

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

**Leonardo Amorim do Amaral**

Comando do Material de Fuzileiros Navais  
Fortaleza de São José s/n Ilha das Cobras, RJ, 21.911-000  
leofuznav@gmail.com

**Newton José Ferro**

Centro Universitário Augusto Mota  
Avenida Paris n 42, Bonsucesso, RJ  
newtonferro@yahoo.com.br

**José Calixto dos Santos Junior**

Comando do Material de Fuzileiros Navais  
Fortaleza de São José s/n Ilha das Cobras, RJ, 21.911-000  
calixto@marinha.mil.br

**Sérgio Douglas Oliveira Bentes**

Comando do Material de Fuzileiros Navais  
Fortaleza de São José s/n Ilha das Cobras, RJ, 21.911-000  
douglasbentes@hotmail.com

**Newton José Ferro Junior**

COPPE/UFRJ Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia  
Rua Horácio Macedo, Bloco G, Sala F-103, RJ, 21.941-972  
newtonferro@gmail.com

### RESUMO

O presente trabalho trata-se da aplicação de uma abordagem de apoio à decisão a partir da convergência dos métodos ELECTRE III e AHP, na seleção de um meio operativo, denominado de plataforma, que melhor possa atender às necessidades expedicionárias do Corpo de Fuzileiros Navais. Não teve como propósito comparar os dois métodos, mas sim auxiliar o processo de decisão a partir do 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, a partir da diferença das medianas dos pesos atribuídos pelos dez especialistas julgadores dos critérios estabelecidos, a qual poderá evoluir para outra desenvolvida a partir de uma abordagem paramétrica, como um processo de melhoria contínua.

**Palavra-chave:** AMD, ELECTRE III, AHP, Apoio a Decisão.

### ABSTRACT

The present work deals with the application of a decision-support approach based on the convergence of the ELECTRE III and AHP methods, in the selection of an

operational environment, called platform, that can best meet the Brazilian Marine Corps expeditionary needs. It was not intended to compare the two methods, but to help the decision process by taking advantage of the specific characteristics of each method and to identify possible convergences. In order to make feasible the use of the ELECTRE III and AHP methods as an aid to the decision of the same problem, through the search for possible convergences, the authors empirically elaborated a table assigning the judgments for insertion in the AHP method, from the difference of the medians of the weights attributed by the ten judges of the established criteria, which could evolve to another developed from a parametric approach, as a process of continuous improvement.

**Keywords:** AMD, ELECTRE III, AHP, Decision Support.

#### Como Citar:

AMARAL, Leonardo Amorim do; FERRO, Newton José; JUNIOR, José Calixto dos Santos; BENTES, Sergio Douglas Oliveira; JUNIOR, Newton José Ferro. Uma Sistemática de Decisão para o Corpo de Fuzileiros Navais Baseada em Métodos de Apoio Multicritérios à Decisão. 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.

## 1. INTRODUÇÃO

Na área de estudo do processo decisório, diversas disciplinas e metodologias têm sido desenvolvidas para auxiliar a construção de modelos de decisão, tais 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 [1].

Nesse contexto, o Corpo de Fuzileiros Navais (CFN) iniciou um estudo para adquirir um meio operativo que proporcione o embarque de tropa para cumprir missões específicas que atendam a 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 a partir de agora, simplesmente, como plataformas.

Este trabalho é entendido como um problema clássico de decisão complexa, onde vários critérios podem ser necessários para uma escolha final entre diferentes alternativas. Considerado portanto, como um problema de Apoio Multicritério à Decisão (AMD), pois segundo [2], consiste numa situação em que há, pelo menos, duas alternativas de ação para se escolher, e essa escolha é conduzida pelo desejo de se atender a múltiplos objetivos, muitas vezes, conflitantes entre si.

Assim, o objetivo do presente estudo é o de apresentar a metodologia utilizada no processo de escolha dessa plataforma utilizando os conceitos de AMD, particularmente o método de Eliminação e Escolha como Expressão da Realidade na sua versão III (ELECTRE III) e o método de análise hierárquica (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 [3], 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 a questões perguntadas aos atores envolvidos em um processo decisório.

