



## **UTILIZAÇÃO DO MÉTODO WASPAS (WEIGHTED AGGREGATED SUM PRODUCT ASSESSMENT) PARA ESCOLHA DE VIATURAS BLINDADAS DE CAVALARIA: UMA COMPARAÇÃO DO USO DO MÉTODO COM A ESCOLHA REAL**

**Tullio Mozart Pires de Castro Araujo**

Diretoria Industrial da Marinha

Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro, S/N - Centro, Rio de Janeiro - RJ, 20091-000

tulliopires@gmail.com

**Marcos dos Santos**

Mestrado em Engenharia de Transportes - Instituto Militar de Engenharia

Praça Gen. Tibúrcio, 80 - Urca, Rio de Janeiro - RJ, 22290-270

[marcosdossantos@ime.eb.br](mailto:marcosdossantos@ime.eb.br)

**Igor Pinheiro de Araújo Costa**

CASNAV

Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro, S/N - Centro, Rio de Janeiro - RJ, 20091-000

costa\_igor@id.uff.br

### **RESUMO**

O campo de batalha moderno compreende uma realidade onde decisões devem ser tomadas em questão de segundos. Contudo, a preparação para os conflitos pode (e deve), ser tomada ao longo dos anos. Uma das preocupações mais prementes das forças militares modernas é a de manterem-se na “ponta da lança”, no que concerne à posse de equipamento militar moderno.

Face ao exposto, este estudo visa demonstrar a aplicação do método WASPAS, para visualizarmos a viabilidade de utilizá-lo numa escolha real, do Exército Brasileiro (EB), bem como comparar os resultados obtidos com a decisão que foi efetivamente tomada pelo EB.

**PALAVRAS-CHAVE. Análise de multicritérios, WASPAS, WEIGHTED AGGREGATED SUM PRODUCT ASSESSMENT.**

**Tópicos: Fundamentação teórica, metodologia, discussão de resultados, descrição do problema, considerações finais e introdução.**

### **ABSTRACT**

The modern battlefield comprises a reality where decisions must be made within seconds. However, the preparation of the armed forces before the conflicts per se must (and should), be taken along several years. One of the main concerns in modern military forces is that they should be on the “tip of the spear”, in what concerns the possession of cutting-edge military equipment.

This study envisions to demonstrate applying the WASPAS method, so that we can visualize the viability of using it in a real Brazilian Army choice, as well as comparing the results shown here, with the real ones.

**KEYWORDS. Multi-criteria analysis. WASPAS, WEIGHTED AGGREGATED SUM PRODUCT ASSESSMENT.**



*“A Engenharia de Produção no contexto das organizações “Data Driven”.”*

Campina Grande, Paraíba, Brasil – 24 a 26 de Maio de 2023.

**Paper topics: Theoretical foundation, methodology, discussion of results, problem description, final considerations and introduction.**

## 1. Introdução

A cavalaria militar, a mais nobre das armas de terra, remonta à antiguidade.

A imagem de guerreiros e seus cavalos, tornados um só, permeia a mentalidade das pessoas, através principalmente das obras de ficção que chegam até nós, quer sejam filmes, livros ou quadrinhos.

Com os avanços tecnológicos da área dos conflitos bélicos, os cavalos acabaram por ser substituídos por veículos. A última carga de cavalaria da qual se tem registro foi empreendida pelos italianos, em 1942, durante a invasão do eixo à URSS.

Ipsa Facto, os exércitos modernos se utilizam de uma miríade de blindados diferentes, cada um tendo um propósito em mente. Desde viaturas blindadas para transporte de pessoal, até os temidos “Tanques” ou MBT (Main Battle Tanks). Estes o esteio dos exércitos. No caso deste estudo, tratamos das viaturas blindadas de cavalaria (VBC), mais comumente conhecidas como “caça tanques”.

