



SPOLM 2007

ISSN 2175-6295

RIO DE JANEIRO- BRASIL, 08 E 09 NOVEMBRO DE 2007.

ANÁLISE DE MULTICRITÉRIO NA AVALIAÇÃO DE SISTEMA DE EMPREGO MILITAR

Carlos José Guimarães Cova
Universidade Federal Fluminense (UFF)
Rua Mario Santo Braga 30 – 7 andar Niterói
e-mail: cjcova@terra.com

Carlos Navarro Fontanillas
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
Cidade Universitária, Ilha do Fundão
e-mail: navarro@pep.ufrj.br

Resumo

Este trabalho mostra alguns conceitos desenvolvidos por Saaty para a tomada de decisão: O Método da Análise Hierárquica (MAH). O MAH é uma abordagem básica para a tomada de decisão, fundamentado em levantamento bibliográfico e nos resultados de pesquisa. O artigo mostra o desenvolvimento para enfrentar problemas de avaliação que envolva aspectos racionais e intuitivos, a fim de selecionar a melhor dentre um conjunto de alternativas, de acordo com múltiplos critérios. O MAH leva em conta as inconsistências nos julgamentos e provê os meios para melhorar a consistência. Neste artigo o MAH é empregado na avaliação de performance de sistemas militares.

Palavras-chaves: Avaliação Operacional; Método de Análise Hierárquica; Tomada de Decisão.

Abstract

This work shows some concepts developed for Saaty for the decision taking: The Method of Analytic Hierarchy Process (MAH). The MAH is a basic boarding for the taking of decision, based on bibliographical survey and the results of research. The article shows the development to face evaluation problems that involve rational and intuitive aspects, in order to select best amongst a set of alternatives, in accordance with multiple criteria. The MAH takes in account the inconsistencies in the judgments and to provide the half ones to improve the consistency. In this article the MAH is used in the evaluation of performance of military systems.

Keywords: Operational evaluation; Method of Hierarchic Analysis; Taking of Decision.

1. Introdução

O presente trabalho se propõe a justificar o emprego das ferramentas de apoio multicritério à decisão, em procedimentos metodológicos de avaliação operacional de Sistemas de Emprego Militar.

Um Sistema de Emprego Militar compreende uma perspectiva mais ampla do que a visão de um material de emprego militar. Nesse sentido, a idéia de Sistema de Emprego Militar compreende tanto o material, quanto o material humano capacitado para operá-lo, atuando de forma integrada, num contexto de adequação a uma doutrina de emprego tático ou operacional daquele sistema, vigente numa determinada Força Armada.

Um determinado planejamento estratégico de atuação de uma força militar num teatro de operações, provavelmente estará baseado, entre outras considerações, na doutrina militar

vigente, na percepção e avaliação das ameaças, e na estimação do poder de combate disponível.

O poder de combate estimado se prestará tanto para uma análise estática da situação (quando se considera o número de armamentos e de tropas disponíveis), quanto para uma análise dinâmica, quando então são consideradas as ações de emprego dos diversos sistemas disponíveis, considerando a postura tática (ofensiva/defensiva), o terreno, a organização e o desdobramento das forças, o tempo de preparação etc.

Por sua vez, a manifestação do poder de combate será uma função positiva da efetividade dos sistemas empregados ou ainda da letalidade das armas empregadas, ou seja, sua capacidade de infligir danos (Dupuy, 1977). A efetividade será o resultado da combinação de atributos tais como: poder de fogo; acurácia, confiabilidade, mobilidade, raio de ação, suporte logístico, vulnerabilidade etc. Estes atributos podem compor múltiplos modelos de suporte à tomada de decisão, que levem em conta uma escala utilitária qualquer, nas chamadas funções de valor, que capture a influência tanto de aspectos quantitativos quanto de aspectos qualitativos.

Passaremos a expor alguns argumentos favoráveis ao uso de métodos de apoio multicritério à decisão como ferramenta auxiliar de avaliação operacional de sistemas de emprego militar.

2. As Ferramentas de Apoio Multicritério à Decisão

A tomada de decisão acerca de uma situação problema pressupõe um nível mínimo de compreensão e manejo da questão apresentada. O enfoque tradicionalmente apresentado em engenharia de sistemas consiste na obtenção de um modelo estilizado, assumindo simplificações da realidade, tais como a hipótese de linearização. Mesmo os sistemas não-lineares são difíceis de manejar em termos de obtenção de soluções analíticas, e eles acabam tendo que ser linearizados em torno de um ponto de operação. Tais reducionismos empobrecem a representatividade dos sistemas modelados, e prejudicam a acurácia da tomada de decisão.

Tal limitação decorre do fato de que, na análise de sistemas lineares, os seus parâmetros de definição não se alteram, ou seja, considera-se que o sistema real seja invariante no tempo, o que é contrafactual. Dessa forma, a modelagem de qualquer sistema estará sempre comprometida pela visão parcial e limitada do analista, pelos valores imprecisos dos parâmetros, e pela dimensão e complexidade da realidade. Admitir tal limitação, seria um grande passo para a busca de eventuais soluções num contexto de tomada de decisão.

O conceito de apoio multicritério à decisão, de acordo com Cargnano *et alii* (2004) é traduzido como sendo a atividade de um analista que, baseado em modelos claramente apresentados, porém não necessariamente formalizados, auxilia na obtenção de elementos de convicção para um agente decisor, no decorrer de um processo de tomada de decisão.

