

Maria Cristina Vilela Salgado\*  
Instituto de Aeronáutica e Espaço  
São José dos Campos - Brasil  
cristina@iae.cta.br

Mischel Carmen N. Belderrain  
Instituto Tecnológico de Aeronáutica  
São José dos Campos - Brasil  
carmen@ita.br

Amanda Cecília S. da Silva  
Instituto Tecnológico de Aeronáutica  
São José dos Campos - Brasil  
amanda@ita.br

\*autor para correspondência

## Avaliação do voo tecnológico XVT02 do Veículo Lançador de Satélites VLS-1 por meio de decisão em grupo

**Resumo:** No lançamento dos primeiros protótipos do Veículo Lançador de Satélites (VLS-1), diferentes falhas impediram o cumprimento da missão. Em 2005, foi decidido realizar novos ensaios em voo, denominados tecnológicos, com propósito de testar os sistemas do veículo. O objetivo do trabalho é avaliar a decisão sobre a necessidade de realização do segundo voo tecnológico, XVT02, para a continuidade e sucesso do projeto VLS-1, com base na utilização de um método multicritério de apoio à decisão. Foi aplicado um processo decisório em grupo, com especialistas de diversas áreas do projeto. A agregação de julgamentos permitiu sintetizar a decisão do grupo, cujo resultado comprovou a decisão que já havia sido tomada, ou seja, realizar os ensaios em voo tecnológicos.

**Palavras-chave:** Modelos de decisão, VLS (Brasil), Teoria multicritério de decisão, Decisão em grupo.

## Evaluation of the technological flight XVT02 of the Satellite Vehicle Launcher VLS-1 by means of group decision

**Abstract:** With the launch of the first prototypes of the Satellite Launch Vehicle VLS-1, different failures prevented accomplishing the mission. Then, in 2005, it was decided to carry out test flights with the purpose of testing all the systems in the vehicle. The proposal of the work is to assess the decision of conducting the second test flight XVT02 for the continuity and success of project VLS-1 based on a decision support multicriteria method. A group decision process was applied, with specialists from different areas of the project. The aggregating judgments approach led to integrate the group decision and the ensuing findings confirmed the decision taken previously, of carrying out the tests flight.

**Key words:** Decision models, VLS (Brazil), Multicriteria decision theory, Decision groups.

## INTRODUÇÃO

As atividades espaciais de um país organizam-se usualmente em programas, compostos de subprogramas, projetos e atividades de caráter continuado. Ao conjunto desses programas costuma-se referir como o Programa Espacial do País. De forma análoga, no Brasil, o Programa Nacional de Atividades Espaciais (PNAE) representa o conjunto das iniciativas proposto pela Agência Espacial Brasileira (AEB) e aprovado pelo Presidente da República. As atividades espaciais requerem elevados investimentos em projetos de longa duração, mas de alto retorno esperado (PNAE, 2005). O Programa de Veículos Lançadores do Brasil tem o objetivo de capacitar o país no projeto, desenvolvimento e construção de veículos lançadores de cargas úteis, utilizando-se de foguetes de sondagem e de veículos lançadores de satélite.

O projeto do Veículo Lançador de Satélites (VLS-1) está inserido neste Programa.

Em 2005, foi decidido realizar ensaios em voo, denominados vãos tecnológicos VLS-1 XVT01 e VLS-1 XVT02. A finalidade do XVT01 será a de testar: a ação simultânea dos quatro propulsores do primeiro estágio; a separação do primeiro estágio; a queima do segundo estágio; e, executar uma grande quantidade de medições de parâmetros do primeiro e segundo estágios principalmente. O XVT02 testará todos os sistemas do veículo até atingir a órbita desejada, incluindo medições adicionais.

O objetivo do artigo é apresentar um procedimento para estruturar a decisão, que possibilite uma avaliação, sobre a necessidade de realização do segundo voo tecnológico XVT02, baseado em um método de apoio multicritério à decisão denominado Processo de Análise Hierárquica

Recebido: 05/05/09

Aceito: 26/05/09

(*Analytic Hierarchy Process* - AHP) considerando a abordagem BOCR - Benefícios, Oportunidades, Custos e Riscos. Adicionalmente, foi aplicado um processo decisório em grupo, no qual os especialistas de diversas áreas do projeto utilizaram o consenso para estabelecer os critérios para a avaliação. Para a avaliação final, os decisores efetuaram o julgamento com as suas preferências.

O enfoque Agregação Individual de Julgamentos (AIJ) permitiu sintetizar a decisão em grupo.

Para se alcançar o objetivo, os seguintes objetivos específicos foram estabelecidos: (a) implementação de um processo de tomada de decisão em grupo com a participação de 20 especialistas e pesquisadores de áreas diversas e com grande conhecimento do projeto; b) definição dos critérios para cada mérito: Benefícios, Oportunidades, Custos e Riscos junto ao grupo de decisores; c) utilização do método AHP para avaliar as alternativas.

A pesquisa possui uma abordagem quanti-qualitativa e quanto aos objetivos, segundo Gil (1991), pode ser considerada uma pesquisa exploratória cujo procedimento técnico se constitui um estudo de caso. (Silva & Menezes, 2005)

Após a presente introdução é apresentado um breve histórico do setor espacial brasileiro e uma descrição do projeto do veículo lançador de satélites (VLS-1), necessários para a compreensão da sua complexidade e, conseqüentemente, das decisões no âmbito deste projeto. A seguir é apresentado o método AHP que constitui um dos métodos AMD. Segue-se a apresentação da abordagem “Benefícios, Oportunidades, Custos e Riscos” (BOCR), conceitos de Decisão em Grupo e finalmente é apresentado o estudo de caso do XVT02.

### Breve histórico do setor espacial brasileiro

O Programa Espacial Brasileiro iniciou-se na década de 60, em São José dos Campos, junto ao atual Comando-Geral de Tecnologia de Aeroespacial (CTA), órgão vinculado ao Ministério da Defesa (MD). As primeiras iniciativas foram de desenvolvimento de pequenos foguetes de sondagens meteorológicas para a Força Aérea.

Em outubro de 1965, foi criado o Centro de Lançamento da Barreira do Inferno (CLBI). Em 1967 era lançado o primeiro protótipo do foguete brasileiro Sonda I, com a finalidade de substituir os foguetes norte-americanos de sondagens meteorológicas.

Em 17 de outubro de 1969, foi criado o atual Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE), vinculado ao CTA, responsável pela condução de projetos de pesquisa e desenvolvimento de foguetes de sondagem.

Em 1989, foi criado o Centro de Lançamento de Alcântara (CLA) no Maranhão, local escolhido, entre outros fatores, devido à posição geográfica estratégica de 2°18' ao sul da linha do equador. Esta posição possibilita, nos lançamentos

em órbita geoestacionária, como demanda a grande maioria dos satélites de comunicação, um ganho de massa satelizada (carga útil) devido à maior velocidade superficial da Terra no equador. (AEB, 2007)

No início de 1980, a Presidência da República aprovou a realização da Missão Espacial Completa Brasileira (MECB). A proposta estabeleceu um programa nacional integrado, visando projeto, desenvolvimento, construção e operação dos três elementos da missão de inserção de satélites em órbita: - o campo de lançamento; - o lançador de satélites; e - o satélite.

Dentro desse programa, as responsabilidades foram divididas por quatro instituições: (1) ao IAE coube o desenvolvimento do VLS-1, para o transporte do satélite até a órbita especificada na missão; (2) ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o desenvolvimento dos satélites e das estações de solo correspondentes para captação e tratamento dos dados transmitidos pelos satélites em órbita, visando o monitoramento do território brasileiro sob diversos aspectos; (3) ao CLA, o encargo de realizar as atividades referentes à operação de lançamento do VLS-1; e, (4) ao CLBI, operar como estação no acompanhamento do lançamento, com seus radares e meios de telemetria (AEB, 2007).

A Agência Espacial Brasileira (AEB) foi criada em 1994. Hoje, pertence ao Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT) e tem o objetivo de promover o desenvolvimento das atividades espaciais brasileiras e prover recursos financeiros para projetos espaciais. A AEB tem a responsabilidade de formular e implementar PNAE, cujas atividades são executadas por outras instituições governamentais que compõem o sistema como órgãos de execução, como por exemplo o CTA e o INPE e como órgãos e entidades participantes, o setor industrial e universidades brasileiras que desenvolvem pesquisas e projetos na área espacial.

