

UMA SISTEMÁTICA DE DECISÃO PARA O CORPO DE FUZILEIROS NAVAIS BASEADA EM MÉTODOS DE APOIO MULTICRITÉRIO À DECISÃO

A decision-making system for the Marine Corps based on multi-criteria decision support methods

Leonardo Amorim do Amaral¹, Newton José Ferro², José Calixto dos Santos Junior³, Sérgio Douglas Oliveira Bentes⁴, Newton José Ferro Junior⁵

Resumo: O presente trabalho trata-se da aplicação de uma abordagem sobre o apoio à decisão com base na convergência dos métodos Eliminação e Escolha como Expressão da Realidade na sua versão III (Election et Choix Traduisant La Realite — ELECTRE III) e de Análise Hierárquica do Processo (Analytic Hierarchy Process — AHP), na seleção de um meio operativo, denominado de plataforma, que melhor possa atender às necessidades expedicionárias do Corpo de Fuzileiros Navais (CFN). Não teve como propósito comparar os dois métodos, mas sim auxiliar o processo de decisão no aproveitamento das características específicas de cada método e identificar as possíveis convergências. A fim de tornar exequível a utilização dos métodos ELECTRE III e AHP como auxílio à decisão de um mesmo problema, por meio da busca de possíveis convergências, os autores elaboraram, empiricamente, uma tabela de atribuição dos julgamentos para inserção no método AHP, baseado na diferença das medianas dos pesos atribuídos pelos dez especialistas julgadores dos critérios estabelecidos, os quais poderão evoluir para outra abordagem paramétrica, como um processo de melhoria contínua.

Palavra-chave: Multicritério de Apoio à Decisão. Election et Choix Traduisant La Realite. Análise hierárquica. Apoio à decisão.

Abstract: This study deals with the application of a decision-making support approach based on the convergence of the ELECTRE III and AHP methods, in the selection of an operational environment, dubbed a platform, that can best meet the expeditionary needs of the Brazilian Marine Corps. The purpose was not to compare the two methods, but to help the decision-making process by taking advantage of the specific characteristics of each method and to identify possible convergences. In order to make the use of the ELECTRE III and AHP methods feasible as an aid to the decision-making process regarding the same problem through the search of possible convergences, the authors empirically elaborated a table for assigning the judgments for insertion in the AHP method, based on the difference of the medians of the weights attributed by the ten judging specialists of the established criteria, which could evolve to another parametric approach, as a process of continuous improvement.

Keywords: Multi-Criteria Decision Analysis. Election et Choix Traduisant La Realite. Analytic Hierarchy Process. Decision Support.

¹ Mestre em Engenharia Nuclear pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Auxiliar de Ciência, Tecnologia e Inovação do Comando do Material de Fuzileiros Navais - Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: leofuznav@gmail.com

² Doutor em Engenharia Nuclear pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Assessor de Ciência, Tecnologia e Inovação do Comando do Material de Fuzileiros Navais - Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: newtonferro@yahoo.com.br

³ Mestre em Ciências Navais pela Escola de Guerra Naval. Gerente de Viaturas Blindadas Leves 4 x 4 do Comando do Material de Fuzileiros Navais - Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: jose.calixto@marinha.mil.br

⁴ Assault Amphibian Unit Leader Course at Assault Amphibian School Battalion Training Command. Auxiliar da Gerência de Viaturas Blindadas Leves 4 x 4 do Comando do Material de Fuzileiros Navais - Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: douglasbentes@hotmail.com

⁵ Pós-Graduado em Pesquisa de Engenharia do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Mestre pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro - Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: newtonferro@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

Na área de estudo do processo decisório, diversas disciplinas e metodologias têm sido desenvolvidas para auxiliar a construção de modelos de decisão, como árvores de decisão, teoria dos jogos, programação linear e análise multicritério. Essa última possui uma grande integração com a Teoria dos conjuntos nebulosos (*Fuzzy Sets*); Lógica nebulosa (*Fuzzy Logic*); Redes de neurônios artificiais (*Neural Network*) e a Teoria de conjuntos aproximativos (*Rough Sets Theory*) e possui como principal característica tratar cientificamente a subjetividade inerente ao processo de decisão (COSTA, 2005).

Nesse contexto, o CFN iniciou um estudo para adquirir um meio operativo que proporcione o embarque de tropa para cumprir missões específicas que atendam aos requisitos mínimos exigidos para emprego nos Grupamentos Operativos de Fuzileiros Navais (GptOpFuzNav). Por se tratar de uma aquisição estratégica para emprego militar, esse trabalho não mencionará quais tipos de meios operativos foram analisados, seus modelos e fabricantes, que serão denominadas agora simplesmente como plataformas.

Esse trabalho é visto como um problema clássico de decisão complexa, em que vários critérios podem ser necessários para uma escolha final entre diferentes alternativas. Considerado, portanto, como um problema Multicritério de Apoio à Decisão (AMD), pois, segundo de Almeida (2013), consiste em uma situação que há pelo menos duas alternativas de ação para escolher, e essa escolha é conduzida pelo desejo de se atender aos múltiplos objetivos, muitas vezes, conflitantes entre si.