Os decisores, que são os atores fundamentais deste processo, deparam-se com um conjunto de escolhas ou de alternativas, que, em geral, se apresentam de forma excludente, diferenciada, exaustiva e finita. Para que o decisor possa eleger algumas das alternativas do conjunto de escolhas é preciso que ele possua alguns eixos de avaliação. Esses eixos de avaliação são os direcionadores da análise, construídos com base nas dimensões relevantes do problema e nas conseqüências da escolha de cada alternativa. É a partir destes eixos de avaliação que se torna possível estabelecer comparações entre as alternativas.

As alternativas, por sua vez, são comparáveis na medida em que elas possuem, em maior ou menor quantidade, determinadas características de utilidade desejáveis. Estas características são denominadas atributos dessas alternativas. Quando são adicionadas as preferências do decisor, num conjunto de regras, para estabelecerem-se comparações entre os atributos das alternativas, diz-se que este conjunto de regras representa um critério de decisão. Ou seja, um critério de decisão torna explícitas e operativas as preferências de um

decisor quanto às alternativas para um determinado atributo. Nos modelos de decisão com múltiplos critérios, é possível estabelecer “pesos” aos atributos para que eles possam refletir também sua importância relativa.

Os problemas mais comuns que podem ser objeto da análise multicritério são dos seguintes tipos (admitindo-se combinações deles): seleção de uma “melhor” alternativa; classificação de alternativas; ordenação de alternativas; e descrição de alternativas.

Além disso, como não é possível representar todos os estados da natureza, o auxílio multicritério à decisão não se propõe a oferecer uma solução ao decisor, mas sim, auxiliá-lo no processo decisório.

Dessa forma, nas tomadas de decisão envolvendo problemas complexos, existem algumas das seguintes características: estão presentes dois ou mais critérios que conflitam entre si; as restrições do problema muitas vezes não estão bem definidas; as consequências da escolha de uma dada alternativa podem não ser claramente compreendidas; a solução depende de um conjunto de pessoas com opiniões conflitantes entre si; podem existir critérios quantificáveis e outros dependentes de juízos de valor; tanto os critérios quanto as alternativas podem não estar claramente definidos, além de poderem também estar interligados.

O auxílio multicritério à decisão pressupõe a aceitação de que a subjetividade deverá estar presente no processo de tomada de decisão. Assim, esta metodologia tem como princípio a busca de uma relação de preferências subjetivas entre alternativas que estão sendo avaliadas, priorizadas ou ordenadas, sob a influência de vários critérios no processo de decisão.

Não obstante, esta maneira de pensar pode ser incluída no elenco dos métodos heurísticos, na medida em que admite a possibilidade de se realizar as tarefas, de acordo com uma experiência prévia, ou seja, assumindo regras heurísticas, ou implicações lógicas, do tipo $se \rightarrow \text{então}$ (Simões, 1999). Dessa forma, emerge também a lógica *fuzzy*, que consiste num método capaz de expressar de forma sistemática quantidades imprecisas, vagas ou mal definidas. Aliás, convém registrar que a lógica *fuzzi*, as redes neurais, os sistemas especialistas e os algoritmos genéticos são partes integrantes desse novo paradigma denominado coletivamente por sistemas inteligentes.

Dentre os modelos de decisão multicritério, é possível destacar o AHP – *Analytic Hierarchy Process* – ou Método da Análise Hierárquica. De acordo com Vargas (1994), o AHP seria uma Teoria Geral da Mensuração, empregada para a obtenção de uma relação em escala de comparações, tanto de entidades discretas, quanto de entidades contínuas, em múltiplos níveis de uma hierarquia.

Com o AHP é possível ao decisor levar em conta múltiplos fatores simultaneamente, admitindo-se as dependências entre eles e a retroalimentação, evidenciando ainda situações de escolhas conflitivas – *trade-offs* – de tal maneira a permitir uma síntese do problema em questão.

3. Caracterização do Método da Análise Hierárquica

O Método da Análise Hierárquica (MAH) foi escolhido para apoiar o presente estudo, em razão de possuir uma boa consistência lógica para o tratamento de variáveis não determinísticas, tais como, juízos de valor. De um modo geral, quando os decisores necessitam escolher entre alternativas complexas, que envolvem aspectos quantitativos e qualitativos, eles não tem como estabelecer diretamente uma taxa marginal de substituição entre elas, e passam a depender de julgamentos e de juízos de valor, que nem sempre evidenciam escolhas racionais ou consistentes.

Destarte, as tomadas de decisão referem-se muitas vezes à entidades cuja definição é, de certa forma, vaga. A vaguidade das definições impede uma modelagem das variáveis envolvidas que permita sua validação empírica, e conseqüente confirmação. Sem a validação empírica e a confirmação, não há como atribuir fôro de cientificidade à teoria modelada. É

requerida então uma metodologia que permita algum tipo de confirmação e validação para o modelo teórico estabelecido.

O MAH tem como característica principal a estruturação das entidades envolvidas no contexto de que se está tratando, sob a forma de uma hierarquia, onde o nível mais elevado desta hierarquia será representado por uma função objetivo, ou meta desejável a ser atingida, ou ainda, como um atributo desejável a ser verificado. Esta meta desejável, por sua vez, será resultado da presença de critérios ou pressupostos condicionantes, que interagem de forma a contribuir para este objetivo desejado.

Não obstante, neste momento é importante saber em que grau ou intensidade cada critério contribui para a meta alvo, de maneira que se tenha uma visão relativa da importância de cada critério para o resultado final, tal como numa distribuição de Pareto, onde existem “poucos, mas muito importantes”, e “muitos, mas pouco importantes”.