O Programa de Veículos Lançadores, além da capacitação de recursos humanos no país, visa estimular a inserção da indústria nacional na produção de veículos lançadores e outros bens aeroespaciais, contribuindo para a maior qualificação do parque industrial brasileiro e sua participação no competitivo mercado internacional de atividades espaciais.

O Programa é composto de três subprogramas: (1) Foguetes de Sondagem; (2) Lançadores para Micro e Pequenos Satélites; e, (3) Lançadores de Satélites de Médio Porte. O VLS-1 se insere no Subprograma Lançadores para Micro e Pequenos Satélites.

### O Projeto VLS-1

Teve início em 1984, após o primeiro lançamento do foguete de sondagem Sonda IV (SIV) quando foram consolidados, entre outros, conhecimentos na produção do propulsor a propelente sólido de 1m de diâmetro, desenvolvimento de material (aço) de alta resistência

estrutural e lançamento vertical a partir de plataforma. O VLS-1 é um veículo descartável e com quatro estágios propulsores na decolagem. A propulsão é garantida por motores a propelente sólido com capacidade de colocar em órbita circular equatorial, satélites de 115 kg a uma altitude de 750 km.

A Figura 1 mostra o primeiro protótipo, VLS-1 V01, montado sobre a mesa de lançamento do CLA em novembro de 1997.

O VLS-1 é constituído de sete subsistemas principais denominados de primeiro estágio, segundo estágio, terceiro estágio, quarto estágio, coifa ejetável, redes elétricas e redes pirotécnicas.



#### Características do VLS-1:

Comprimento total: 19m  
Diâmetro dos estágios: 1 m  
Nº de estágios: 4 Massa  
Total: 50 t Massa  
Carga Útil: 115 kg  
Altitude 750 km, em órbita  
circular equatorial.

Figura 1: VLS-1 V01 (AEB, 2007).

O primeiro estágio é formado por quatro propulsores fixados simetricamente ao propulsor central do segundo estágio, como mostra a Fig. 2. Os quatro propulsores são acionados simultaneamente para provocar a decolagem do veículo. Cerca de cinco segundos após a queima dos propulsores, cargas pirotécnicas cortam simultaneamente toda a ligação física dos quatro motores ao segundo estágio.

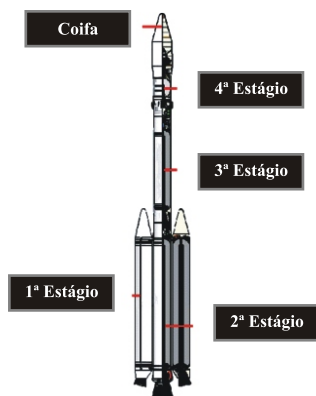


Figura 2: VLS-1 (AEB, 2007).

O segundo estágio possui o propulsor e os subsistemas idênticos ao do primeiro estágio, a menos de sua tubeira móvel, mais longa, adaptada ao voo em altitudes mais elevadas.

O terceiro estágio possui o propulsor também equipado

com tubeira móvel. Outros subsistemas que estão no terceiro estágio são a baía de controle de rolamento (BC) e a baía de equipamentos (BE). A BC possui micropropulsores a propelente líquido que impõem uma ação de controle no eixo do veículo durante o voo do segundo e terceiro estágios. A BE aloja o sistema inercial, computador de bordo, equipamentos relacionados ao controle e guiagem, telemetria, seqüenciamento de eventos durante o voo e quatro micropropulsores a propelente sólido montados do lado de fora da BE para dar uma estabilidade giroscópica ao quarto estágio antes da ignição.

O quarto estágio tem seu envelope motor construído de material composto, possui tubeira fixa e um cone de acoplamento para fixação do satélite. Muitos dos equipamentos para telemetria, localização e funções de terminação de voo estão localizados no cone de acoplamento.

A coifa ejetável é a estrutura que fornece ao veículo a forma aerodinâmica adequada e protege o satélite desde a fase de preparação do lançamento até o final da travessia da atmosfera. A separação da coifa ocorre no início do voo do terceiro estágio.

As redes elétricas do veículo estão compostas de quatro subredes, que são: rede elétrica de serviço, rede elétrica de telemidias, rede elétrica de controle e a rede elétrica de segurança.

As redes pirotécnicas do veículo estão compostas de três subredes, que são: rede pirotécnica de ignição, rede pirotécnica de separação e rede pirotécnica de destruição.

As atividades principais durante a fase pré-lançamento ocorridas no CLA envolvem a integração e testes do veículo na plataforma de lançamento, montagem do satélite, alinhamento do veículo, carregamento e pressurização dos tanques e garrafas de gás, testes e ativação de todos os subsistemas e armação dos componentes pirotécnicos de voo.

Nos lançamentos de qualificação, o VLS-1 foi programado para cumprir a trajetória conhecida como perfil da missão, como mostra a Fig. 3.

No instante inicial do lançamento, os quatro propulsores do primeiro estágio são acionados simultaneamente. Antes do fim da queima do primeiro estágio, ocorre a ignição do segundo estágio e segundos depois, a separação do primeiro estágio. O terceiro estágio é acionado 1 segundo após o fim da queima do segundo estágio e da separação deste.

No início da queima do terceiro estágio, ocorrem a abertura e a separação da coifa ejetável de proteção do satélite. Após o fim da queima, o motor vazio do terceiro estágio e a BC são separados do veículo. O computador de bordo começa a realizar os cálculos para determinar a orientação e o instante de ignição do quarto estágio. Segue-se uma manobra que visa posicionar o conjunto quarto estágio/satélite na atitude desejada. A esta manobra dá-se o nome de basculamento.

Após a orientação do veículo, este é colocado em rotação de 2 a 3 rps (rotações por segundo) pelo sistema impulsor de rolamento, composto de quatro micropropulsores a propelente sólido denominados Propulsor Impulsor de Rolamento (PIR). Após a estabilização é feita a separação da BE.

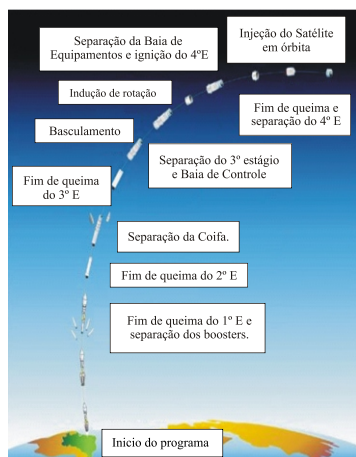


Figura 3: Perfil da missão do VLS-1 (AEB, 2007).

Ocorre então a ignição do quarto estágio, visando dar o incremento de velocidade necessário para o satélite alcançar a órbita desejada. Ao fim de sua queima, dá-se a separação do satélite do quarto estágio e a conseqüente injeção do satélite em órbita.

O tempo de duração de todos estes eventos, desde a decolagem do veículo da plataforma de lançamento até a injeção do satélite em órbita, é estimado em função da órbita desejada. Nos lançamentos do VLS-1 V01 e V02, este tempo foi estimado em aproximadamente nove minutos. O momento da decolagem do VLS-1 V02 está ilustrado na Fig. 4.

Após o lançamento, ocorrem as atividades de recebimento de dados de telemetria para avaliação do voo e as atividades da operação de retorno de equipamentos e equipes para o IAE. As atividades de avaliação do lançamento continuam no IAE, efetuando-se o tratamento dos dados obtidos na telemetria desde a decolagem do veículo até a injeção do satélite em órbita.

O VLS-1 encontra-se na fase de qualificação em voo. No relatório de avaliação das falhas ocorridas, intitulado “Relatório da Investigação do acidente ocorrido com o VLS-1 V03, em 22 de agosto de 2003, em Alcântara, Maranhão”, foram elaboradas recomendações visando à continuidade do projeto. Estas recomendações motivaram a revisão do projeto e, conseqüentemente, alteraram os ensaios que estavam previstos. Novos rumos foram traçados para o projeto e alterações no Plano de

Desenvolvimento afetaram enormemente os prazos e o custo inicialmente planejados.

