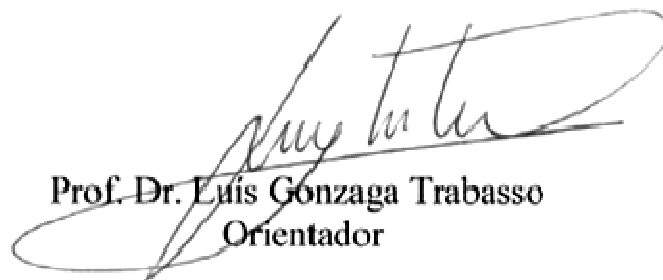


Tese apresentada à Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa do Instituto Tecnológico de Aeronáutica, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aeronáutica e Mecânica, área de Produção.

Sérgio Mitiharu Matsumoto

**PROPOSTA DE MÉTODO PARA A GESTÃO DE RISCOS EM  
PROJETOS DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA**

Tese aprovada em sua versão final pelos abaixo assinados:



Prof. Dr. Luis Gonzaga Trabasso  
Orientador

Prof. Dr. Celso Massaki Hirata  
Pró-Reitor de Pós-Graduação e Pesquisa

Campo Montenegro  
São José dos Campos, SP – Brasil  
2010

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**  
**Divisão de Informação e Documentação**

Matsumoto, Sérgio Mitiharu

Proposta de método para a gestão de riscos em projetos de inovação tecnológica / Sérgio Mitiharu Matsumoto.

São José dos Campos, 2010.

131f.

Tese de mestrado – Curso de Engenharia Aeronáutica e Mecânica. Área de Produção – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, ano. Orientadores: Prof. Dr. Luís Gonzaga Trabasso

1. Gerenciamento de Projetos. 2. Inovação Tecnológica. 3. Riscos. I. Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. Divisão de Engenharia Mecânica Aeronáutica. II. Proposta de método para a gestão de riscos em projetos de inovação tecnológica

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MATSUMOTO, Sérgio Mitiharu. **Proposta de método para a gestão de riscos em projetos de inovação tecnológica**. 2010. 138f. Tese (mestrado em Produção) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Sérgio Mitiharu Matsumoto

TÍTULO DO TRABALHO: Proposta de método para a gestão de riscos em projetos de inovação tecnológica

TIPO DO TRABALHO/ANO: Tese / 2010

É concedida ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica permissão para reproduzir cópias desta tese e para emprestar ou vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta tese pode ser reproduzida sem a sua autorização do autor.

---

Sérgio Mitiharu Matsumoto

Rua Bertolino Cezário Santos, 122 – Bosque dos Eucaliptos

12233-180 – São José dos Campos – SP

# **Proposta de Método para Gestão de Riscos em Projetos de Inovação Tecnológica**

**Sérgio Mitiharu Matsumoto**

Composição da Banca Examinadora:

|   |            |         |
|---|------------|---------|
| Profª. Dra. Mischel Carmen Neyra Belderrain | Presidente | ITA     |
| Prof. Dr. Luís Gonzaga Trabasso             | Orientador | ITA     |
| Prof. Dr. Geilson Loureiro                  |            | ITA     |
| Prof. Dr. Paulo Tadeu de Mello Lourenção    |            | Embraer |

ITA

## Dedicatória

Tão diferentes em suas formas e aparências, há muito a ciência nos ensina que tanto o carvão, o grafite ou o diamante são feitos do mesmo material: simplesmente, carbono! O que os difere, além do valor financeiro de cada um, é a sua microestrutura, ou seja, como os átomos se organizam para fornecer propriedades superiores.

Com os seres humanos não é diferente, somos todos iguais em nossa constituição. O que nos difere uns dos outros é o como nos moldamos internamente, em nossa psique, valores e morais para alcançar qualidades superiores, nos tornando cada vez mais fortes e valorosos para nossas famílias, nossos amigos e, para a sociedade.

Curiosamente, este tema remete a uma sábia frase: “um diamante é um pedaço de carvão que se saiu muito bem sob pressão”. Este dito permite suscitar diversas reflexões, entre elas a de que o sucesso é atingido quando talhado por meio de árduo trabalho e resiliência. Saber superar as adversidades deve ser uma das qualidades de quem busca ser, um dia, “diamante”. Aos desafios que a vida nos reserva e que nos fazem crescer, o devido mérito.

Por fim, este trabalho só poderia ser dedicado àqueles que me ensinaram, há muito, o valor da sábia reflexão proferida pelo filósofo chinês Confúcio: “Há três métodos para ganhar sabedoria: primeiro, por reflexão, que é o mais nobre e demorado; segundo, por imitação, que é o mais fácil; e terceiro, por experiência, que é o mais amargo”.

Dedico este trabalho àqueles que, na minha busca pela sabedoria, tiveram paciência para comigo nas minhas teimosias e infindáveis horas de reflexão; aos que me ensinaram, com suprema maestria e nobreza, as verdades e os caminhos já trilhados e; aos que me permitiram alçar vôos cada vez mais altos, regojizando-se com os meus sucessos e alentando-me nos meus fracassos.

À minha amada esposa Fernanda e, aos meus queridos pais, Mario e Luiza, e aos meus irmãos, dedico este singelo trabalho.

## Agradecimentos

À minha adorada esposa Fernanda, sábia, amiga, companheira e cúmplice em todos os momentos desta jornada.

Aos meus pais Mário e Luiza, que me ensinaram as virtudes e valores do trabalho, estudo, honestidade, honra, família e amizade.

Aos meus irmãos Ana Elisabete, Silvia, Fernando, Cláudia, Beatriz e Marcelo, pelo apoio irrestrito e pelos conselhos e orientações dadas. Agradecimento extensível aos respectivos (maridos, esposas e agregados) e descendentes (meus adorados sobrinhos).

Ao meu orientador, Professor Gonzaga, pela inigualável maestria com que administrou a volatilidade dos meus interesses, orientando meus esforços e me mantendo entusiasmado nos momentos críticos.

Ao Rigobello, Marcelo e Régis, pela amizade, pela confiança depositada, pelas oportunidades dadas, pelo apoio sempre presente e pelo exemplo que são para mim.

Ao Roger, pela consultoria prestada, pelo entusiasmo apresentado e pela paciência.

Aos professores e funcionários do ITA que me deram mais do que conhecimento e sabedoria, uma lição de vida, respeito, dignidade e integridade.

Aos senhores Luiz Bueno, Jânio Kono, Petrônio, Iram, Mário Selingardi e Amauri Montes do INPE, fantástico centro de excelência, pelas pesquisas desenvolvidas e pelas valorosas pessoas que conseguiu congregar. À minha irmã Ana Elisabete também.

Ao Hugo, Luciano, Múcio, Langeani, Patelli, Daniel, Atair, Lourenção, Claudiano, Giarola, Denise, Elaine, Makita, Gentil, Leonardos (Toledo e Guerra), Auler, Parizi, Denis, Acosta, Carlana, Marcos, Márcio, Fabrício, Prim, Gasparotti, Vitor, Glauco, Rosely, Micael e Francisco pelos aprendizados, amizades e estímulo em alçar vôos mais altos e mais distantes.

Aos amigos da UNIP e da VSE que tornam os desafios, superáveis; as conquistas, gratificantes; os fracassos, suportáveis e; a vida, mais alegre.

## Resumo

Projetos de Inovação Tecnológica são usualmente caracterizados pelas grandes interdependências existentes entre os subsistemas que compõem o produto final, pelos limitados recursos disponíveis (financeiros, de infra-estrutura, tempo ou pessoas), pela restritiva legislação a que se sujeita e, também pela necessidade do atendimento de níveis cada vez mais elevados de requisitos. O atendimento a esses requisitos é, em muitos casos, alcançado através da incorporação de novas tecnologias, sendo essenciais para a concepção de um produto de alto valor agregado. Neste cenário, a aplicação de novas tecnologias representa não apenas uma oportunidade de diferenciação, como também um elemento de alto risco que deve ser adequadamente gerenciado pelo projeto.

O presente trabalho propõe um novo método para gerenciar riscos tecnológicos em projetos de inovação. Este método é estruturado com base em ferramentas e metodologias largamente utilizadas, tanto na academia quanto nos ambientes empresariais, sendo os mais importantes: os conceitos do *Project Management Body of Knowledge* (PMBOK) para o gerenciamento de projetos; o *Design Structure Matrix* (DSM) para o estabelecimento de inter-relações entre os subsistemas; os conceitos do *Analytic Hierarchy Process* (AHP) para estabelecer a relação entre os diversos subsistemas e os requisitos e; o *Technology Readiness Level* (TRL) para medir o nível de maturidade das tecnologias adicionadas ao produto final.

Por fim, o trabalho apresenta a aplicação do método TRACER no subsistema Câmera MUX do satélite CBERS 3, de modo a exemplificar a possibilidade de identificação de elementos críticos ao projeto seja pela alta concentração de requisitos, elevada interdependência ou baixo grau de maturidade da tecnologia.

## **Abstract**

Technological Innovation Projects are usually characterized by the great integration among all subsystems that comprise the final product, by the limited resources available (financial, infrastructure, time and people), restrictive laws and also the need for attainment of higher levels of requirements. The attainment of such requirements is usually achieved through the incorporation of new technologies being essential for designing a product with high added value. In this scenario, the application of new technologies represents not only a differentiation opportunity, but also an element of high risk to be properly managed by the project.

This work proposes a new method to manage risks in projects of high technological innovation. This method is structured based on tools and methodologies widely used in both academic and business environment, namely: concepts of the Project Management Body of Knowledge (PMBOK) for project management, Design Structure Matrix (DSM) for the establishment of inter-relationships among subsystems, concepts of Analytic Hierarchy Process (AHP) to establish the relationship between all requirements and all subsystems and, Technology Readiness Level (TRL) to measure the maturity level of technologies to be added into the product.

Finally, this work presents the application of the TRACER method on MUX camera subsystem, of the CBERS 3 satellite, in order to identify the projects critical elements, by the high concentration of requirements, high interdependence or technologies low degree of maturity.



## Lista de Ilustrações

|   |    |
|---|----|
| Figura 2.1: Nove áreas do conhecimento que compõe a gestão de projetos (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2004). .....  | 29 |
| Figura 2.2: Perfil típico de evolução dos custos e do nível de engajamento da equipe ao longo do Ciclo de Vida do Projeto (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2004)..... | 30 |
| Figura 2.3: Influência dos <i>Stakeholders</i> e custo das modificações ao longo do Ciclo de Vida do Projeto (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2004).....              | 31 |
| Figura 2.4: Representação gráfica do relacionamento entre elementos (BROWNING <i>et al.</i> , 2002).....  | 32 |
| Figura 2.5: Relacionamento de dependência representado em uma Matriz DSM (BROWNING, 2001). .....  | 33 |
| Figura 2.6: Representação, em uma matriz DSM, do relacionamento entre elementos (YASSINE, 2004).....  | 33 |
| Figura 2.7: Formas de representação da interdependência em uma matriz DSM. ....   | 34 |
| Figura 2.8: Formas de representação da linha diagonal em uma matriz DSM.....  | 35 |
| Figura 2.9: Definição de <i>clusters</i> em uma matriz DSM. ....  | 37 |
| Figura 2.10: Estrutura hierárquica para um problema de AHP .....  | 39 |
| Figura 2.11: Similaridade entre o Ciclo de Vida do Produto e o Ciclo de Vida da Tecnologia (NOLTE, 2003) .....  | 45 |
| Figura 2.12: Impacto do nível de maturidade TRL no lançamento de alguns programas (UNITED STATES GENERAL ACCOUNTING OFFICE, 1999). ....                             | 46 |
| Figura 2.13: Risco da Introdução Tecnológica (adaptado de GREENFIELD, 1998). ....   | 50 |
| Figura 2.14: Perspectiva ilustrada de evolução dos custos no ciclo de maturação de uma tecnologia .....   | 52 |
| Figura 2.15: Grau de maturidade das tecnologias ao longo do projeto (adaptado de MANKINS, 2009a) .....  | 53 |
| Figura 2.16: Escala do grau de dificuldade da Pesquisa e Desenvolvimento (“R&D3”) (MANKINS, 2009a). ....  | 56 |
| Figura 2.17: Modelo de TRRA proposto por Mankins (2009a) para um programa genérico de P&D. ....   | 58 |
| Figura 3.1: Método proposto para Avaliação do Risco Tecnológico e Identificação de Elementos Críticos.....  | 59 |
| Figura 3.2: Desdobramento de Sistemas em Subsistemas.....   | 62 |
| Figura 3.3: Necessidades, atributos e relacionamentos em um modelo genérico de desenvolvimento de produtos complexo (adaptado de LOUREIRO, 1999). ....              | 64 |
| Figura 3.4: Estabelecimento da relação entre Requisitos e Subsistemas. ....   | 65 |
| Figura 3.5: Modelo de referência dos níveis de TRL. ....  | 68 |
| Figura 3.6: Matriz DSM de fornecimento entre subsistemas. ....  | 71 |
| Figura 3.7: Matriz DSM de demanda entre subsistemas. ....   | 72 |
| Figura 3.8: Apresentação gráfica das três dimensões para avaliação da criticidade de um subsistema.....   | 75 |
| Figura 3.9: Exemplos de resultados de criticidade indesejável (a) e desejável (b). ....   | 76 |
| Figura 4.1: Vista dos satélites desenvolvidos no Programa CBERS. (a) CBERS 1, 2 e 2B e (b) CBERS 3 e 4 (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2010). ....      | 78 |
| Figura 4.2: Vista da Câmera MUX (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2010).....  | 80 |
| Figura 4.3: Desdobramento dos principais componentes de um subsistema da Câmera MUX. ....   | 83 |
| Figura 4.4: Desdobramento dos principais requisitos de um subsistema da Câmera MUX. ...   | 84 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 4.5: Gráfico com os dados obtidos com a aplicação do método TRACER. ....                            | 95  |
| Figura 6.1: Método proposto para Avaliação do Risco Tecnológico e Identificação de Elementos Críticos..... | 102 |
| Figura 6.2: Proposta do gráfico do método TRACER com quatro dimensões.....                                 | 103 |

## Lista de Tabelas

|   |     |
|---|-----|
| Tabela 2.1: Tipos possíveis de interface entre sistemas (BROWNING, 2001). .....   | 36  |
| Tabela 2.2: Grau de interação entre sistemas (BROWNING, 2001).....  | 36  |
| Tabela 2.3: Relação entre número de Elementos e comparações em uma AHP (SAATY, 2008).....   | 40  |
| Tabela 2.4: Escala Fundamental de Saaty (SAATY, 2008). .....  | 40  |
| Tabela 2.5: Matriz de comparação entre sub-critérios à luz de um dado critério.....   | 41  |
| Tabela 2.6: Índice de Consistência Aleatória (RI) .....   | 42  |
| Tabela 2.7: Matriz de comparação par a par das alternativas à luz do sub-critério 1.1.....  | 43  |
| Tabela 2.8: Matriz de comparação do grau de importância entre alternativa e elemento .....  | 43  |
| Tabela 2.9: Descrição Básica de cada nível de TRL (NOLTE, 2003). .....  | 46  |
| Tabela 2.10: Avaliação da GAO sobre os maiores programas de aquisição da área de Defesa dos Estados Unidos (GAO <i>apud</i> AZIZIAN <i>et al</i> , 2009)..... | 48  |
| Tabela 2.11: Escala de Importância da Tecnologia (“TNV”) (MANKINS, 2009a). .....  | 57  |
| Tabela 3.1: Matriz de comparação entre Requisitos.....  | 65  |
| Tabela 3.2: Adaptação da Escala Fundamental de Saaty (2008) para comparação entre subsistemas. (continua).....  | 66  |
| Tabela 3.3: Matriz de comparação entre subsistemas para um determinado requisito. ....  | 67  |
| Tabela 3.4: Matriz de influência dos subsistemas para o atendimento dos requisitos. ....  | 67  |
| Tabela 3.5: Quadro de subsistema, tecnologia versus grau de maturidade. ....  | 69  |
| Tabela 3.6: Matriz para avaliação do nível de interdependência entre Subsistemas.....   | 70  |
| Tabela 3.7: Graduação do nível de dependência. ....   | 70  |
| Tabela 3.8: Tabela de avaliação da criticidade de cada subsistema. ....   | 74  |
| Tabela 4.1: Sumário das características das Câmeras do CBERS-3 e 4 (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2010). .....                                   | 79  |
| Tabela 4.2: Principais requisitos no desenvolvimento de uma câmera Multi-espectral (continua).....  | 83  |
| Tabela 4.3: Levantamento das prioridades dos requisitos para a Câmera MUX. ....   | 85  |
| Tabela 4.4: Normalização da matriz de prioridades dos requisitos para a Câmera MUX. ....  | 86  |
| Tabela 4.5: Relação de prioridades dos requisitos para a Câmera MUX. ....   | 86  |
| Tabela 4.6: Levantamento de prioridades entre os componentes da Câmera MUX para os requisitos Óticos. ....  | 88  |
| Tabela 4.7: Levantamento das prioridades entre os componentes da Câmera MUX.....  | 89  |
| Tabela 4.8: Grau de maturidade dos principais componentes da Câmera MUX. ....   | 90  |
| Tabela 4.9: Matriz de interdependência entre os componentes da Câmera MUX, com relação à demanda de informações, dados, energia e material. ....              | 91  |
| Tabela 4.10: Matriz de interdependência entre os componentes da Câmera MUX, com relação ao fornecimento de informações, dados, energia e material.....        | 92  |
| Tabela 4.11: Tabulação dos dados obtidos através do Método TRACER para a identificação dos componentes críticos.....  | 93  |
| Tabela 5.1: Análise comparativa entre os métodos TRRA proposto por Mankins (2009a) e TRACER. ....   | 98  |
| Tabela 6.1: Proposta do método TRACER com a inclusão da dimensão riscos. ....   | 103 |