Assim, o objetivo do presente estudo é de apresentar a metodologia utilizada no processo de escolha dessa plataforma, utilizando os conceitos de AMD, particularmente o método ELECTRE III e o método AHP, desenvolvido para utilização por um único decisor, adaptado pelos autores para uma aproximação com múltiplos decisores.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Diversos estudos tratam da aplicação de métodos para suporte à decisão das organizações. A busca por uma metodologia clara e que envolva a racionalização da decisão tem sido um objetivo a ser alcançado. É muito comum encontrar

registros de trabalhos envolvendo decisões para seleção de equipamentos ou de pessoal. Segundo Roy (1993), o processo de apoio à decisão é definido como a atividade em que um facilitador, utilizando-se de procedimentos científicos, ajuda a obter elementos de resposta às questões perguntadas aos atores envolvidos em um processo decisório.

Os métodos AMD tem por objetivo ser uma ferramenta de auxílio para analistas e decisores em situações que haja a necessidade de identificar prioridades baseado em múltiplos critérios que envolvam duas ou mais alternativas (GOMES, 1999).

Entre esses tipos de problemas é comum a classificação dos métodos desenvolvidos pela Escola Americana e Escola Francesa. Os métodos desenvolvidos são baseados em relações de prevalência e neles se destacam os métodos das famílias ELECTRE (ROY, 1968; 1978; ROY; SKALKA, 1984) e PROMETHEE (BRANS; MARESCHAL; VINCKE, 1984). Os métodos da Escola Americana já possuem características que têm a finalidade de reduzir os vários critérios a uma síntese, na grande maioria das vezes, por meio de uma soma ponderada. Entre esses métodos destacam-se os AHP (SAATY, 1980), TODIM (GOMES, 1987) e MACBETH (BANA E COSTA; VANSNICK, 1995; 1997).

2.1. MÉTODO ELECTRE

O método ELECTRE foi concebido por Bernard Roy em resposta às deficiências dos métodos de solução de decisão existentes. O ELECTRE evoluiu por meio de várias versões, todas baseadas nos mesmos conceitos fundamentais, porém operacionalmente um pouco diferentes (ROY, 1991).

O ELECTRE é um método bem conhecido que possui um histórico de aplicações bem-sucedidas em vários tipos de situações de tomada de decisão. Sua abordagem requer uma entrada de avaliações de critérios para as alternativas chamadas Matriz de decisão, informações de preferência, expressas como pesos, limiares e outros parâmetros (SEVKLI, 2010).

Todos os métodos do tipo ELECTRE envolvem dois procedimentos principais: a modelagem de preferências com relações de superação, seguida de um procedimento de exploração (KAYA; KAHRAMAN, 2011).

Segundo de Almeida (2013), uma das características principais que distingue o ELECTRE de muitos outros múltiplos métodos de solução é por ele não ser compensatório. Isto significa que bons resultados em alguns critérios não compensam um ou mais resultados ruins em outros. Outra característica

do ELECTRE é que ele permite a incomparabilidade, ou seja, quando não há evidência clara a favor de algum tipo de preferência ou indiferença entre alternativas distintas. Pois, considerando um problema de decisão entre as alternativas a , b e c , por exemplo, sabendo que a alternativa a é melhor do que b e que a é melhor do que c , torna-se irrelevante analisar as preferências entre as alternativas b e c . Estas duas ações podem perfeitamente permanecer incomparáveis, sem degenerar o procedimento de suporte à decisão. Assim, a ideia básica, nessa família de métodos, consiste na ênfase da análise das relações de dominância.

Segundo de Almeida (2013), os métodos da família ELECTRE são aplicados em duas fases principais: construir uma relação de sobreclassificação, estabelecendo uma comparação par a par de alternativas e explorar a relação, aplicando um procedimento para resolver o problema em função da problemática específica a ser abordada.

Os métodos ELECTRE consideram os pesos como uma medida da importância que cada critério tem para o decisor, e não como uma taxa marginal de substituição, visto que as avaliações de cada alternativa nos diferentes critérios não se reúnem em uma avaliação global.

2.2. MÉTODO AHP

O método AHP permite a tomada de decisão de forma subjetiva. O AHP baseia-se no método newtoniano-cartesiano, cuja ideia é compreender a complexidade de um todo pela fragmentação em níveis mais baixos e detalhados possíveis, estabelecendo relações sintetizadas (MARINS; SOUZA; BARROS, 2009).

Segundo Costa (2002), o método pode ser dividido em três fases: construção de hierarquias, definição de prioridades e consistência lógica. A construção de hierarquias permite a compreensão global e avaliação na visão sistêmica do problema com todos os componentes e as interações existentes. A estruturação em níveis hierárquicos é feita pela separação, em geral, em três níveis básicos: o primeiro nível é definido como o propósito geral da análise, tendo-se como exemplo, a escolha de uma plataforma que proporcione o embarque de tropa; o segundo nível hierárquico contempla os critérios estabelecidos; e o terceiro nível, as alternativas disponíveis (MARINS; SOUZA; BARROS, 2009).

Na fase de definição de prioridades, são realizados julgamentos paritários para sintetização das relações entre os critérios e alternativas. Os elementos de determinado nível da

hierarquia são julgados par a par sob a luz de um elemento do nível anterior (TREVIZANO, 2005), segundo a Escala Fundamental de Saaty (1991), conforme a Tabela 1.

Por último, na fase de consistência lógica, é verificada a coerência entre as relações das fases anteriores, no quais o método AHP se propõe a calcular a consistência dos julgamentos e esta é considerada aceitável quando a Razão de Consistência (RC) é igual ou menor que 0,1, representando uma variação de até 10%, pois mesmo quando os julgamentos paritários estão fundamentados na experiência e conhecimento de especialistas, podem ocorrer inconsistências,

Tabela 1. Escala fundamental de Saaty.