Os métodos Multicritério de Apoio à Decisão tem por objetivo ser uma ferramenta de auxílio para analistas e decisores em situações em que haja a necessidade de identificar prioridades tendo como base, múltiplos critérios que envolvam duas ou mais alternativas [4].

Entre estes tipos de problemas é comum a classificação dos métodos desenvolvidos pela Escola Americana e Escola Francesa. Os métodos desenvolvidos pela Escola Francesa são baseados em relações de prevalência e neles se destacam os métodos das famílias ELECTRE [5] [6] [7] e PROMETHEE [8]. Os métodos da Escola Americana, já possuem características que têm a finalidade de reduzir os vários critérios a um critério síntese, na grande maioria das vezes, por meio de uma soma ponderada. Dentre esses métodos destacam-se os métodos AHP [9], TODIM [10] e MACBETH [11] [12].

### 2.1. MÉTODO ELECTRE

O método ELECTRE (Election et Choix Traduisant La Realite), foi concebido por Bernard Roy em resposta a deficiências de métodos de solução de decisão existentes. O ELECTRE evoluiu através de várias versões, todas baseadas nos mesmos conceitos fundamentais, porém operacionalmente, um pouco diferentes [13].

O ELECTRE é um método bem conhecido que possui um histórico de aplicações bem-sucedidas, sendo aplicado 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 [14].

Todos os métodos do tipo ELECTRE envolvem dois procedimentos principais: a modelagem de preferências com relações de superação, seguida de um procedimento de exploração [15].

Segundo [2], uma das características principais que distingue o ELECTRE de muitos outros múltiplos métodos de solução, é por ele ser um método não 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-se que a alternativa *a* é melhor do que a *b* e que a *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, nesta família de métodos, consiste numa ênfase na análise das relações de dominância.

Segundo [2], 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 de sobreclassificação, 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 Analytic Hierarchy Process (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 o mais baixo e detalhado possível, estabelecendo relações sintetizadas [16].

Segundo [17], 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 a partir de uma 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 [16].

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 de um nível anterior [18], segundo a Escala Fundamental de [19], conforme a Tabela 1.

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 fortemente 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: [19]

Por último, na fase de consistência lógica, é verificada a coerência entre as relações das fases anteriores, onde 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, ou seja, representando uma variação de até dez por cento, pois mesmo quando os julgamentos paritários estão fundamentados na experiência e conhecimento de especialistas, podem ocorrer inconsistências, principalmente para o caso de existência de um elevado número de julgamentos.

Cabe ressaltar que durante o desenvolvimento do método AHP, Saaty [20] 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 onze critérios, em virtude das necessidades operacionais das plataformas analisadas. Assim, utilizou-se a abordagem do AHP com *ratings* [21] que considera a realização da avaliação em categorias, a partir de níveis de intensidade atribuídas para cada critério relacionado a 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. A partir dos dados extraídos do RANS, pôde-se elaborar um Mapa Conceitual de onde 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, onde 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.