## **Lista de Abreviaturas e Siglas**

AHP – *Analytic Hierarchy Process*

CAST – Academia Chinesa de Tecnologia Espacial

CBERS – Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres

CI – *Consistency Index*

CR – *Consistency Ratio*

CTE – *Critical Technology Elements*

DoD – *Department of Defense*

DSM – *Design Structure Matrix*

GAO – *United States General Accounting Office*

INCOSE – *International Council on Systems Engineering*

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

ITAR – *International Traffic in Arms Regulations*

MAMD – Métodos de Apoio Multicritério à Decisão

MRL – *Manufacturing Readiness Level*

MUXCAM – Câmera Multi Espectral

OECD – *Organization For Economic Co-Operation And Development*

P&D – Pesquisa e Desenvolvimento

PDP – Processo de Desenvolvimento do Produto

PERT – *Program Evaluation and Review Technique*

PMBOK – *Project Management Body of Knowledge*

PMI – *Project Management Institute*

PRL – *Programmatic Readiness Level*

R&D3 – *Research and Development Degree of Difficulty*

RI – *Random Consistency Index*

TNV – *Technology Need Value*

TRA – *Technology Readiness Assessment*

TRACER – *Technological Risk Assessment and Critical Elements Recognition*

*Method*

TRL – *Technology Readiness Level*

TRRA – *Technology Readiness and Risk Assessment*

## Sumário

|     |   |     |
|-----|---|-----|
| 1   | Introdução.....   | 15  |
| 1.1 | Contexto da Pesquisa .....  | 15  |
| 1.2 | Motivação.....  | 18  |
| 1.3 | Objetivos .....   | 20  |
| 1.4 | Metodologia de Pesquisa.....  | 21  |
| 1.5 | Organização do Trabalho .....   | 23  |
| 2   | Considerações Teóricas.....   | 25  |
| 2.1 | Inovação Tecnológica .....  | 25  |
| 2.2 | Gestão de Projetos.....   | 27  |
| 2.3 | DSM ( <i>Design Structure Matrix</i> ) .....  | 32  |
| 2.4 | AHP ( <i>Analytic Hierarchy Process</i> ):.....   | 37  |
| 2.5 | TRL ( <i>Technology Readiness Level</i> ) .....   | 44  |
| 2.6 | Aplicação conjunta do AHP, TRL e DSM.....   | 54  |
| 2.7 | Outros métodos de gestão de riscos em projetos de inovação tecnológica .....                      | 54  |
| 3   | Método Proposto – TRACER .....  | 59  |
| 3.1 | Etapa 1: Desdobrar e identificar Subsistemas e Tecnologias.....                                   | 61  |
| 3.2 | Etapa 2: Avaliar a contribuição dos Subsistemas no cumprimento dos requisitos .....               | 62  |
| 3.3 | Etapa 3: Avaliar o grau de maturidade das Tecnologias .....                                       | 68  |
| 3.4 | Etapa 4: Analisar a interdependência entre os subsistemas.....                                    | 69  |
| 3.5 | Etapa 5: Definir a criticidade de cada Subsistema .....   | 73  |
| 4   | Exemplo de Aplicação do Método Proposto – TRACER.....   | 77  |
| 4.1 | O subsistema .....  | 79  |
| 4.2 | Etapa 1: Desdobrar e identificar os componentes do Subsistema e Tecnologias.....                  | 82  |
| 4.3 | Etapa 2: Avaliar a contribuição dos componentes do Subsistema no cumprimento dos requisitos ..... | 83  |
| 4.4 | Etapa 3: Avaliar o grau de maturidade das Tecnologias .....                                       | 89  |
| 4.5 | Etapa 4: Analisar a interdependência entre os componentes do Subsistema .....                     | 90  |
| 4.6 | Etapa 5: Definir a criticidade de cada componente do Subsistema.....                              | 92  |
| 5   | Discussão.....  | 96  |
| 5.1 | Posicionamento .....  | 97  |
| 6   | Conclusão.....  | 100 |
| 6.1 | Recomendações e propostas para futuros trabalhos .....  | 101 |

|   |     |
|---|-----|
| Referências .....   | 104 |
| APÊNDICE A – Matrizes de comparação dos componentes da câmara MUX aplicando o método AHP modificado. .... | 109 |
| ANEXO I – Metodologias científicas aplicadas.....   | 116 |
| ANEXO II – Questões para Identificação de elementos tecnológicos críticos. ....                           | 121 |
| ANEXO III – Relação entre etapa do desenvolvimento e custos envolvidos. ....                              | 122 |
| ANEXO IV – Descrição detalhada do nível de maturidade tecnológica. ....                                   | 124 |
| ANEXO V – Questionário para avaliação do grau de maturidade.....  | 127 |

# 1 Introdução

Quando um processo de desenvolvimento do produto (PDP) passa a incorporar atividades de pesquisa e desenvolvimento (P&D), mais notadamente pesquisa básica e aplicada, grandes riscos são adicionados ao projeto como atrasos, aumento nos custos, produtos que não atendem plenamente às expectativas dos *stakeholders* e, em última instância, a não finalização do projeto.

A essência dos projetos de inovação tecnológica é a transformação de esforços e recursos disponíveis em processos e produtos que incorporem significativo diferencial competitivo, por meio da realização conjunta de atividades de pesquisa e desenvolvimento do produto. Sendo assim, a presença de um processo de gestão mais robusto passa a ser fundamental, principalmente neste contexto onde os recursos são escassos e existe uma forte demanda pelo cumprimento dos prazos e requisitos estabelecidos.

Por sua vez, tão maiores são as incertezas adicionadas ao processo de desenvolvimento quanto mais inovadoras e imaturas são as tecnologias a serem utilizadas ou incorporadas. Isso faz com que o monitoramento do processo de amadurecimento da tecnologia, por si só, não garanta o sucesso do projeto, mas seja elemento fundamental na predição de dificuldades e ajude na elaboração de planos de mitigação, elementos fundamentais da boa gestão de riscos em um projeto.

## 1.1 Contexto da Pesquisa

Em abril de 2007 o *The New York Times*, um dos mais conceituados diários dos Estados Unidos, publicou um artigo intitulado “*Emerging Markets, Emerging Giants*”



(HOLSTEIN, 2007) colocando em evidência uma tendência da economia mundial: empresas originárias de países em desenvolvimento estão cada vez mais buscando o desenvolvimento de seus produtos e a sua capacitação para se tornarem empresas globais.

Às vezes comparado a uma nova revolução industrial, a entrada destas novas multinacionais em mercados anteriormente considerados seguros, como o europeu e o norte-americano, deixou de ser há muito tempo uma simples questão de tarifação da importação ou outras medidas de reserva de mercado alçando, agora, cenários anteriormente pouco prováveis como fusões e aquisições.

Há muito que o único instrumento de alavancagem das empresas instaladas em países em desenvolvimento deixou de ser os baixos salários, mesmo sendo um cenário que ainda perdura em muitas economias, em muitas outras deixou de ser a única vantagem competitiva destas empresas. Nesta nova ordem econômica, o conhecimento também deixou de ser um artigo restrito a poucos, graças às virtudes da globalização, popularização dos meios de comunicação, disseminação do conhecimento, esforços governamentais em Pesquisa e Desenvolvimento, etc.

Outro fato relevante: os mesmos países sede das empresas citadas no artigo do *The New York Times* apresentaram, segundo dados levantados pela consultoria Booz Allen Hamilton, um crescimento nos gastos com P&D da ordem de 36,7% entre os anos de 1999 e 2004. Sendo que países desenvolvidos como os Estados Unidos e Japão apresentaram aumento no investimento inferior a um dígito (MANDL, 2005).

Todavia, o mesmo relatório da Booz Allen Hamilton enfatiza não haver uma correlação direta entre gastos com pesquisa e desenvolvimento e o sucesso de uma empresa refletido em dados como crescimento, lucratividade e retorno aos acionistas. A chave do sucesso reside em saber gastar direito o montante destinado ao P&D (JARUZELSKI *et al*, 2005).

Esta visão é corroborada pela afirmação de que o investimento em P&D possui reflexos na margem bruta das empresas, ou seja, se não pela criação de um diferencial competitivo que permita cobrar valores superiores pelo produto com as funcionalidades acrescentadas, pelo menos ajuda a reduzir os custos com produção, operação, projeto e desenvolvimento.

Tendo em mente que mais do que simplesmente gastar, para promover a inovação tecnológica é necessário saber aplicar os recursos corretamente, principalmente quando são tão escassas. Segundo Vicária (2006), no Brasil, essas fontes de recursos são majoritariamente governamentais, representando cerca de 60% do total investido, tornando a busca da eficiência e excelência na sua aplicação de tais recursos, elementos chaves para o processo de inovação.

Um segundo grande desafio na busca da excelência na inovação tecnológica é a de ser capaz de transformar o conhecimento produzido nas instituições de pesquisa em produto para a aplicação. Dados estatísticos estimam que cerca de 80% das teses publicadas nas universidades brasileiras não tiveram seus desdobramentos além do mundo acadêmico, não se traduzindo em benefícios para a indústria (VICÁRIA, 2006).

Excetuando-se os casos das inquestionáveis pesquisas básicas, essenciais para fomentar toda a base do desenvolvimento tecnológico, social e cultural, quando todo o investimento de tempo, conhecimento e dos escassos recursos físicos e financeiros não se traduzem na aplicação prática dos resultados da pesquisa ou no seu desdobramento em produtos, mais do que uma inadequação do uso do termo inovação tecnológica, há um evidente desperdício dos recursos.

Transpondo a visão para o meio empresarial, principalmente no tangente ao processo de pesquisa e inovação tecnológica, a importância da adequada gestão dos recursos dos projetos ganha novas dimensões por ser ele, essencialmente, o elo entre os resultados da inovação e os compromissos assumidos com os *stakeholders* e, em última instância, dos resultados financeiros. Neste cenário, garantir a sinergia entre pesquisa e aplicação não se traduz tão somente em bons produtos, mas principalmente, na garantia da competitividade da organização.

Em um ambiente dinâmico como a de gerenciamento de projetos, principalmente de inovação tecnológica, decisões devem ser tomadas sempre na expectativa de atingir as metas de custo, prazo e cumprimento dos requisitos definidos, também podendo ser interpretado como qualidade. Todavia, no decorrer do projeto, é usual que algumas decisões devam ser tomadas com o intuito de minimizar os danos, seja aumentando os custos, alongando os prazos ou flexibilizando os requisitos, mas sempre buscando o sucesso da empreitada.

## **1.2 Motivação**

Um processo de desenvolvimento do produto pode ser, por si só, altamente complexo quando envolve produtos com vários sistemas e subsistemas. Todavia tal nível de

complexidade pode ser aumentado de forma significativa quando são incorporadas ao processo tradicional de projeto de produto, atividades tipicamente de pesquisa que busquem desenvolver soluções que deverão ser incorporadas ao resultado final.

Este novo cenário faz com que a disponibilidade das tecnologias para a plena consecução do projeto se junte a diversos outros fatores, internos e externos ao projeto, que, direta ou indiretamente, afetam o processo de desenvolvimento como a proficiência das equipes, a cadeia de suprimentos, os processos de manufatura, as questões políticas locais e internacionais, os aspectos legais e, a economia de um mundo globalizado.

Tal conjunto de obstáculos faz com que, muitas vezes, estes projetos de inovação tecnológica encontrem significativos atrasos, aumentos de custos de desenvolvimento do produto final ou, até mesmo, o fracasso como resultado final, por mais bem estruturada que tenham sido o seu planejamento e execução. Anular os riscos existentes seria o desejável, todavia o esforço a ser demandado tornaria o empreendimento inviável fazendo com que a adequada gestão destes riscos se torne a melhor opção.

Gerenciar riscos é uma prática comum em grandes projetos podendo ter diferentes focos: riscos de infringir propriedade intelectual (patentes, direitos autorais sobre programas de computador, desenho industrial, marcas, topologia de circuitos integrados, etc.) de terceiros, riscos financeiros (variação do câmbio, falta de crédito, etc.), riscos na disponibilidade de recursos (evasão da equipe, ausência de infra-estrutura, etc.), entre outros. Em projetos de inovação tecnológica um fator que ganha especial importância neste aspecto é o risco da disponibilidade de uma determinada tecnologia para aplicação dentro do cronograma de desenvolvimento.

Tais elementos tecnológicos críticos para o produto, ou seja, aqueles vistos como essenciais para o cumprimento de requisitos mandatórios, demandam um processo robusto de gestão que permita avaliar adequadamente o grau de maturidade em que se encontra, objetivando mitigar riscos e antecipar problemas.

Em termos práticos, a aplicação de tecnologias *off-the-shelf*, ou seja, totalmente maduras, seria o mais cômodo. Todavia, quando se busca incorporar em um produto um diferencial competitivo significativo, uma postura mais ousada é exigida requerendo muitas vezes o desenvolvimento concomitante da pesquisa tecnológica e do projeto de produto.

### **1.3 Objetivos**

O objetivo principal que norteia o desenvolvimento deste trabalho é propor um método de análise de risco tecnológico para gestores de projetos de inovação que os auxilie no acompanhamento do desenvolvimento e nos processos de tomada de decisão, baseado em conceitos e metodologias bem sedimentadas e consolidadas no meio acadêmico e empresarial.

Dentro deste foco, o trabalho estabelece como objetivos específicos, os pontos listados abaixo:

- Desenvolver um método de análise de risco tecnológico, focado principalmente na identificação de elementos tecnologicamente críticos, para ser aplicado em projetos de inovação;
- Utilizar-se, para a proposição do método, de metodologias bem sedimentadas nos principais meios de P&D, buscando intensificar a aderência ao propósito prático da pesquisa;

- Aplicar o método proposto em um exemplo, avaliando seus resultados de modo a substanciar corroborar ou refutar as expectativas e;
- Elaborar recomendações para a melhoria do método proposto, continuidade nas pesquisas ou novos trabalhos que possam vir a agregar ao método apresentado.

#### **1.4 Metodologia de Pesquisa**

Fundamental para uma adequada estruturação metodológica da pesquisa em curso, a definição dos métodos aplicados devem ser vistos como uma das bases para o adequado levantamento e análise das informações e para uma efetiva argumentação dos resultados obtidos.

A definição das metodologias de pesquisa aplicadas deve ser feita não só em função das demandas da pesquisa, mas, em grande parte, em função das restrições e limitações que o ambiente e as condições impõem. Desta forma, ganha grande importância a análise da viabilidade e exequibilidade das metodologias a serem utilizadas, as condições de contorno consideradas e, eventualmente, as hipóteses assumidas.

O meio acadêmico possui à sua disposição uma profícua literatura acerca das metodologias de pesquisa científica, cada qual adequada para diferentes cenários e em diferentes contextos. Uma síntese das principais metodologias difundidas é apresentada no ANEXO I. Para o desenvolvimento da pesquisa desta dissertação, algumas metodologias foram escolhidas de forma a melhor direcionar o empreendimento dos esforços e a busca dos resultados.

A origem prática da demanda desta pesquisa, conforme apresentada no Capítulo 1, ressalta a sua Natureza Aplicada (SILVA *et al*, 2001), uma vez que a expectativa é a proposição de um método de trabalho que permita uma aplicação prática para a análise em casos reais.

O enfoque dado neste trabalho, voltado para o desenvolvimento e proposição de um novo método de identificação e análise de riscos tecnológicos em projetos de P&D de grande viabilidade, permite caracterizar o trabalho como uma Pesquisa Exploratória. Todavia, é necessário atribuir características de Pesquisa Descritiva em função da análise realizada quanto à factibilidade de sua aplicação (GIL, 1991) através do uso do estudo de caso descrito no Capítulo 6. Ao estruturar o método baseado em metodologias largamente disseminadas como o *Analytic Hierarchy Process* (AHP), *Technology Readiness Level* (TRL) e *Design Structure Matrix* (DSM), descritos no Capítulo 4, expressa o Método Dedutivo como método escolhido de pesquisa, uma vez que o intuito é utilizar conceitos já bem disseminados e, com base nelas, propor um novo (LAKATOS *et al*, 1997).

O trabalho aborda o problema por intermédio de Pesquisas Qualitativas, uma vez que o intuito é a compreensão acerca da validade do método proposto e suas implicações avaliando qualitativamente o seu desempenho e, não necessariamente, uma avaliação quantitativa do processo (MARTINS, 1998). Este tipo de avaliação é de difícil parametrização em processos tão diversificados e específicos como os de P&D.

Com vista a levantar evidências que corroborem a validade do método para o propósito almejado, é realizado um Estudo de Caso apresentado no Capítulo 6, como método de procedimento de pesquisa (MARTINS, 1998). Esse método utiliza como instrumentos de

pesquisa, registros de projetos já desenvolvidos e, possivelmente, alguma entrevista com gestores para avaliar, conceitualmente a validade do método ((YIN, 2009) e (GIL, 1991)).

### **1.5 Organização do Trabalho**

O presente trabalho está organizando, em síntese, em três grandes tópicos, a saber:

- a. Contextualização: destinada a apresentar a motivação para o desenvolvimento da dissertação, os objetivos almejados, os métodos aplicados e a teoria utilizada, agregadas nos Capítulos 1 e 2;
- b. Desenvolvimento: parte da dissertação focada na apresentação e explanação do método proposto, seu conteúdo é apresentado nos Capítulos 3 e 4;
- c. Fechamento: parte onde são expostos os argumentos relativos ao atendimento dos objetivos propostos e desempenho do método frente ao proposto. É composta pelo Capítulo 5 e 6.

Com o propósito de apresentar a gênese da dissertação, o Capítulo 1 apresenta uma introdução ao contexto de pesquisa e desenvolvimento tecnológicos, sua importância e especificidade quando se trata de projetos desta natureza e o seu papel nas economias das organizações.

Projetos de inovação tecnológica, via de regra, apresentam ciclos de vida longos, altos valores desembolsados e um número pequeno de empresas plenamente aptas à execução deste tipo de empreendimento. Condizente a este cenário, também é atribuída ao Capítulo 1 a apresentação das metodologias de pesquisa aplicadas no desenvolvimento da dissertação, correlacionando as estratégias de estudo e hipóteses assumidas com as restrições existentes. Este capítulo também congrega os objetivos gerais e específicos que norteiam a pesquisa e,



por fim, uma síntese de toda a estrutura que compõe esta dissertação e suas correlações, para o pleno entendimento deste trabalho.

Fundamental para finalizar a contextualização, o Capítulo 2 apresenta os principais conceitos teóricos utilizados para o desenvolvimento deste trabalho sem se ater, entretanto, às nuances ou às minuciosas discussões acerca das diversas variantes de um mesmo método. Aqui são apresentados os conceitos aplicados de Inovação Tecnológica, Gestão de Projetos, DSM, AHP e TRL.

O Capítulo 3 concentra o cerne deste trabalho, apresentando o método proposto para reconhecimento de elementos críticos, dentro de um projeto de inovação tecnológica por meio da avaliação do risco tecnológico existente.

Para verificação do método teórico proposto, o Capítulo 4 apresenta um estudo de caso que visa apresentar, utilizando-se de dados reais, a viabilidade da proposta e os resultados alcançados com a sua aplicação.

Uma discussão acerca das potencialidades do método e seu posicionamento frente a métodos similares estão apresentados no Capítulo 5, onde é feito um comparativo do TRACER com o TRRA.

Finalizando o estudo desenvolvido, o Capítulo 6 apresenta as conclusões do trabalho, avaliando os pontos fortes e fracos do método, melhorias necessárias para sua plena aplicação e sugestões de futuros trabalhos para aumentar a robustez do que está sendo proposto.

## **2 Considerações Teóricas**

Sendo o intuito da tese a proposição de um método de análise de risco tecnológico em novos projetos, baseados em conceitos e metodologias bem sedimentados e consolidados, os mesmos serão sucintamente apresentados neste capítulo para referenciar os conceitos utilizados. A seguir uma breve descrição de cada conceito e método.

### **2.1 Inovação Tecnológica**

Primeiramente cunhado pelo economista Joseph Alois Schumpeter em seu livro Teoria do Desenvolvimento Econômico, de 1911, o termo Inovação Tecnológica foi definido como sendo: a introdução de um novo bem, ou de uma nova qualidade com a qual os consumidores ainda não estão familiarizados; a introdução de um novo método de produção que ainda não tenha sido testado pela indústria de transformação e que, de algum modo, precisa estar baseado em uma descoberta científica nova, que pode constituir uma nova maneira de comercializar uma mercadoria; a abertura de um novo mercado, em que um ramo particular da indústria de transformação do país em questão não tenha entrado; a conquista de uma nova fonte de oferta de matérias-primas ou de bens semimanufaturados, independentemente do fato de essa fonte já existir ou ter que ser criada ou; o estabelecimento de uma nova organização de qualquer indústria, como a criação de uma posição de monopólio ou a fragmentação de uma posição de monopólio (SCHUMPETER, 1982).