Valor	Definição	Explicação
1	Igual importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Pouco mais importante	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra.
5	Muito mais importante	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Bastante mais importante	Uma atividade é muito favorecida em relação à outra; sua dominação de importância é demonstrada na prática.
9	Extremamente mais importante	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza.
2, 4, 6, 8 Valores recíprocos dos anteriores	Valores intermediários	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.

Fonte: Saaty (1991).

principalmente para o caso de existência de um elevado número de julgamentos.

Cabe ressaltar que durante o desenvolvimento do método AHP, Saaty (1990) considerou os experimentos realizados nos anos 1950, pelo psicólogo George Miller, o qual identificou que de uma forma geral, as pessoas processam adequadamente informações contendo poucos fatos, da ordem de sete com desvio padrão de duas unidades, estando em harmonia com a estabilidade do autovalor principal para pequenas perturbações quando n é pequeno.

No estudo de caso apresentado neste trabalho, a quantidade de critérios avaliados ultrapassou o limite psicológico citado, ao fazer uso de 11 critérios, em virtude das necessidades operacionais das plataformas analisadas. Assim, utilizou-se a abordagem do AHP com *ratings* (SAATY, 2008), que considera a realização da avaliação em categorias, com base em níveis de intensidade atribuídas para cada critério relacionado à cada alternativa, ao invés da abordagem clássica.

3. ESTUDO DE CASO

Para esse estudo, foram selecionadas seis plataformas operacionais de diferentes fabricantes, das quais quatro atenderam plenamente e duas parcialmente, a um documento elaborado pelo CFN, denominado Requisitos de Alto Nível de Sistemas (RANS), que descreve as características técnicas

necessárias para o emprego dessas plataformas. Com base nos dados extraídos do RANS, foi possível elaborar um mapa conceitual no qual se estabeleceu os critérios mais relevantes que influenciam no desempenho operacional dessas plataformas quando em cumprimento de suas missões. A Figura 1 apresenta o esboço do mapa conceitual desenvolvido, no qual foi estabelecida a ponderação para cada critério. Por exemplo, ao se comparar o critério peso bruto das seis plataformas, a melhor será aquela que possuir menor valor absoluto. Por outro lado, ao se comparar o critério autonomia, o maior valor absoluto será privilegiado.

Baseado no mapa conceitual, foram identificados 12 critérios para a escolha da plataforma desejada, salientando que o critério expectativa de vida foi retirado do processo, já que possui o mesmo valor para todas as seis plataformas em estudo, resultando em 11 critérios a serem analisados como um problema de Apoio Multicritério à Decisão, que conforme a Tabela 2, tiveram seus valores expostos e abaixo definidos.

- Proteção Balística (Bld): Tecnologia utilizada em plataformas militares para proporcionar proteção pessoal contra impacto balísticos, segundo a norma STANAG 4569 OTAN. Seus valores variam entre os níveis de proteção 1 a 4;
- Guarnição (GU): Para fins do presente artigo, o termo guarnição compreende a guarnição da plataforma propriamente dita, acrescida da quantidade de militares que podem embarcar;

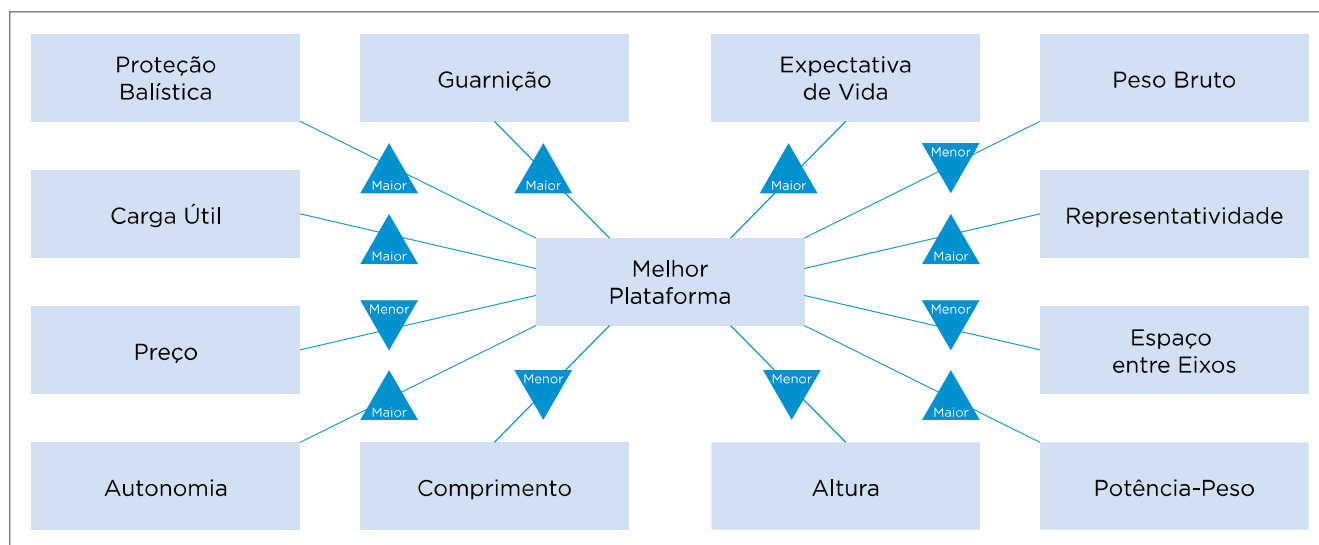


Figura 1. Mapa conceitual dos critérios que definirão a melhor plataforma a ser escolhida.