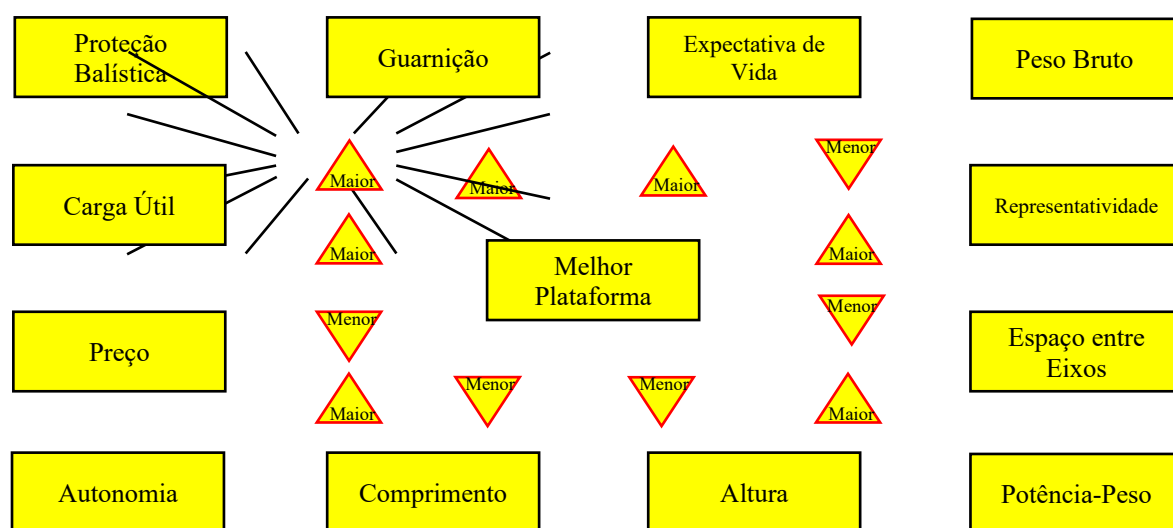


Figura 1 – Mapa Conceitual dos Critérios que Definirão a Melhor Plataforma a Ser Escolhida

A partir do Mapa Conceitual, foram identificados doze critérios para a escolha da plataforma desejada, cabendo salientar 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 onze 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 na mesma;
- Expectativa de Vida (Exp) – Tempo, em anos, em 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; e
- 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 ao cumprimento das atividades.

Tabela 2- Relação das Plataformas com os valores de cada critério

	Plat. 01	Plat. 02	Plat. 03	Plat. 04	Plat. 05	Plat. 06
Blindagem	3	4	3	2	2	3
Carga Útil	2109	2000	2200	1043	1500	2200
Guarnição	8	9	10	4	5	5
Preço	550	550	550	300	550	1300
Autonomia	550	700	1000	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	2946	3570	3790	3300	3230	3530
Peso Bruto	8845	12000	10900	5488	8100	8500
Representatividade	10	3	9	31	6	3

Fonte: Próprios autores

### 3.1. METODOLOGIA ADOTADA

Este estudo se propõe a utilizar o método de apoio multicritério à decisão 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, identificou-se ser desejável que a mesma 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. Neste contexto, decidiu-se utilizar também o método AHP devido ao fato de possuir critério único de síntese, admitindo a compensação entre critérios. Por fim, foi realizada a análise dos resultados obtidos pelos dois métodos de apoio multicritério à decisão, como forma de apresentar à autoridade decisora uma escolha representativa dos dois métodos.

### 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 dez especialistas (Esp) das plataformas em estudo, onde cada um atribuiu um valor para cada critério, conforme mostrado na Tabela 4.

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

Fonte: Próprios autores

Tabela 4 – Atribuição de Valores aos Critérios pelos Especialistas (Esp)

	Esp1	Esp2	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 x 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

Fonte: Próprios autores

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 de que posteriormente, usou-se o método AHP que realiza a compensação entre os critérios.

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

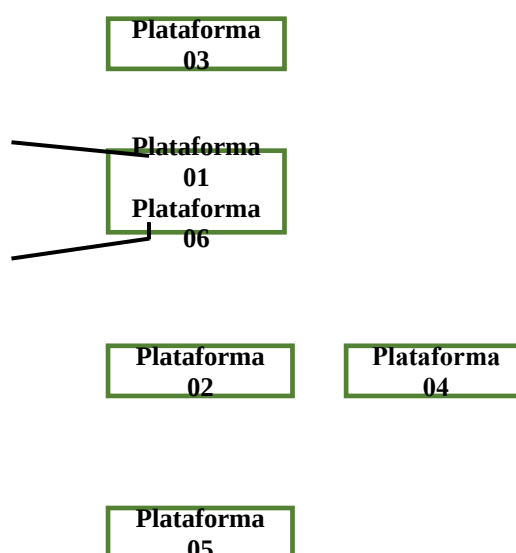


Figura 2 - Relação de Preferência Entre as Alternativas

Fonte: Adaptado de Software ELECTRE III

A partir da relação de preferência pode-se notar que a plataforma 03 supera todas as outras. Na sequência, observa-se que não há preferência entre as plataformas 01 e 06. Também pode-se notar que as plataformas 02 e 04 não puderam ser comparadas na ordem de preferência, porém encontram-se abaixo das plataformas 01 e 06. Em última posição de preferência aparece a plataforma 05. 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 e R - Impossibilidade de comparação.