Tal esforço empreendido por Schumpeter na busca de uma definição para o termo Inovação Tecnológica refletia a sua visão acerca da sua importância para o crescimento e o desenvolvimento econômico das corporações e nações.

A dinâmica do mercado e a compreensão dos fenômenos envolvidos no desenvolvimento dos mercados fizeram com que, ao passar dos anos, outras definições fossem dadas ao termo Inovação Tecnológica como, por exemplo, a da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE). Em seu Manual Frascati define Inovação Tecnológica como sendo todo o esforço científico, tecnológico, organizacional, financeiro e comercial, incluindo o investimento na aquisição de conhecimento, que levará, ou poderá levar, à implementação de processos ou produtos tecnologicamente inovadores ou melhorados (ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT, 2002). Um complemento a esta definição é dada pelo Manual de Oslo, também compilado pela OCDE, onde se excluiu o termo “tecnológica”, buscando dissociar a definição de uma visão mais restrita e associada unicamente ao uso de plantas e equipamentos de alta tecnologia. Incluiu-se também o termo serviços de forma a contemplar, da mesma forma, toda a base de inovação gerada por meio de prestação de serviços.

Desta forma, o Manual de Oslo identifica quatro tipos de inovação que demandam um conjunto sensível de mudanças nas atividades da organização, podendo ser: inovações de produto, referentes a mudanças significativas na potencialidade dos produtos e serviços oferecidos, podendo ser novos ou importantes aperfeiçoamentos dos já existentes; inovações de processo, representados por mudanças significativas nos métodos de produção e distribuição; inovações organizacionais, traduzidos pela implementação de novas práticas de trabalhos, adoção de novas estratégias de relação externa ou novos métodos organizacionais e; inovações de marketing, que pode ser expresso através de mudanças no design do produto e embalagem, na promoção do produto e em novos métodos de estabelecimento de preços de bens e de serviços (ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT, 2007).

Quando focados no desenvolvimento de produtos tecnológicos inovadores, em geral surgem questões relativas à sua crescente complexidade caracterizadas principalmente pelo: crescente número de interfaces; múltiplos modos de operação; implantação que demandam um alto grau de automação; maior autonomia e confiabilidade; maior tolerância à falhas e; maior nível de segurança (CRISP II & FRANKE *apud* LOUREIRO, 1999).

Por sua vez, Prasad *apud* Loureiro (1999) acrescentou ao termo “produto complexo” uma realidade cada vez mais comum na atualidade, a complexidade também crescente dos processos de manufatura e das organizações para o desenvolvimento de produtos.

Neste trabalho, o termo Inovação Tecnológica será visto como o resultado da aplicação coordenada de esforços e recursos que gerem, ao seu final, um produto ou processo novo, ou com uma melhoria significativa que represente para o mercado um diferencial frente ao status atual.

## **2.2 Gestão de Projetos**

Mais do que a simples alocação de recursos, o estabelecimento de um projeto representa o compromisso da organização na busca de um resultado sendo, para isso, investidos recursos suficientes para o seu pleno desenvolvimento. À medida que o porte do projeto aumenta, aumenta também seu nível de complexidade demandando mais que uma boa equipe de execução, mas um modelo adequado de Gestão de Projeto.

Neste contexto, uma clássica definição para o termo Gestão de Projeto pode ser obtida no *Project Management Body of Knowledge* (PMBOK), editado pelo *Project Management*

*Institute* (PMI), onde é apresentada como sendo "a aplicação de conhecimentos, habilidades, ferramentas e técnicas de projeto em atividades de forma a buscar o atendimento de todos os requisitos" definidos para o projeto e para atender todas as necessidades e expectativas das partes envolvidas (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2004). Outra definição, muito adequada para sintetizar a complexidade dos aspectos envolvidos na Gestão de Projetos, é a de que o "gerenciamento de projetos é a arte de concluir um empreendimento dentro do prazo, do orçamento e de acordo com as especificações" (ASSAO, 2009).

De acordo com o PMI, a Gestão de Projetos consiste na aplicação conjunta de várias técnicas de gestão que visa dar instrumentos para alcançar as metas e os objetivos desejados, através da correta aplicação de nove áreas do conhecimento, conforme apresentada na Figura 2.1. Essas áreas são: (a) Gerenciamento de Integração do Projeto, centrada na coordenação dos processos, atividades e dos diversos elementos que compõem um projeto buscando a sinergia de seu funcionamento; (b) Gerenciamento do Escopo do Projeto, representada a delimitação e controle das atividades (que fazem e das que não fazem parte do projeto), de forma a buscar o atendimento dos objetivos do projeto; (c) Gerenciamento do Cronograma do Projeto, buscando o monitoramento da execução das atividades e atendimento dos prazos; (d) Gerenciamento dos Custos do Projeto, apresentado pela estimativa, orçamento e controle da aplicação dos recursos financeiros envolvidos; (e) Gerenciamento da Qualidade do Projeto, alcançado a partir do estabelecimento das métricas, planejamento, verificação e controle das medidas de qualidade; (f) Gerenciamento dos Recursos Humanos do Projeto, obtidos a partir do planejamento organizacional, montagem e desenvolvimento das equipes de trabalho; (g) Gerenciamento da Comunicação do Projeto, sintetizada a partir da definição das necessidades, geração, captura, distribuição e armazenamento das informações técnicas e administrativas; (h) Gerenciamento dos Riscos do Projeto, representada pela identificação, análise e respostas

aos diversos riscos envolvidos no projeto, e (i) Gerenciamento das Aquisições do Projeto, que engloba o planejamento, eleição de fornecedores e de mercadorias e de todo o processo de aquisição propriamente dita.

Concatenação das melhores práticas e das lições aprendidas ao longo de dezenas de anos, a gestão unívoca das nove áreas do conhecimento é fator essencial para se atingir os resultados desejados. Todavia, assim como citado por Assao (2009) para a Gestão da Comunicação, o modo como cada área do conhecimento é tratado no gerenciamento do projeto pode influenciar positiva ou negativamente para o sucesso do empreendimento sendo, por isso, fundamental a aplicação dos melhores modelos e buscar o contínuo aprimoramento dos mesmos face ao contínuo avanço dos estudos nesta área.



Figura 2.1: Nove áreas do conhecimento que compõe a gestão de projetos (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2004).

Todo o esforço aplicado nas nove áreas do conhecimento é, usualmente, alocado em intensidades diferentes nas diversas fases que compõem o Ciclo de Vida do Projeto (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2004).

Essas fases, separadas entre si por transferências técnicas ou entregas, visam estabelecer regras e métodos de avaliação que permitam aos tomadores de decisão analisar a possibilidade de dar prosseguimento ao projeto ou os riscos existentes em sua continuidade.

Usualmente, os projetos mais complexos possuem, pelo menos, três fases: Fase Inicial, onde são feitas atividades como a confirmação das oportunidades, estudos de viabilidade técnica e econômica e o planejamento para prosseguimento; Fases Intermediárias, que representam a aplicação de grande parte do esforço no processo de desenvolvimento e podem ser subdivididas em diversas fases, de acordo com a complexidade do produto e a necessidade de formalização entre as passagens de fase; Fase Final, que compreende as atividades de desmobilização das equipes e encerramento das atividades e atribuição das responsabilidades para o cumprimento e suporte ao ciclo de vida do Produto, assim como apresentado na Figura 2.2.

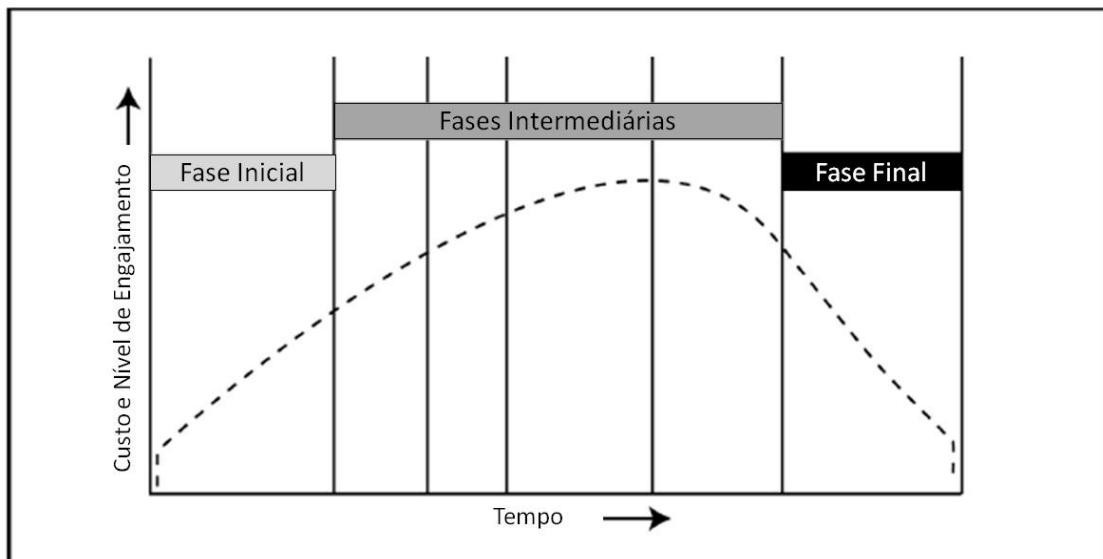


Figura 2.2: Perfil típico de evolução dos custos e do nível de engajamento da equipe ao longo do Ciclo de Vida do Projeto (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2004).

Ao longo do ciclo de vida de um projeto é possível verificar que os custos com pessoal e o nível de engajamento requerido são relativamente baixos no início e final do projeto, tendo seu pico ao longo das fases intermediárias.

Por sua vez, ao longo do ciclo de vida do projeto, a influência dos *stakeholders* diminui gradativamente ao seu decorrer. De forma inversa, os custos das modificações tendem a crescer exponencialmente com o andamento do processo de desenvolvimento (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2004), como é mostrado na Figura 2.3.

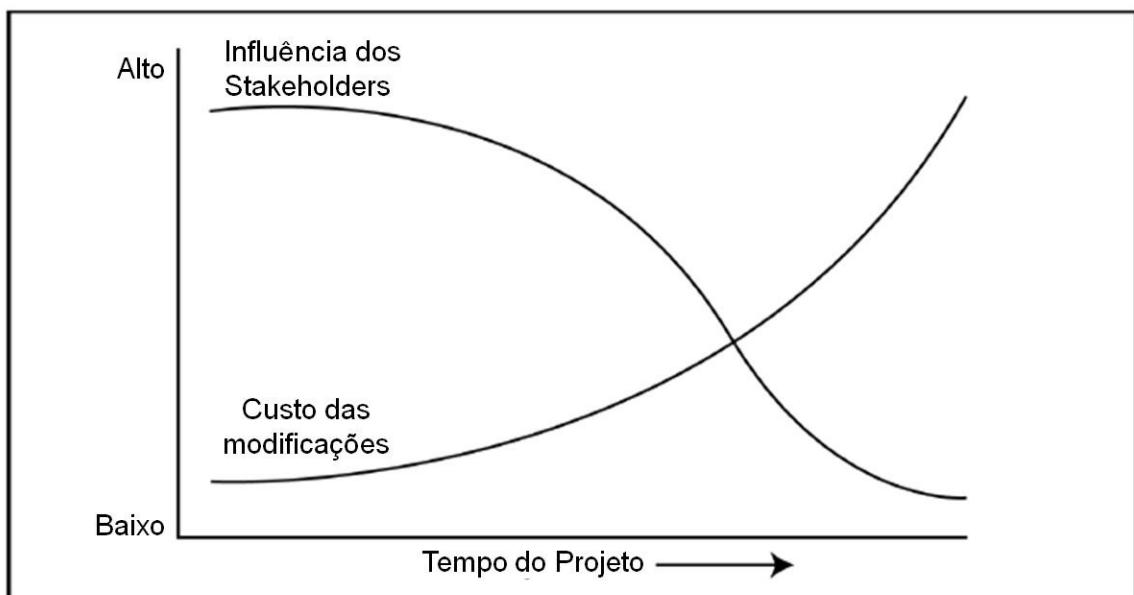


Figura 2.3: Influência dos *Stakeholders* e custo das modificações ao longo do Ciclo de Vida do Projeto (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2004).

Tal fato acentua a importância das definições assumidas na fase inicial do projeto, onde os requisitos e demandas dos usuários devem ser muito bem especificados e acompanhados ao longo do projeto. Como consequência, se fundamentada em boas bases técnicas e tecnológicas, a expectativa é que não ocorram muitas modificações no projeto, o que evitaria os custos das modificações.



### 2.3 DSM (*Design Structure Matrix*)

Também conhecida como “*Dependency Structure Matrix*”, “*Problem Solving Matrix*”, “*Design Precedence Matrix*” ou “*Dependency Source Matrix*”, o método “*Design Structure Matrix*” (DSM) consiste em modelar as relações entre os vários elementos de um sistema, equipes ou processo (EPPINGER *et al*, 2001), de forma a permitir definir e obter uma sensata e coerente seqüência (ou agrupamento) expressando a existência de uma relação entre estes elementos (BROWNING, 2008).

Um modelo de sistema (ou projeto) é, geralmente, representado graficamente por um fluxograma, ou, em algumas outras formas gráficas como o diagrama de Gantt ou PERT (*Program Evaluation and Review Technique*), onde os blocos representam os elementos e as linhas representam o tipo de relacionamento entre eles. As setas indicam a direção da influência de um elemento para o outro (YASSINE, 2004). Nesta representação, há três tipos básicos de construção que representa a relação entre os elementos: (1) Seqüencial (ou dependentes); (2) Paralela (ou concorrente) e; (3) Conectado (ou interdependentes), conforme apresentado na Figura 2.4 (BROWNING *et al*, 2002).

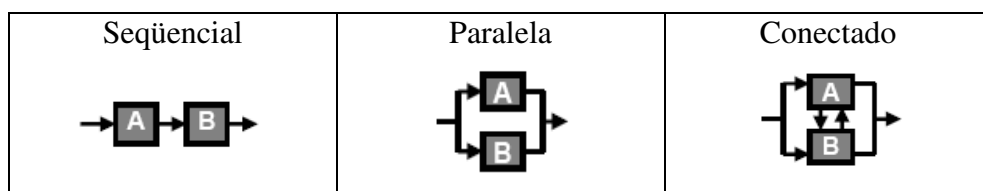


Figura 2.4: Representação gráfica do relacionamento entre elementos (BROWNING *et al*, 2002)

Todavia, a descrição de um projeto também pode ser expressa por meio de uma matriz baseada no método DSM, tendo as atividades descritas tanto nas linhas como nas colunas. As marcas nas células intermediárias da matriz indicam, quando existirem, o tipo de relacionamento estabelecido entre as atividades, conforme visto na Figura 2.5. Estas marcas

representam que a saída de uma atividade, podendo ser informações, energia, material ou de dados, corresponde à entrada para a execução da atividade descrita na coluna, expressando a dependência entre estes elementos (BROWNING, 2001).

|          |   | PROVÊ |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|----------|---|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
|          |   | A     | B | C | D | E | F | G | H | I | D |
| Elemento | A | A     | ■ |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Elemento | B | ■     | B |   |   |   |   |   |   |   | E |
| Elemento | C |       | ■ | C |   | ■ |   |   |   |   | P |
| Elemento | D |       | ■ |   | D |   | ■ |   |   |   | E |
| Elemento | E |       |   | ■ |   | E | ■ |   | ■ |   | N |
| Elemento | F |       |   | ■ | ■ | ■ | F | ■ |   | ■ | D |
| Elemento | G |       | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | G | ■ |   | E |
| Elemento | H |       |   | ■ |   |   | ■ | ■ | H |   |   |
| Elemento | I |       |   | ■ |   | ■ | ■ |   |   | I |   |

Figura 2.5: Relacionamento de dependência representado em uma Matriz DSM (BROWNING, 2001).

Em uma configuração seqüencial, um elemento influencia o comportamento do outro em uma forma unidirecional, o que significa que uma atividade só será executada após o final da anterior. Em uma configuração paralela, um elemento não interage com os outros e isso representa uma atividade que é independente de um e de outro, e não tem trocas entre si. Finalmente, em uma configuração conectada, a influência ou mudanças é bidirecional, o que significa que a execução de uma atividade depende da outra, em ambos os sentidos, caracterizando um circuito (YASSINE, 2004), como mostra na Figura 2.6.

| Seqüencial  | Paralela | Conectado |   |   |   |  |   |   |   |  |  |   |   |   |   |  |   |  |   |  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|----------|-----------|---|---|---|--|---|---|---|--|--|---|---|---|---|--|---|--|---|--|--|---|---|---|---|---|---|---|---|
| <table border="1"> <tr> <td></td> <td>A</td> <td>B</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>■</td> <td></td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>X</td> <td>■</td> </tr> </table> |          | A         | B | A | ■ |  | B | X | ■ | <table border="1"> <tr> <td></td> <td>A</td> <td>B</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>■</td> <td></td> </tr> <tr> <td>B</td> <td></td> <td>■</td> </tr> </table> |  | A | B | A | ■ |  | B |  | ■ | <table border="1"> <tr> <td></td> <td>A</td> <td>B</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>■</td> <td>X</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>X</td> <td>■</td> </tr> </table> |  | A | B | A | ■ | X | B | X | ■ |
|   | A        | B         |   |   |   |  |   |   |   |  |  |   |   |   |   |  |   |  |   |  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |
| A   | ■        |           |   |   |   |  |   |   |   |  |  |   |   |   |   |  |   |  |   |  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |
| B   | X        | ■         |   |   |   |  |   |   |   |  |  |   |   |   |   |  |   |  |   |  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |
|   | A        | B         |   |   |   |  |   |   |   |  |  |   |   |   |   |  |   |  |   |  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |
| A   | ■        |           |   |   |   |  |   |   |   |  |  |   |   |   |   |  |   |  |   |  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |
| B   |          | ■         |   |   |   |  |   |   |   |  |  |   |   |   |   |  |   |  |   |  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |
|   | A        | B         |   |   |   |  |   |   |   |  |  |   |   |   |   |  |   |  |   |  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |
| A   | ■        | X         |   |   |   |  |   |   |   |  |  |   |   |   |   |  |   |  |   |  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |
| B   | X        | ■         |   |   |   |  |   |   |   |  |  |   |   |   |   |  |   |  |   |  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |

Figura 2.6: Representação, em uma matriz DSM, do relacionamento entre elementos (YASSINE, 2004).

De acordo com as necessidades, as marcas nas células da matriz podem ser expressas de diferentes formas como símbolo que representa a simples existência do relacionamento, tais como os diferentes símbolos gráficos que especificam o tipo de relacionamento ou, conforme valores que quantificam a intensidade do relacionamento. Um exemplo desta diversidade pode ser visto na Figura 2.7, onde: (a) representa uma simples referência de dependência; (b) mostra uma especificação do tipo de relacionamento e; (c) quantifica o relacionamento.