- Expectativa de Vida (Exp): Tempo em anos que a plataforma será empregada em atividades operacionais. Para este trabalho, todas as alternativas apresentaram um ciclo de vida útil de 20 anos;
- Peso Bruto (PB): Carga em quilograma (kg) do somatório da carga útil acrescido do peso da plataforma;
- Representatividade (Rep): Quantidade de países que possuem a plataforma em operação;
- Espaço entre Eixos (EE): Distância horizontal em milímetros (mm), na direção do eixo transversal da plataforma entre os centros das rodas dianteira e traseira;
- Potência-Peso (PP): Relação entre o peso da plataforma, em quilograma (kg), e a potência máxima do seu motor em cavalo-vapor (cv). A unidade é kg/cv;
- Altura (Alt): Distância em metros (m) na direção do eixo vertical da plataforma, entre as suas partes mais extremas;
- Comprimento (Comp): Distância horizontal em metros (m), na direção do eixo longitudinal da plataforma, entre as suas partes mais extremas;
- Autonomia (Aut): Máxima distância em quilômetros (km) que a plataforma pode percorrer, sob condições definidas, sem necessidades de reabastecimento;
- Preço (Pr): Custo de aquisição da plataforma em milhares de dólares;
- Carga Útil (CU): Carga, em quilograma (kg), possível de ser transportado no interior da plataforma, incluindo a guarnição, equipamentos, munições, armamento e outros acessórios necessários para o cumprimento das atividades.

3.1. METODOLOGIA ADOTADA

Este estudo propõe utilizar o método AMD ELECTRE III em conjunto com o método AHP para selecionar uma plataforma operativa que melhor atenda ao cumprimento das missões de um GptOpFuzNav. Durante a seleção da plataforma, foi desejável que ela apresente desempenho equilibrado em todos os critérios avaliados, isto é, não seja mal avaliada em nenhum item, parâmetro fundamental para a característica expedicionária do CFN, em virtude da falta de conhecimento prévio das condições do terreno que envolverão as futuras operações. Neste contexto, justifica-se a utilização do método ELECTRE III em função de sua característica única não compensatória entre os critérios estabelecidos.

Apesar de o equilíbrio de desempenho entre os critérios ser desejável, também é verdade que, por ser uma plataforma de uso exclusivamente militar, algumas características podem admitir compensação entre os critérios, como ocorre com a proteção blindada e carga útil, uma vez que uma plataforma para cumprir uma missão específica precisa se valer de proteção blindada adequada contra as ameaças inimigas previstas, bem como transportar um mínimo de carga, incluindo a quantidade de militares, seus equipamentos e armamentos. Decidiu-se utilizar também o método AHP por possuir critério único de síntese, admitindo a compensação entre critérios. Por fim, foi realizada a análise dos resultados obtidos pelos dois métodos AMD como forma de apresentar à autoridade decisória uma escolha representativa.

Tabela 2. Relação das plataformas com os valores de cada critério.

	Plataforma 1	Plataforma 2	Plataforma 3	Plataforma 4	Plataforma 5	Plataforma 6
Blindagem	3	4	3	2	2	3
Carga Útil	2.109	2.000	2.200	1.043	1.500	2.200
Guarnição	8	9	10	4	5	5
Preço	550	550	550	300	550	1.300
Autonomia	550	700	1.000	466	500	700
Comprimento	5,3	6,0	5,5	4,5	5,3	5,4
Altura	2,3	2,3	2,1	1,8	2,1	2,0
Peso-Potência	36,40	30,16	19,72	34,61	29,92	29,40
Espaço entre Eixos	2.946	3.570	3.790	3.300	3.230	3.530
Peso Bruto	8.845	12.000	10.900	5.488	8.100	8.500
Representatividade	10	3	9	31	6	3

3.2. UTILIZAÇÃO DO MÉTODO ELECTRE III

Antes da avaliação dos critérios, foi elaborada uma escala verbal e seus respectivos valores numéricos, apresentados na Tabela 3, cuja construção de hierarquias é considerada uma etapa fundamental do processo de raciocínio humano. A elaboração da tabela em questão, foi necessária, pois o método ELECTRE III permite a utilização de escalas verbais e valores numéricos distintos, diferentemente do método AHP que utiliza julgamento paritário entre critérios, utilizando a escala de hierarquia padronizada, conforma a Tabela 1, apresentada anteriormente. Assim, os critérios foram avaliados segundo o grau de importância estabelecido pela escala de preferência da Tabela 3 por 10 especialistas (Esp) das plataformas em

Tabela 3. Valores de preferências.

Escala Verbal	Valores Numéricos
Importância absolutamente fraca	1
Importância extremamente fraca	2
Importância fraca	3
Muito Pouco Importante	4
Pouco Importante	5
Importância Moderada	6
Importância Relevante	7
Muito Importante	8
Extrema Importância	9
Importância Absoluta	10

estudo, em que cada um atribuiu um valor para cada critério, conforme mostrado na Tabela 4.

Foram então calculadas as medianas para cada critério e, juntamente com as características técnicas de cada plataforma (alternativa), foram inseridas no *software* ELECTRE III para realizar a simulação. Para esse estudo não foram considerados nenhum limiar de indiferença nem de preferência, em virtude que posteriormente usou-se o método AHP que realiza a compensação entre os critérios.

Baseado nos dados inseridos, o *software* ELECTRE III apresentou a seguinte relação de preferência entre as alternativas, conforme ilustrado na Figura 2.