Tabela 5 – Matriz de Pré-Ordem Final

	Plat. 01	Plat. 02	Plat. 03	Plat. 04	Plat. 05	Plat. 06
Plat. 01	I	P	P'	P	P	I
Plat. 02	P'	I	P'	R	P	P'
Plat. 03	P	P	I	P	P	P



Plat. 04	P'	R	P'	I	P	P'
Plat. 05	P'	P'	P'	P'	I	P'
Plat. 06	I	P	P'	P	P	I

Fonte: Próprios autores

A análise da matriz de pré-ordem final e o grafo de prioridades decrescente da figura 2 apresentam a seleção da Plataforma 03 como a mais indicada, uma vez que a mesma possui preferência sobre todas as outras plataformas. Observando-se 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, em média, essa plataforma possui muito boas características técnicas para os sete critérios mais bem pontuados, como é o caso dos critérios 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 03 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 se verificar a hierarquia entre as plataformas em estudo e comparar o resultado com o obtido no método ELECTRE III. Apesar dessa prática não ser comum, optou-se em 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 onde 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 imposta.

Para o uso do método AHP extraiu-se a uma matriz semelhante à Tabela 2, que pode ser identificada como Matriz de Decisão, onde 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 dentro de cada critério, conforme mostrado na Tabela 6, dispensando, então a criação de matrizes de julgamento entre as alternativas, já que todos os critérios possuem níveis de intensidade quantitativo.

Tabela 6 – Matriz de Decisão Normalizada

	Plat. 01	Plat. 02	Plat. 03	Plat. 04	Plat. 05	Plat. 06	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	0,1447	0,1753	0,1861	0,1620	0,1586	0,1733	1
Eixos							
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

e

A fim de possibilitar a utilização das opiniões dos especialistas, apresentadas na tabela 4, os onze critérios elencados foram comparados dois a dois, utilizando a diferença entre as medianas dos valores atribuídos pelos dez 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 entre as medianas entre dois critérios comparados for igual a 1,0, por exemplo, o grau de julgamento paritário entre os eles corresponderá ao valor 3 na escala fundamental de Saaty, apresentada na tabela 1.

Tabela 7 – Atribuição dos Julgamentos para Inserção no AHP

Diferença entre as medianas dos pesos	Valor do Julgamento
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

Fonte: Próprios Autores

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

A Tabela 8 mostra a construção da Matriz de Ponderações (julgamentos) segundo a metodologia abordada. Ao se realizar as comparações paritárias entre os critérios nota-se que o maior valor de julgamento foi 7 (bastante mais importante) na Escala Fundamental de Saaty quando foram comparados a 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, constata-se também que a blindagem, a potência-peso e a carga útil são os critérios que mais predominam sobre os outros.

Tabela 8 – Matriz de Ponderações

	<b>Bld</b>	<b>CU</b>	<b>GU</b>	<b>Pr</b>	<b>Aut</b>	<b>Comp</b>	<b>Alt</b>	<b>PP</b>	<b>EE</b>	<b>PB</b>	<b>Rep</b>
<b>Bld</b>	1	5	6	6	5	7	6	3	6	7	7
<b>CU</b>	0,2	1	3	3	3	4	3	0,333	3	4	4
<b>GU</b>	0,16 7	0,333	1	1	0,333	2	1	0,2	1	2	2
<b>Pr</b>	0,16 7	0,333	1	1	0,333	2	1	0,2	1	2	2
<b>Aut</b>	0,2	1	3	3	1	4	3	0,333	3	4	4
<b>Comp</b>	0,14 3	0,25	0,5	0,5	0,25	1	0,5	0,167	0,5	1	1

<b>Alt</b>	0,16 7	0,333	1	1	0,333	2	1	0,2	1	2	2
<b>PP</b>	0,33 3	3	5	5	3	6	5	1	5	6	6
<b>EE</b>	0,16 7	0,333	1	1	0,333	2	1	0,2	1	2	2
<b>PB</b>	0,14 3	0,25	0,5	0,5	0,25	1	0,5	0,167	0,5	1	1
<b>Rep</b>	0,14 3	0,25	0,5	0,5	0,25	1	0,5	0,167	0,5	1	1
<b>Total</b>	<b>2,83</b>	<b>12,082</b>	<b>22,5</b>	<b>22,5</b>	<b>14,082</b>	<b>32</b>	<b>22,5</b>	<b>5,967</b>	<b>22,5</b>	<b>32</b>	<b>32</b>

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

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

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.