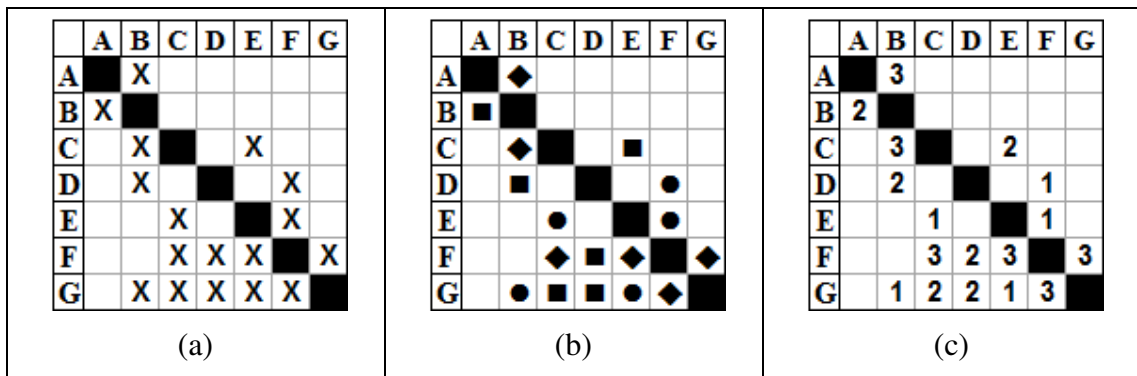


Figura 2.7: Formas de representação da interdependência em uma matriz DSM.

Por sua vez, a linha diagonal da matriz, que representa o cruzamento dos mesmos elementos, usualmente não é utilizada para apresentar valores. No entanto, de acordo com a aplicação da DSM, esta linha diagonal pode vir a expressar os valores de um atributo específico, variando o seu grau de acordo com os parâmetros desejados (CRONEMYR *et al*, 2001). A Figura 2.8 apresenta algumas formas como a diagonal de matriz DSM pode ser utilizada, sendo: (d) e (e) quando a linha diagonal não fornece nenhuma informação adicional e; (f) nos casos em que a linha diagonal é usada para quantificar um atributo dos elementos.

|   | A | B | C | D | E | F | G |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A |   | X |   |   |   |   |   |
| B | X |   |   |   |   |   |   |
| C |   | X |   |   | X |   |   |
| D |   | X |   |   |   | X |   |
| E |   |   | X |   |   | X |   |
| F |   |   | X | X | X |   | X |
| G |   | X | X | X | X | X |   |

(d)

|   | A | B | C | D | E | F | G |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A |   | ◆ |   |   |   |   |   |
| B | ■ |   |   |   |   |   |   |
| C |   | ◆ |   | ■ |   |   |   |
| D |   | ■ |   |   |   | ● |   |
| E |   |   | ● |   |   | ● |   |
| F |   |   | ◆ | ■ | ◆ |   | ◆ |
| G |   | ● | ■ | ■ | ● | ◆ |   |

(e)

|   | A | B | C | D | E | F | G |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 2 | 3 |   |   |   |   |   |
| B | 2 | 3 |   |   |   |   |   |
| C |   | 3 | 1 |   | 2 |   |   |
| D |   | 2 |   | 2 |   | 1 |   |
| E |   |   | 1 |   | 2 | 1 |   |
| F |   |   | 3 | 2 | 3 | 1 | 3 |
| G |   | 1 | 2 | 2 | 1 | 3 | 3 |

(f)

Figura 2.8: Formas de representação da linha diagonal em uma matriz DSM.

Visto que o desenvolvimento de arquiteturas inovadoras para a estruturação de subsistemas que compõem um sistema pode ser um importante recurso na busca de vantagens competitivas para produtos (BROWNING, 2001), mais do que identificar as interfaces, é necessário compreender como buscar soluções que proponham uma arquitetura que seja uma solução de compromisso para o sistema como um todo.

Neste contexto, uma matriz DSM pode representar toda a arquitetura do sistema por meio da identificação dos diversos subsistemas que o compõem e das interfaces existentes entre cada uma delas.

Em se tratando da caracterização das interfaces de um produto, Browning (2001), sugere o uso de uma taxonomia básica que identifica quatro tipos principais de interações entre dois subsistemas: espacial, energia, informação, e material, cada qual caracterizando um tipo específico de interação e sinalizando um determinado tipo de interdependência entre os subsistemas.

Em sistemas mais complexos é comum a existência de mais de um tipo de interface simultaneamente, não sendo raros casos em que três tipos de interfaces são requeridos entre

dois sistemas. A Tabela 2.1 apresenta os quatro tipos de interface utilizados para estabelecer o relacionamento entre sistemas.

Tabela 2.1: Tipos possíveis de interface entre sistemas (BROWNING, 2001).

| Tipo de Interface | Descrição  |
|-------------------|--|
| Espacial          | Associação entre espaço físico e alinhamento, necessidade de adjacência ou orientação entre dois componentes |
| Energia           | Necessidade de transferência/troca de energia entre dois elementos   |
| Informação        | Necessidade de dados ou troca de sinal entre dois elementos  |
| Material          | Necessidade de troca de material entre dois elementos  |

Por sua vez, o grau de interação é outra variável importante quando da definição das interfaces. Browning (2001) sugere que este nível seja ponderado dentro de uma escala que varia de -2 até 2, conforme Tabela 2.2, sendo que o primeiro representa uma situação totalmente indesejável e, o nível maior, a questão contrária, onde a interação é fundamental para o funcionamento do sistema.

Tabela 2.2: Grau de interação entre sistemas (BROWNING, 2001).

| Interação   | Grau | Consideração   |
|-------------|------|--|
| Requerido   | +2   | Adjacência física é necessária para a funcionalidade                       |
| Desejado    | +1   | Adjacência física é benéfica, porém não necessária para a funcionalidade   |
| Indiferente | 0    | Adjacência física não afeta a funcionalidade                               |
| Indesejado  | -1   | Adjacência física causa efeitos negativos, mas não impede a funcionalidade |
| Prejudicial | -2   | Adjacência física deve ser evitada para permitir o funcionamento           |

Por fim, a análise da integração, por meio da ordenação de linhas e colunas de uma matriz DSM, pode levar à identificação de diversas arquiteturas possíveis, para a definição de *clusters*. Estes *clusters* são, basicamente, agrupamentos lógicos de interfaces que buscam agregar, em conjuntos, sistemas com elevado grau de interação, conforme apresentado na Figura 2.9 (BROWNING, 2001). Para a definição dos *clusters* deve-se levar em consideração alguns princípios básicos como:

- Buscar maximizar a interação entre elementos e minimizar a interação entre *clusters*;
- Permitir a sobreposição de elementos entre um cluster e outro e;
- Em matrizes DSM de três dimensões, onde se deseja avaliar mais de um tipo de interface simultaneamente, avaliar se cada camada (parâmetro) será avaliada separadamente ou haverá uma ponderação entre cada uma delas.

|   | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | ■ |   |   | 2 |   |   | 1 |   | 1 |   |
| B |   | ■ |   | 1 |   |   |   |   | 1 |   |
| C |   |   | ■ |   |   |   |   |   | 2 | 1 |
| D | 2 | 1 |   | ■ |   |   |   |   |   |   |
| E |   |   |   |   | ■ |   |   |   |   |   |
| F |   |   |   |   |   | ■ | 2 |   |   |   |
| G | 2 |   |   |   |   | 2 | ■ |   |   |   |
| H |   |   |   |   |   |   |   | ■ |   |   |
| I | 1 | 2 | 1 | 2 |   |   |   |   | ■ | 1 |
| J |   |   | 1 |   |   |   |   |   |   | 2 |

|   | H | E | F | G | A | D | B | I | C | J |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| H | ■ |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| E |   | ■ |   |   |   |   |   |   |   |   |
| F |   |   | ■ | 2 |   |   |   |   |   |   |
| G |   |   | 2 | ■ | 2 |   |   |   |   |   |
| A |   |   |   | 1 | ■ | 2 |   | 1 |   |   |
| D |   |   |   |   | 2 | ■ | 1 |   |   |   |
| B |   |   |   |   |   | 1 | ■ | 1 |   |   |
| I |   |   |   |   | 1 | 2 | 2 | ■ | 1 | 1 |
| C |   |   |   |   |   |   |   | 2 | ■ | 1 |
| J |   |   |   |   |   |   |   | 2 | 1 | ■ |

Figura 2.9: Definição de *clusters* em uma matriz DSM.

#### 2.4 AHP (*Analytic Hierarchy Process*):

Em um cenário onde, por advento do rápido desenvolvimento das tecnologias associadas à disseminação do conhecimento, as informações passaram a ser disponibilizadas em grandes volumes e a fluir cada vez mais rapidamente, as organizações passaram a exigir

de seus gestores a tomada de decisões cada vez mais rápidas e com a análise de quantidades cada vez maiores de dados. Neste contexto, os Métodos de Apoio Multicritérios à Decisão (MAMD) passaram a exercer um fundamental apoio aos gestores por viabilizar a busca das melhores decisões por meio da síntese de um grande volume de informações.

A busca de soluções em um ambiente multicritério pode ser avaliada como um modelo processual composto por seis etapas, comuns à maioria dos métodos de apoio à tomada de decisão (SOARES, 2004) (GARTNER, 2001).

a) Formulação do problema – entendimento dos fenômenos e parâmetros envolvidos no processo decisório e busca do objetivo da questão.

b) Determinação de um conjunto de alternativas potenciais – uma vez compreendido o problema da questão, deve-se buscar as alternativas existentes para o seu equacionamento.

c) Elaboração de uma família coerente de critérios – etapa de estabelecimento de critérios que permitam avaliar as diversas alternativas existentes.

d) Avaliação dos critérios – análise, ponderação, formalização e apresentação dos critérios por meio de uma planilha de ou tabela.

e) Determinação de pesos dos critérios e limites de discriminação – busca-se estabelecer numericamente a importância relativa entre os diversos critérios.

f) Agregação dos critérios – associação e parametrização do relacionamento entre os diversos critérios e alternativas elencadas, segundo um modelo matemático pré-definido e apresentadas na forma de uma matriz.

O Método de Análise Hierárquico (AHP), idealizado por Thomas L. Saaty no início da década de 70 é um dos diversos métodos multicritérios de apoio à tomada de decisão, difundidos nos meios empresariais e acadêmicos. Este método é caracterizado pela decomposição do problema de tomada de decisão em diversos níveis hierárquicos tendo, em seu topo, o objetivo principal e deixando para os níveis inferiores os critérios e sub-critérios e, com base na hierarquia, as alternativas, como ilustrado na Figura 2.10 (SAATY, 2008) (SILVA *et al*, 2005).

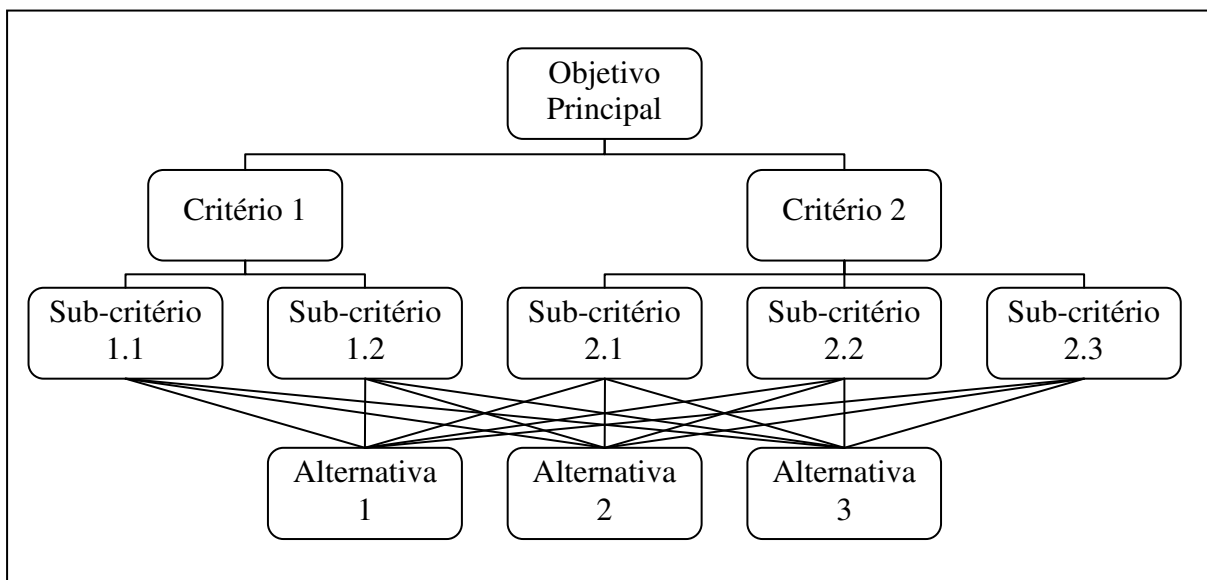


Figura 2.10: Estrutura hierárquica para um problema de AHP

Este método é baseado na comparação par a par ao longo de todos os elementos do mesmo nível hierárquico (critérios e sub-critérios) para fornecer uma medida global para cada alternativa através da síntese dos pesos de cada decisão agentes (GOMES *et al*, 2004). Desta forma, o número de comparações é diretamente proporcional ao número de elementos que compõem a matriz, conforme apresentado na Tabela 2.3.



Tabela 2.3: Relação entre número de Elementos e comparações em uma AHP (SAATY, 2008).

| Número de Elementos   | 1 | 2 | 3 | 4 | 5  | 6  | 7  | $n$                |
|-----------------------|---|---|---|---|----|----|----|--------------------|
| Número de comparações | 0 | 1 | 3 | 6 | 10 | 15 | 21 | $\frac{n(n-1)}{2}$ |

O preenchimento da matriz deve ser feito utilizando uma escala que referencia a importância relativa de cada elemento em relação aos demais. Esta escala, apresentada na tabela de associação da classificação numérica e classificação verbal para avaliação par a par, varia de 1 a 9, sendo que os valores 2, 4, 6 e 8 são considerados valores intermediários aos apresentados na Tabela 2.4. Esta escala também é denominada de Escala Fundamental de Saaty.

Tabela 2.4: Escala Fundamental de Saaty (SAATY, 2008).

| Nível de importância | Definição                          | Explicação  |
|----------------------|------------------------------------|---|
| 1                    | Igual importância                  | Dois elementos contribuem de forma igual para o objetivo  |
| 3                    | Importância moderada               | Experiência ou julgamento levemente a favor de uma atividade em relação à outra                           |
| 5                    | Forte importância                  | Experiência ou julgamento fortemente a favor de uma atividade em relação à outra                          |
| 7                    | Importância muito forte ou visível | Uma atividade é muito fortemente favorável em relação a outra. Sua predominância é demonstrada na prática |
| 9                    | Importância extrema                | A evidência da preferência de uma atividade em relação a outra é do mais alto nível possível de afirmação |

À linha diagonal deve ser atribuído o valor 1, uma vez que todas as células que a compõem representam o cruzamento do mesmo elemento na linha e coluna. O restante da matriz deve ser preenchido avaliando se o elemento da linha em análise é de igual ou maior

importância do que o elemento da coluna. Caso um elemento de linha seja menos importante do que o da coluna, devem-se utilizar os valores inversos da tabela de Importância Relativa (1/3, 1/5, 1/7, ou 1/9), como exemplificado na Tabela 2.5.

Tabela 2.5: Matriz de comparação entre sub-critérios à luz de um dado critério.

| Elementos        | Sub-critério 1.1 | Sub-critério 1.2 | Sub-critério 1.3 | Sub-critério 1.4 | Sub-critério 1.5 | Prioridade |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------|
| Sub-critério 1.1 | 1                | 3                |                  |                  |                  |            |
| Sub-critério 1.2 | 1/3              | 1                |                  |                  |                  |            |
| Sub-critério 1.3 |                  |                  | 1                |                  |                  |            |
| Sub-critério 1.4 |                  |                  |                  | 1                |                  |            |
| Sub-critério 1.5 |                  |                  |                  |                  | 1                |            |

O vetor de prioridades, representado pela última coluna à direita da Tabela 2.5, que representa a importância relativa de cada elemento em relação aos demais, pode ser calculado através de várias metodologias como a média aritmética das linhas da matriz, a média geométrica das linhas da matriz, entre outras (GOMES *et al*, 2004).

Por sua vez, a consistência da comparação entre os elementos pode ser verificada através da existência da relação  $a_{ij} = 1/a_{ji}$  entre as diversas células que compõe a matriz. Alguns fatores contribuem para uma maior consistência nos julgamentos, como: a homogeneidade dos elementos em um grupo, buscando comparar elementos que estejam dentro de uma mesma ordem de grandeza; a dispersão dos elementos, ou seja, dispor uma quantidade restrita de elementos em um mesmo grupo; o conhecimento prévio das pessoas que irão avaliar o relacionamento e; quando possível, a análise das comparações por meio de comitês representativos com várias pessoas. Todavia, deve-se compreender que, por se tratar

de avaliações que envolvem o julgamento humano, deve ser tolerada a existência de pequenas inconsistências.

De forma a avaliar o grau de consistência das diversas comparações, foi elaborado o Índice de Consistência (CI) calculado através da Equação 2.1:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (2.1)$$

Em que  $\lambda_{\max}$  é o maior autovalor da matriz.

O valor do CI deve ser comparado com o Índice de Consistência Aleatória (RI) apresentado na Tabela 2.6 que Saaty elaborou a partir da consistência média de 50.000 mil matrizes recíprocas geradas aleatoriamente.

Tabela 2.6: Índice de Consistência Aleatória (RI)

|    |   |   |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----|---|---|------|------|------|------|------|------|------|------|
| N  | 1 | 2 | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
| RI | 0 | 0 | 0,52 | 0,89 | 1,11 | 1,25 | 1,35 | 1,40 | 1,45 | 1,49 |

Por fim, é medida a Taxa de Consistência (CR) apresentada na Equação 2.2, que é uma comparação entre o Índice de Consistência (CI) e o Índice de Consistência Aleatória (RI). Julgam-se como aceitáveis valores de Taxa de Consistência menores ou iguais a 10%.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2.2)$$

Como passo seguinte do AHP, deve-se elaborar, para cada um dos elementos considerados, a matriz de comparação par a par das alternativas que compõem o problema, como apresentado na Tabela 2.7, calculando a prioridade relativa de cada alternativa em relação aos demais.

Tabela 2.7: Matriz de comparação par a par das alternativas à luz do sub-critério 1.1.

| Sub-critério 1.1 | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 | Prioridade |
|------------------|---------------|---------------|---------------|------------|
| Alternativa 1    |               |               |               |            |
| Alternativa 2    |               |               |               |            |
| Alternativa 3    |               |               |               |            |

Para a conclusão da análise deve ser feita uma ponderação entre a prioridade percebida para cada uma das alternativas, ponderada em função de cada um dos elementos avaliados, como mostrado na Tabela 2.8. Esta matriz, multiplicada pelo vetor de prioridades dos elementos, leva ao que deve ser uma relação de prioridades entre as diversas alternativas apresentadas.

Todavia, apesar do AHP ser um método robusto, é importante ressaltar que, quando o resultado provê valores muito próximos, os mesmos não devem ser considerados de forma literal. Uma possibilidade sugerida para aumentar a confiabilidade dos resultados é utilizar-se de um número maior de critérios (TRIANANTAPHYLLOU *et al*, 1995) ou utilizar em conjuntos com outros métodos que corroborem os resultados obtidos.