Com base na relação de preferência, pode-se notar que a plataforma 3 supera todas as outras. Na sequência, observa-se que não há preferência entre as plataformas 1 e 6. Também pode-se notar que as plataformas 2 e 4 não puderam ser comparadas na ordem de preferência, porém encontram-se abaixo das plataformas 1 e 6. Na última posição aparece a plataforma 5. A matriz de pré-ordem final, ilustrada na Tabela 5, demonstra o grau de preferência entre as alternativas, indicando as relações da seguinte forma:

- I: Indiferença;
- P': Preferência fraca;
- P: Preferência forte;
- R: Impossibilidade de comparação.

A análise da matriz de pré-ordem final e o grafo de prioridades decrescente da Figura 2 apresentam a seleção da Plataforma 3 como a mais indicada, uma vez que tem preferência sobre

Tabela 4. Atribuição de valores aos critérios pelos especialistas (Esp.).

	Esp. 1	Esp. 2	Esp. 3	Esp. 4	Esp. 5	Esp. 6	Esp. 7	Esp. 8	Esp. 9	Esp. 10
Blindagem	10	10	9	9	10	8	10	10	10	10
Carga Útil	7	10	9	7	5	7	10	10	8	8
Potência × Peso	10	6	9	9	9	9	7	5	8	9
Autonomia	9	5	10	8	8	8	8	5	9	8
Preço	7	10	10	6	10	5	7	6	8	7
Guarnição	9	6	8	8	5	7	7	6	7	8
Peso Bruto	8	3	5	10	5	6	5	7	9	10
Altura	7	6	6	7	7	7	9	5	6	8
Espaço entre Eixos	5	3	5	8	9	7	7	8	6	10
Comprimento	8	6	4	6	5	7	7	8	6	7
Representatividade	6	3	7	7	3	7	8	6	10	6

todos as outras plataformas. Observando ainda a Tabela 4, pode-se constatar que essa plataforma obteve a preferência, mesmo sem possuir o maior valor para o critério blindagem, entretanto, observa-se que na média, essa plataforma possui boas características técnicas para os sete critérios mais bem pontuados, como é o caso da carga útil, autonomia e guarnição. Isso demonstra que o método ELECTRE III considera, segundo as características das plataformas aliadas aos valores atribuídos pelos especialistas para os critérios elencados, que a plataforma 3 será a que melhor atenderá ao cumprimento de suas missões com maior confiabilidade e equilíbrio.

3.3. UTILIZAÇÃO DO MÉTODO AHP

Como foi mencionado anteriormente, usou-se o método AHP a fim de verificar a hierarquia entre as plataformas

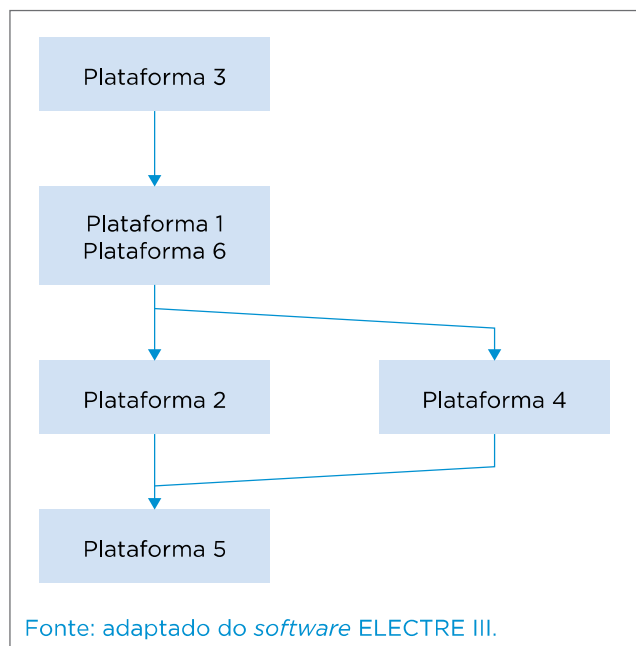


Figura 2. Relação de preferência entre as alternativas.

em estudo e comparar o resultado com o obtido no método ELECTRE III. Apesar de essa prática não ser comum, optou-se por fazê-la, já que as plataformas em estudo, para serem bem escolhidas além de possuírem bom desempenho em todos os critérios, também precisam possuir algumas características em que um ou outro critério com menor relevância possa ser compensado por outro com alta relevância, como é o caso dos critérios blindagem e carga útil, que são necessidades imprescindíveis que a plataforma escolhida possua, respectivamente, para se opor às ameaças do poder de fogo que a força opositora detém e para transportar todo efetivo de militares, seus equipamentos e armamentos para cumprir a missão.

Para o uso do método AHP extraiu-se a uma matriz semelhante à Tabela 2, que pode ser identificada como Matriz de decisão, na qual a primeira coluna corresponde aos critérios e as seis linhas seguintes às plataformas alternativas. Cada célula corresponde a uma alternativa de plataforma classificada no seu respectivo critério.

Para realizar a comparação paritária entre os critérios, a Matriz de decisão teve todos os seus valores normalizados em cada critério, conforme mostrado na Tabela 6, dispensando a criação de matrizes de julgamento entre as alternativas, já que todos os critérios possuem níveis de intensidade quantitativo. A fim de possibilitar a utilização das opiniões dos especialistas apresentadas na Tabela 4, os 11 critérios elencados foram comparados dois a dois, utilizando a diferença entre as medianas dos valores atribuídos pelos 10 especialistas para cada critério. Para isso foi criada a Tabela 7 que permite a interpolação entre essas diferenças, a fim de viabilizar a realização do julgamento paritário entre os critérios, conforme a escala de Saaty para o método AHP.