Tabela 10 – Hierarquia entre as Plataformas

<b>Classificação</b>	<b>Plataforma</b>	<b>Desempenho Global</b>
1º	Plataforma 02	0,1922
2º	Plataforma 06	0,1767
3º	Plataforma 01	0,1766
4º	Plataforma 03	0,1757
5º	Plataforma 04	0,1410
6º	Plataforma 05	0,1378

Dessa forma, constata-se que com a aplicação do método AHP a Plataforma 02 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, critérios que dominaram os outros. Além disso, observa-se que as plataformas 04 e 05 foram as piores alternativas, em virtude de possuírem pesos baixos nos critérios blindagem e carga útil.

Cabe ressaltar que apesar das plataformas 01, 03 e 06 terem sido classificadas, respectivamente, nas 3ª, 4ª e 2ª posições, a diferença percentual entre elas foi muito pequena, na casa de milésimos, podendo-se 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.

$$\begin{aligned}\lambda_{máx} = & (0,304358 \times 2,83) + (0,199817 \times 5,967) + (0,120965 \times 12,082) + (0,108054 \times 14,082) + \\ & (0,046274 \times 22,5) + (0,046274 \times 22,5) + (0,046274 \times 22,5) + (0,046274 \times 22,5) + (0,027236 \times 32) \\ & + (0,027236 \times 32) + (0,027236 \times 32) \\ \lambda_{máx} = & 11,8161 \quad (1)\end{aligned}$$

O  $IC$  é calculado por meio da seguinte expressão:

$IC = (\lambda_{máx} - n) / (n - 1)$ , onde  $n$  é o número de critérios da matriz.

Portanto, o valor encontrado do  $IC$  foi de:

$$IC = (11,8161 - 11) / (11 - 1)$$

$$IC = 0,08161 \quad (2)$$

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

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)

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

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

$$RC = 0,0540$$

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, tendo ficado no limite aceitável.

### 3.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos pelas aplicações dos dois métodos utilizados nesse estudo foram consolidados na Tabela 12, já considerando o empate técnico ocorrido a partir do método AHP entre as plataformas 01, 03 e 06, citado anteriormente, onde pode ser observado que a plataforma 03 foi predominante com o método ELECTRE III e em segunda posição no AHP. A plataforma 02, por sua vez, foi predominante no AHP e em terceira posição no ELECTRE III. A plataforma 06 obteve a segunda posição em ambos os métodos, assim como a plataforma 01. Quanto à plataforma 04, a mesma obteve a quarta prioridade no

ELECTRE III e a quinta no AHP, enquanto a plataforma 05 ficou na sexta e última prioridade em ambos os métodos.

Tabela 12 - Resultado Comparativo dos Métodos ELECTRE III e AHP

	Plataforma 01	Plataforma 02	Plataforma 03	Plataforma 04	Plataforma 05	Plataforma 06
1°	-	AHP	ELECTRE	-	-	-
2°	ELECTRE/AHP	-	AHP	-	-	ELECTRE/AHP
3°	-	ELECTRE	-	-	-	-
4°	-	-	-	ELECTRE	-	-
5°	-	-	-	AHP	-	-
6°	-	-	-	-	ELECTRE/AHP	-

Fonte: Próprios Autores

A partir dos resultados da Tabela 12, pode-se verificar que as plataformas 04 e 05 apresentaram uma 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 de Apoio à Decisão, atenderam apenas, parcialmente, a alguns dos requisitos elencados no RANS. Assim, restaram as plataformas 01, 02, 03 e 06 a serem analisadas.

Nesse contexto, nota-se que as plataformas 02 e 03 obtiveram predominância no AHP e ELECTRE III, respectivamente. Pode-se concluir então, que a plataforma 03 apresenta um desempenho mais equilibrado entre os onze critérios ponderados no estudo, em virtude da característica não compensatória do método ELECTRE III. Já o resultado obtido pela plataforma 02, no AHP, foi o esperado, pois a mesma possui uma compensação muito forte em relação ao critério blindagem, que foi o critério com maior peso obtido no vetor prioridade. As plataformas 01 e 06, por sua vez, não podem ser descartadas, pois obtiveram uma 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 decisora 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 Corpo de Fuzileiros Navais.

