura 10. A viatura *Oshkosh MK27* por uma pequena variação dos índices, passou a apresentar relação de indiferença entre a alternativa *Constellation 31320*, entretanto, seguindo a regra de não transitividade indicada pelo modelo, continuou apresentando melhor desempenho no contexto.

```

=====
- AVALIAÇÃO DE PREFERÊNCIA POR INTERVALOS -
=====

Com um erro padrão de (0.036)
Segue os valores dos limites inferiores e superiores para cada alternativa.

(U5023) >> X = -0.102 / Y = -0.03
(MK_27) >> X = 0.024 / Y = 0.096
(C.320) >> X = -0.03 / Y = 0.042

Avaliação quanto a alternativa (U5023):

(U5023) NÃO é PREFERÍVEL a (MK_27).
(U5023) é INDIFERENTE a (C.320).

Avaliação quanto a alternativa (MK_27):

(MK_27) é PREFERÍVEL a (U5023).
(MK_27) é INDIFERENTE a (C.320).

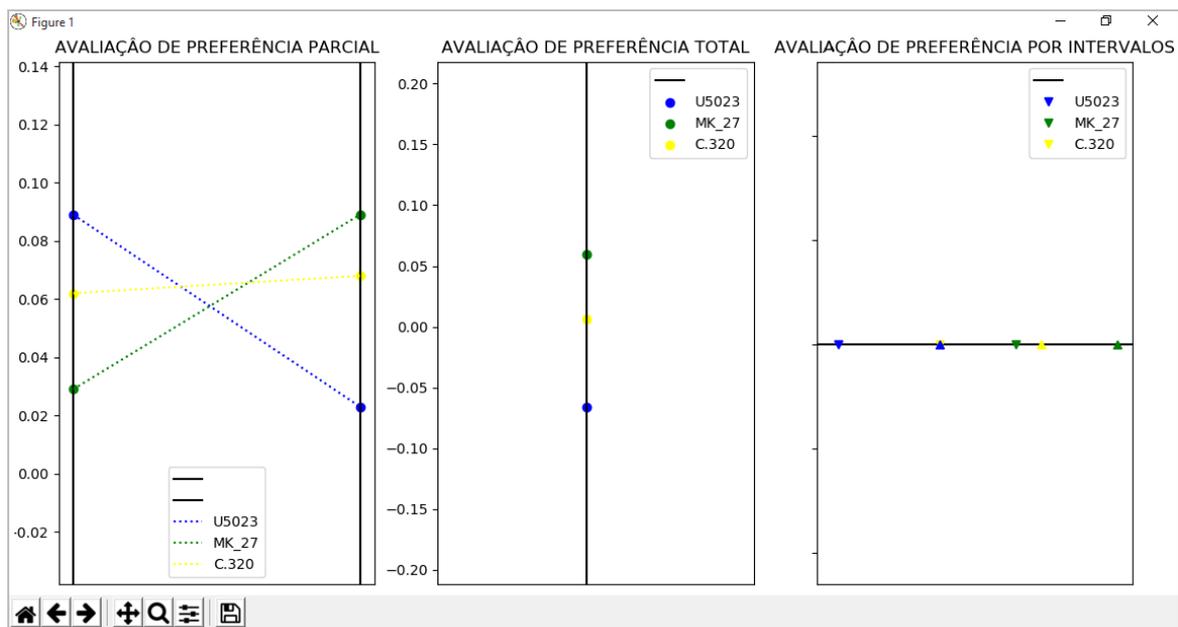
Avaliação quanto a alternativa (C.320):

(C.320) é INDIFERENTE a (U5023).
(C.320) é INDIFERENTE a (MK_27).
    
```