Dessa forma, quando a diferença das medianas entre dois critérios comparados for igual a 1,0, por exemplo, o grau de

Tabela 5. Matriz de pré-ordem final.

	Plataforma 1	Plataforma 2	Plataforma 3	Plataforma 4	Plataforma 5	Plataforma 6
Plataforma 1	I	P	P'	P	P	I
Plataforma 2	P'	I	P'	R	P	P'
Plataforma 3	P	P	I	P	P	P
Plataforma 4	P'	R	P'	I	P	P'
Plataforma 5	P'	P'	P'	P'	I	P'
Plataforma 6	I	P	P'	P	P	I

Tabela 6. Matriz de decisão normalizada.

	Plataforma 1	Plataforma 2	Plataforma 3	Plataforma 4	Plataforma 5	Plataforma 6	SOMA
Blindagem	0,1765	0,2353	0,1765	0,1177	0,1177	0,1765	1
Carga Útil	0,1908	0,1809	0,1991	0,0944	0,1357	0,1991	1
Guarnição	0,1951	0,2195	0,2439	0,0977	0,1219	0,1219	1
Preço	0,1447	0,1447	0,1447	0,0789	0,1447	0,3422	1
Autonomia	0,1404	0,1788	0,2554	0,1189	0,1277	0,1788	1
Comprimento	0,1656	0,1875	0,1719	0,1406	0,1656	0,1688	1
Altura	0,1825	0,1825	0,1667	0,1429	0,1667	0,1587	1
Peso-Potência	0,2020	0,1674	0,1094	0,1921	0,1660	0,1631	1
Espaço entre Eixos	0,1447	0,1753	0,1861	0,1620	0,1586	0,1733	1
Peso Bruto	0,1643	0,2229	0,2025	0,1019	0,1505	0,1579	1
Representatividade	0,1613	0,0484	0,1452	0,5000	0,0967	0,0484	1

juízo paritário entre eles corresponderá ao valor 3 na escala fundamental de Saaty, apresentada na Tabela 1.

Entretanto, para a análise comparativa entre as alternativas não foi utilizada decisão em grupo, em virtude de os níveis de intensidade dos critérios terem sido atribuídos quantitativamente.

A Tabela 8 mostra a construção da Matriz de ponderações (juízos) segundo a metodologia abordada. Ao se realizar as comparações paritárias entre os critérios, nota-se que o maior valor de juízo foi 7 (bastante mais importante) na Escala fundamental de Saaty quando foram comparados à blindagem da plataforma com o comprimento e representatividade, significando que o primeiro possui um grau de importância muito maior que os outros dois. Além disso, constatou-se também que a blindagem, a potência-peso e a carga útil são os critérios que mais predominam sobre os outros.

Ao inserir os dados característicos das plataformas com seus respectivos valores de juízo paritário, obteve-se o vetor prioridade dos critérios, conforme a Tabela 9.

Ao multiplicar a matriz de decisão normalizada (Tabela 6) pelo vetor prioridade (Tabela 9), encontrou-se o seguinte resultado de classificação hierárquica entre as plataformas analisadas, conforme mostrado na Tabela 10.

Dessa forma, constatou-se que com a aplicação do método AHP a Plataforma 2 foi classificada como a melhor alternativa para aquisição. Esse resultado era esperado, já que essa plataforma possui um peso muito forte em relação às outras nos critérios blindagem, potência-peso e carga útil. Além

Tabela 7. Atribuição dos juízos para inserção no Análise Hierárquica (AHP).

Diferença entre as medianas dos pesos	Valor do juízo
0 a 0,25	1
0,26 a 0,50	2
0,51 a 1,0	3
1,01 a 1,50	4
1,51 a 2,25	5
2,26 a 3,0	6
3,01 a 5,00	7
5,01 a 7,0	8
>7,0	9

disso, observa-se que as plataformas 4 e 5 foram as piores alternativas, em virtude de possuírem pesos baixos nos critérios blindagem e carga útil.

Cabe ressaltar que apesar das plataformas 1, 3 e 6 terem sido classificadas, respectivamente, na terceira, na quarta e na segunda posição, a diferença percentual entre elas foi muito pequena, na casa de milésimos, podendo considerar um empate técnico dessas plataformas na segunda posição.

3.3.1. Análise da razão de consistência

A razão de consistência da matriz de ponderações é encontrada pela razão entre o índice de consistência (IC) e o índice de consistência aleatório (RI).

Para encontrar o IC da matriz de ponderações, calculou-se o maior autovetor da matriz de ponderações $\lambda_{máx}$, considerando a soma do produto dos valores do vetor prioridade de cada critério pela soma total de cada coluna da matriz de ponderações (Equação 1).

$$\lambda_{máx} = (0,304358 \times 2,83) + (0,199817 \times 5,967) + (0,120965 \times 12,082) + (0,108054 \times 14,082) + (0,046274 \times 22,5) + (0,046274 \times 22,5) + (0,046274 \times 22,5) + (0,046274 \times 22,5) + (0,027236 \times 32) + (0,027236 \times 32) + (0,027236 \times 32) \quad (1)$$

$$\lambda_{máx} = 11,8161$$

O IC é calculado por meio da seguinte expressão (Equação 2):

$$IC = (\lambda_{máx} - n) / (n - 1) \quad (2)$$

Em que:

n = o número de critérios da matriz.