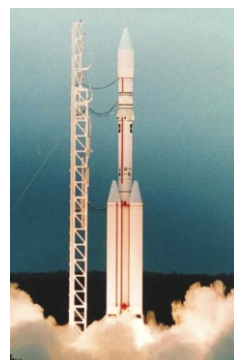


Figura 4: Início da decolagem do VLS-1 V02 (AEB, 2007).

Para implementar estas alterações foram tomadas muitas decisões complexas que motivaram o estudo deste artigo.

### Os métodos de apoio multicritério à decisão (AMD)

Consiste em um conjunto de métodos e técnicas para auxiliar ou apoiar pessoas e organizações a tomar decisões, dada a multiplicidade de critérios. A distinção entre o AMD e as metodologias tradicionais de decisão é o grau de incorporação dos valores do decisor nos modelos de avaliação. (Gomes et al., 2004)

O AMD aceita que a subjetividade esteja sempre presente nos processos de decisão. Uma estrutura de valores dos decisores associada aos critérios existentes permite que as alternativas sejam examinadas, avaliadas e priorizadas (Gomes et al., 2002, 2004).

O uso de métodos AMD é eficaz para se chegar à melhor decisão nos vários campos da experiência humana, ciências sociais, ciências da saúde, tecnologia e outras, bem como em nossa vida pessoal. Tais métodos possuem o papel de apoio à decisão e permitem subsidiar a atividade decisória tanto por parte do decisor principal quanto dos demais *stakeholders* envolvidos.

Segundo Clemen (1996), um processo para apoiar a decisão é útil na análise de problemas os quais, para se obter uma solução, é necessário conciliar fatores conflitantes e muitas vezes não tão bem definidos, satisfazer vários *stakeholders* e lidar com restrições intrínsecas ao processo. Para auxiliar este processo é preciso enfrentar os problemas como oportunidades de exercer a criatividade, de adquirir amadurecimento, desenvolvimento, aprendizado e evolução, como profissionais e como pessoas.

A abordagem da oportunidade de decisão não visa a apresentar uma única verdade representada pela alternativa selecionada. Com o passar do tempo e a mudança do contexto decisório, nem sempre a melhor decisão tomada no passado é aquela que trará o melhor resultado. Assim, utilizar um método de apoio ao processo decisório não assegura o sucesso do decisor, mas ajuda a avaliar os problemas de uma forma mais estruturada e sistemática, e a decidir mais racionalmente e menos intuitivamente,



levando a melhores resultados, diminuindo surpresas por resultados imprevistos (Gomes et al., 2006).

Os métodos de apoio multicritério à decisão não buscam uma solução ótima para determinado problema, mas uma solução de compromisso, em que deve prevalecer o consenso entre as partes envolvidas (Gomes et al., 2006).

Dentre os vários métodos de AMD, pode-se citar o AHP que será detalhado a seguir.

### O Método de Análise Hierárquica (*Analytic Hierarchy Process AHP*)

Consiste em um dos primeiros métodos desenvolvidos para o ambiente das Decisões Multicritérios Discretas (conjunto de alternativas de decisão finito). Tem sido aplicado a uma ampla escala de situações de problemas: selecionando entre alternativas competitivas em um ambiente multi-objetivo; na alocação de recursos escassos; e, em dar prognósticos (Forman & Gass, 2001).

O AHP é um processo sistemático de estruturar o problema para melhorar sua compreensão e avaliação, e é uma maneira eficaz de verificar a consistência dos julgamentos emitidos.

O método, desenvolvido por Thomas Saaty na década de 1970, inicia-se com a representação do problema em uma estrutura hierárquica, identificando o objetivo principal, os critérios e as alternativas disponíveis. A função desta fase é auxiliar a compreensão e análise do problema. Com o problema estruturado, faz-se a emissão de julgamentos de valor, em que o decisor compara, par a par, os elementos dos diversos níveis hierárquicos, para que, com cálculos que sintetizam os resultados das comparações, obtenha-se uma priorização das alternativas disponíveis em relação ao foco principal (Silva, 2006).

O AHP permite a adoção de uma escala pré-definida para atribuição de valores de importância aos critérios e valores de desempenho às alternativas envolvidas, o que confere maior clareza ao processo decisório e menor subjetividade ao resultado final, como esclarecido a seguir. O método converte preferências individuais em números, cujo tratamento permite a avaliação das alternativas associadas. Os pesos resultantes são usados para classificar as alternativas e auxiliar o tomador de decisões na escolha de alternativas ou em prever um resultado.

Como a maioria dos métodos de apoio à decisão, o AHP requer avaliações numéricas. Dessa forma, critérios qualitativos serão também transformados em escalas numéricas.

Em síntese, uma vez identificadas alternativas e estabelecida a avaliação segundo cada critério/subcritério, o processo de síntese das informações pode ser iniciado.

O processo do método AHP consiste de sete etapas: (1) Estruturação do problema; (2) Coleta dos julgamentos par a

par dos especialistas; (3) Construção das matrizes de decisão; (4) Obtenção dos autovalores e autovetores das matrizes de decisão; (5) Determinação da Razão de consistência (RC) da matriz de decisão; (6) Verificação da consistência dos julgamentos; e, (7) Sintetização dos vetores de prioridades, como mostra a Fig. 5.

Etapa 1: Estruturação do problema (Entendimento e Hierarquização): o sistema é estudado em detalhes com a finalidade de identificar o objetivo do processo decisório, os critérios e subcritérios baseados nos valores, crenças e convicções do decisor, e as alternativas para a solução do problema. Em seguida é construída a estrutura hierárquica do problema.

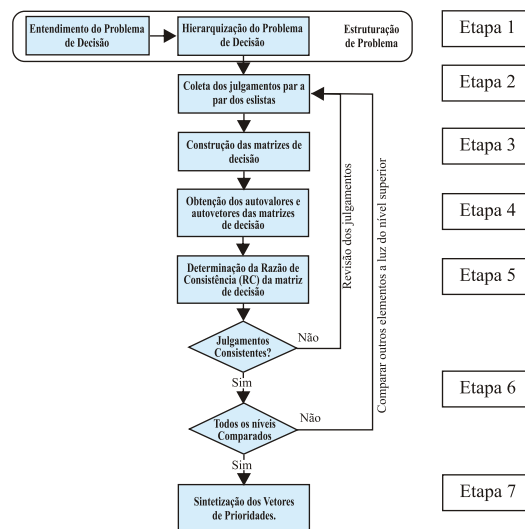


Figura 5: Etapas do Processo de Decisão pelo Método AHP (adaptado de Oliveira e Belderrain, 2008)

O número de níveis da hierarquia é tão maior quanto maior a complexidade do problema analisado. Entretanto, deve-se considerar na estruturação do problema que a hierarquia deve ser complexa e grande o suficiente para representar a situação real, mas simples e pequena o suficiente para ser prática e utilizável.

A Figura 6 representa uma estrutura hierárquica dividida em quatro níveis, com a finalidade de facilitar a compreensão e avaliação do problema.

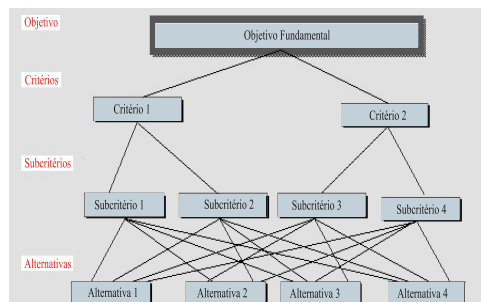


Figura 6: Estrutura Hierárquica de Problemas Complexos (Saaty e Peniwati, (2008)

O objetivo, primeiro nível da hierarquia, é o foco principal a ser considerado na tomada de decisão. A definição do objetivo deve ser clara e específica de modo a evitar o estabelecimento de critérios (decomposição desse objetivo) e alternativas que não contribuem para a solução do real problema. Não definir corretamente o objetivo pode comprometer todo o processo de tomada de decisão.

Os critérios, níveis intermediários da hierarquia, representam um detalhamento ou desmembramento do objetivo principal, que serão usados para avaliar as alternativas de solução do problema. Segue-se definindo subcritérios até que se obtenha a representação mais fiel possível do problema.

As alternativas constituem o último nível da hierarquia e representam as possíveis soluções para o problema. As alternativas estão ligadas a todos os elementos do último nível que as precede, sejam eles critérios ou subcritérios.