**Figura 10:** Avaliação de preferência total, software PROMETHEE-SAPEVO-M1.  
**Fonte:** Autores (2020)

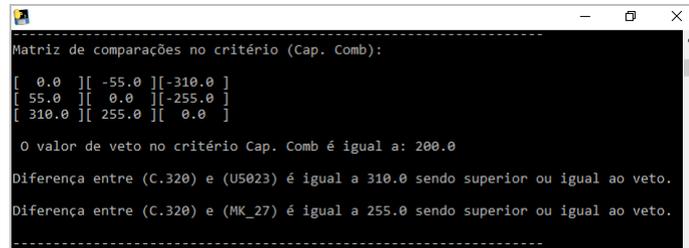
Além dos scripts como forma de análise, o software utilizado também permite uma análise mediante a utilização de gráficos. A análise gráfica viabiliza uma melhor avaliação do caso, de modo a ser possível ter uma compreensão aprimorada quanto ao comportamento dos fluxos. Na figura 11 é apresentado o formato em que os gráficos são expostos, quanto a avaliação parcial, fica claro identificar que a alternativa *Oshkosh MK27* é mais favorável, a partir do momento que a mesma é indicada por uma reta que cruza todas as demais pertencentes ao conjunto.

Pelo gráfico de avaliação de preferência total, fica mais nítido a relação de preferência entre as alternativas, caracterizadas pelo distanciamento entre as opções, quanto mais distante uma alternativa está quanto as demais, maior é sua preferência. Quanto ao terceiro gráfico, é possível reconhecer melhor a avaliação por intervalos, tendo uma melhor dimensão de quão determinada alternativa superou a outra.



**Figura 11:** Gráficos de avaliações de preferência, software PROMETHEE-SAPEVO-M1.  
**Fonte:** Autores (2020)

Ao final do processo de avaliação, para cada critério foi sugerido um valor de veto  $v_j$ , conforme o conceito explorado na seção 3.6. No contexto avaliado não houveram muitos casos em que foram identificados diferenças ou graus com valores equivalentes ou superiores ao veto, entretanto um caso em particular foi identificado, conforme apresentado na figura 12.



**Figura 12:** Análise intra-critério com limiar de veto, software PROMETHEE-SAPEVO-M1.  
**Fonte:** Autores (2020)

No critério *capacidade de combustível* foi sugerido um valor de veto  $v_j = 200$ , e particularmente identificou-se que a alternativa *Constellation 31320* apresenta diferenças consideravelmente superiores quanto as demais alternativas. Conforme já abordado na estrutura axiomática do método, o veto não tem por papel influenciar na obtenção dos fluxos, mas sim indicar casos em que há diferenças superiores aos valores médios identificados.

No contexto analisado, fica evidente a VtrOP mais favorável, a partir do momento que analisando os três modelos de avaliações de preferência, identificou-se a de melhor desempenho, do mesmo modo que foi possível identificar a opção que não apresentaria benefícios quanto ao seu emprego. Desta forma o estudo viabiliza a MB e CFN obter uma análise decisória fundamentada e robusta, dada a hipótese de aquisição de novas VtrOP.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O artigo teve por propósito estar apresentando uma avaliação de apoio à tomada de decisão relacionada a necessidade da MB estar realizando a aquisição de novas VtrOP para emprego nas operações táticas e logísticas realizadas pelo CFN. Como modelo axiomático AMD foi aplicado o novo método PROMETHEE-SAPEVO-M1.

O método implementado apresentou técnicas de avaliações eficazes, permitindo não só avaliar quantitativamente, mas também considerar variáveis qualitativas e subjetivas, mediante entradas ordinais. A aplicação do modelo à problemática em questão, por meio de um software, proporcionou uma análise robusta e detalhada, reconhecendo os critérios de maior influência à avaliação, e identificando a alternativa com melhor desempenho.

Quanto aos diferentes modelos de análise de resultados, foi possível avaliar o comportamento das alternativas dentro de três formas de avaliações de preferência, realizando uma espécie de análise de sensibilidade, mediante a comparação entre os resultados obtidos. A inserção de uma análise intra-critério por limiar de veto, sendo apresentada pela primeira vez neste estudo de forma anexada ao método PROMETHEE-SAPEVO-M1, permitiu gerar mais informações como forma de apoio à decisão final, mesmo o veto não influenciando na obtenção dos fluxos, o valor indica graus de diferenças que podem induzir a uma possível mudança na decisão final.