Tabela 2.8: Matriz de comparação do grau de importância entre alternativa e elemento

| Elementos     | Sub-critério 1.1 | Sub-critério 1.2 | Sub-critério 1.3 | Sub-critério 1.4 | Sub-critério 1.5 |
|---------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Alternativa 1 |                  |                  |                  |                  |                  |
| Alternativa 2 |                  |                  |                  |                  |                  |
| Alternativa 3 |                  |                  |                  |                  |                  |

Ainda segundo Triantaphyllou *et al* (1995), deve-se lembrar que o AHP, assim como qualquer outro MAMD, não fornece um resultado exato, o que seria humanamente impossível. Estes métodos devem ser aplicados como ferramentas de apoio à tomada de decisão e não como respostas inequívocas.

## **2.5 TRL (*Technology Readiness Level*)**

O Nível de Prontidão Tecnológica, ou Grau de Maturidade Tecnológica (TRL, da sigla em inglês para *Technology Readiness Level*) é uma metodologia desenvolvida pela NASA nos anos 1980 para auxiliar no desenvolvimento de seus programas espaciais. Atualmente seu uso é amplamente disseminado sendo que, para o Departamento de Defesa (2005), a avaliação do nível de maturidade passou a ser um item mandatório para os programas de defesa do governo norte-americano. Atualmente sua aplicação ganhou um desdobramento através do *Technology Readiness Assessment* (TRA), sistemática que utiliza o TRL como métrica e tem por objetivo avaliar o grau de maturidade de Elementos Tecnológicos Críticos, ou *Critical Technology Elements* (CTEs). O TRA, por si só, não é uma ferramenta de avaliação de riscos ou um *design review*, mas tem como objetivo auxiliar os tomadores de decisão a avaliar, de forma crítica, os riscos envolvidos nos projetos e programas pela dependência de tecnologias sem um elevado grau de maturidade (MANDELBAUM, 2005).

Em analogia ao ciclo de vida biológico dos seres vivos, um produto percorre várias etapas ao longo de sua existência como a concepção, o nascimento, a infância, a juventude, a maturidade, o envelhecimento e, por fim, a morte. Uma tecnologia também possui como ciclo de vida, uma estrutura similar com uma fase de desenvolvimento, introdução, crescimentos, maturação e declínio (NOLTE, 2003), como o representado pela Figura 2.11. Neste modelo,

as tecnologias são incorporadas aos produtos na etapa de crescimento onde já se tem uma razoável estabilidade.

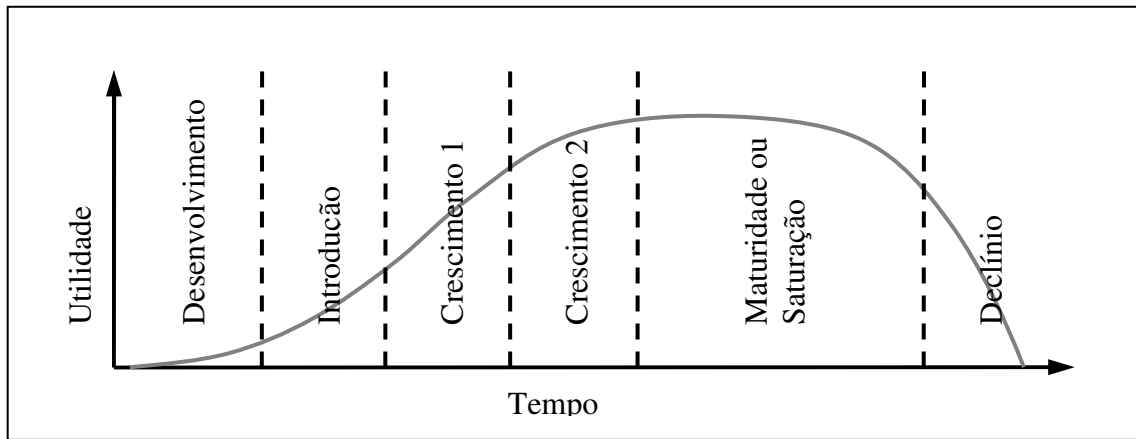


Figura 2.11: Similaridade entre o Ciclo de Vida do Produto e o Ciclo de Vida da Tecnologia (NOLTE, 2003)

A graduação de maturidade TRL varia de 1 a 9 sendo que os valores mais baixos representam as etapas iniciais do desenvolvimento da tecnologia. Graduações mais altas representam que a tecnologia já foi testada em bancadas, *mock-ups* ou protótipos ou, eventualmente, até em campo. Em pesquisa feita pela UNITED STATES GENERAL ACCOUNTING OFFICE foi verificado que a indústria aplica o nível de TRL 8 como base para a implementação em seus produtos, por sua vez, o Laboratório de Pesquisa da Força Aérea Norte-Americana vê uma tecnologia de TRL 6 como aceitável no momento do lançamento de um novo projeto. Níveis inferiores são vistos como de elevados riscos (UNITED STATES GENERAL ACCOUNTING OFFICE, 1999) sendo altamente provável, quando do lançamento de programas com níveis de maturidade TRL muito baixos, o crescimento dos custos, o atraso no cumprimento dos cronogramas e, dificuldades no cumprimento dos requisitos estabelecidos no programa. A Tabela 2.9 apresenta os nove níveis de maturidade utilizados pelo método TRL, uma descrição mais detalhada é apresentada no ANEXO IV.

Tabela 2.9: Descrição Básica de cada nível de TRL (NOLTE, 2003).

| Nível | Descrição Básica   |
|-------|--|
| TRL 1 | Princípios básicos observados e registrados                                      |
| TRL 2 | Conceito tecnológico e/ou aplicação formulada                                    |
| TRL 3 | Função analítica e experimental crítica e/ou prova de conceito característico    |
| TRL 4 | Validação de componentes e/ou <i>protoboard</i> em ambiente de laboratório       |
| TRL 5 | Validação de componentes e/ou <i>protoboard</i> em ambiente relevante            |
| TRL 6 | Demonstração de modelo de sistema/subsistema ou protótipo em ambiente relevante  |
| TRL 7 | Demonstração do sistema protótipo em um ambiente operacional                     |
| TRL 8 | Operação qualificada do sistema completo e real por meio de teste e demonstração |
| TRL 9 | Operação do sistema real comprovado por meio de operações bem sucedidas          |

A Figura 2.12 ilustra quatro casos onde é possível inferir uma correlação entre maturidade das tecnologias e previsibilidade no cumprimento de prazos e custos no momento do lançamento de um novo programa.

| Product development and associated technologies | TRL at program launch | Cost growth              | Schedule slippage        |
|---|-----------------------|--------------------------|--------------------------|
| Comanche helicopter                             |                       | 101 percent <sup>a</sup> | 120 percent <sup>a</sup> |
| Engine  | 5                     |                          |                          |
| Rotor   | 5                     |                          |                          |
| Forward looking infrared                        | 3                     |                          |                          |
| Helmet mounted display                          | 3                     |                          |                          |
| Integrated avionics                             | 3                     |                          |                          |
| BAT   |                       | 88 percent               | 62 percent               |
| Acoustic sensor                                 | 2                     |                          |                          |
| Infrared seeker                                 | 3                     |                          |                          |
| Warhead   | 3                     |                          |                          |
| Inertial measurement unit                       | 3                     |                          |                          |
| Data processors                                 | 3                     |                          |                          |
| Hughes HS-702 satellite                         |                       | None                     | None                     |
| Solar cell array                                | 6                     |                          |                          |
| Ford Jaguar                                     |                       | None                     | None                     |
| Adaptive cruise control                         | 8                     |                          |                          |
| Voice activated controls                        | 8                     |                          |                          |

<sup>a</sup>The Comanche, in particular, has experienced a great deal of cost growth and schedule slippage for many reasons, of which technology immaturity is only one. Other factors, such as changing the scope, funding, and pace of the program for affordability reasons, have also contributed.

Figura 2.12: Impacto do nível de maturidade TRL no lançamento de alguns programas (UNITED STATES GENERAL ACCOUNTING OFFICE, 1999).

No caso de projetos de desenvolvimento do produto, considerando que seu objetivo principal é entregar, ao seu término, um produto que atenda plenamente as metas de custo, cronograma e desempenho, a adoção de tecnologias imatura neste processo eleva consideravelmente o potencial de, em etapas posteriores, causar ao projeto um aumento dos custos ou o atraso no cronograma (UNITED STATES GENERAL ACCOUNTING OFFICE, 1999).

Exemplo patente das conseqüências da adoção de tecnologias pouco maduras no desenvolvimento de novas tecnologias pode ser visto através dos dados extraídos no relatório editado pelo *United States General Accounting Office* referente aos maiores programas de aquisição da área de Defesa dos Estados Unidos do ano fiscal de 2007. Segundo *Azizian et al* (2009), estes dados indicam que os custos de desenvolvimento dos programas tiveram um aumento de 40%, alinhado com o aumento dos custos de aquisição em 26%.

Também, segundo *Azizian et al* (2009), ocorre um aumento considerável no atraso médio dos programas. O que no ano 2000 tinha um atraso médio de 16 meses passou a representar cerca de 21 meses de postergação na visão do portfólio monitorado em 2007. Tais dados, apresentados na Tabela 2.10, são expressão da avaliação do relatório da GAO *apud* *Azizian et al* (2009) que demonstra que 88% dos programas avaliados iniciaram o desenvolvimento de seus sistemas sem ter as tecnologias críticas completamente maduras, ou que 96% dos programas não demonstraram ter projetos estáveis antes de entrar na fase de demonstração do sistema.



Por fim, o relatório da GAO *apud* Azizian *et al* (2009) também identificou que, no portfólio de projetos de 2008, nenhum dos programas acompanhados tinha atingido a plena maturidade de seus processos de manufatura antes de iniciar o processo de produção

Tabela 2.10: Avaliação da GAO sobre os maiores programas de aquisição da área de Defesa dos Estados Unidos (GAO *apud* AZIZIAN *et al*, 2009).

| <b>Analysis of DOD Major Defense Acquisition Program</b>                            |                       |                       |                       |
|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <b>Fiscal year 2008</b>   |                       |                       |                       |
|   | <b>Fiscal Year</b>    |                       |                       |
|   | <b>2000 Portfolio</b> | <b>2005 Portfolio</b> | <b>2007 Portfolio</b> |
| Number of Programs  | 75                    | 91                    | 95                    |
| Total Planned Commitments   | \$790 Billion         | \$1.5 Trillion        | \$1.6 Trillion        |
| Commitments Outstanding   | \$380 Billion         | \$887 Billion         | \$858 Billion         |
| <b>Portfolio Performance</b>  |                       |                       |                       |
| Change to total RDT&E costs from first estimate                                     | 27%                   | 33%                   | 40%                   |
| Change in total acquisition cost from first estimate                                | 6%                    | 18%                   | 26%                   |
| Estimated total acquisition cost growth   | \$42 Billion          | \$202 Billion         | \$295 Billion         |
| Share of programs with 25 percent or more increase in program acquisition unit cost | 37%                   | 44%                   | 44%                   |
| Average schedule delay in delivering initial capabilities                           | 16 Months             | 17 Months             | 21 Months             |

Uma síntese para comparação entre os riscos incorridos pelos projetos pela maturação tardia das tecnologias a serem incorporadas no PDP é apresentada na Figura 2.13. Nela é possível verificar que, quanto mais tardio o amadurecimento e incorporação no PDP, maiores os riscos assumidos.

A linha 1 da Figura 2.13 representa o processo desejado de maturação da tecnologia, onde se tem alto nível de maturidade em etapas preliminares do PDP. Por sua vez, a linha 2 representa cenários mais comuns, onde o amadurecimento da tecnologia passa a compor o ciclo de desenvolvimento do projeto. A linha 3 representa a situações mais arriscadas onde as tecnologias são tardiamente maturadas atingindo um grau razoável à sua incorporação no produto apenas em estágio avançado do desenvolvimento do produto.

Neste cenário, a possibilidade de avaliar, de forma objetiva, o nível de maturidade de uma tecnologia se mostra um grande aliado na tomada de decisão para a tecnologia a ser incorporada para o cumprimento de determinados requisitos. Usualmente o grau de maturidade é uma escala graduada de 1 a 9 sendo que o nível mais baixo é representado por TRL 1 onde a pesquisa ainda se encontra em seus princípios básicos. O nível mais alto, TRL 9, é o estágio onde a tecnologia pode ser considerada “*off-the-shelf*” (UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY, 2010).

Todavia, em produtos altamente complexos onde uma quantidade muito grande de tecnologias pode ser incorporada simultaneamente, devem ser avaliadas quais realmente devem ser considerados como Elementos Tecnológicos Críticos (CTE). Por sua vez, adotando-se uma atitude conservadora e considerando um nível muito baixo de maturidade há grande possibilidade de penalizar o programa despendendo energia e recursos e perdendo o foco do que é realmente crítico.

O Departamento de Defesa norte-americano DoD, em seu *Deskbook* sugere, para a identificação de uma tecnologia crítica, a análise de uma série de questões, apresentadas no ANEXO II. Tais questões focam, principalmente, a análise com relação ao impacto de sua indisponibilidade no atendimento dos requisitos, disponibilidade, maturidade e desempenho esperados para o sistema (DEPARTMENT OF DEFENSE, 2005).

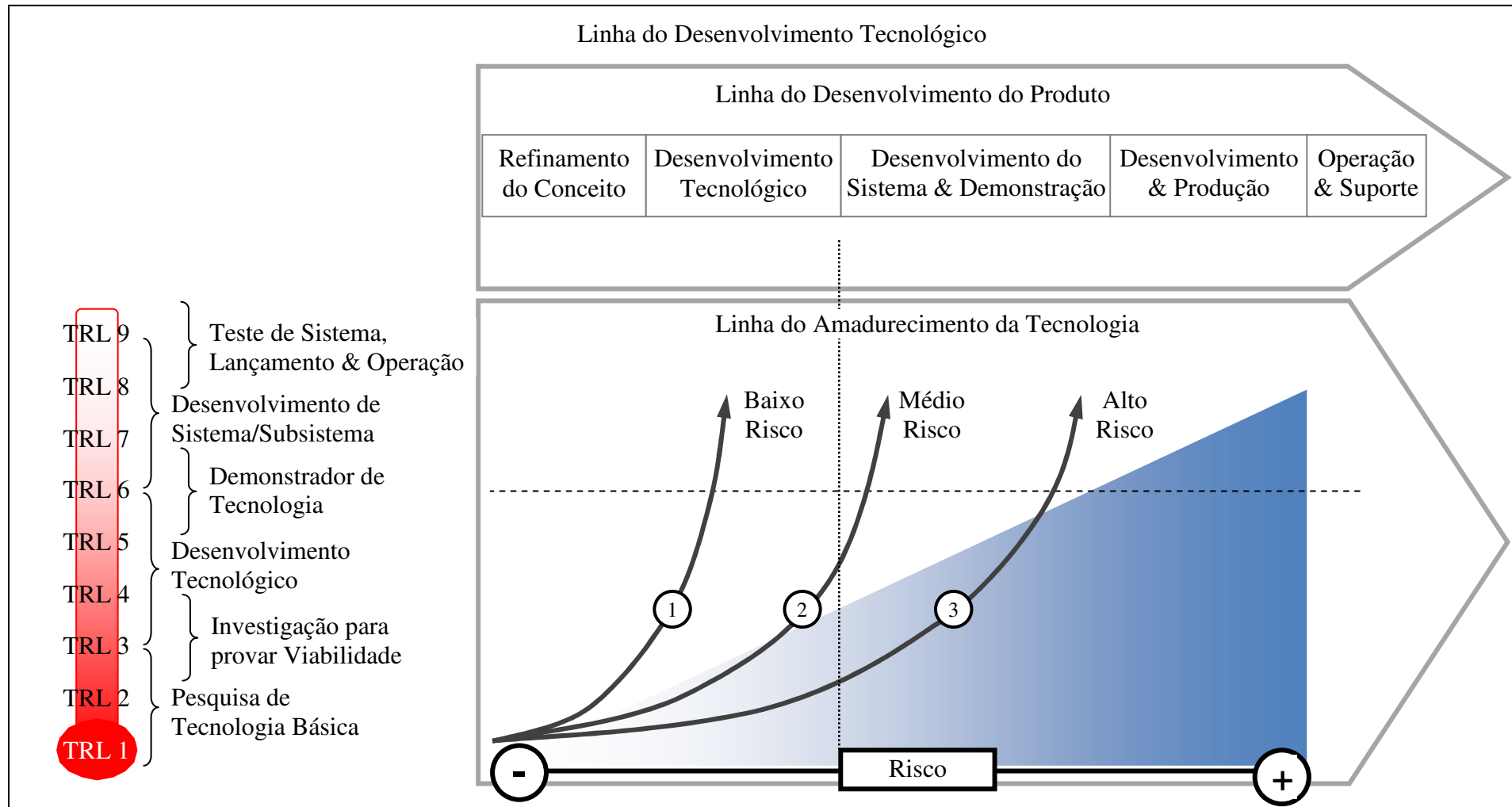


Figura 2.13: Risco da Introdução Tecnológica (adaptado de GREENFIELD, 1998).

Como instrumento para auxiliar no processo de cálculo do TRL de uma tecnologia em desenvolvimento Nolte (2007) desenvolveu um aplicativo em MS-Excel intitulado *TRL Calculator*, que se encontra em sua versão 2.2 e é largamente utilizada para a definição da maturidade de sistemas que compõe apenas de softwares, de hardwares, ou de ambos.

Neste aplicativo, para uma ampla análise da maturidade do processo de desenvolvimento como um todo, Nolte (2004) apresenta três aspectos diferentes onde deve ser avaliado o nível de maturidade do sistema em estudo, sendo, além da própria tecnologia (TRL) que concerne os aspectos tecnológicos a ser incorporado no produto, a maturidade dos processos de manufatura (MRL) que viabilizarão a sua produção seja em competência ou em escala e, o nível de maturidade dos chamado *Programmatics* (PRL), que incorporam os aspectos mais voltados ao consumidor como manuais, assistências e outros aspectos de suporte ao uso do produto.

Todavia, tanto o *Technology Readiness Assessment (TRA) Deskbook* elaborado pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos (UNITED STATES, 2005) como Nolte (2003) ressaltam a existência de peculiaridades que devem ser avaliadas para diferentes produtos tecnológicos como os farmacêuticos e biomédicos, softwares aplicativos, equipamentos militares e outros que necessitam de estudos mais aprofundados para levantar as considerações específicas para avaliar o respectivo TRL.

Com relação a custos no processo de desenvolvimento, segundo Mankins (2009b), suas diversas etapas implicam em diferentes níveis de empenho de recursos financeiros, conforme ANEXO III. Uma parametrização pode ser feita com os custos tipicamente envolvidos em cada fase de maturação de uma tecnologia aplicada a sistemas espaciais, para

fins de comparação dos montantes envolvidos, assim como mostrado na Figura 2.14. Desta forma, é possível verificar que, nos casos de sistemas espaciais, os maiores dispêndios ocorrem no desenvolvimento de níveis mais altos de maturidade, muito em parte devido aos custos de simulação, prototipagem, testes de durabilidade e realização de ensaios de verificação e validação.