Etapa 2: Coleta dos julgamentos par a par dos especialistas: Para que se obtenha a priorização final das alternativas são atribuídos valores de importância de uma escala pré-definida aos elementos da hierarquia (critérios/subcritérios e alternativas) através de comparações par a par. A comparação par a par fundamenta-se na habilidade do ser humano de perceber o relacionamento entre elementos quantitativos e qualitativos, tangíveis e intangíveis à luz de um determinado critério. Julgar a preferência, ou importância entre dois elementos de cada vez, facilita a priorização.

As comparações são efetuadas entre elementos do mesmo nível hierárquico. A cada elemento associa-se um valor de preferência sobre os outros elementos. Estes pesos são determinados por uma escala de julgamentos sugerida por Saaty variando de 1, quando os critérios são de mesma importância (igual), a 9, para importância absoluta de um critério sobre outro (extremo), conforme ilustrado na Tab. 1. Esta escala tem sido validada em muitas aplicações, apesar de sofrer também críticas sobre os valores que a compõem.

Tabela 1: Questionário para comparar elementos par a par.

|           |             |       |          |       |           |       |             |         |
|-----------|-------------|-------|----------|-------|-----------|-------|-------------|---------|
| extremo   | multo forte | forte | moderado | igual | moderado  | forte | multo forte | extremo |
| 9         | 8           | 7     | 6        | 5     | 4         | 3     | 2           | 1       |
| 1         | 2           | 3     | 4        | 5     | 6         | 7     | 8           | 9       |
| X sobre Y |             |       |          |       | Y sobre X |       |             |         |

Etapa 3: Construção das matrizes de decisão: Cada julgamento da etapa anterior deve ser organizado em uma matriz denominada matriz de decisão, de ordem igual ao número de elementos comparados, como mostra a Fig. 7.

Os julgamentos emitidos para os elementos de um nível hierárquico, à luz do critério imediatamente superior, são compilados na forma de matriz quadrada de dimensão  $n$ , onde  $n$  é o número de elementos do nível hierárquico

analisado, conectado a um único elemento de nível superior, criando uma matriz de julgamento para cada nível e cada ramo da hierarquia.

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix}$$

Figura 7: Matriz de decisão

Os elementos  $a_{ij}$  da matriz representam a importância relativa do elemento  $A_i$  em relação ao elemento  $A_j$ .

Etapa 4: Obtenção dos autovalores e autovetores das matrizes de decisão: No método AHP, o vetor de prioridades gerado pela comparação par a par dos elementos é obtido pelo cálculo do autovetor direito associado ao autovalor máximo da matriz de decisão.

Etapa 5: Determinação da Razão de Consistência (RC) da matriz de decisão: A consistência é um indicador da coerência nos julgamentos e a sua medição na matriz de comparações é um elemento importante. Este indica o quão cuidadosamente foram dadas as respostas (julgamentos) à matriz. Se RC for menor que os valores da Tab. 2, os julgamentos da matriz de decisão são considerados consistentes.

Tabela 2: Valores de RC para limite aceitável de inconsistência

| n  | 2    | 3     | 4     | >4   |
|----|------|-------|-------|------|
| RC | 0,00 | <0,05 | <0,09 | <0,1 |

Por exemplo, no caso de matrizes de ordem  $n$  superior a quatro, a razão de consistência RC deverá ser menor que (10%).

Etapa 6: Verificação da consistência dos julgamentos e dos níveis: Ao construir a matriz de decisão, esta é avaliada para verificação da consistência dos julgamentos e caso uma inconsistência se apresente, o analista retorna ao decisor para que este reavalie seu julgamento. Só depois de resolvidas as inconsistências, que ainda podem permanecer caso o decisor não queira alterar seu julgamento, a próxima etapa será iniciada.

Conforme Saaty (1996), alguma inconsistência pode ser tolerada, visto que os seres humanos não são totalmente consistentes em seus pontos de vista.

Etapa 7: Sintetização dos vetores de prioridade: Visa determinar os vetores de prioridade que irão definir a melhor alternativa, ou a prioridade entre elas, para a solução do problema de decisão.

O resultado do vetor prioridade da decisão pode ser obtido pela sintetização dos julgamentos de cada matriz de decisão resultante das comparações par a par de alternativas sob o ponto de vista de critérios ou subcritérios, de subcritérios

com critérios de nível imediatamente superior e entre os critérios em função do objetivo fundamental.

Segundo Saaty (2000), uma forma de estimar o vetor prioridade é multiplicar os elementos de cada linha da matriz de julgamento e extrair a raiz  $n$ -ésima deste produto, sendo  $n$  a ordem da matriz. Assim:

$$w_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}} \quad (1)$$

O vetor resultante deve ser normalizado para que se obtenha o vetor prioridade.

$$w_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (2)$$

### Abordagem “Benefícios, Oportunidades, Custos e Riscos” (BOCR)

Uma decisão, dependendo da área de atuação e da complexidade, como no caso de um desenvolvimento tecnológico, não deve ser tomada apenas por seus benefícios e custos. As oportunidades e os riscos também devem ser considerados e, se isso ocorrer, passa-se a ter quatro hierarquias com as mesmas alternativas no seu nível mais baixo.

A aplicação do BOCR, introduz o conceito de prioridade negativa associado aos riscos e custos e, também, alguns novos procedimentos devem ser adotados a fim de que os resultados referentes a cada um dos méritos possam ser combinados de forma a fornecer um único resultado final.

Na abordagem BOCR é construída uma estrutura hierárquica para cada mérito, como mostra a Fig. 8, e cada uma delas contém os critérios e subcritérios associados a cada mérito e as alternativas.

A fim de sintetizar os resultados, aplica-se em geral a fórmula da razão ou multiplicativa que não considera a ligação dos méritos com o objetivo fundamental, ou seja, não se insere pesos diferentes para os méritos BOCR.

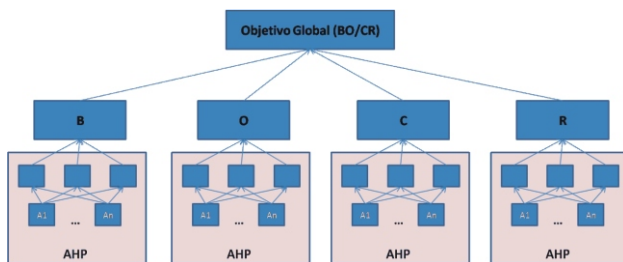


Figura 8 : Estrutura hierárquica BOCR

Esta razão representa o desempenho de cada alternativa  $i$  e é dada por:

$$\frac{B_i \times O_i}{C_i \times R_i} \quad (3)$$

Outra fórmula utilizada para sintetizar os resultados em um único resultado é a fórmula do resultado total, ou subtrativa ou aditiva negativa:

$$b \times B_i + o \times O_i - c \times C_i - r \times R_i \quad (4)$$

Onde  $b$ ,  $o$ ,  $c$ ,  $r$ , representam os pesos dos méritos Benefícios, Oportunidades, Custos e Riscos, respectivamente, também denominados critérios de controle.

Neste trabalho serão utilizadas ambas as fórmulas.

### Decisão em Grupo

Para tomar uma decisão, um indivíduo levará em consideração apenas o seu próprio ponto de vista, valores, critérios e alternativas. A decisão em grupo vem ajudar no processo de melhoria na comunicação e colaboração.

A discussão do grupo para a busca da compreensão com um objetivo em comum e pelo bem coletivo, ou da empresa, ou outra finalidade, cria uma sinergia e comprometimento entre os membros que participam da decisão.

Segundo Saaty e Peniwati (2008), a qualidade das decisões do grupo depende da habilidade de seus decisores para trabalhar coletivamente, o que não significa concordar, mas sim, discutir o assunto sem restrições. Melhores decisões podem ser tomadas quando opiniões diferentes aparecem, podendo ser debatidas. Isto pode levar, inclusive, a redefinições de critérios.

É importante destacar que é comum em decisões em grupo que todos os decisores tenham a mesma importância relativa (pesos iguais). Mas, em alguns casos será considerado um peso maior para o decisor de maior nível hierárquico ou ao gerente do projeto, que são os maiores responsáveis; enquanto que os demais poderão ter pesos iguais. Garante-se com isso atenção especial ao ponto de vista dos maiores interessados, que podem ser incorporados clientes e usuários quando o projeto estiver na fase de produção.