Os caça-tanques por sua vez remontam à segunda guerra mundial. Com o desenvolvimento tecnológico advindo do conflito anterior, os blindados da II GM aliaram mobilidade e poder de fogo de uma maneira nunca vista. O maior demonstrativo disso foram os sucessos da Wermacht (Exército Alemão), no emprego da tática “blitzkrieg”, ou guerra relâmpago. Contudo, as potências aliadas não ficaram para trás, e por si mesmas observaram e adotaram muitos dos ensinamentos colhidos com a Alemanha sua inimiga, em seus próprios blindados.

Por conta disso, no decorrer do conflito os alemães passaram a ter que lidar com blindados cada vez melhores, por parte dos aliados. Isto fez com que eles desenvolvessem o primeiro caça tanque moderno, o “Panzerjäger”, o próprio termo alemão para tal.

Ao longo da guerra, diversos desenvolvimentos desses blindados se deram, influenciando a construção de blindados até hoje.

No caso brasileiro, quando da entrada do Brasil na II GM, recebemos grandes levas do blindado americano M-8 Greyhound. A partir da década de 70, observou-se uma forte necessidade de substituí-lo, o que levou ao desenvolvimento autóctone do EE-9 Cascavel, nosso primeiro caça-tanques legítimo e nacional.

O Cascavel tem servido muito bem o Brasil ao longo desses quase 50 anos, mas também se enxergou a necessidade premente de ser substituído. Para tal, o EB iniciou, em 2021, um processo de aquisição de novas VBC.

A priori, a concorrência empreendida pelo EB compreenderia a aquisição de 221 blindados, até 2026. Porém houve um aditamento e optou-se pela aquisição de 98 blindados, com prazo estendido até 2038.

Em julho de 2022 o EB emitiu o Request for Proposal (RFP), visando receber respostas das fabricantes interessadas no certame. Em outubro de 2022 tivemos a divulgação do short-list, com 3 candidatos remanescentes: O blindado Iveco Centauro II (italiano), o General Dynamics LAV 700 (americano) e o Norinco ST1-BR (chinês).

No final de novembro de 2022, foi divulgada pelo EB a relação dos Blindados ranqueados, sendo o escolhido para aquisição o modelo italiano Centauro II.

De modo a demonstrar a aplicabilidade dos Métodos de Auxílio Multicritério (MCDA) no apoio à ordenação e apoio às tomadas de decisão, este artigo é dividido da seguinte maneira: na seção 2 é realizada uma descrição sucinta do problema. Na seção 3 é realizada a fundamentação teórica, bem como como a explanação das ferramentas utilizadas e critérios assumidos. Na seção 4 apresenta-se a metodologia utilizada e, na seção 5, a discussão dos resultados e as considerações finais.

## 2. Descrição do Problema

Nesse artigo será apresentado o problema de decisão relativo à escolha de viaturas blindadas de cavalaria, comumente conhecidos como “caça-tanques”.

Considerando que a escolha de um equipamento deste porte envolve diversos matizes a serem analisadas, podemos enxergá-lo claramente como um problema multicritério.

Conforme Behzadian *et al.* (2012), os MCDA compreendem uma subdisciplina da Pesquisa Operacional (PO), que compreendem o uso de ferramentas matemáticas e computacionais para auxiliar na avaliação subjetiva de um número finito de alternativas sob um número finito de critérios de performance (atributos).

Também, de acordo com Gomes *et al.* (2019), a abordagem do problema de decisão, pela ótica do MCDA, não visa apresentar ao agente de decisão solução definitiva para seu problema, elegendo uma única verdade representada pela alternativa selecionada. Essa abordagem visa, sim apoiar o processo decisório com a recomendação de ações que estejam em sintonia com as preferências expressas pelo agente de decisão. Isto é: o emprego dos MCDA pode ocorrer conjuntamente com a própria experiência técnica e profissional do profissional e/ou profissionais envolvidos no processo de tomada de decisão, visando validar (ou não), opiniões que eles já possuem, acerca daquela tarefa.

Desse modo, prosseguimos à comparação de uma tomada de decisão hipotética, através do uso do método WASPAS, e a do mundo real.

## 3. Fundamentação teórica

Foi utilizada a base de dados SCOPUS, para procurar os seguintes assuntos em artigos “Weighted Aggregated Sum Product Assesment” (282 resultados), “WASPAS” (845 resultados), “Multicriteria analysis” (15.552 resultados).