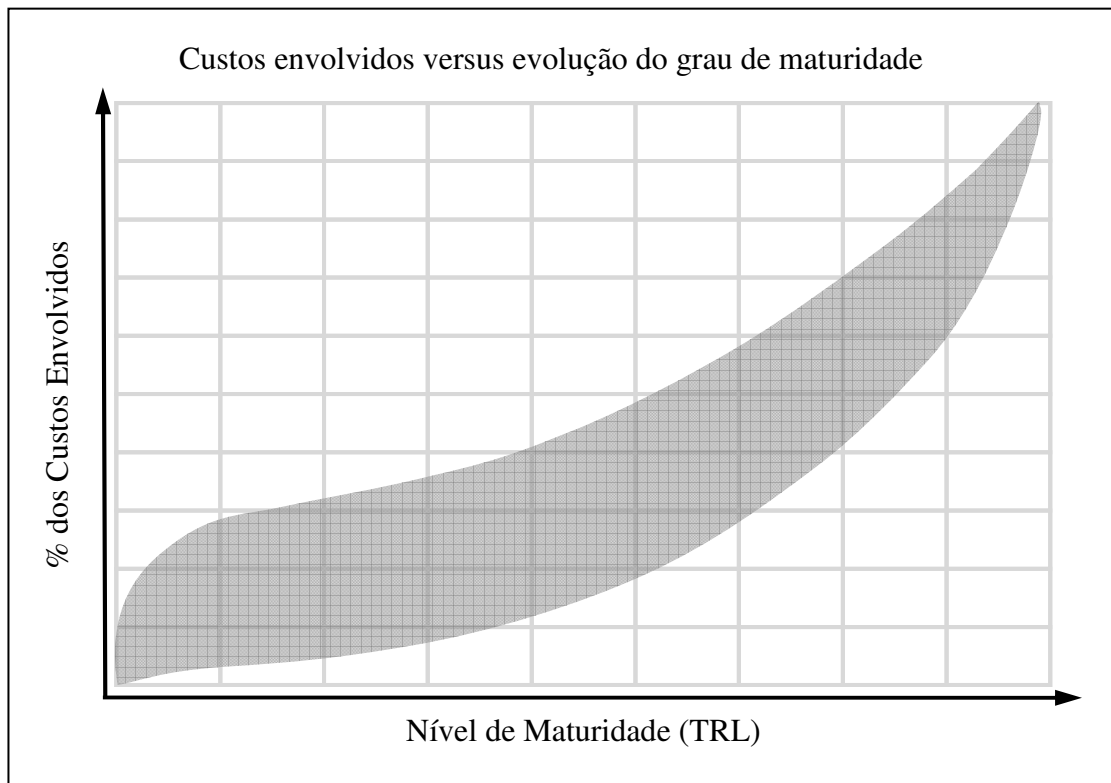


Figura 2.14: Perspectiva ilustrada de evolução dos custos no ciclo de maturação de uma tecnologia

Tal visão também pode ser, mesmo que parcialmente, compartilhada com o desenvolvimento de produtos tecnológicos comerciais uma vez que é nestas etapas em que ocorrem também as grandes despesas com ensaios destrutivos, ensaios para certificação e homologação e ensaio de durabilidade.

Por sua vez, no desenvolvimento de um projeto, via de regra, há a necessidade de harmonizar a integração de diversas tecnologias, muitas vezes em etapas distintas de maturidade, que irão compor, ao final, um único produto tecnológico (MANKINS, 2009a). A adoção de uma estratégia como esta, apesar de muitas vezes ser inevitável, representa um risco sempre presente para chegar ao prazo limite de desenvolvimento do projeto com tecnologias em diferentes graus de maturidade, como apresentado na Figura 2.15.

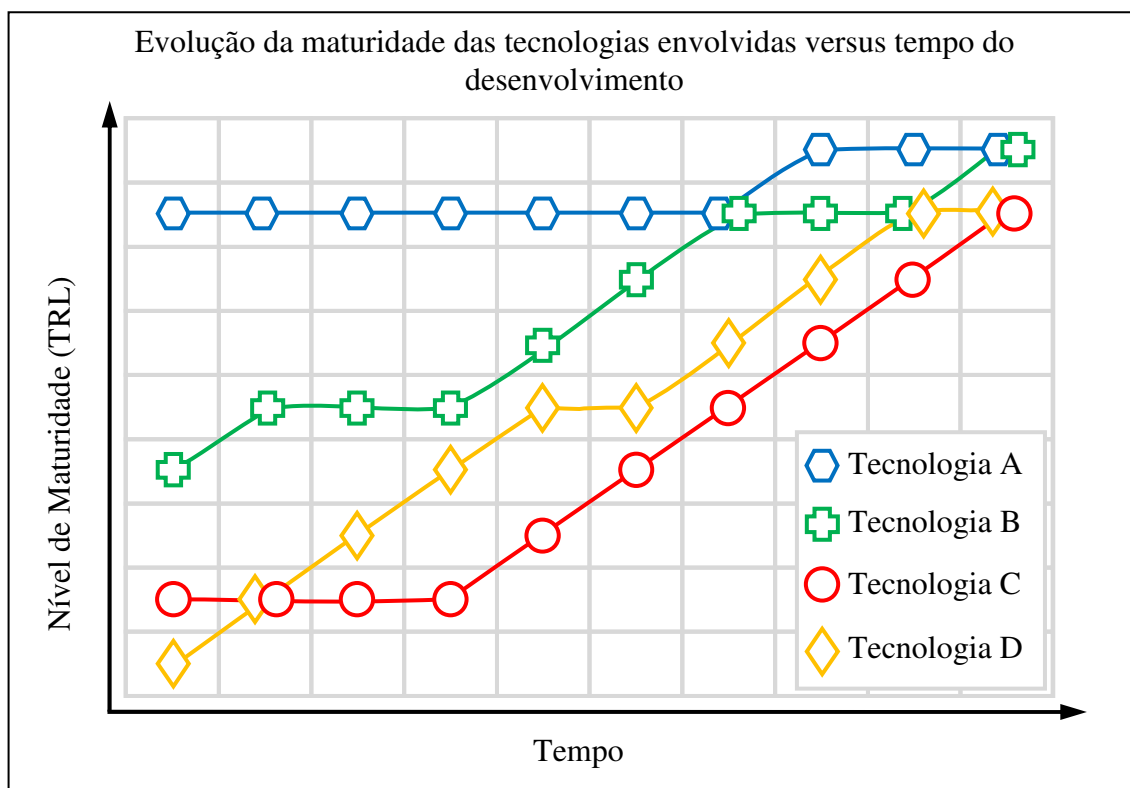


Figura 2.15: Grau de maturidade das tecnologias ao longo do projeto (adaptado de MANKINS, 2009a)

Este fato torna muito importante para os projetos de inovação tecnológica elevar o monitoramento da evolução da maturidade das tecnologias, de forma a antever possíveis problemas, ao mesmo grau de importância da gestão de recursos (humanos, físicos e financeiros), riscos e prazos, práticas comuns em um bom processo de gerenciamento de projetos.

## **2.6 Aplicação conjunta do AHP, TRL e DSM**

Tanto o AHP, largamente utilizado para substanciar os processos de tomada de decisão, o TRL, aplicado para avaliar o grau e risco agregado ao projeto em virtude do nível de maturidade em que se encontra uma tecnologia, e o DSM, referenciado para o mapeamento de interfaces de sistemas, equipes, processos, softwares, etc., apresentam, mesmo isoladamente, grandes benefícios quando utilizados em um processo de gerenciamento de projetos de inovação tecnológica.

Visto que tanto o AHP, TRL e DSM possuem estruturas, aplicações e objetivos bem consolidados e a utilização conjunta dos três métodos pode trazer benefícios superiores em comparação com a aplicação individual, pequenas modificações são propostas ao AHP e DSM tradicionais de modo a melhor se adequar ao cenário de aplicação e às demandas do método proposto, já constituindo contribuições diretas deste trabalho.

## **2.7 Outros métodos de gestão de riscos em projetos de inovação tecnológica**

Apesar de sua estória pregressa e da ampla aplicação em diversas esferas, como o governamental e industrial, principalmente nos Estados Unidos, não se encontram muitas referências a estudos que visem integrar, de forma dinâmica, o TRL às práticas de gestão de projetos no desenvolvimento de produto.

Considerando a visão difundida por Mankins (2009a) de que todo o esforço na P&D de tecnologia para os programas devem buscar, em síntese, o aumento do desempenho da nova tecnologia em desenvolvimento; o aumento do grau de maturidade da tecnologia e; a redução dos riscos existentes para os programas de P&D, há um número maior de métodos que visam estimar um nível de maturidade da tecnologia em questão.

Por sua vez, em geral, estes métodos costumam atuar de forma estanque, não se integrando com elementos de gestão do desenvolvimento de produtos, como risco, cronogramas, orçamentos e etc. A maioria dos métodos de análise de maturidade, sejam quantitativos ou qualitativos, tem seu foco na avaliação do grau de maturidade como o MRL (*Manufacturing Readiness Level*), IRL (*Integration Readiness Level*), TRRL (*Technology Readiness Transfer Level*), SRL (*System Readiness Level*), e outros (AZIZIAN *et al*, 2009).

Em função disso Mankis propôs um modelo de processo de TRRA (*Technology Readiness and Risk Assessment*), ou seja, com a proposta de incluir, na gestão do desenvolvimento do produto, elementos de avaliação dos riscos em função do grau de maturidade das tecnologias aplicadas (MANKINS, 2009) (AZIZIAN *et al*, 2009).

Como fundamentos para um método que se proponha a correlacionar riscos ao programa com o grau de maturidade das tecnologias a serem utilizadas, Mankins (2009a) frisa quatro aspectos:

- Clareza, ou seja, os resultados obtidos para a tomada de decisão devem ser claros o suficiente a todos para determinar tanto o risco como a prontidão tecnológica;
- Transparência, de modo com que o processo seja formal, mas não burocrático, e baseado no consenso, sendo de fácil de compreensão;
- Nitidez, ou seja, os resultados gerados junto aos tomadores de decisão devem ser claros e adequados, sendo possível aplicar prontamente no processo de desenvolvimento;



- Gerar dados que substanciem os resultados, de modo que estas informações venham corroborar as tomadas de ações.

A proposta elaborada por Mankins (2009a) para o TRRA propõe juntar, basicamente, três métodos: o TRL (*Technology Readiness Level*), que avalia o grau de maturidade de uma tecnologia; o R&D3 (*Research and Development Degree of Difficulty*), cuja essência é uma escala que tem por objetivo ponderar a probabilidade de sucesso das atividades de P&D, sendo que sua graduação varia de 1 a 5 e é apresentada na Figura 2.16 e; o TNV (*Technology Need Value*) que é um fator que avalia a importância do desenvolvimento de uma tecnologia em particular para o sucesso de um programa, sua escala varia de 1 a 5 e pode ser vista na Tabela 2.11.

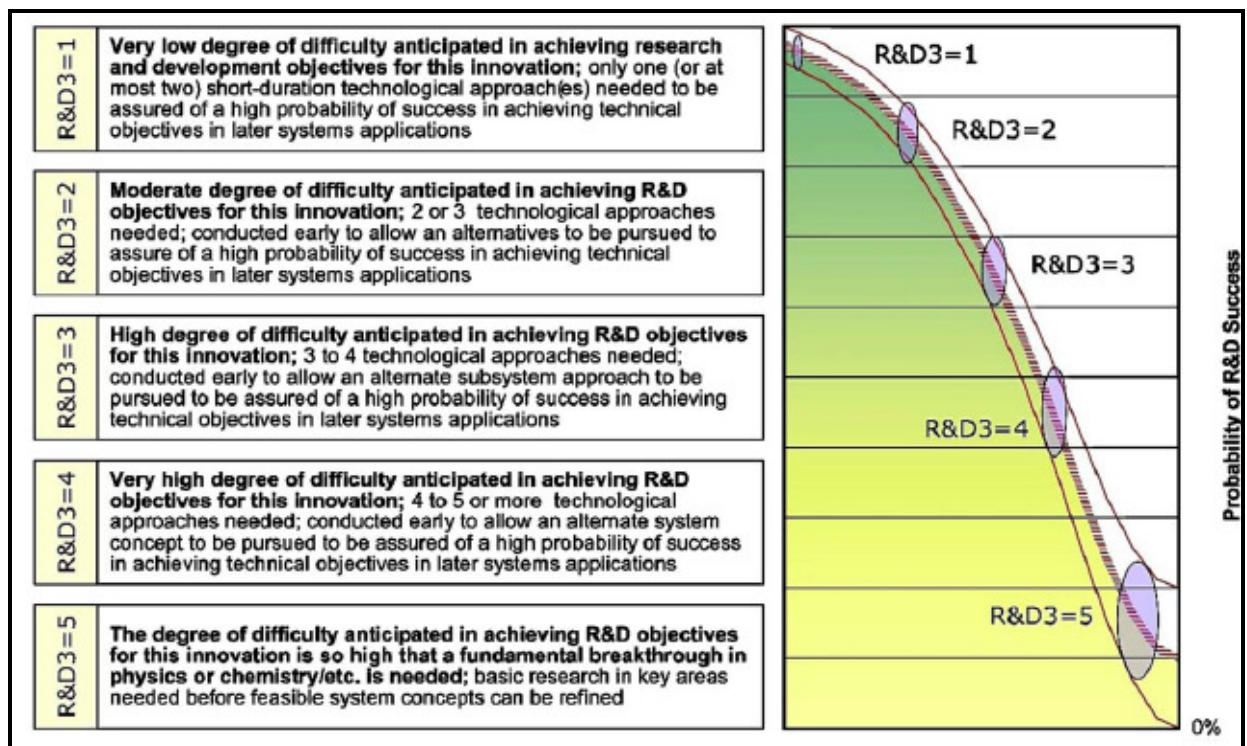


Figura 2.16: Escala do grau de dificuldade da Pesquisa e Desenvolvimento (“R&D3”) (MANKINS, 2009a).

Tabela 2.11: Escala de Importância da Tecnologia (“TNV”) (MANKINS, 2009a).

| Technology Need Value | Weighting Factor | Description   |
|-----------------------|------------------|---|
| <b>TNV-1</b>          | 40%              | The technology effort is <b>not critical at this time</b> to the success of the program— the advances to be achieved are useful for some cost improvements; <u>However</u> , the information to be provided is not needed for management decisions until the far- term                  |
| <b>TNV-2</b>          | 60%              | The technology effort is <b>useful</b> to the success of the program—the advances to be achieved would meaningfully improve cost and/or performance; <u>However</u> , the information to be provided is not needed for management decisions until the mid- to far- term                 |
| <b>TNV-3</b>          | 80%              | The technology effort is <b>important</b> to the success of the program—the advances to be achieved are important for performance and/or cost objectives <b>AND</b> the information to be provided is needed for management decisions in the near- to mid- term                         |
| <b>TNV-4</b>          | 100%             | The technology effort is <b>very important</b> to the success of the program; the advances to be achieved are enabling for cost goals and/or important for performance objectives <b>AND</b> the information to be provided would be highly valuable for near-term management decisions |
| <b>TNV-5</b>          | 120%             | The technology effort is <b>critically important</b> to the success of the program at present—the performance advances to be achieved are enabling <b>AND</b> the information to be provided is essential for near-term management decisions  |

O resultado é um modelo de trabalho em que os elementos do projeto são desdobrados e avaliados em função do: grau de maturidade das tecnologias envolvidas; do grau de dificuldade do seu desenvolvimento, em uma perspectiva de probabilidade de sucesso e; do grau de importância desta tecnologia para o sucesso do programa. O fluxo de trabalho proposto é apresentado na Figura 2.17.

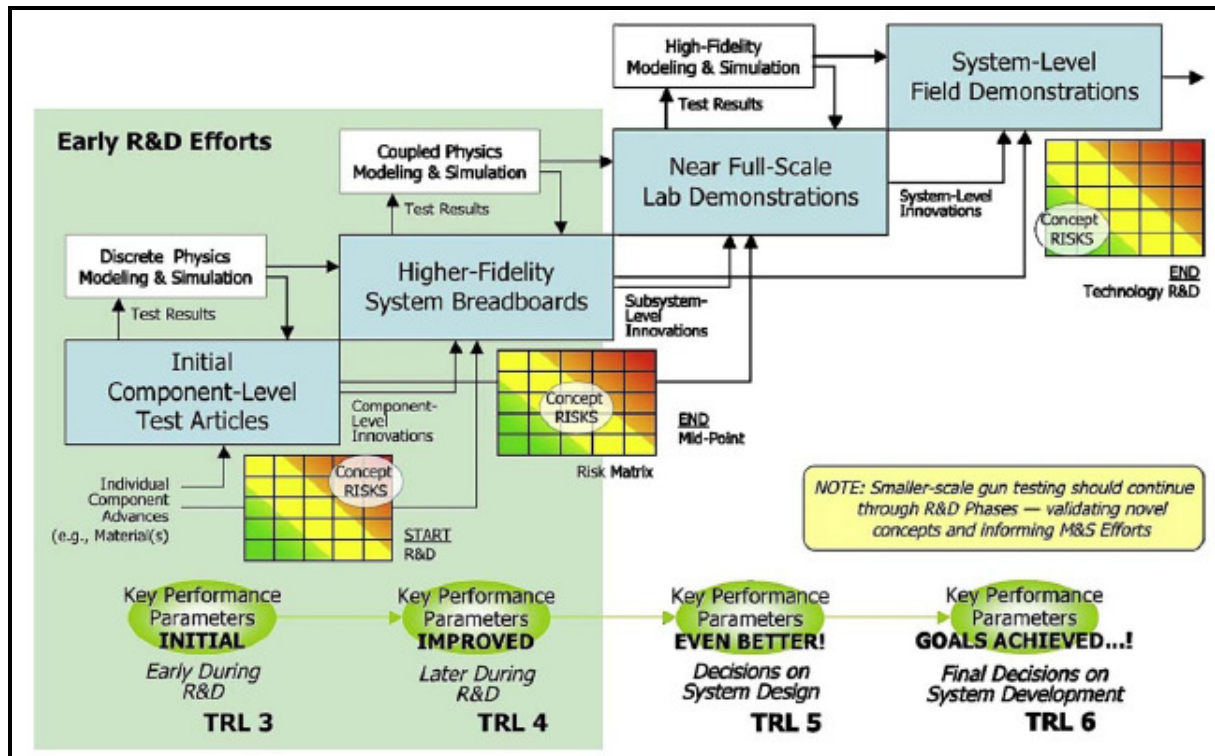


Figura 2.17: Modelo de TRRA proposto por Mankins (2009a) para um programa genérico de P&D.

### 3 Método Proposto – TRACER

O método proposto, intitulado TRACER, acrônimo do inglês para método de Avaliação do Risco Tecnológico e Identificação de Elementos Críticos (*Technological Risk Assessment and Critical Elements Recognition Method*) é apresentado na Figura 3.1. Este tem como principal objetivo servir como uma ferramenta de suporte aos gestores de projetos de inovação tecnológica para identificar e avaliar, de forma estruturada, os riscos agregados ao desenvolvimento do projeto quando há a expectativa de inclusão de sistemas e subsistemas específicos com baixo grau de maturidade, grande interdependência e requisitos importantes.