A criação destas assimetrias deve ser considerada com cuidado. Se o item for, no entanto, específico, a assimetria pode ser positiva. Por exemplo, no caso de um peso maior para um critério que envolva especialidade, por exemplo propulsão, em que o especialista nesta área esteja entre os decisores.

## EXPERIMENTAL

### Estudo de caso do XVT02

O processo de análise hierárquica (AHP) consiste de 7 etapas, que serão abordadas no estudo de caso, segundo a Fig. 5.

### Etapa 1: Estruturação do Problema.

O objetivo fundamental definido para o estudo de caso é: Aumentar a probabilidade de sucesso no VLS-1 V04. O sucesso da missão do lançador é atingido com a inserção do satélite na órbita especificada.

Para definir as alternativas de solução do problema, estão descritos os ensaios que foram inseridos no projeto:

(1) ensaio de lançamento XVT01 tem a finalidade de testar a ignição simultânea dos quatro propulsores do primeiro estágio; a separação do primeiro estágio, a queima do segundo estágio e também executar uma grande quantidade de medições de parâmetros do primeiro e segundo estágios principalmente.

(2) ensaio de lançamento XVT02 terá todos os estágios ativos para testar os sistemas do veículo e os eventos de voo, até chegar à órbita especificada.

Baseando-se neste contexto, decidiu-se que as alternativas para este problema de decisão são duas:

- (1) Realizar o XVT02 e
- (2) Não realizar o XVT02.

Os decisores, ao fazer a escolha entre as duas alternativas para cada critério, não devem perder de vista que a alternativa escolhida visa atingir o objetivo fundamental de aumentar a probabilidade de sucesso no VLS-1 V04.

A Figura 9, ilustra a estrutura hierárquica e, no nível imediatamente inferior, os méritos BOCR utilizados na avaliação do estudo de caso.



Figura 9: Estrutura hierárquica do estudo de caso

Cada mérito é uma sub-rede formada com critérios escolhidos pelos decisores, mostrados nas Fig. 10 a 13.

### Mérito BENEFÍCIOS

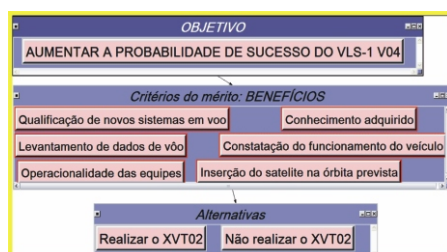


Figura 10: Estrutura hierárquica do mérito BENEFÍCIOS

**Critério 1:** Qualificação de novos sistemas em voo: existem subsistemas que deverão ser substituídos após o voo do XVT01. O fato de esses sistemas voarem no XVT02 trará a confirmação do funcionamento como parte integrante do sistema veículo, submetidos aos rigores do ambiente de voo, antes de aplicá-los ao V04.

**Critério 2:** Conhecimento Adquirido: o conhecimento adquirido com a experiência de uma campanha de lançamento e com os resultados levantados no voo de um veículo do porte do VLS-1 é um benefício fundamental para a continuidade do Programa Espacial Brasileiro.

**Critério 3:** Levantamento de dados de voo: o levantamento dos dados de voo permitirá obter informações sobre o ambiente de voo e validar modelos teóricos de simulações de voo.

**Critério 4:** Constatação do funcionamento do veículo: inúmeros ensaios são realizados em solo para simular o funcionamento dos equipamentos/sistemas do veículo isoladamente. Durante o voo os mesmos estarão integrados no sistema e submetidos ao ambiente de voo.

**Critério 5:** Operacionalidade das equipes: a operação do VLS-1 é a mais complexa dentre a dos veículos nacionais e promove a utilização de todos os recursos disponíveis. As fases preparatórias de lançamento e pós lançamento contribuem para a manutenção da aptidão dos meios e dos recursos humanos envolvidos.

**Critério 6:** Inserção do satélite na órbita prevista: os vãos tecnológicos aumentam as chances de sucesso do voo operacional, pois neles são sanadas deficiências do veículo e de seus meios de solo.

### Mérito OPORTUNIDADES

**Critério 1:** Estabelecimento da credibilidade do programa espacial: refere-se aos efeitos do sucesso do ensaio em voo de um VLS-1 na credibilidade do programa espacial com respeito ao veículo lançador. O aumento da credibilidade é necessário para a continuidade dos investimentos em recursos humanos e financeiros para projetos desta natureza.

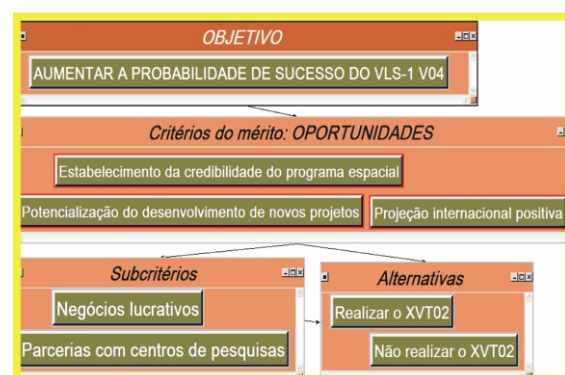


Figura 11: Estrutura hierárquica do mérito OPORTUNIDADES



**Critério 2:** Potencialização do desenvolvimento de novos projetos: refere-se a novos projetos que promoverão o desenvolvimento tecnológico do país e que possam competir no mercado internacional de veículos lançadores.

**Critério 3:** Projeção internacional positiva: pode se revelar importantíssima devido à necessidade de troca de experiências com centros de pesquisas internacionais e aos ganhos para o país. Este critério possui como subcritérios a parceria com centros de pesquisas e negócios lucrativos.

**Subcritério 1:** Negócios lucrativos: na missão do IAE como uma instituição de ciência e tecnologia, o ganho é relativo ao desenvolvimento do país, com desdobramentos de natureza econômica, como se tem verificado em países como os EUA e a França, fomentando a indústria aeroespacial e a capacitação de recursos humanos. Visa também disseminar o conhecimento adquirido na sociedade e no mercado nacional, os *spin-offs* gerados pelos projetos de alta complexidade tecnológica, e contribuir para o desenvolvimento tecnológico do país.

**Subcritério 2:** Parceria com centros de pesquisas: esta parceria, principalmente com os centros de pesquisas de renome internacional nas atividades espaciais, é de vital importância para o programa espacial brasileiro, traduzindo-se em benefícios através da troca de conhecimento e na parceria com projetos de interesse.

Como exemplo, pode-se citar a parceria com o DLR (Agência Espacial Alemã) no desenvolvimento do VSB-30, que gerou uma excelente oportunidade de aquisição de conhecimento e de treinamento de equipes. Nesta parceria, o DLR adquire anualmente, no mínimo dois foguetes de sondagem do Brasil para atender às necessidades de lançamento de cargas úteis, em que ocorre participação de técnicos e engenheiros do IAE.

Os resultados do projeto permitem sua transferência para a indústria nacional, gerando riqueza e desenvolvimento de inovação tecnológica para o país.

### Mérito CUSTOS

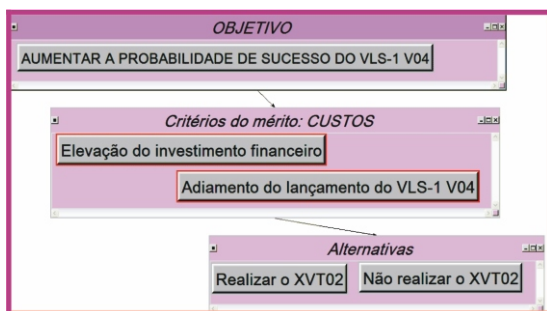


Figura 12: Estrutura hierárquica do mérito CUSTOS.

**Critério 1:** Elevação do investimento financeiro: este é um preço a ser pago pelos cofres públicos, elevando-se a cada ensaio, principalmente em voo, que vai gerar um custo sem

a inserção em órbita de satélites, com proveito pela sociedade.

**Critério 2:** Adiamento do lançamento do VLS-1 V04: como este é o veículo que portará o satélite cliente, quanto mais testes forem feitos, mais tardio será o lançamento do V04, ou outro desenvolvimento de um novo veículo, pois as equipes de projeto e de lançamento são muito reduzidas e não há condições de preparar veículos em paralelo.