Quanto a MB, espera-se que o estudo possa estar servindo de base, como forma de análise, relacionada a aquisição de novas VtrOP para obtenção da efetividade necessária quanto as operações realizadas pelo CFN. Mediante o método trabalhado, pode o órgão militar estar acrescentando mais critérios ou alternativas, caso necessário, buscando uma avaliação mais robusta e completa, e também, estar aplicando em outras problemáticas de avaliações multicritério, a partir do momento que o método utilizado seja adequado a estas.

## 6. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. T., CAVALCANTE, C.A.V., ALENCAR, M. H., FERREIRA, R. J. P., ALMEIDA-FILHO, A. T., Garcez, T. V.** Multicriteria and multiobjective models for risk, reliability and maintenance decision analysis. *International Series in Operations Research and Management Science*. 2015.
- BRANS, J., VINCKE, P. H, MARESCHAL, B.** A new family of outranking methods in multicriteria analysis. ULB - Université Libre de Bruxelles (1984).
- BRANS, Jean-Pierre; SMET, Yves de.** PROMETHEE methods. In: *Multiple criteria decision analysis*. Springer, New York, NY, 2016. P. 187-219.
- BRANS, Jean-Pierre; VINCKE, Philippe; MARESCHAL, Bertrand.** How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method. *European journal of operational research*, v. 24, n. 2, p. 228-238, 1986.
- BRASIL.** Exército Brasileiro. Estado-Maior Do Exército. Manual de Campanha Logística Militar Terrestre. 2018.
- BRASIL.** Marinha do Brasil. Comando Geral do Corpo de Fuzileiros Navais. CGCFN-12: Normas para Administração de Material do Corpo de Fuzileiros Navais. 2012.
- BRASIL.** Marinha do Brasil. Estado Maior da Armada. EMA-305: Doutrina Básica da Marinha. Brasília, DF, 2014
- BRASIL.** Ministério da Defesa. Estratégia Nacional de Defesa. 2. ed. Brasília, DF, 2012.
- 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*, 29(1), pp. 67-95 (2009).
- CINELLI, M.** The Art of Supporting Decision-Making. *Exchanges: the Warwick Research Journal* v.4, p.298-308, 2017.
- CINELLI, M.; KADZINSKIA, M.; GONZALEZ, M.; SŁOWINSKI, R.** How to support the application of multiple criteria decision analysis? let us start with a comprehensive taxonomy. *Omega*, v. 95, p. 323–372, 2020.
- GOMES, L. F. A. M.; GOMES, C. F. S.** Princípios e métodos para a tomada de decisão: Enfoque multicritério (6a ed.). São Paulo: Atlas. (2019).
- GOMES, L. F. A. M.; MURY, Antonio R.; GOMES, Carlos F.S.** Multicriteria ranking with ordinal data. *Systems Analysis Modelling Simulation*, v. 27, p. 139-146, 1997.
- GRECO, Salvatore; FIGUEIRA, José; EHRGOTT, Matthias.** Multiple criteria decision analysis. New York: Springer, 2016.
- MOREIRA, Miguel Ângelo Lellis; SANTOS, Marcos dos; GOMES, Carlos Francisco Simões.** Proposta de Modelagem Híbrida PROMETHEE-SAPEVO-M1: avaliação multicritério de drones para emprego na guerra naval. 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, 2019.
- MOREIRA, Miguel Ângelo Lellis; SANTOS, Marcos dos; GOMES, Carlos Francisco Simões.** Software PROMETHEE-SAPEVO-M1 (v.1). 2020.
- SANTOS, Marcos; QUINTAL, R.S.; PAIXÃO, A.C.; GOMES, C.F.S.** Simulation of operation of an integrated information for emergency pre-hospital care in Rio de Janeiro municipality. *Pro-cedia Computer Science*, v. 55, p. 931-938, 2015.
- SANTOS, Ramon Lucena dos.** Aplicação De Métodos Multicritério na Seleção de Viaturas Operativas Pesadas para O Corpo De Fuzileiros Navais. Trabalho de Conclusão de Curso - Centro De Instrução Almirante Sylvio De Camargo – Corpo De Fuzileiros Navais Da Marinha Do Brasil, Rio de Janeiro, 2019.
- WĄTRÓBSKI, Jarosław; JANKOWSKI, Jarosław.** Knowledge management in MCDA domain. *Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS)*. IEEE, 2015. p. 1445-1450.