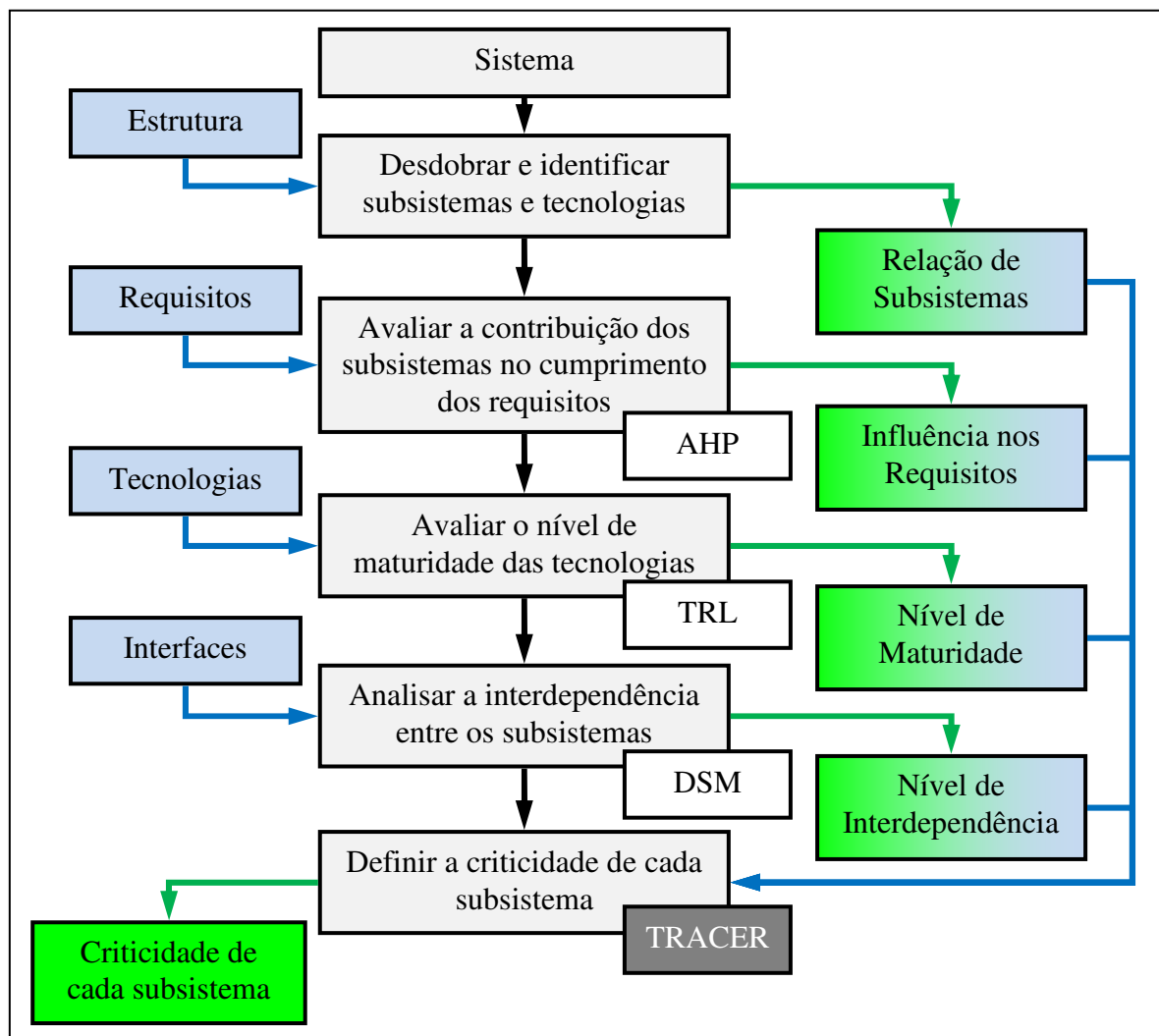


Figura 3.1: Método proposto para Avaliação do Risco Tecnológico e Identificação de Elementos Críticos

Composto por cinco etapas, conforme apresentado na Figura 3.1, este método permite avaliar, de forma estruturada e, em uma perspectiva qualitativa, os riscos e as possíveis implicações da adoção de tecnologias imaturas e avaliar as possíveis ações com vistas à sua mitigação. Dessa forma, as etapas se procedem conforme indicado abaixo:

- a. Etapa um: desdobrar e identificar os sistemas / subsistemas e principais tecnologias associadas a ela, utilizando-se dos conceitos de Engenharia de Sistemas.
- b. Etapa dois: avaliar a contribuição dos sistemas / subsistemas no cumprimento dos requisitos aplicado o método AHP para se estabelecer a sua relação hierárquica.
- c. Etapa três: avaliar o grau de maturidade das diversas tecnologias que compõem o sistema / subsistemas detalhados anteriormente, utilizando a metodologia TRL.
- d. Etapa quatro: analisar a interdependência entre os sistemas / subsistemas que compõem o produto utilizando a matriz DSM, avaliando sua importância tanto como fornecedor de energia, material, informação ou suporte físico ou como sistema dependente.
- e. Etapa cinco: definir a criticidade de cada sistema / subsistemas considerando a importância para o cumprimento dos requisitos a que o produto se propõe, o grau de maturidade da tecnologia e os impactos sobre os outros subsistemas. Por fim, é feita uma análise para definir as tecnologias que precisam ser monitoradas pela sua importância global.

O principal benefício do método proposto é avaliar o risco do uso de tecnologias imaturas em um sistema de uma forma ampla, associando a sua função para o atendimento de um determinado requisito com os riscos do não cumprimento desta função. Este resultado

permite analisar simultaneamente dois dos problemas mais comuns no domínio de tecnologias em projetos inovadores: o cumprimento dos requisitos e a integração entre os sistemas.

O método proposto e suas cinco etapas são pormenorizados a seguir.

### **3.1 Etapa 1: Desdobrar e identificar Subsistemas e Tecnologias**

Sendo uma das etapas chave do método proposto, o desdobramento do sistema dá uma boa perspectiva do quão complexo é o produto em análise e quanta tecnologia deverá ser incorporada.

Para a consecução desta etapa, antes de tudo, é fundamental contextualizar o termo Sistema. Segundo o *United States Army apud Loureiro (1999)*, Sistema é "um composto de equipamentos, habilidades e técnicas capazes de realizar e / ou de suportar um papel operacional. Um sistema completo inclui as facilidades correlatas, equipamentos, material, serviços, software, dados técnicos e o pessoal necessário ao seu funcionamento e suporte até o nível em que pode ser considerado como uma unidade auto-suficiente em seu funcionamento / apoio no ambiente esperado. O sistema é operacionalmente utilizado e apoiado logisticamente".

Um dado sistema ou produto, foco do projeto de desenvolvimento, pode ser desdobrado em subsistemas ou componentes, de acordo com diversos critérios, como os adotados pela Engenharia de Sistemas (INTERNATIONAL COUNCIL ON SYSTEMS ENGINEERING, 2004), assim como exemplificado na Figura 3.2.

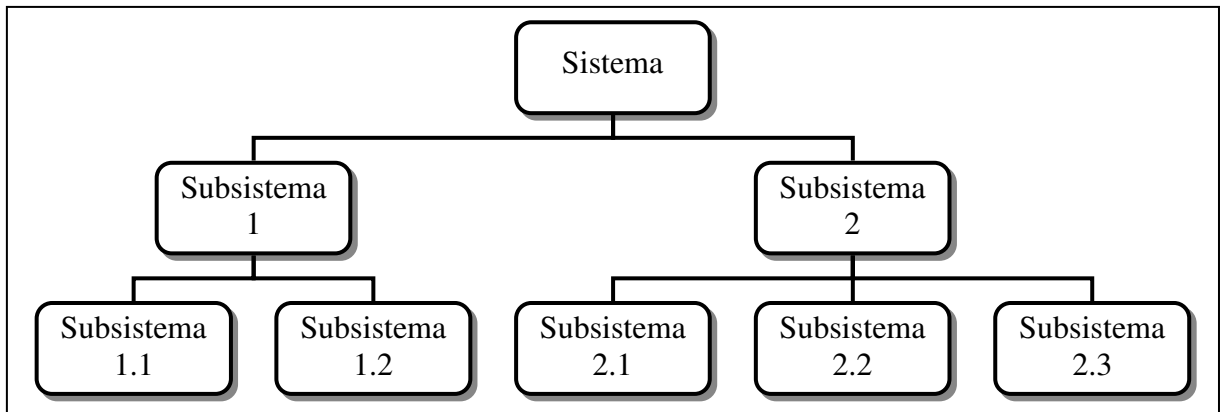


Figura 3.2: Desdobramento de Sistemas em Subsistemas.

Uma importante questão é saber até que ponto o sistema deve ser detalhado para a análise. Para o desenvolvimento técnico do projeto é desnecessário alcançar o nível de detalhe de partes ou componentes do sistema. Todavia, para a aplicação do método proposto, o nível de desdobramento desejado é aquele que permite uma visão adequada da montagem, sendo possível identificar uma tecnologia específica, ou conjunto de tecnologias, que compõem o subsistema.

Um benefício direto do uso do desdobramento de sistemas a partir de uma estrutura hierárquica é a possibilidade de verificar diferentes estratégias para agregar diversas funções em um único subsistema ou constatar a existência de demasiada concentração de funções, sobrecarregando-o, o que pode configurar, dependendo do grau de maturidade da tecnologia, um potencial gargalo no processo de desenvolvimento e um acúmulo significativo de riscos, incertezas e potencial de conflito com outros subsistemas..

### **3.2 Etapa 2: Avaliar a contribuição dos Subsistemas no cumprimento dos requisitos**

Assim como feito com o termo Sistema, contextualizar o que é um requisito é uma das questões chave para a compreensão da importância desta etapa do método. Segundo a

*Electronics Industry Association* apud Loureiro (1999), "os termo requisitos refere-se ao conjunto total de considerações que regem o que deve ser realizado, como deve ser cumprido, e em que condições ele deve ser executado. Eles também determinam, quando necessário, a lógica e as características físicas do sistema".

Nesta visão ampla, o *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (1995) por meio do IEEE-1220-Standard define dois tipos de requisitos: requisitos dos *stakeholders*, que expressar o seu desejo acerca do produto, processos e organização, podendo ser expressos como sendo as necessidades, desejos, expectativas, prioridades ou objetivos, sendo, muitas vezes, expressos em termos não-técnicos pouco adequados para uso em projeto; por sua vez, os requisitos técnicos, derivados dos requisitos dos *stakeholders*, expressam as demandas em termos técnicos, de modo que sejam objetivamente verificáveis.

Por sua vez, em sistemas complexos onde um produto pode ser detalhado em dezenas, ou até centenas de subsistemas, torna-se difícil associar, de forma precisa, a real contribuição de cada uma destas para o atendimento dos requisitos, estabelecendo uma graduação de importâncias para o atendimento das demandas estabelecidas. Segundo Loureiro (1999), a identificação precoce destes relacionamentos pode prover uma visão mais realista do volume de trabalho que será necessário para o desenvolvimento. Usualmente, em produtos complexos, visto o potencial elevado de relacionamentos existente, este fator é negligenciado resultando na identificação tardia dos problemas onde os custos de modificação são mais elevados.

Há que se considerar também que cada requisito contribui de forma diferente para a plena satisfação dos usuários existindo, também, uma hierarquia do nível de importância. O



manejo simultâneo destes dois parâmetros, subsistemas e requisitos, mostra-se fundamental para estabelecer uma base de correlação entre a performance desejada pelos usuários e os subsistemas que compõem o produto.

O estabelecimento deste relacionamento é, basicamente, a correlação proposta por Loureiro (1999) entre o domínio dos problemas, onde os *stakeholders* expressam suas necessidades, desejos, vontades e expectativas, e o domínio da solução, composto pelo sistema, assim como representado na

Figura 3.3.

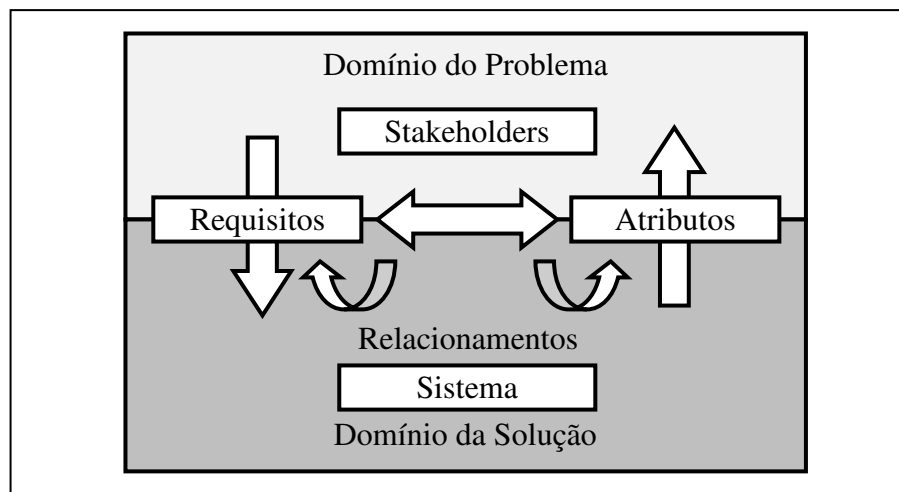


Figura 3.3: Necessidades, atributos e relacionamentos em um modelo genérico de desenvolvimento de produtos complexo (adaptado de LOUREIRO, 1999).

Nesta segunda etapa do método, uma vez estabelecida a hierarquia entre os diversos requisitos desdobrados do objetivo maior e tendo, de forma semelhante, uma visão do desdobramento do sistema em subsistemas, é possível estimar, de forma ponderada, a importância relativa de cada subsistema para o cumprimento do desempenho planejado aplicando um modelo baseado no AHP, aqui chamado de AHP modificado, conforme mostrado na Figura 3.4.

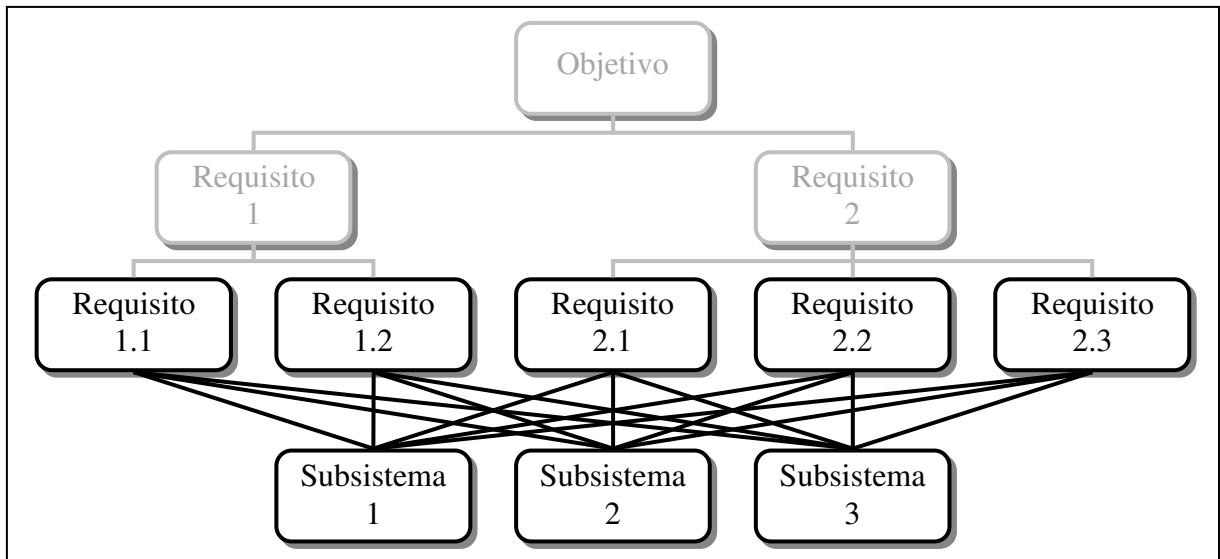


Figura 3.4: Estabelecimento da relação entre Requisitos e Subsistemas.

No modelo proposto, o preenchimento da matriz de comparação mostrada na Tabela 3.1, avaliando par a par a importância relativa de cada requisito para o desempenho final do produto, deve ser feito utilizando-se como base para as comparações, a escala fundamental elaborada por Saaty (2008), de modo a buscar estabelecer a priorização de um requisito em relação aos demais.

Tabela 3.1: Matriz de comparação entre Requisitos.

| Requisito     | Requisito 1.1 | Requisito 1.2 | Requisito 2.1 | Requisito 2.2 | Requisito 2.3 |
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Requisito 1.1 | 1             |               |               |               |               |
| Requisito 1.2 |               | 1             |               |               |               |
| Requisito 2.1 |               |               | 1             |               |               |
| Requisito 2.2 |               |               |               | 1             |               |
| Requisito 2.3 |               |               |               |               | 1             |

No método AHP modificado todos os requisitos são comparados par a par, independentemente do seu nível hierárquico, uma vez que o entendimento é que a aplicação da Escala Fundamental de Saaty permite, por si só, expressar a devida relação de prioridade

entre os requisitos e, o coeficiente de coerência permite avaliar a consistência das comparações.

Quanto à comparação entre subsistemas para o atendimento de um determinado requisito, uma situação comumente encontrada é a total dissociação de um subsistema com o requisito em avaliação ou, a atuação oposta do subsistema ao atendimento do requisito, em contraposição aos subsistemas desenvolvidos especificamente para o cumprimento deste requisito. Tal fato torna pertinente uma releitura das definições apresentadas por Saaty (2008) para consolidar um modelo de comparação entre subsistemas, de forma a permitir buscar uma plena associação do método AHP modificado ao proposto por este método para avaliação do atendimento aos requisitos.

Tabela 3.2: Adaptação da Escala Fundamental de Saaty (2008) para comparação entre subsistemas. (continua)

| Nível de importância | Definição                          | Explicação  |
|----------------------|------------------------------------|---|
| 1                    | Igual importância                  | Os dois subsistemas contribuem de formas iguais para o atendimento do requisito. Eventualmente ambos não influem no requisito.  |
| 3                    | Importância moderada               | Os dois subsistemas contribuem para o atendimento do requisito, contudo, a participação de um sobrepuxa levemente a do outro ou; um dos subsistemas contribui discretamente enquanto o outro não interfere no atendimento ao requisito.                       |
| 5                    | Forte importância                  | Os dois subsistemas contribuem para o atendimento do requisito, contudo, a participação de um se destaca com relação ao outro ou; um dos subsistemas contribui enquanto o outro não interfere no atendimento ao requisito.                                    |
| 7                    | Importância muito forte ou visível | Os dois subsistemas contribuem para o atendimento do requisito, contudo, a participação de um supera fortemente a do outro ou; um dos subsistemas contribui fortemente enquanto o outro não interfere no atendimento ao requisito ou atua de forma contrária. |

Tabela 3.2: Adaptação da Escala Fundamental de Saaty (2008) para comparação entre subsistemas. (término)

|   |                     |   |
|---|---------------------|---|
| 9 | Importância extrema | Apenas um dos subsistemas contribui para o atendimento do requisito avaliado, sendo um dos principais responsáveis pelo desempenho neste quesito. O outro subsistema em nada contribui ou interfere fortemente no sentido oposto. |
|---|---------------------|---|

Com estas definições, em um passo seguinte do AHP modificado, para cada requisito, deve ser feita a comparação da contribuição dos subsistemas para o cumprimento do requisito, como mostrado na Tabela 3.3, utilizando-se a escala proposta na Tabela 3.2.