### Mérito RISCOS

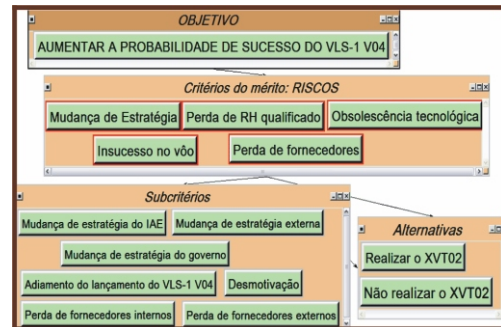


Figura 13: Estrutura hierárquica do mérito RISCOS

**Critério 1:** Mudança de Estratégia: refere-se ao risco de que com o passar do tempo o projeto fique sujeito a mudanças estratégicas que possam comprometer sua continuidade. Este critério possui como subcritérios a Mudança de estratégia do IAE, a Mudança de estratégia externa e a Mudança de estratégia do governo.

**Subcritério 1:** Mudança de estratégia do IAE: refere-se às mudanças de estratégia nas prioridades do IAE que podem afetar o Projeto VLS-1.

**Subcritério 2:** Mudança de estratégia externa: neste caso refere-se ao CTA, ao Ministério da Defesa e até mesmo a outros países que fornecem sistemas complexos e restam serviços ao Projeto VLS-1.

**Subcritério 3:** Mudança de estratégia do governo: refere-se ao órgão financiador que cada vez mais exige resultados e questiona eventuais atrasos no projeto.

**Critério 2:** Perda de RH qualificado: Esta é uma situação que cada vez se agrava, pois os recursos humanos qualificados estão deixando a Instituição, ora por aposentadoria ou por migrar para a iniciativa privada.

**Critério 3:** Obsolescência tecnológica: o risco da obsolescência do veículo lançador face às necessidades do mercado mundial de compra de lançadores, que cresce e evolui rapidamente.

**Critério 4:** Insucesso no voo: se o XVT02 não cumprir a missão prevista, será necessário decidir entre efetuar novo voo tecnológico, com o conseqüente atraso do V04 ou manter o voo operacional na sequência. O fator decisivo será o tipo de falha ocorrida. Se for considerada mitigável, o

V04 será o próximo vôo. Este critério possui como subcritérios o Adiamento do lançamento do VLS-1 V04 e a Desmotivação.

Subcritério 1: Adiamento do lançamento do VLS-1 V04: no caso de um insucesso do XVT02 e de ser decidido fazer um outro vôo tecnológico, o lançamento do V04 será mais uma vez adiado, comprometendo a qualificação e a continuidade do projeto.

Subcritério 2: Desmotivação: um possível insucesso no XVT02, a menos que seja muito bem tratado psicologicamente, pode ser um fator determinante na motivação da equipe e causar danos na credibilidade do projeto.

Critério 5: Perda de Fornecedores: refere-se à perda de fornecedores de sistemas complexos adquiridos no mercado internacional e demais sistemas e serviços no mercado nacional. Dos produtos adquiridos para o VLS-1, muitos estão fora de linha de produção das empresas fornecedoras devido à evolução dos produtos, não compensando a continuidade do fornecimento, devido à pequena demanda de aquisição. Para qualificar novos fornecedores é preciso investir tempo e recursos financeiros. Este critério possui como subcritérios a Perda de fornecedores internos e a Perda de fornecedores externos.

Subcritério 1: Perda de Fornecedores Internos: refere-se aos fornecedores no mercado nacional.

Subcritério 2: Perda de Fornecedores Externos: refere-se aos fornecedores no mercado internacional.

Etapa 2: Coleta dos julgamentos par a par dos decisores. Nesta etapa, foram realizadas as comparações par a par dos critérios de um determinado nível, com os critérios do nível imediatamente superior. Para efetuar o julgamento, os decisores receberam um questionário com as matrizes de decisão de comparação. A Escala Fundamental de Saaty foi utilizada para representar numericamente as preferências, tanto quantitativas como qualitativas, e realizar os julgamentos par a par.

Etapa 3: Construção das matrizes de decisão. Nesta etapa, constroem-se as matrizes de decisão, elaboradas com os valores dos julgamentos do grupo decisor e a matriz de pesos dos méritos BOCR, denominados b,o,c,r, mostrados na Fig. 14.

|                  | Benefícios | Custos | Oportunidades |
|------------------|------------|--------|---------------|
| 1. Benefícios    | 1          | 0,5    | 2             |
| 2. Benefícios    | 2          | 0,5    | 1             |
| 3. Benefícios    | 1          | 0,5    | 2             |
| 4. Custos        | 0,5        | 1      | 0,5           |
| 5. Custos        | 0,5        | 1      | 0,5           |
| 6. Oportunidades | 2          | 0,5    | 1             |

Figura 14: Matriz de decisão

Estes pesos identificam a diferença de importância entre os méritos do problema, no julgamento do grupo de decisores conforme mostrado na Fig. 15. A figura mostra um exemplo de matriz de julgamentos das alternativas de “Fazer o XVT02” à esquerda e “Não fazer o XVT02” à direita da linha de pesos, sob o critério Qualificação de novos sistemas em vôo. O peso (julgamento) foi 9 à esquerda, que significa que para este decisor, “Fazer o XVT02” é extremamente mais importante do que “Não fazer o XVT02” sob o ponto de vista do critério citado acima.

|                      | Fazer o XVT02 | Não fazer o XVT02 |
|----------------------|---------------|-------------------|
| 1. Fazer o XVT02     | 9             | 0,111             |
| 2. Não fazer o XVT02 | 0,111         | 1                 |

Figura 15: Matriz de julgamentos das alternativas sob o critério Qualificação de novos sistemas em vôo.

A Figura 16 mostra o resultado da agregação individual de julgamentos (AIJ) entre os critérios do mérito Benefícios. Ou seja, na linha destacada da Fig. 16, pensando-se nos benefícios, a pergunta é:

O critério “Constatação do funcionamento de sistemas” é quanto mais importante do que o “Levantamento de Dados”?