Portanto, o valor encontrado do IC foi de (Equação 3):

$$IC = (11,8161 - 11) / (11 - 1) \quad (3)$$

$$IC = 0,08161$$

Saaty (1991) propôs uma tabela com os índices de consistência aleatórios (RI) nas matrizes de ordens 1 a 15 calculados em laboratório, conforme mostrado na Tabela 11.

Fazendo a relação entre o IC/RI, chega-se à razão de consistência da matriz de ponderações entre os critérios.

$$RC = 0,08161/1,51$$

$$RC = 0,0540$$

Tabela 9. Vetor prioridade dos critérios.

1º	Blindagem	0,304358
2º	Potência-Peso	0,199817
3º	Carga Útil	0,120965
4º	Autonomia	0,108054
5º	Preço	0,046274
6º	Guarnição	0,046274
7º	Espaço entre Eixos	0,046274
8º	Altura	0,046274
9º	Peso Bruto	0,027236
10º	Representatividade	0,027236
11º	Comprimento	0,027236

Tabela 10. Hierarquia entre as plataformas.

Classificação	Plataforma	Desempenho global
1º	Plataforma 2	0,1922
2º	Plataforma 6	0,1767
3º	Plataforma 1	0,1766
4º	Plataforma 3	0,1757
5º	Plataforma 4	0,1410
6º	Plataforma 5	0,1378

Tabela 8. Matriz de ponderações.

	Bld	CU	GU	Pr	Aut	Comp	Alt	PP	EE	PB	Rep
Bld	1	5	6	6	5	7	6	3	6	7	7
CU	0,2	1	3	3	3	4	3	0,333	3	4	4
GU	0,167	0,333	1	1	0,333	2	1	0,2	1	2	2
Pr	0,167	0,333	1	1	0,333	2	1	0,2	1	2	2
Aut	0,2	1	3	3	1	4	3	0,333	3	4	4
Comp	0,143	0,25	0,5	0,5	0,25	1	0,5	0,167	0,5	1	1
Alt	0,167	0,333	1	1	0,333	2	1	0,2	1	2	2
PP	0,333	3	5	5	3	6	5	1	5	6	6
EE	0,167	0,333	1	1	0,333	2	1	0,2	1	2	2
PB	0,143	0,25	0,5	0,5	0,25	1	0,5	0,167	0,5	1	1
Rep	0,143	0,25	0,5	0,5	0,25	1	0,5	0,167	0,5	1	1
Total	2,83	12,082	22,5	22,5	14,082	32	22,5	5,967	22,5	32	32

Esse resultado é bastante aceitável, já que é menor que 0,1. O mesmo raciocínio foi utilizado para o cálculo das RC entre as alternativas para cada critério, ficando no limite aceitável.

3.4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos pelas aplicações dos dois métodos utilizados neste estudo foram consolidados na Tabela 12, já considerando o empate técnico ocorrido no método AHP entre as plataformas 1, 3 e 6, citado anteriormente, em que pode ser observado que a plataforma 3 foi predominante com o método ELECTRE III e em segunda posição no AHP. A plataforma 2, por sua vez, foi predominante no AHP e em terceira posição no ELECTRE III. A plataforma 6 obteve a segunda posição em ambos os métodos, assim como a plataforma 1. Quanto à plataforma 4 obteve a quarta prioridade no ELECTRE III e a quinta no AHP, enquanto a plataforma 5 ficou na sexta e última prioridade em ambos os métodos.

Com base nos resultados da Tabela 12, pode-se verificar que as plataformas 4 e 5 apresentaram classificação de predominância abaixo das demais em ambos os métodos, podendo ser consideradas como alternativas a serem descartadas para a aquisição, pois, além de não terem sido bem classificadas no emprego de ambos os métodos AMD, atenderam apenas parcialmente a alguns dos requisitos elencados no RANS. Assim, restaram as plataformas 1, 2, 3 e 6 a serem analisadas.

Nesse contexto, nota-se que as plataformas 2 e 3 obtiveram predominância no AHP e ELECTRE III, respectivamente. Pode-se concluir então que a plataforma 3 apresenta

desempenho mais equilibrado entre os 11 critérios ponderados no estudo, em virtude da característica não compensatória do método ELECTRE III. Já o resultado obtido pela plataforma 2, no AHP, foi o esperado, por possuir compensação muito forte em relação ao critério blindagem, que foi o com maior peso obtido no vetor prioridade. As plataformas 1 e 6, por sua vez, não podem ser descartadas, pois obtiveram convergência na segunda posição hierárquica em ambos os métodos.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por suas características expedicionárias, o CFN necessita possuir plataformas que lhe proporcionem o emprego dos GptOpFuzNav em diferentes cenários de operação. Assim, antes da decisão final, a autoridade decisória precisa definir se prevalece a necessidade de uma solução equilibrada, característica do método ELECTRE III, ou uma decisão compensatória hierarquizada pelo método AHP, para as alternativas em que os dois métodos utilizados não apresentaram convergência, sob pena de se selecionar uma plataforma que não seja a que melhor atenda às necessidades do CFN.

Neste contexto, a aproximação utilizada por meio das médias de cada critério que serviram como peso para o método ELECTRE III e empregadas para a ponderação paritária entre os critérios com base no método AHP, atingiu o seu propósito de auxiliar o processo decisório, pois, entre as alternativas das seis plataformas de interesse selecionadas inicialmente por

Tabela 11. Índice de consistência aleatória.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57

Fonte: Saaty (1991).

Tabela 12. Resultado comparativo dos métodos ELECTRE III e Análise Hierárquica (AHP).