Conforme Moreira *et al.* (2021), num contexto de diversas alternativas, critérios e complexidade, os MCDA podem ser de valia para auxiliar o processo de tomada de decisão, apresentando técnicas que possibilitam ao tomador de decisão estruturar e avaliar problemas complexos de forma transparente, introduzindo critérios qualitativos e quantitativos, definindo a importância das variáveis num processo iterativo e conjunto com outros atores técnicos e políticos.

O emprego dos MCDA no âmbito militar é altamente difundido. Uma busca nas principais bases de dados nos mostra isso. Alguns exemplos interessantes seguem.

De acordo com Üsküdar *et al.* (2021), foi empregado o método AHP para auxiliar a escolha das forças armadas turcas de um novo helicóptero de carga.

Um outro exemplo interessante é que, conforme Ma (2021), empregou-se um híbrido BWM-Fuzzy TOPSIS para a escolha de uma nova aeronave de treinamento/Ataque leve, que possibilitou a aquisição, por aquele país, da aeronave YAK-130.

Em relação ao método WASPAS, foi encontrado um trabalho não relativo ao meio militar, mas ao meio da aviação civil. De acordo com Deveci *et al.* (2022), um misto WASPAS IT2HFS (*type 2 range hesitant diffuse assemblies*), para auxílio na aquisição de determinado tipo de aeronave para uma rota aérea.

## 4. Metodologia

Os dados empregados no estudo foram obtidos através de consulta nos websites dos fabricantes dos blindados.

Para análise deles, foi empregado o método WASPAS que, por sua vez, é a combinação de dois outros métodos: o WSM (weighted sum method) e o WPM (weighted product method).

No método WASPAS, primariamente prosseguimos à confecção da matriz de decisão/avaliação,  $X = [X_{ij}]_{m \times n}$ , onde  $X_{ij}$  corresponde à performance da  $i$ -ésima alternativa, do  $j$ -ésimo critério, sendo  $m$  o número de alternativas e  $n$  o número de critérios.

De modo a colocar as medidas de performance de cada critério comparáveis e adimensionais, todos os elementos são normalizados, de acordo com as equações abaixo:

$$\bar{X}_{ij} = \frac{X_{ij}}{\max_i X_{ij}} \quad (1)$$

Para critérios de máximo/benefício, e:

$$\bar{X}_{ij} = \frac{\min_i X_{ij}}{X_{ij}} \quad (2)$$

Para critérios de mínimo/não-benefício.  $\bar{X}_{ij}$  é a forma normalizada de  $X_{ij}$ .

No método WASPAS, em sua parcela correspondente ao WSM, a importância relativa de da  $i$ -ésima alternativa é avaliada segundo a seguinte equação:

$$Q_i^{(1)} = \sum_{j=1}^n \bar{X}_{ij} w_j, \quad (3)$$

Onde  $w_j$  corresponde ao peso (importância relativa), do  $j$ -ésimo critério.

Igualmente, de acordo com a parcela WPM, a importância relativa da  $i$ -ésima alternativa é:

$$Q_i^{(2)} = \prod_{j=1}^n (\bar{X})_{ij}^{w_j}, \quad (4)$$

Por fim, de modo a aliar o melhor dos dois mundos, temos a junção das parcelas:

$$Q_i = \lambda Q_i^{(1)} + (1 - \lambda) Q_i^{(2)}, \quad 0 \leq \lambda \leq 1 \quad (5)$$

Na equação (5), podemos observar que, quando  $\lambda=0$ , o método se torna o WPM, bem como quando o  $\lambda=1$ , o método se torna o WSM.

#### 4.1. Alternativas, critérios e os valores relacionados

Nesta subseção, apresentaremos os resultados experimentais do emprego do método WASPAS, bem como conclusões prévias que podemos tomar.

Segue abaixo uma tabela das alternativas e principais critérios:

Após a captação e os cálculos dos dados necessários para o estudo, foi gerada a Tabela 1, consolidando as informações para aplicação nas ferramentas a serem utilizadas para a tomada de decisão.