|                                       | 1. Aumentar sucesso VLS-1 V04 | 2. Aumentar sucesso VLS-1 V04 | 3. Aumentar sucesso VLS-1 V04 | 4. Aumentar sucesso VLS-1 V04 | 5. Aumentar sucesso VLS-1 V04 | 6. Conhecimento adquirido | 7. Conhecimento adquirido | 8. Conhecimento adquirido | 9. Conhecimento adquirido | 10. Constatacao funcionamento sistema | 11. Constatacao funcionamento sistema | 12. Constatacao funcionamento sistema | 13. Levantamento de dados | 14. Levantamento de dados | 15. Operacionalidade equipes |
|---------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------------|
| 1. Aumentar sucesso VLS-1 V04         | 1                             | 0,5                           | 0,5                           | 0,5                           | 0,5                           | 0,5                       | 0,5                       | 0,5                       | 0,5                       | 0,5                                   | 0,5                                   | 0,5                                   | 0,5                       | 0,5                       | 0,5                          |
| 2. Aumentar sucesso VLS-1 V04         | 0,5                           | 1                             | 0,5                           | 0,5                           | 0,5                           | 0,5                       | 0,5                       | 0,5                       | 0,5                       | 0,5                                   | 0,5                                   | 0,5                                   | 0,5                       | 0,5                       | 0,5                          |
| 3. Aumentar sucesso VLS-1 V04         | 0,5                           | 0,5                           | 1                             | 0,5                           | 0,5                           | 0,5                       | 0,5                       | 0,5                       | 0,5                       | 0,5                                   | 0,5                                   | 0,5                                   | 0,5                       | 0,5                       | 0,5                          |
| 4. Aumentar sucesso VLS-1 V04         | 0,5                           | 0,5                           | 0,5                           | 1                             | 0,5                           | 0,5                       | 0,5                       | 0,5                       | 0,5                       | 0,5                                   | 0,5                                   | 0,5                                   | 0,5                       | 0,5                       | 0,5                          |
| 5. Aumentar sucesso VLS-1 V04         | 0,5                           | 0,5                           | 0,5                           | 0,5                           | 1                             | 0,5                       | 0,5                       | 0,5                       | 0,5                       | 0,5                                   | 0,5                                   | 0,5                                   | 0,5                       | 0,5                       | 0,5                          |
| 6. Conhecimento adquirido             | 0,5                           | 0,5                           | 0,5                           | 0,5                           | 0,5                           | 1                         | 0,5                       | 0,5                       | 0,5                       | 0,5                                   | 0,5                                   | 0,5                                   | 0,5                       | 0,5                       | 0,5                          |
| 7. Conhecimento adquirido             | 0,5                           | 0,5                           | 0,5                           | 0,5                           | 0,5                           | 0,5                       | 1                         | 0,5                       | 0,5                       | 0,5                                   | 0,5                                   | 0,5                                   | 0,5                       | 0,5                       | 0,5                          |
| 8. Conhecimento adquirido             | 0,5                           | 0,5                           | 0,5                           | 0,5                           | 0,5                           | 0,5                       | 0,5                       | 1                         | 0,5                       | 0,5                                   | 0,5                                   | 0,5                                   | 0,5                       | 0,5                       | 0,5                          |
| 9. Conhecimento adquirido             | 0,5                           | 0,5                           | 0,5                           | 0,5                           | 0,5                           | 0,5                       | 0,5                       | 0,5                       | 1                         | 0,5                                   | 0,5                                   | 0,5                                   | 0,5                       | 0,5                       | 0,5                          |
| 10. Constatacao funcionamento sistema | 0,5                           | 0,5                           | 0,5                           | 0,5                           | 0,5                           | 0,5                       | 0,5                       | 0,5                       | 0,5                       | 1                                     | 0,5                                   | 0,5                                   | 0,5                       | 0,5                       | 0,5                          |
| 11. Constatacao funcionamento sistema | 0,5                           | 0,5                           | 0,5                           | 0,5                           | 0,5                           | 0,5                       | 0,5                       | 0,5                       | 0,5                       | 0,5                                   | 1                                     | 0,5                                   | 0,5                       | 0,5                       | 0,5                          |
| 12. Constatacao funcionamento sistema | 0,5                           | 0,5                           | 0,5                           | 0,5                           | 0,5                           | 0,5                       | 0,5                       | 0,5                       | 0,5                       | 0,5                                   | 0,5                                   | 1                                     | 0,5                       | 0,5                       | 0,5                          |
| 13. Levantamento de dados             | 0,5                           | 0,5                           | 0,5                           | 0,5                           | 0,5                           | 0,5                       | 0,5                       | 0,5                       | 0,5                       | 0,5                                   | 0,5                                   | 0,5                                   | 1                         | 0,5                       | 0,5                          |
| 14. Levantamento de dados             | 0,5                           | 0,5                           | 0,5                           | 0,5                           | 0,5                           | 0,5                       | 0,5                       | 0,5                       | 0,5                       | 0,5                                   | 0,5                                   | 0,5                                   | 0,5                       | 1                         | 0,5                          |
| 15. Operacionalidade equipes          | 0,5                           | 0,5                           | 0,5                           | 0,5                           | 0,5                           | 0,5                       | 0,5                       | 0,5                       | 0,5                       | 0,5                                   | 0,5                                   | 0,5                                   | 0,5                       | 0,5                       | 1                            |

Figura 16: Matriz de julgamentos pela AIJ, de critérios do mérito BENEFÍCIOS.

A escala de pesos é visualizada na tela do *Software Super Decisions*. Este *software* foi escolhido para dar o apoio de cálculo deste trabalho pela sua acessibilidade na rede, simplicidade de utilização e por ser o método mais apropriado para o estudo de caso do projeto, auxiliando os analistas e decisores na construção dos julgamentos.

Etapa 4: Obtenção dos autovalores e autovetores das matrizes de decisão. Nesta etapa, realiza-se a agregação individual de julgamentos (AIJ) e os resultados

sintetizados. Para os méritos do problema, a Tab. 3 mostra os vetores de prioridades de cada mérito, calculados pela agregação dos julgamentos dos decisores.

Tabela 3: Vetor de Prioridade dos méritos BOCR.

| MÉRITOS      | Benefícios | Oportunidades | Custos   | Riscos   |
|--------------|------------|---------------|----------|----------|
| <b>Pesos</b> | 0,482850   | 0,225457      | 0,113735 | 0,177958 |

Etapa 5: Determinação da Razão de Consistência (RC) da matriz de decisão. No *software SuperDecisions*, calcula-se a razão de consistência de cada julgamento, tanto das alternativas em função dos critérios quanto dos subcritérios em função dos critérios e dos critérios em função dos méritos.

Etapa 6: Verificação da consistência dos julgamento. Nos resultados apresentados na decisão do grupo, os julgamentos inseridos nas matrizes de decisão dos critérios em função dos méritos ficaram dentro do limite de tolerância conforme pode-se observar na Fig. 17 para o mérito “BENEFÍCIOS”, quanto à matriz de decisão da Fig. 16.

| Rank | Row                                      | Col                                      | Current Val | Best Val | Dev Inconsist | New Inconsist | % Improvement |
|------|------------------------------------------|------------------------------------------|-------------|----------|---------------|---------------|---------------|
| 1    | Constatacao funcionamento sistemas       | Qualificacao de sistemas                 | 1,194600    | 1,486710 | 0,01217       | 0,005443      | 51,48 %       |
| 2    | Insercao do satellite na orbita prevista | Levantamento de dados                    | 1,376200    | 1,090683 | 0,01217       | 0,008244      | 26,50 %       |
| 3    | Levantamento de dados                    | Qualificacao de sistemas                 | 1,353000    | 1,000091 | 0,01217       | 0,009020      | 19,58 %       |
| 4    | Operacionalidade equipes                 | Qualificacao de sistemas                 | 3,072603    | 2,348080 | 0,01217       | 0,009670      | 13,71 %       |
| 5    | Constatacao funcionamento sistemas       | Operacionalidade equipes                 | 1,731000    | 2,305517 | 0,01217       | 0,009915      | 11,61 %       |
| 6    | Constatacao funcionamento sistemas       | Insercao do satellite na orbita prevista | 1,231900    | 1,038485 | 0,01217       | 0,010192      | 9,13 %        |
| 7    | Insercao do satellite na orbita prevista | Qualificacao de sistemas                 | 1,013000    | 1,274324 | 0,01217       | 0,010200      | 9,07 %        |
| 8    | Conhecimento adquirido                   | Qualificacao de sistemas                 | 1,073700    | 1,063623 | 0,01217       | 0,010723      | 4,42 %        |
| 9    | Conhecimento adquirido                   | Insercao do satellite na orbita prevista | 1,294603    | 1,152785 | 0,01217       | 0,011037      | 1,60 %        |
| 10   | Conhecimento adquirido                   | Levantamento de dados                    | 1,225400    | 1,100513 | 0,01217       | 0,011071      | 1,30 %        |
| 11   | Constatacao funcionamento sistemas       | Levantamento de dados                    | 1,161599    | 1,066783 | 0,01217       | 0,011104      | 1,00 %        |
| 12   | Levantamento de dados                    | Operacionalidade equipes                 | 2,225200    | 2,337740 | 0,01217       | 0,011190      | 0,23 %        |
| 13   | Insercao do satellite na orbita prevista | Operacionalidade equipes                 | 2,225200    | 2,172798 | 0,01217       | 0,011203      | 0,12 %        |
| 14   | Conhecimento adquirido                   | Operacionalidade equipes                 | 2,608400    | 2,630001 | 0,01217       | 0,011219      | -0,02 %       |
| 15   | Conhecimento adquirido                   | Constatacao funcionamento sistemas       | 1,263000    | 1,245156 | 0,01217       | 0,011229      | -0,11 %       |

Figura 17: Relatório de Análise da Consistência da matriz de decisão para o mérito BENEFÍCIOS.

Etapa 7: Sintetização dos vetores de prioridade. O vetor de prioridade, resultantes da comparação entre os méritos, são utilizados para determinação da alternativa global para o cálculo através da fórmula subtrativa (4) da abordagem BOCR. A fórmula multiplicativa (3) não considera a priorização dos méritos. No caso dos custos e riscos, quanto maior os valores, na fórmula multiplicativa, o denominador vai aumentar, reduzindo o resultado final. No caso da fórmula subtrativa, os custos e riscos são subtraídos no resultado final.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Mesmo com os valores dos custos e riscos agindo negativamente, os valores e pesos dos benefícios e oportunidades os superaram, o que significa que deve ser realizado o ensaio do XVT02, conforme mostrado na Tab. 4.