Neste contexto, a aproximação utilizada, por meio das medianas de cada critério que serviram como peso para o método ELECTRE III e empregadas para a ponderação paritária entre os critérios a partir do método AHP, atingiu o seu propósito de auxiliar o processo decisório, pois dentre as alternativas das seis plataformas de interesse selecionadas inicialmente por cumprirem as características mínimas estabelecidas nos Requisitos de Alto Nível de Sistemas, foi identificado que as plataformas 04 e 05 obtiveram as piores classificações dentre as demais em ambos os métodos, podendo ser descartadas.

Por outro lado, a plataforma 03 obteve a preferência com o método ELECTRE III, enquanto por sua vez, a plataforma 02 foi a melhor hierarquizada com a utilização do método AHP. Além disso, as plataformas 01 e 06, 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 a partir de 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 a partir do aproveitamento das características específicas de cada método e identificar as possíveis convergências.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] COSTA, H. G. Introdução ao Método de Análise Hierárquica. 2005. Rio de Janeiro. 104 p. Notas de aula.
- [2] DE ALMEIDA, A. T. de. **Processo de Decisão nas Organizações: Construindo Modelos de Decisão Multicritério**. São Paulo, Atlas. 2013.
- [3] ROY, B. Decision science or decision-aid science? European Journal of Operational Research, v.8, n.1, p.184-203,1993.
- [4] GOMES, E.G. Integração entre Sistemas de Informação Geográfica e Métodos Multicritério no Apoio à Decisão Espacial. Tese (Mestrado em Engenharia de Produção), COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1999.
- [5] ROY, B. Classement et choix en presence de points de vue multiple: La methode ELECTRE. R.I.R.O, v. 8, p.57-75, 1968.
- [6] ROY, B. ELECTRE III: Un algorithme de classements fonde sur une represenation floue des preferences en presence de criteres multiples. Cahier du CERO, v. 20, n. 1, p. 3-24, 1978.
- [7] ROY, B.; SKALKA, J.M. ELECTRE IS: Aspects methologiques et guide d'utilisation. Document du LAMSADE, n. 30, 1984.
- [8] BRANS, J.P.; MARESCHAL, B.; VINCKE, P.H. PROMETHEE: a new family of outranking methods in MCDM. IFORS 84, p. 477-490, 1984.
- [9] SAATY, T.L. The Analytic Hierarchy Process. New York: McGraw-Hill, 1980.
- [10] GOMES, L.F.A.M. TODIM: A System for the Evaluation of Public Transportation Projects. PUC/RJ: Rio de Janeiro, n. 24, 16 p., 1987.
- [11] 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.
- [12] 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. Berlin: Springer-Verlag, 1997.
- [13] ROY, B., The Outranking Approach and the Foundation of ELECTRE Methods, Theory and Decision, pp:155-183, 1991
- [14] 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.
- [15] KAYA, T., KAHRAMAN, C., An integrated fuzzy AHP-ELECTRE methodology for environmental impact assessment, Expert Systems with Applications International Journal, vol 38, n. 7, p. 8553-8562, 2011
- [16] MARINS, C. S.; SOUZA, Daniela De Oliveira; BARROS, Magno da Silva, **O uso do método de análise hierárquica (AHP) na tomada de decisões gerenciais: um estudo de caso**. 2009.
- [17] COSTA, Helder Gomes. **Introdução ao método de análise hierárquica: análise multicritério no auxílio à decisão**. Niterói: H.G.C., 2002.



- [18] TREVIZANO, W. A.; Freitas, A. P. **Emprego do Método da Análise Hierárquica (A.H.P.) na seleção de Processadores.** In: XXV Encontro Nac. de Engenharia de Produção – Porto Alegre, RS, Brasil, 29 out a 01 de nov. de 2005.
- [19] SAATY, Thomas L., **Decision making for leaders.** 1991.
- [20] SAATY, Thomas L., **How to make a decision: The analytic hierarchy process.** European Journal of Operational Research, v.48, n. 1, p. 9-26,1990. ISSN 0377-2217.
- [21] SAATY, Thomas L., **Decision making with the analytic hierarchy process.** International Journal of Services Sciences, v.1, n.1, p. 83-97, 2008.