Entretanto, quando esta questão é apresentada, em razão da absoluta ausência de uma relação determinística que nos permita inferir acerca do modelo, resta-nos apenas a subjetividade para formulação de juízos de valor. Este é o problema clássico com que a análise econômica se depara quando busca medir o bem-estar dos indivíduos quando são submetidos à variações de preços e rendas no mercado. Como seria possível medir a satisfação ou o bem-estar dos agentes econômicos?

A solução apresentada pela doutrina econômica foi considerar que os agentes econômicos possuem uma ordem de preferências, e que esta mantém certa lógica ordinal e cardinal.

Por lógica ordinal entenda-se como sendo a capacidade de dizer que uma dada cesta de consumo x é preferível a uma outra cesta y , e esta, por sua vez, é preferível a uma cesta z .

Por lógica cardinal, entenda-se a propriedade de tornar conhecida a “intensidade” com que a cesta x é preferível à cesta y . Subsidiariamente, a teoria econômica requer o chamado pressuposto de racionalidade, que consiste em se exigir que as relações de preferências sejam, simultaneamente, completas, transitivas e reflexivas.

Quando as relações de preferência possuem estas características, elas são ditas consistentes. Uma relação é transitiva quando obedece a seguinte lógica: dados A , B , C se $A > B$ e $B > C$, implica que $A > C$. Uma relação é completa na medida em que todos os seus elementos são comparáveis. Uma relação é dita reflexiva se cada elemento da relação é comparável a si próprio.

No MAH, busca-se encontrar as relações cardinais e ordinais entre os critérios que determinam a meta alvo. Analogamente à análise econômica, espera-se que os resultados obtidos possuam consistência lógica, ou seja, mantenham a racionalidade. A garantia da racionalidade deverá ser obtida com a confirmação do modelo, a partir de sua validação empírica.

Na medida em que esta validação é verificável, através de um adequado tratamento matemático, fica garantida a cientificidade do método.

Desdobrando-se o raciocínio, a estrutura hierárquica vai se expandindo conforme a complexidade da meta alvo e de seus critérios. Os critérios podem dar origem a vários subcritérios, em outros níveis da hierarquia, e estes também podem ser expandidos, se for o caso.

Fechando a estrutura entram as alternativas de escolha que se pretende comparar. Estas alternativas devem se relacionar completa e diretamente com o último nível hierárquico do construto modelado, em nível de subcritério. Para cada subcritério considerado, as alternativas listadas devem ser submetidas a uma comparação com as demais, onde os “pesos” relativos, atribuídos para cada uma delas, deverão ser declarados por *experts*, baseados em juízos de valor, e submetidos à verificação de consistência lógica.

Esta etapa é denominada relacionamento paritário de alternativas. Convém aproveitar aqui uma recomendação de Quade (1975), in *Analysis for Public Decisions*, acerca do papel dos *experts*, no sentido de que seus julgamentos tornam-se mais efetivos quando atuam em grupos.

No relacionamento paritário de alternativas, a subjetividade das preferências e juízos de valor são transformadas em dados quantitativos, ou “pesos”, assumindo os valores 9,7,5,3,1 e seus recíprocos, respectivamente, $1/9, 1/7, 1/5, 1/3, 1$, que deverão constituir as posições de uma matriz quadrada, construída de tal forma que o relacionamento paritário entre todas as alternativas de comparação seja verificável através da informação contida na posição $a(ij)$ da matriz.

O autovetor principal de cada matriz de relacionamento paritário representará, para cada uma das alternativas, um resultado de posicionamento ordinal e cardinal em face do objetivo pretendido ou, com mais rigor, em relação à função objetivo pré-definida.

A validação empírica dos resultados obtidos, tidos como sendo a expressão fática da racionalidade dos *experts*, será verificada a partir da análise da consistência das escolhas feitas no relacionamento paritário. Esta consistência será maior ou menor conforme se tenha sido racional, num contexto de transitividade, reflexividade e completeza.

Destarte, a consistência da relação será obtida a partir do autovalor principal da matriz recíproca gerada. Este autovalor determinará certo índice de consistência. A relação entre este índice de consistência e certo índice randômico obtido a partir da geração de matrizes simétricas, deverá ser um resultado próximo de 0,1. Se este resultado for obtido, a relação será dita consistente e a validação empírica do modelo estará assegurada.

Passemos agora a estruturar a hierarquia que se pretende analisar à luz desta metodologia. Conforme foi verificado anteriormente, seria possível tentar representar uma espécie de função de bem-estar agregado, para um dado conjunto de *experts* e um dado conjunto de alternativas de escolha, com a seguinte expressão:

$$F [U_1(x), U_2(x), \dots, U_n(x)] = \sum U_i (x) , n \text{ onde } i = 1$$

Nesta função de bem-estar, cada $U_n(x)$ representa a utilidade associada à alternativa x para o indivíduo n . É esperado, por sua vez, que as utilidades individuais sejam uma função das diferentes alternativas para cada um dos agentes *per si*, e que o valor da função de bem-estar agregado deverá refletir estas variações do bem-estar individual.

O problema da escolha ótima será resolvido na medida em que se consiga maximizar esta função de bem-estar, sujeitando-se às eventuais restrições estabelecidas nas definições do problema. Para simplificar a questão, do ponto de vista metodológico, vamos admitir que os n indivíduos sejam substituídos por um único ente representativo dos demais, ajustando de certa forma o problema apresentado pelo teorema da impossibilidade de Kenneth Arrow (1963), e trazendo a perspectiva de se encontrar uma função de bem-estar social de simples concepção, para orientar um eventual decisor.