	Plataforma 1	Plataforma 2	Plataforma 3	Plataforma 4	Plataforma 5	Plataforma 6
1º	-	AHP	ELECTRE	-	-	-
2º	ELECTRE/AHP	-	AHP	-	-	ELECTRE/AHP
3º	-	ELECTRE	-	-	-	-
4º	-	-	-	ELECTRE	-	-
5º	-	-	-	AHP	-	-
6º	-	-	-	-	ELECTRE/AHP	-

cumprirem as características mínimas estabelecidas nos requisitos de alto nível de sistemas, foi identificado que as plataformas 4 e 5 obtiveram as piores classificações entre as demais, em ambos os métodos, podendo ser descartadas.

Por outro lado, a plataforma 3 obteve a preferência com o método ELECTRE III, enquanto a plataforma 2 foi a melhor hierarquizada com a utilização do método AHP. Além disso, as plataformas 1 e 6, apesar de não terem obtido a preferência em nenhum dos métodos abordados, obtiveram a segunda posição de preferência em ambos os métodos.

Cabe ressaltar que os valores dos julgamentos estabelecidos empiricamente pelos autores, apresentados na Tabela 7, tiveram como propósito permitir a exequibilidade de utilização dos métodos ELECTRE III e AHP, podendo ser substituída por outra desenvolvida em uma abordagem paramétrica, como um processo de melhoria contínua.

Por fim, este trabalho não teve por objetivo comparar os dois métodos, mas sim auxiliar o processo de decisão com base no aproveitamento das características específicas de cada método e identificar as possíveis convergências.

REFERÊNCIAS

- BANA E COSTA, C.A.; VANSNICK, J.C. Thoughts on a theoretical framework for measuring attractiveness by categorical based evaluation technique (MACBETH). In: CLÍMACO, J.C.N. (Org). *Multicriteria Analysis*. Berlim: Springer-Verlag, 1997.
- BANA E COSTA, C.A.; VANSNICK, J.C. Uma nova abordagem ao problema da construção de uma função de valor cardinal: MACBETH. *Investigação Operacional*, v. 15, p. 15-35, 1995.
- BRANS, J.P.; MARESCHAL, B.; VINCKE, P.H. PROMETHEE: a new family of outranking methods in MCDM. In: BRANS, J.P. (org.). *Operational Research*. Amsterdã: IFORS'84, 1984. p. 477-490.
- COSTA, H.G. *Introdução ao método de análise hierárquica*. Rio de Janeiro, 2005. 104 p. Notas de aula.
- COSTA, H.G. *Introdução ao método de análise hierárquica: análise multicritério no auxílio à decisão*. Niterói: H.G.C., 2002.
- DE ALMEIDA, A.T. de. *Processo de Decisão nas Organizações: Construindo Modelos de Decisão Multicritério*. São Paulo: Atlas, 2013.
- GOMES, E.G. *Integração entre Sistemas de Informação Geográfica e Métodos Multicritério no Apoio à Decisão Espacial*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1999.
- GOMES, L.F.A.M. *TODIM: A System for the Evaluation of Public Transportation Projects*. Rio de Janeiro: PUC-RJ, 1987. n. 24. 16 p.
- KAYA, T.; KAHRAMAN, C. An integrated fuzzy AHP-ELECTRE methodology for environmental impact assessment. *Expert Systems with Applications International Journal*, v. 38, n. 7, p. 8553-8562, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.01.057>
- MARINS, C.S.; SOUZA, D.O.; BARROS, M.S. O uso do método de análise hierárquica (AHP) na tomada de decisões gerenciais: um estudo de caso. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 41, 2009. *Anais [...]*. 2009.
- ROY, B. Classement et choix en presence de points de vue multiple: La methode ELECTRE. *R.I.R.O.*, v. 2, n. 8, p. 57-75, 1968. <https://doi.org/10.1051/ro/196802V100571>
- ROY, B. Decision science or decision-aid science? *European Journal of Operational Research*, v. 66, n. 2, p. 184-203, 1993. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(93\)90312-B](https://doi.org/10.1016/0377-2217(93)90312-B)
- ROY, B. ELECTRE III: Un algorithme de classements fonde sur une representation floue des preferences en presence de criteres multiples. *Cahier du CERO*, v. 20, n. 1, p. 3-24, 1978.
- ROY, B. The Outranking Approach and the Foundation of ELECTRE Methods. *Theory and Decision*, v. 31, p. 49-73, 1991. <https://doi.org/10.1007/BF00134132>
- ROY, B.; SKALKA, J.M. *ELECTRE IS: Aspects methologiques et guide d'utilisation*. LAMSADE, n. 30, 1984.
- SAATY, T.L. *Decision making for leaders*. Pittsburg: University of Pittsburg, 1991.
- SAATY, T.L. Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, v. 1, n. 1, p. 83-98, 2008. <https://dx.doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>
- SAATY, T.L. How to make a decision: The analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, v. 48, n. 1, p. 9-26, 1990. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-1](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-1)
- SAATY, T.L. *The Analytic Hierarchy Process*. Nova York: McGraw-Hill, 1980.
- SEVKLI, M. An application of the fuzzy ELECTRE method for supplier selection. *International Journal of Production Research*, v. 48, n. 12, p. 3393-3405, 2010. <https://doi.org/10.1080/00207540902814355>
- TREVIZANO, W.A.; Freitas, A.P. Emprego do Método da Análise Hierárquica (A.H.P.) na seleção de Processadores. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 25., 2005, Porto Alegre. *Anais [...]*. Porto Alegre, 2005.