Tabela 4: Resultados dos vetores de prioridades na comparação de alternativas sob cada mérito

| Resultados Sintetizados |                   |             |          |          |        |
|-------------------------|-------------------|-------------|----------|----------|--------|
| MÉRITOS                 | Name              | Graphic     | Ideals   | Normals  | Rat    |
| BENEFÍCIOS              | Fazer o XVT02     | <div></div> | 1,000000 | 0,842924 | 0,4214 |
|                         | Nao fazer o XVT02 | <div></div> | 0,186347 | 0,157076 | 0,0789 |
| OPORTUNIDADES           | Fazer o XVT02     | <div></div> | 1,000000 | 0,747020 | 0,337  |
|                         | Nao fazer o XVT02 | <div></div> | 0,338652 | 0,252980 | 0,114  |
| CUSTOS                  | Fazer o XVT02     | <div></div> | 1,000000 | 0,620693 | 0,310  |
|                         | Nao fazer o XVT02 | <div></div> | 0,611102 | 0,379307 | 0,1896 |
| RISCOS                  | Fazer o XVT02     | <div></div> | 1,000000 | 0,607605 | 0,2372 |
|                         | Nao fazer o XVT02 | <div></div> | 0,645806 | 0,392395 | 0,1531 |

Observa-se pela Tabela 5 que a sintetização revela a mesma prioridade na alternativa global para as duas fórmulas utilizadas.

Tabela 5: Resultado do processo de agregação AIJ

|                     | B       | O       | C       | R       | F.S.                                | F.M.      |
|---------------------|---------|---------|---------|---------|-------------------------------------|-----------|
|                     | 0,4828  | 0,22546 | 0,1137  | 0,1779  | $b*B+o*O-c*C-r*R \quad (B*O)/(C*R)$ |           |
| <b>Realizar</b>     | 0,42146 | 0,33723 | 0,31935 | 0,23722 | 0,931585                            | 0,8621399 |
| <b>Não Realizar</b> | 0,07854 | 0,11420 | 0,18965 | 0,15320 | 0,06841492                          | 0,137860  |

F.S. Fórmula Subtrativa

F.M. Fórmula Multiplicativa

Esse resultado reflete o pensamento do grupo de decisores em torno da realização do ensaio, pela sua importância para a continuidade do projeto, contribuindo para realmente aumentar as probabilidades de sucesso no lançamento do VLS-1 V04.

## CONCLUSÕES

O objetivo de avaliar a decisão estabelecida em 2005 no projeto VLS-1 de realizar um ensaio em voo denominado XVT02, visando testar os sistemas do veículo lançador até chegar à órbita prevista, porém, sem transportar o satélite cliente foi atingido. Os resultados obtidos do estudo de caso mostram que a decisão do grupo se manteve, passados aproximadamente três anos da decisão tomada, pela realização do ensaio XVT02, visando a atingir com maior segurança o sucesso no projeto VLS-1.

Recomenda-se avaliar as decisões tomadas, pois com o desenvolvimento do projeto e o passar do tempo, o cenário pode se modificar e aquela decisão não ser a mais adequada.

A descrição do contexto do projeto VLS-1 foi necessária para a compreensão da complexidade do mesmo e, conseqüentemente, das decisões no âmbito deste projeto.

Para alcançar o objetivo foi utilizado o processo de análise de decisão multicritério, em que a etapa de estruturação do problema auxilia a análise dos critérios de avaliação para



escolha ou priorização entre as alternativas estabelecidas para solução do problema.

Dentre os métodos de apoio multicritério à decisão (AMD), foi escolhido, para aplicação no estudo de caso, o método AHP (Analytic Hierarchy Process), que se mostrou adequado devido à melhor adaptação das condições: (1) flexibilidade; (2) simplicidade; (3) facilidade de acesso ao software e bibliografia; (4) adequação às decisões em grupo; e, (5) adequação da abordagem BOCR com aplicação das fórmulas multiplicativa e subtrativa para calcular a avaliação global de cada alternativa, devido à natureza do estudo de caso.

Após análise dos resultados, observou-se que o pensamento do grupo foi direcionado unicamente para o sucesso do projeto, independente do custo ou tempo de desenvolvimento.

A etapa de estruturação do problema pode gerar uma oportunidade de discussão entre os especialistas, sendo esta uma atitude positiva e necessária para que as metas e decisões estejam sempre alinhadas com a missão da organização.

Finalmente, para melhorar a eficiência nos processos de tomada de decisão de problemas complexos, esta deve ser realizada em grupo e é recomendável que se faça uma análise estruturada do problema, definindo em grupo os critérios de avaliação, as alternativas, os julgamentos e a sintetização dos resultados.

Como sugestão para trabalhos futuros, propõe-se uma análise de cenários para avaliação do programa espacial brasileiro, utilizando o processo de análise de decisão multicritério. Os cenários considerados podem ser:

1. Cenários otimistas: recursos humanos qualificados em quantidade suficiente; recursos financeiros em quantidade suficientes e apoio administrativo eficiente; e,

2. Cenários pessimistas: falta de recursos humanos qualificados (fuga de cérebros); escassez de recursos financeiros; insucesso no voo do XVT01; mudança de estratégia da AEB; e, perda de fornecedores externos.

O estudo poderá apoiar as decisões institucionais e governamentais sobre os caminhos a seguir, sobre a alocação de recursos, enfim, gerando uma análise profunda sob diversos aspectos, diante dos problemas atuais da instituição e do país, levando-se também em consideração o custo e o tempo de desenvolvimento para continuidade do Programa Espacial Brasileiro.

## AGRADECIMENTOS

Aos professores, colegas e funcionários das instituições participantes, que colaboraram com boa vontade e competência para o desenvolvimento desse trabalho.

## REFERÊNCIAS

AEB, 2005 “Programa Nacional de Atividades Espaciais - PNAE”, MCT, Brasília, 114p.

BRASIL. Agencia Espacial Brasileira. AEB. Disponível em: <<http://www.aeb.org.br>>. Acesso em: 20 nov. 2007.

Clemen, R. T., 1996, “Making Hard Decisions: An Introduction to Decision Analysis”, 2ed. International Thomson, Belmont, CA, 664p.

Forman, E.; Gass, I. S. 2001, “The Analytic Hierarchy Process: An Exposition. Operations Research”, Vol.49, No. 4, pp.469-486. (Electronic version).

Gil, A. C., 1991, “Como Elaborar Projetos de Pesquisa”, 4 ed. Atlas, São Paulo.

Gomes, L. F. A. M.; Gomes, C. F. S.; Almeida, A., 2002, “Tomada de Decisão Gerencial: Enfoque Multicritério”, Atlas, São Paulo, 157p.

Gomes, L. F. A. M.; Araya, M. C. G.; Carignano, C., 2004, “Tomada de Decisões em Cenários Complexos. Pioneira” Thompson Learning, São Paulo.

Gomes, L. F. A. M.; Gomes, C. F. S.; Almeida, A. T., 2006, “Tomada de Decisão Gerencial: Enfoque Multicritério”, 2ed. Atlas, São Paulo.

INSTITUTO DE AERONÁUTICA E ESPAÇO. IAE. Disponível em: <<http://www.iae.cta.br>>. Acesso em: 10 set. 2007.

Oliveira, C.A.; Belderrain, M. C. N., 2008, “Considerações Sobre a Obtenção de Vetores de Prioridade no AHP”, Encontro Nacional de Docentes de Investigación Operativa, Posadas, Argentina.

Saaty, T. L., 1996, “The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation”, RWS Publications. Pittsburg.

Saaty, T. L., 2000, “Fundamentals of the Analytic Hierarchy Process”, RWS, Pittsburg.

Saaty, T. L.; Peniwati, P. 2008 “Group Decision Making: Draunng Out and Reconciling Differences”, Pittsburg: RWS, 384p.

Silva, E. L.; Menezes E. M. M., 2005, “Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação”, 4 ed., UFSC, Florianópolis, Brazil.

Silva, R. C., 2006, “Proposta de Método para Priorização de Alternativas por Múltiplos Critérios”, Dissertação de Mestrado, ITA, São José dos Campos, Brazil.