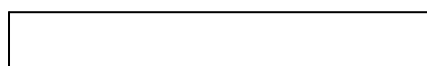
No trabalho de Arrow, segundo Saaty (1991), a transitividade de preferências é tomada numa base determinística (sim, não) para a consistência, e sua violação é considerado um desastre lógico.

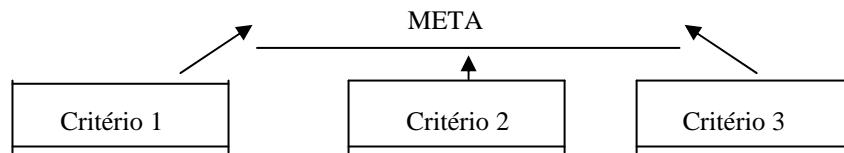
Não obstante, as pessoas individualmente estão constantemente fazendo trocas que violam de certa forma a transitividade. Isto ocorre porque as escolhas mais racionais do ponto de vista lógico podem gerar conflitos de natureza interior, de caráter ético, religioso ou pessoal, que determinem à tomada de decisões de escolhas intransitivas.

Ora, a questão que se apresenta é: porque não tentar reexaminar o teorema da impossibilidade para uma função de utilidade social, levando-se em conta certa dose de “ajuste”, nas escolhas, dado que as escolhas individuais guardam também ambigüidade?

O Método de Análise Hierárquica permite o estabelecimento deste “consenso” transitivo e consistente, bem como, nos oferece uma base cardinal de comparação entre alternativa. Vamos explicar adiante a razão para a escolha dos valores de 1 a 9 para os “pesos” atribuídos às alternativas.

Uma outra observação a ser feita é que a escala de comparação sempre aparece de forma normalizada, ou seja, se compararmos três, quatro ou mais alternativas, elas sempre estarão formando uma base percentual de comparação, onde a soma das importâncias ou preferências relativas a cada alternativa, sempre será 1. Suponha-se a seguinte hierarquia :





Neste modelo hierárquico bastante simples, existem apenas dois níveis. O primeiro nível, ou meta-alvo, é o objeto da decisão. Na presente hierarquia, não estão presentes as alternativas de escolha. O que se pretende saber nesta hierarquia é, preliminarmente, com que intensidade cada critério contribui, em porcentagem, para a totalidade da meta-alvo especificada. Subsidiariamente, dado que conhecemos o “peso” relativo de cada bem em face do outro, teremos uma classificação ordinal dos mesmos bens. Estas duas classificações, ordinal e cardinal, são obtidas a partir de julgamentos paritários feitos pelos indivíduos, conforme a tabela a seguir e considerando que os critérios aludidos sejam representados por, respectivamente, B1, B2, e B3.

	B1	B2	B3
B1	w1 / w1	w1 / w2	w1 / w3
B2	w2 / w1	w2 / w2	w2 / w3
B3	w3 / w1	w3 / w2	w3 / w3

As relações w_i / w_j representam os “pesos” relativos, em juízo de valoração subjetivo, dos critérios comparados em um relacionamento paritário. No caso ideal, onde os pesos são previamente conhecidos, e a transitividade for estabelecida *a priori*, deverá ocorrer a seguinte relação: $a_{ij} = w_i / w_j \Rightarrow a_{ij} \cdot w_j / w_i = 1 \quad i, j = 1, \dots, n$

$$\sum a_{ij} \cdot w_j \cdot 1 / w_i = n \Rightarrow \sum a_{ij} \cdot w_j = n \cdot w_i \quad i, j = 1, \dots, n \quad j=1$$

$$\text{Esta expressão é equivalente a: } A \cdot w = n \cdot w \quad (1)$$

Em teoria matricial, esta fórmula expressa o fato de que w é um autovetor de A com autovalor n . Quando escrita em sua forma total, esta equação fica:

	B1	B2	Bn			
B1	w1 / w1	w1 / w2	...	w1 / wn	w1	w1
B2	w2 / w1	w2 / w2	...	w2 / wn	w2	w2
Bn	wn / w1	wn / w2	...	wn / wn	wn	wn

Em um caso prático, a_{ij} são valores baseados não em medidas exatas, mas em julgamentos subjetivos. Então, os valores a_{ij} deverão desviar-se das razões “ideais” w_i / w_j e a expressão acima deixa de ser válida.

Além disso, tomemos $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ como sendo os números que satisfazem a

$$\text{equação: } A \cdot x = \lambda x$$

Isto significa que estes números são os autovalores de A . Se $a_{ij} = 1$, para todo i , então:

$$\sum \lambda_i = n, \quad i=1$$

Portanto, se a equação (1) é válida, então, todos os autovalores são zero, exceto um, que é n . Quando a matriz for obtida à partir de um resultado consistente, n será o autovalor máximo de A .

Não obstante, a teoria matricial diz que se variarmos os elementos a_{ij} de uma matriz recíproca positiva A por pequenos valores, então os autovalores também variarão por pequenas quantidades. Saaty lembra que se estes resultados forem combinados, ou seja, se a diagonal da matriz A for constituída por valores iguais a 1, e se a matriz A for consistente, pequenas variações de a_{ij} manterão o maior autovalor, λ_{\max} , próximo de n , e os autovalores restantes próximos de zero. O desvio dos autovalores a partir de n traduz uma medida de consistência. Isto permite avaliar a proximidade da escala desenvolvida com uma escala efetivamente consistente.