Alternativas		Critérios	
A1	LAV 700	C1*	Preço
A2	Centauro	C2	Peso
A3	ST-BR1	C3	Calibre
		C4	Magazine
		C5	Velocidade
		C6	Autonomia

Tabela 1 – Valores relacionados para alternativas e critérios  
Fonte: O autor [2023].

Todos os critérios levantados são aqueles presentes nos dados do fabricante de cada blindado, com exceção do critério de preço, onde foi utilizada a escala de Saaty.

Segue a tabela das alternativas, com seus critérios e respectivos valores:

		CRITÉRIO 1	CRITÉRIO 2	CRITÉRIO 3	CRITÉRIO 4	CRITÉRIO 5	CRITÉRIO 6
		MIN	MIN	MÁX	MÁX	MÁX	MÁX
		PREÇO	PESO	CALIBRE	MAGAZINE	VELOCIDADE	AUTONOMIA
ALTERNATIVA 1	LAV 700	9	30	105	40	108	1000
ALTERNATIVA 2	CENTAURO	7	30	120	40	105	800
ALTERNATIVA 3	ST-BR1	5	26,5	105	30	110	700

#### 4.2. Normalização

Considerando que os valores apresentados encontram-se em diferentes unidades, faz-se necessário realizar uma normalização.

Os critérios 1 e 2 são definidos como monotônicos de benefício, e a utilizamos a equação (1) para normalização.

Os demais critérios são definidos como monotônicos de não-benefício, e utilizamos a equação (2) para normalização.

Posteriormente, temos a seguinte tabela:

<b>MATRIZ DE NORMALIZAÇÃO</b>					
PREÇO	PESO	CALIBRE	MAGAZINE	VELOCIDADE	AUTONOMIA
0,555555556	0,883333333	0,875	1	0,981818182	1
0,714285714	0,883333333	1	1	0,954545455	0,8
1	1	0,875	0,75	1	0,7

#### 4.3. Pesos dos critérios

Foi considerado, a priori, o mesmo peso para todos os critérios, de modo que foi gerada a seguinte tabela:

<b>MATRIZ DOS PESOS</b>					
0,16666667	0,16666667	0,16666667	0,16666667	0,16666667	0,16666667
0,16666667	0,16666667	0,16666667	0,16666667	0,16666667	0,16666667
0,16666667	0,16666667	0,16666667	0,16666667	0,16666667	0,16666667

#### 4.4. Weighted Sum Method (WSM)

Dada a matriz de decisão, bem como a matriz dos pesos e a equação (1), temos como resultado preliminar, de acordo com a parcela WSM do método:

<b>MATRIZ WSM DE PESOS NORMALIZADA</b>					
0,09259259	0,14722222	0,14583333	0,16666667	0,163636364	0,166666667
0,11904762	0,14722222	0,16666667	0,16666667	0,159090909	0,133333333
0,16666667	0,16666667	0,14583333	0,125	0,166666667	0,116666667

#### 4.4 Weighted Product Method (WPM)

Dada a matriz de decisão, bem como a matriz dos pesos e a equação (2), temos como resultado preliminar, de acordo com a parcela WPM do método:

<b>MATRIZ DE PESOS WPM NORMALIZADA</b>						Preferencia WSM	Preferencia WPM	Preferencia WSPM
0,90668114	0,97953683	0,97799059	1	0,99694648	1	0,88261785	0,86592818	0,87427301
0,94546472	0,97953683	1	1	0,99227664	0,96349248	0,89202742	0,88541566	0,88872154
1	1	0,97799059	0,95318429	1	0,94228658	0,8875	0,87840452	0,88295226

#### 4.5 Comparações

Primariamente, consideramos um  $\lambda = 0,5$ , de modo que ficamos com a seguinte tabela de pontos:

Preferencia WSM	Preferencia WPM	Preferencia WSPM
0,88261785	0,86592818	0,87427301
0,89202742	0,88541566	0,88872154
0,8875	0,87840452	0,88295226