Dessa forma, se A for a matriz de valores comparados paritariamente, o vetor que corresponderá à ordenação das preferências, tanto no sentido ordinal quanto no cardinal, deverá satisfazer a seguinte equação: $A w = \lambda_{\max} w$

Não obstante, para se obter uma solução normalizada, altera-se w um pouco, fazendo com que w seja substituído por $(1/\alpha).w$, onde $\alpha = \sum w_i$, este procedimento deverá assegurar uma solução única e também que $\sum (1/\alpha).w_i = 1$.

Deve ser observado que pequenas variações em a_{ij} produzirão pequenas variações em λ_{\max} , de tal forma que seja possível utilizar o desvio deste último com relação à n , como uma medida de consistência.

Saaty define um índice de consistência para estas matrizes recíprocas à partir da expressão: $I.C. = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$

Em seguida, é definido um índice randômico como sendo o índice de consistência de uma matriz recíproca gerada randomicamente. No laboratório de *Oak Ridge*, pesquisadores encontraram um I.R. médio para matrizes com ordens variando de 1 até 15, usando uma amostra de tamanho 100. Foi verificada a ocorrência de flutuações estatísticas nos índices de uma ordem para outra, que distorciam os resultados. Novo experimento foi realizado na escola de *Wharton*, empregando-se uma amostra de tamanho 500, com a ordem das matrizes variando de 1 até 11, e aproveitando-se os resultados de *Oak Ridge*, para valores de n entre 12 e 15. A tabela seguinte apresenta os I.R. obtidos com as respectivas ordens de matrizes (na primeira linha) correspondentes.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
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	1.59

Define-se então uma razão de consistência: $RC = I.C. / I.R.$

Para considerarmos um julgamento consistente, deveremos admitir valores menores que 0,1 para a razão de consistência.

Na matriz de relacionamento paritário, conforme foi dito anteriormente, os valores subjetivos serão representados quantitativamente por 1, 3, 5, 7 e 9, que corresponderão, respectivamente, à idéia de “igualmente importante”, “pouco importante”, “mais importante”, “muito mais importante” e “excepcionalmente mais importante”. Ou seja, se, numa determinada linha da matriz recíproca encontrarmos o valor 3, isto significa que o bem público comparado referente à linha é pouco mais importante que o bem público referente à coluna.

Esta escala de valores foi escolhida, em razão de um estudo desenvolvido por Weber (Saaty,1991), onde este analisava mudanças de sensação com relação à estímulos e respostas.

De um modo geral, suas conclusões verificaram que as distinções qualitativas são significativas na prática e têm uma característica de precisão, quando os itens comparados apresentam a mesma ordem de magnitude ou estão próximos em relação à propriedade usada para fazer a comparação.

Segundo Weber, uma mudança de sensação é observada quando o estímulo é aumentado por uma percentagem constante do próprio estímulo. Subsidiariamente, ele notou

que as habilidades humanas para fazer distinções qualitativas são bem representadas por cinco atributos: igual, fraco, forte, muito forte, e absoluto.

Sendo assim, para comparar simetricamente estas cinco posições e ainda assim estabelecer uma variação significativa em ordem de grandeza, foi recomendada a utilização dos números ímpares de 1 até 9. Para permitir eventuais soluções de compromisso, quando for necessário o registro de pequenas variações de intensidade, admitir-se-á a utilização dos números pares compreendidos neste intervalo.

Saaty destaca que o uso de uma escala de comparação de 0 até ∞ não seria muito útil, na medida em que estaríamos admitindo que o julgamento humano fosse capaz de comparar a dominância relativa de dois objetos quaisquer, o que não seria razoável.

A análise multicritério, aplicada as diferentes técnicas de avaliação, proporcionou ao modelo apresentado, processos de ordenação das alternativas. A técnica tem a importante característica de permitir compensação entre os níveis, o que significa que um critério com valor baixo pode ser compensado por outros com valores mais altos no processo paritário.

A seguir, sugerimos para uma aplicação do método AHP num contexto de Avaliação Operacional de Sistemas de Emprego Militar, no qual supostamente o decisor deverá escolher uma dentre um conjunto de viaturas para transporte não especializado, com vistas à sua aquisição por parte de uma Força Armada.

4. O Método da Análise Hierárquica na Avaliação Operacional de Sistemas de Emprego Militar

Uma atividade de avaliação tem por finalidade a análise de atributos e aspectos quantitativos (mensuráveis) ou qualitativos (explicitáveis) que possam diferenciar distinguir ou qualificar as entidades que estão sendo objeto da avaliação. Um eventual analista acredita que, através da avaliação, seria possível a construção de uma “idéia” mais estruturada dos problemas e seus conseqüentes desdobramentos.

Sob o enfoque de um processo de Engenharia de Sistemas, uma avaliação tem por finalidade compor uma base científica para o assessoramento dos processos de tomada de decisão nas diversas fases do ciclo de vida do objeto sob avaliação qualquer que seja a sua natureza.

De um modo geral, uma avaliação pressupõe a realização de testes no objeto desta. O teste, por sua vez, traduz-se numa atividade planejada com base nos objetivos a serem alcançados e que tem por finalidade a obtenção de informações quantitativas ou qualitativas que possam servir como fonte de cognição para análises de desempenho no objeto da avaliação.

Uma Avaliação Operacional de Sistema de Emprego Militar é aquela realizada com o emprego de operadores, tripulações, guarnições ou Unidades, sob condições as mais próximas à realidade das operações militares, com a finalidade de determinar a eficácia operacional de um Sistema de Emprego Militar, que, por sua vez, compreende o conjunto de materiais de emprego militar (MEM), bem como, os recursos humanos habilitados, envolvido no seu manejo operacional, com vistas à sua utilização em campanha.

Os parâmetros de definição do desempenho esperado do MEM integrado no sistema são expressos por meio de documentos elaborados pelos Estados Maiores das Forças Armadas singulares, denominados Condicionantes Doutrinárias e Operacionais, que consideram a doutrina de emprego das respectivas Forças. Apresenta também informações extraídas das Hipóteses de Emprego e que se constituem de previsões de necessidades futuras, de possibilidades do agente de reação e do ambiente operacional onde o MEM poderá ser utilizado.

Estas Condicionantes Doutrinárias e Operacionais, por sua vez, fundamentam os Requisitos Operacionais, que representam o conjunto de atributos e seus conteúdos utilitários que devem satisfazer as exigências do emprego em operações militares.

Um dos objetivos mais significativos de uma avaliação operacional consiste em verificar se um determinado material de emprego tem eficácia operacional, que representa a

capacidade evidenciada por um sistema para cumprir de sua destinação. É uma característica do sistema, em função de aspectos tais como, desempenho, peso, tamanho, velocidade, alcance, disponibilidade, segurança, confiabilidade, manutenibilidade, apoio logístico, qualidade, entre outras, geralmente constantes dos Requisitos Operacionais Básicos.

Por ocasião da avaliação de eficácia operacional, o MEM deve ser operado por pessoal adequadamente preparado e deve ser empregado de forma planejada, considerando-se a organização, a doutrina, aspectos relacionados à vulnerabilidade e ao ambiente operacional (ambiente físico, caracterização das ameaças, incluindo ações de Guerra Química, Biológica).

A avaliação operacional também se preocupa com o levantamento e a identificação de falhas. As falhas (Ireson, 1989) consistem na interrupção da capacidade de um sistema desempenhar a função requerida ou o intento projetado. Na avaliação operacional a falha é caracterizada quando o sistema é impedido de cumprir a missão dispondo de seus próprios meios. Entende-se por “próprios meios” ao conjunto composto por: acessórios, ferramentas, sobressalentes e equipamentos de testes e pessoal militar (operadores do sistema), que juntos, podem cumprir a missão de forma auto-suficiente. Uma falha não significa a ocorrência de disfunção complexa, nem está relacionada ao nível de dificuldade de solução. Uma mesma disfunção pode ser ou não falha, dependendo da situação em que se encontre o sistema. Feitas estas conceituações, passemos ao uso da metodologia.

O emprego eventual do método da análise hierárquica na Avaliação de Sistemas de Emprego Militar deveria seguir as sugestões de Jaiswal (1997) na sua aplicação para a verificação da performance de veículos blindados sobre lagartas. No presente trabalho estaremos supondo que a decisão seja pertinente à escolha de uma viatura de transporte não especializado (VTNE), (num conjunto de três alternativas), um fato bastante comum na viabilização logística das Forças Armadas. Supõe-se ainda que as viaturas que serão submetidas ao Método da Análise Hierárquica já foram submetidas aos procedimentos usuais de Avaliação Operacional empregados pela Força Armada. Os principais membros envolvidos nas atividades de Avaliação Operacional deverão compor o grupo de *experts* que procederão ao trabalho de comparação paritária no MAH. Para atingir este objetivo, deverão ser cumpridas as seguintes etapas:

Etapa 1 do Método da Análise Hierárquica: Consiste no estabelecimento de uma estrutura hierárquica capaz de expressar o conceito de desempenho operacional das viaturas, que seria a meta, e os elementos do 2º nível da hierarquia. Por suposição, digamos que nas condicionantes doutrinárias operacionais, se tenha o registro de que uma viatura de transporte não especializado deva possuir os seguintes atributos, em termos de desempenho operacional: capacidade de adaptação às precárias condições de tráfego nas vias; capacidade de assegurar aos elementos de combate e serviços, grande mobilidade e flexibilidade; possibilitar, principalmente, o transporte de pessoal, suprimentos e carga.

Com base nesses requisitos, sugerem-se os seguintes critérios para compor o nível 2 da hierarquia: SEGURANÇA, MOBILIDADE, CAPACIDADE DE TRANSPORTE E LOGÍSTICA.

Etapa 2 do Método da Análise Hierárquica: Consiste na definição dos Subcritérios que devem compor a estrutura hierárquica de Nível 3. Para o Critério SEGURANÇA, foram definidos os seguintes Subcritérios: estabilidade, frenagem, acessórios de segurança, segurança no embarque e no desembarque, e conforto. Para o Critério MOBILIDADE, foram definidos os seguintes Subcritérios: trafegabilidade em rodovias de diversas classes, transposição de obstáculos e manobras, velocidade máxima e autonomia. Para o Critério CAPACIDADE DE TRANSPORTE, foram definidos os seguintes Subcritérios: capacidade de transporte de carga, capacidade de transporte de pessoal e espaço (volume). Para o Critério LOGÍSTICA, foram definidos os seguintes Subcritérios: MKBF, facilidade de manutenção e facilidade de suprimento.