Para  $\lambda = 0,25$ :

Preferencia WSM	Preferencia WPM	Preferencia WSPM
0,88261785	0,86592818	0,8701006
0,89202742	0,88541566	0,8870686
0,8875	0,87840452	0,88067839

Para  $\lambda = 0,75$ :

Preferencia WSM	Preferencia WPM	Preferencia WSPM
0,88261785	0,86592818	0,87844543
0,89202742	0,88541566	0,89037448
0,8875	0,87840452	0,88522613

## 5. Discussão dos resultados

Mesmo variando o valor de  $\lambda$  entre 0.25, 0.5 e 0.75, a ordenação manteve-se a mesma, conforme tabela a seguir:

RANK	RANK WPM	RANK WSM
3	3	3
1	1	1
2	2	2

Temos que a ordenação ficou, então:

1. VBC Centauro II;
2. VBC LAV-700; e
3. VBC STR-1BR.

A ordenação em lide é, *ipsis literis*, a mesma observada na concorrência real.

## 6. Considerações finais

O emprego do método WASPAS no problema supracitado possibilitou perceber sua validade como auxílio à decisão, bem como validou a escolha feita no mundo real.

Outro ponto observado foi que, ao realizarmos um ligeiro teste de sensibilidade, a ordenação não se alterou. O que corresponde a uma diferença de performance real entre os blindados, o que os colocam efetivamente em níveis diferentes.

O presente trabalho visa não só apresentar mais uma utilidade para a ferramenta, mas sobretudo apresentar a sua facilidade de emprego. Que, nas unidades militares de todos os tipos, é de grande valia.

## Referências

Zavadskas, E.K.; Turskis, Z.; Antucheviciene, J.; Zakarevicius, A. Optimization of weighted aggregated sum product assessment. *Elektron. Ir Elektrotechnika* 2012, 122, 3–6;

Behzadian, M.; Otaghsara, S.K.; Yazdani, M.; Ignatius, J. A state-of-the-art survey of TOPSIS applications. *Expert Syst. Appl.* 2012, 39, 13051–13069;

Moreira, M.Â.L.; de Araújo Costa, I.P.; Pereira, M.T.; dos Santos, M.; Gomes, C.F.S.; Muradas, F.M. PROMETHEE-SAPEVO-M1 a Hybrid Approach Based on Ordinal and Cardinal Inputs: Multi-Criteria Evaluation of Helicopters to Support Brazilian Navy Operations. *Algorithms* 2021, 14, 140;

GOMES, L. F. A. M.; GOMES, C. F. S. *Princípios e métodos para a tomada de decisão: Enfoque multicritério*. São Paulo: Atlas, 2019;



*“A Engenharia de Produção no contexto das organizações “Data Driven”.”*

Campina Grande, Paraíba, Brasil – 24 a 26 de Maio de 2023.

Üsküdar, A.; Türkan, Y.S.; Özdemir, Y.S.; Öz, A.H. *Fuzzy ahp-center of gravity method helicopter selection and application. In Proceedings of the 2019 8th International Conference on Industrial Technology and Management (ICITM), Cambridge, UK, 2–4 March 2019; pp. 170–174.*

Ma, Jungmok. (2022). *Training Aircraft Selection of the Vietnam People's Air Force Using a Hybrid BWM-Fuzzy TOPSIS Method. Periodica Polytechnica Social and Management Sciences. 30. 10.3311/PPso.15428.* Baldini, F., Santos, M., Coelho, L. dos S. e Mariani, V. C. (2021). *AHP-GAUSSIANO em VBA (v.1);*

Deveci, M.; Öner, S.C.; Ciftci, M.E.; Özcan, E.; Pamucar, D. *Interval type-2 hesitant fuzzy entropy-based WASPAS approach for aircraft type selection. Appl. Soft Comput. 2022, 114, 108076;*

de Assis, G.S.; dos Santos, M.; Basilio, M.P. *Use of the WASPAS Method to Select Suitable Helicopters for Aerial Activity Carried Out by the Military Police of the State of Rio de Janeiro. Axioms 2023, 12, 77.*