Etapa 3 do Método da Análise Hierárquica: Estabelecimento dos entendimentos comuns dos termos utilizados como Critérios e Subcritérios, para fins de nivelamento conceitual dos *experts* que procederão o relacionamento paritário das alternativas. Nesse sentido, sugere-se a seguinte convergência conceitual:

1) SEGURANÇA, para fins desta análise, engloba os conceitos de:

- a) FRENAGEM, que leva em consideração:
 - Eficácia da frenagem (relação velocidade / espaço de frenagem) nas diversas classes (com e sem lastro);
 - Estabilidade na frenagem (com e sem lastro);
 - Robustez do sistema de freios.
- b) ESTABILIDADE, que leva em consideração:
 - Aderência em curvas e planos inclinados nas diversas classes.
 - Comportamento após manobras bruscas de direção e em trechos críticos a baixa velocidade.
- c) ACESSÓRIOS DE SEGURANÇA, que leva em consideração:
 - Luzes, proteções, extintores de incêndio, pára-choques, acessórios p/ deslocamento noturno, luz militar, entre outros itens.
- d) SEGURANÇA NO EMBARQUE E DESEMBARQUE DE TROPA, que leva em consideração:
 - Facilidades e dificuldades para o embarque e desembarque de tropa.
- e) CONFORTO, que leva em consideração:
 - Conforto na cabine e para a direção do motorista;
 - Conforto no transporte de pessoal.

2) MOBILIDADE, para fins desta análise, engloba os conceitos de:

- a) TRAFEGABILIDADE EM DIVERSAS CLASSES, que leva em consideração:
 - Possibilidade de tráfego sob quaisquer condições meteorológicas em diversas classes (principalmente transposição de trechos críticos lamacentos e tráfego em áreas de estacionamento desgastadas pelo trânsito e sem preparação).
- b) TRANSPOSIÇÃO DE OBSTÁCULOS E MANOBRAS, que levam em consideração:
 - Rampa longitudinal, rampa lateral, degrau rígido, vau em curso de água, raio de giro, entre outros aspectos.
- c) VELOCIDADE MÁXIMA, que leva em consideração:
 - Velocidade nominal máxima (segundo manual do fabricante e constatações na fase de testes operacionais);
 - Autonomia, que leva em consideração o valor nominal em quilômetros.

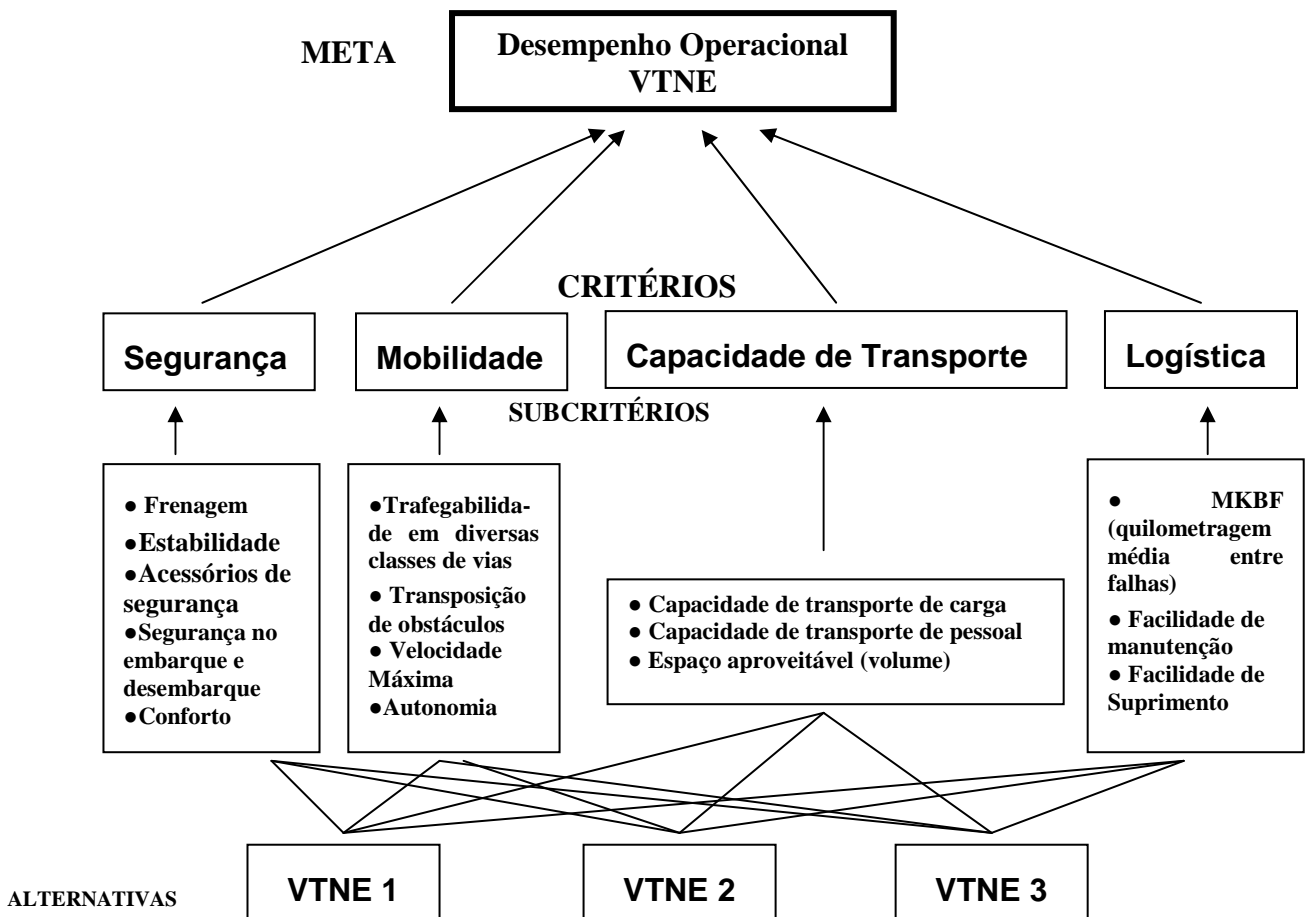
3) CAPACIDADE DE TRANSPORTE, para fins desta análise, engloba os conceitos de:

- a) CAPACIDADE TRANSPORTE DE CARGA, que leva em consideração:
 - Capacidade nominal em Kg (segundo manual do fabricante e constatações da fase de testes operacionais) com ou sem reboque;
 - Transporte de camburões.
- b) CAPACIDADE DE TRANSPORTE DE PESSOAL, que leva em consideração:
 - Número máximo de combatentes equipados.
- c) ESPAÇO APROVEITÁVEL (volume).

4) LOGÍSTICA, para fins desta análise, engloba os conceitos de:

- a) MKBF, que leva em consideração:
- Quilometragem média entre falhas;
 - Nível de comprometimento do sistema c/ as falhas;
 - Gravidade técnica das panes;
 - Rusticidade e proteção de sistemas vitais, tais como, motor, tanque de combustível, sistema de freios.
- b) FACILIDADE DE MANUTENÇÃO, que leva em consideração:
- Condições de acesso ao compartimento do motor;
 - Ferramental orgânico;
 - Rede de concessionárias.
- c) FACILIDADE DE SUPRIMENTO, que leva em consideração:
- Consumo de combustível e óleos lubrificantes;
 - Padronizações do EB, como voltagem do sistema elétrico, abastecimento do lado esquerdo da Vtr, etc;
 - Percentual de nacionalização dos componentes/ conjuntos.

Etapa 4 do Método da Análise Hierárquica: Representação da hierarquia, com meta, critérios e subcritérios, e as alternativas que deverão ser objeto de comparação.



A partir da estruturação da hierarquia, as alternativas de escolha deverão ser comparadas em base paritária, para que sejam elaboradas as matrizes com os respectivos pesos, a fim de se verificar a consistência das comparações. Existem *softwares* comerciais, tais como o *expert choice*, que facilitam sobremaneira o trabalho dos analistas nesta etapa.

5. Considerações Finais

Tivemos oportunidade de evidenciar neste trabalho a importância das metodologias de apoio multicritério à decisão, como ferramenta auxiliar nos processos decisórios envolvendo múltiplas alternativas, em ambiente de elevada complexidade.

O trabalho propôs um modelo teórico para evidenciar a importância das metodologias de apoio multicritério a decisão, em face das singularidades e características presentes no ambiente operacional e tático dos Sistemas de Emprego Militar.

Em sua justificativa, o estudo ressaltou que a adoção de metodologias com base em múltiplos critérios provavelmente seria uma grande evolução para a construção do conhecimento e a geração de conteúdos informativos mais confiáveis, num contexto de incertezas e entropias para a tomada de decisão.

Por sua simplicidade e consistência lógica, foi empregado em nosso exemplo o Método da Análise Hierárquica. Contudo, destacamos que outras metodologias, tais como os Métodos Delphi e MacBeth, poderiam ser empregadas nesse mister, isoladamente, ou de forma combinada, para permitir uma visão mais abrangente do problema modelado, e talvez apontar convergências, o que tornaria mais robusta a decisão adotada.

Uma contribuição do modelo proposto relaciona-se ao potencial de aplicação em problemas desse contexto, em razão da flexibilidade no enquadramento das problemáticas supondo como grande questão que permeia os pontos positivos do sistema a constatação de que os sistemas tradicionais não mais se adaptam a realidade vivida no âmbito produtivo.

Referências

ARROW, KENNETH J. *Social Choice and Individual Values* – second edition – John Wiley & Sons. New Haven, 1963.

CARIGNANO *ET ALII*. *Tomada de decisão em cenários complexos*. – São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004.

DUPUY, TREVOR N. *Numbers, predictions and war: using history to evaluate combat factors and predict the outcome of armed conflict*. Fairfax, Virgínia: Hero books, 1977.

GOMES, LUIZ FLÁVIO AUTRAN MONTEIRO. *Tomada de decisão gerencial: um enfoque multicritério*. – São Paulo: Atlas, 2002.

IRESON, W. GRANT *ET ALII*. *Handbook of reliability engineering and management*. – New York, McGraw-Hill Book Company, 1989.

JAISWAL, N. K. *Military operations research: quantitative decision making*. – Massachusetts, Kluwer Academic Publishers, 1997.

QUADE, EDWARD S. *Analysis for Public decisions*. Elsevier. New York, 1975.

SAATY, THOMAS L. *Método de Análise Hierárquica*. tradução de Wainer da Silveira e Silva. São Paulo: Mc Graw - Hill, 1991.

SIMÕES, MARCELO GODOY. *Controle e modelagem fuzzy*. – São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1999.

VARGAS, LUIS G. *ET ALII*. *Decision Making in Economic, Political, Social and Technological Environments*. – Pittsburgh: Library of Congress Cataloging-in-Publication Data, 1994.