Tabela 3.3: Matriz de comparação entre subsistemas para um determinado requisito.

| Requisito n  | Subsistema 1 | Subsistema 2 | Subsistema 3 |
|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Subsistema 1 | 1            |              |              |
| Subsistema 2 |              | 1            |              |
| Subsistema 3 |              |              | 1            |

Por fim, os passos do desenvolvimento do AHP modificado são encerrados construindo a matriz entre os diversos subsistemas levantados e os requisitos demandados, como apresentado na Tabela 3.4.

Tabela 3.4: Matriz de influência dos subsistemas para o atendimento dos requisitos.

|              | Requisito 1.1 | Requisito 1.2 | Requisito 2.1 | Requisito 2.2 | Requisito 2.3 |
|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Subsistema 1 |               |               |               |               |               |
| Subsistema 2 |               |               |               |               |               |
| Subsistema 3 |               |               |               |               |               |

### 3.3 Etapa 3: Avaliar o grau de maturidade das Tecnologias

Um dos principais objetivos desta terceira etapa é identificar a tecnologia aplicada a cada subsistema para se atingir o desempenho esperado. Se existem várias tecnologias prontas para serem aplicadas, com desempenho similar e custos e funcionalidade comparáveis, a mais madura deve ser sempre a seleção preferencial. Exceções ocorrem quando uma nova tecnologia pode trazer maior nível de reconhecimento público ou competitividade.

O segundo objetivo é avaliar o grau de maturidade, de acordo com o modelo de referência do TRL, apresentado na Figura 3.5, onde a graduação varia de TRL 1 a TRL 9. Por último, todas as informações podem ser estruturadas em um quadro mostrando, para cada subsistema, a respectiva tecnologia a ser utilizada e o nível de maturidade, como o ilustrado na Tabela 3.5.

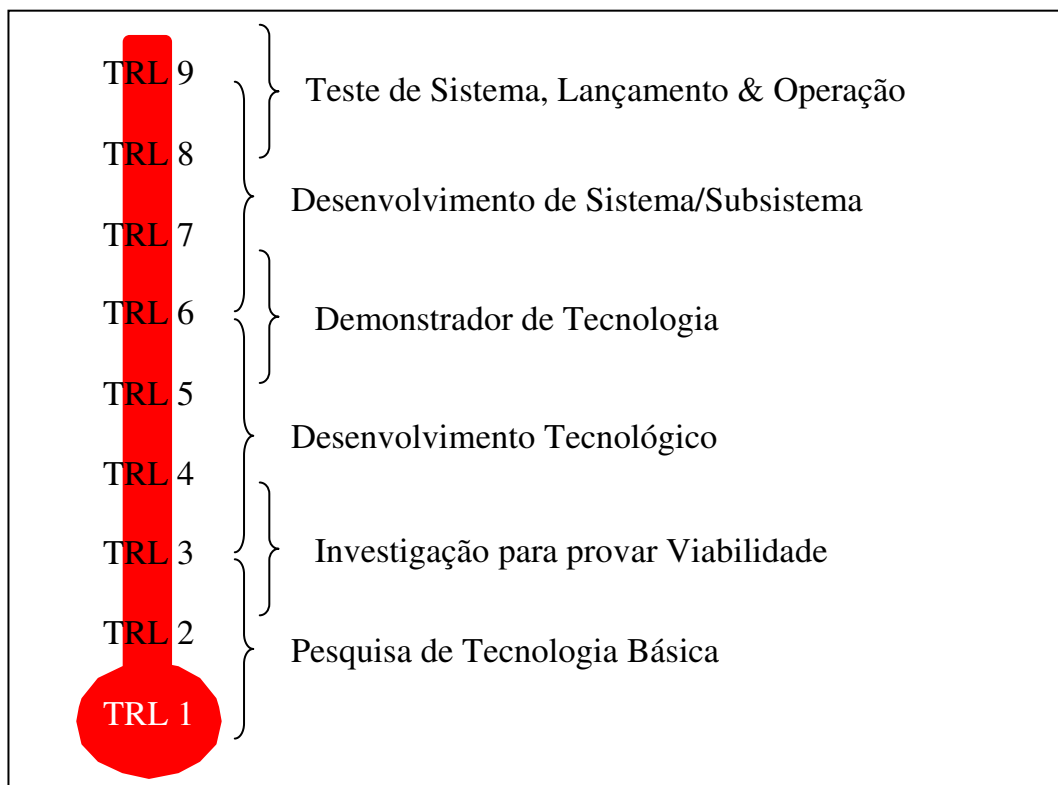


Figura 3.5: Modelo de referência dos níveis de TRL.

Tabela 3.5: Quadro de subsistema, tecnologia versus grau de maturidade.

| Subsistema    | Tecnologia    | TRL |
|---------------|---------------|-----|
| Subsistema 1  | Tecnologia 1  |     |
| Subsistema 2  | Tecnologia 2  |     |
| Subsistema... | Tecnologia... |     |
| Subsistema n  | Tecnologia n  |     |

Usualmente um subsistema é montado com base em uma série de tecnologias, desde as básicas já plenamente dominadas pela indústria, até as mais inovadoras e que representam o real diferencial. Em um cenário como este, a tecnologia mais crítica e imatura deve ser utilizada para se estabelecer o grau de maturidade do conjunto.

#### 3.4 Etapa 4: Analisar a interdependência entre os subsistemas

Essencial para desenvolver sistemas complexos, o mapeamento da correlação entre os diversos subsistemas que compõe o produto pode ser feito usando a matriz DSM. O foco desta quarta etapa é avaliar o potencial impacto que mudanças ou alterações no desempenho da função em um subsistema podem trazer ao conjunto como um todo.

Em um primeiro passo deve ser feita a graduação de todas as interdependências  $I_{ij}$  existentes entre os subsistemas  $i$  e  $j$  identificados na matriz DSM, conforme mostrado na Tabela 3.6, de modo a ponderar a intensidade do relacionamento.

Cada interface deverá ser graduadas de 1, que representa a ausência de qualquer interação até 4, que representa o caso mais crítico, com grau de dependência extrema, conforme apresentado na Tabela 3.7. Esta análise deve ser feita à luz dos tipos de interações

que os subsistemas estabelecem, podendo ser troca de informações, energia, material ou contato físico, sempre tomando como base o caso mais relevante.

Tabela 3.6: Matriz para avaliação do nível de interdependência entre Subsistemas.

| Subsistema    | Subsistema 1 | Subsistema 2 | Subsistema 3 | Subsistema... | Subsistema n |
|---------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|
| Subsistema 1  | I11          | I12          | I13          | I...          | I1n          |
| Subsistema 2  | I21          | I22          | I23          | I...          | I2n          |
| Subsistema 3  | I31          | I32          | I33          | I...          | I3n          |
| Subsistema... | I...         | I...         | I...         | I...          | I...         |
| Subsistema n  | In1          | In2          | In3          | I...          | Inn          |

Tabela 3.7: Graduação do nível de dependência.

| Fator | Representação  |
|-------|--|
| 1     | Representa a total ausência de interação entre os subsistemas.   |
| 2     | Indica pequena dependência, sua ausência não compromete o funcionamento do subsistema dependente.                |
| 3     | Alta dependência entre os subsistemas, sua ausência compromete o correto funcionamento do subsistema dependente. |
| 4     | Dependência extrema, sua ausência impossibilita o funcionamento do subsistema dependente.                        |

Desta forma, dois subsistemas podem, por exemplo, não apresentar inter-relação (1); apresentar quatro tipos de interdependência, duas moderadas (2) e duas altas (3), sendo, neste caso, a interface pontuada como de dependência alta (3); ou, em caso extremo, os subsistemas podem estabelecer quatro tipos de interações essenciais (4) para o funcionamento, recebendo uma graduação de dependência (4). Esta métrica visa estabelecer que, em se tratando da importância crítica das interfaces, o caso de maior relevância deve ser utilizado como base para ponderar a relevância dos relacionamentos estabelecidos entre os subsistemas.

Outro ponto proposto pelo método é que as análises de inter-relacionamento entre componentes façam a devida distinção entre interfaces estabelecidas para fornecimento ou para a demanda, seja de informação, material, energia ou suporte físico. Esta consideração é, normalmente, pouco explorada ou, por vezes, até ignorada quando se utiliza a matriz DSM.

A avaliação da importância relativa de cada subsistema, no tangente à sua atuação como demandante ou provedor de interfaces, deve ser feita com base em dois tipos de análise: pela contribuição de cada subsistema como fornecedor para outros subsistemas e; pela dependência de cada subsistema em relação aos demais para o pleno desempenho de sua função.

Para avaliar o grau de interação estabelecido através do fornecimento de dados, material, energia ou suporte físico, entre os diversos subsistemas, a matriz de relacionamento deve ser construída a partir das linhas (dependentes) em relação às colunas (fornecedores), conforme ilustrado pela Figura 3.6, ponderando cada interdependência com um valor de 1 a 4, conforme apresentado na Tabela 3.7 de graduação do nível de dependência.

**DSM**

|   | A | B | C | D | E | F | G | H |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 1 | 1 | 4 | 4 | 1 | 1 | 1 | 3 |
| B | 4 | 1 | 2 | 1 | 2 | 4 | 1 | 1 |
| C | 2 | 2 | 1 | 4 | 1 | 2 | 4 | 2 |
| D | 1 | 4 | 1 | 1 | 4 | 4 | 1 | 4 |
| E | 1 | 4 | 1 | 3 | 1 | 4 | 2 | 2 |
| F | 4 | 1 | 4 | 3 | 4 | 1 | 4 | 2 |
| G | 1 | 4 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| H | 1 | 1 | 2 | 1 | 4 | 4 | 1 | 1 |

Figura 3.6: Matriz DSM de fornecimento entre subsistemas.



O cálculo da matriz DSM transposta das interfaces entre os subsistemas, onde há o cruzamento das linhas (fornecedores) com as colunas (dependentes), assim como representada pela Figura 3.7, estabelece a demanda de interface entre os subsistemas, expressando a necessidade de dados, material, energia ou suporte físico. Os valores de cada interdependência obedecem à Tabela 3.7 de graduação do nível de dependência.

| DSM <sup>t</sup> |   |   |       |   |   |   |   |   |
|------------------|---|---|-------|---|---|---|---|---|
|                  | A | B | C     | D | E | F | G | H |
| A                | 1 | 4 | 2     | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 |
| B                | 1 | 1 | 2     | 4 | 4 | 1 | 4 | 1 |
| C                | 4 | 2 | 1     | 1 | 1 | 4 | 2 | 2 |
| D                | 4 | 1 | 4     | 1 | 3 | 3 | 2 | 1 |
| E                | 1 | 2 | PROVÊ | 1 | 4 | 1 | 4 |   |
| F                | 1 | 4 | 2     | 4 | 4 | 1 | 2 | 4 |
| G                | 1 | 1 | 4     | 1 | 2 | 4 | 1 | 1 |
| H                | 3 | 1 | 2     | 4 | 2 | 2 | 1 | 1 |

Figura 3.7: Matriz DSM de demanda entre subsistemas.

Desta forma, o cálculo da interdependência de um subsistema como fornecedor, em uma matriz DSM com  $m$  elementos, deve ser feito conforme Equação 3.1, ou seja, como o produto simples da multiplicação do valor de cada interface  $I_{ij}$  discriminada na linha do subsistema “k”.

$$\text{Interdependência de fornecimento do subsistema } k = \prod_{j=1}^m I_{kj} \quad (3.1)$$

Por sua vez, o cálculo da interdependência de um subsistema como dependente de suas interfaces, em uma matriz DSM com  $m$  elementos, deve ser estimado conforme Equação 3.2,

através da simples multiplicação de cada um dos valores das interfaces  $I_{ij}$  discriminada na coluna  $k$  do subsistema “ $k$ ”.

$$\text{Interdependência de dependência do subsistema } k = \prod_{i=1}^m I_{ik} \quad (3.2)$$

Em geral, a matriz das interfaces DSM não é uma matriz simétrica, pois nem sempre há uma simetria de dependência entre subsistemas, ou seja, usualmente há diferenças entre o grau de relevância e os tipos de interface na visão do subsistema que o provê e no que demanda o relacionamento.

### **3.5 Etapa 5: Definir a criticidade de cada Subsistema**

Por fim, na última etapa o método propõe uma forma de avaliar a criticidade de cada subsistema no contexto geral do projeto de modo que esta análise seja ponderada em função da importância que representa ao usuário final através: do atendimento aos requisitos; do seu papel como fornecedor de dados, informações etc. para outros subsistemas; como demandante de dados, informações etc. advindos de outros subsistemas e; através do nível de maturidade tecnológica considerado.

Cada um desses aspectos é avaliado a partir dos resultados obtidos com o método proposto sendo que:

AHP modificado – expressa a contribuição relativa de cada subsistema para o atendimento aos requisitos demandados para o sistema;

DSM – indica o grau de contribuição de cada subsistema como fornecedor de dados, suporte físico, energia, etc. para os outros subsistemas;

DSMt – indica o grau de dependência de cada subsistema como usuário de dados, suporte físico, energia, etc. de outros subsistemas;

TRL – valor que representa o grau de maturidade da tecnologia que se pretende incorporar no subsistema em questão.

Com os dados levantados é preenchida a Tabela 3.8 de forma que, nas primeiras duas colunas sejam descritos os subsistemas e as tecnologias consideradas para a análise. Nas colunas subsequentes são expressas, consecutivamente e para cada subsistema: o grau de prioridade verificada em função dos requisitos expostos; o produto entre a importância relativa como fornecedor, obtida com a Equação 3.1, e a importância relativa como demandante de inter-relacionamentos, calculada com a Equação 3.2; por fim, o grau de maturidade das tecnologias aplicadas.

Tabela 3.8: Tabela de avaliação da criticidade de cada subsistema.

| Subsistema | Tecnologia | AHP | DSM x DSMt | Maturidade |
|------------|------------|-----|------------|------------|
|            |            |     |            |            |
|            |            |     |            |            |
|            |            |     |            |            |

O método proposto fornece, com base nestes dados, subsídios aos gestores de projetos de inovação para avaliar a estrutura arquitetada para o sistema, os riscos envolvidos pelo grau de maturidade das tecnologias aplicadas e, a complexidade das inter-relações estabelecidas.

Uma representação gráfica, como o mostrado na Figura 3.8, permite sintetizar todas as informações e avaliar simultaneamente as três dimensões envolvidas na análise sendo: no eixo das ordenadas a quantificação da colaboração de cada subsistema para o atendimento dos requisitos do sistema; no eixo das abscissas aparece o nível de maturidade das tecnologias

aplicadas a cada subsistema e; refletido no diâmetro das esferas do diagrama, uma referência qualitativa das interfaces estabelecidas, seja como fornecedor ou como usuário.

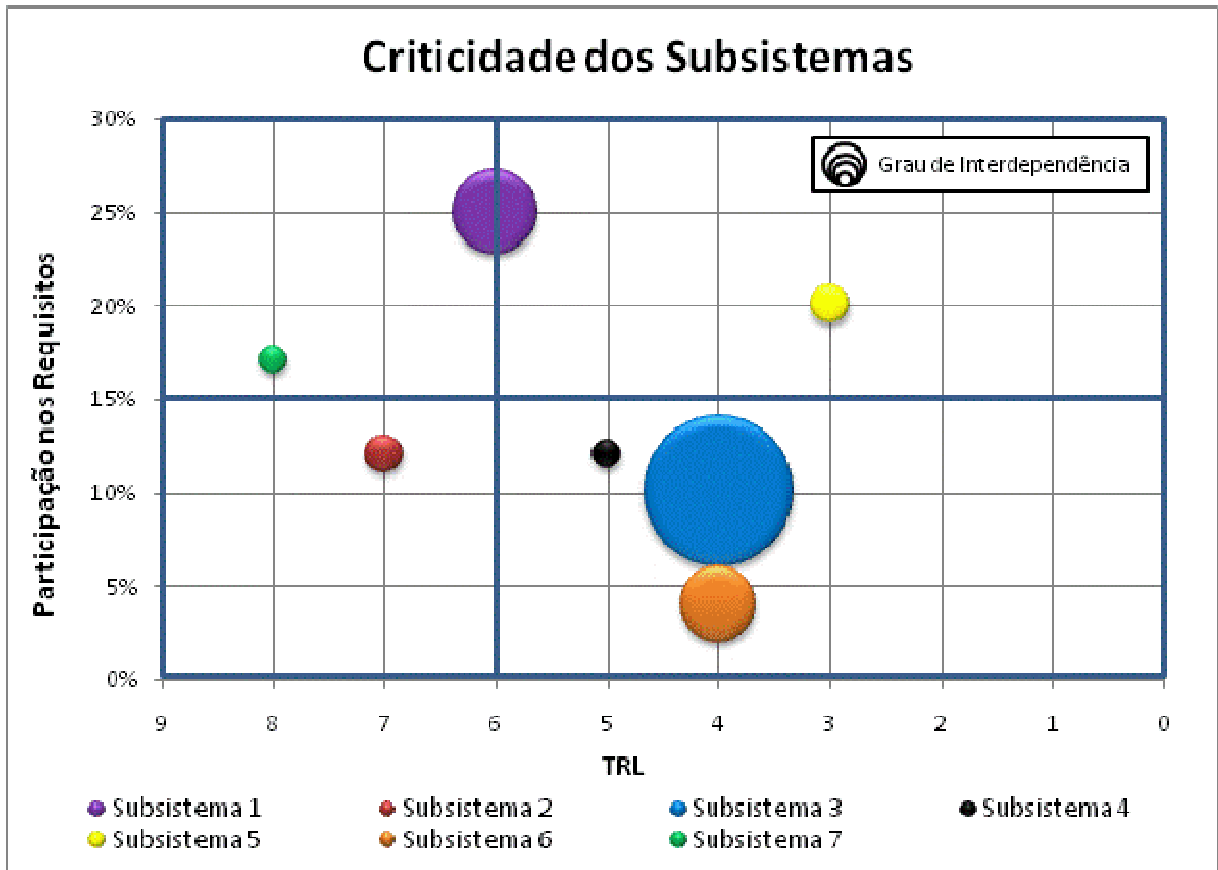


Figura 3.8: Apresentação gráfica das três dimensões para avaliação da criticidade de um subsistema.

Em um contexto onde há um inadequado balanceamento dos subsistemas ou os mesmos estão mal representados, o gráfico dos resultados da avaliação da criticidade podem apresentar um resultado como o da Figura 3.9, item (a), onde se percebe que a maioria dos subsistemas se encontra com baixo nível de maturidade, uns poucos subsistemas concentram grandes volumes de interfaces e, da mesma forma, grande parte do atendimento dos requisitos é feito por uma quantidade muito pequena de subsistemas. Um cenário mais positivo pode ser visto na Figura 3.9, item (b), onde há um equilíbrio entre maturidade, volume de interfaces e colaboração no atendimento dos requisitos por parte de cada subsistema.

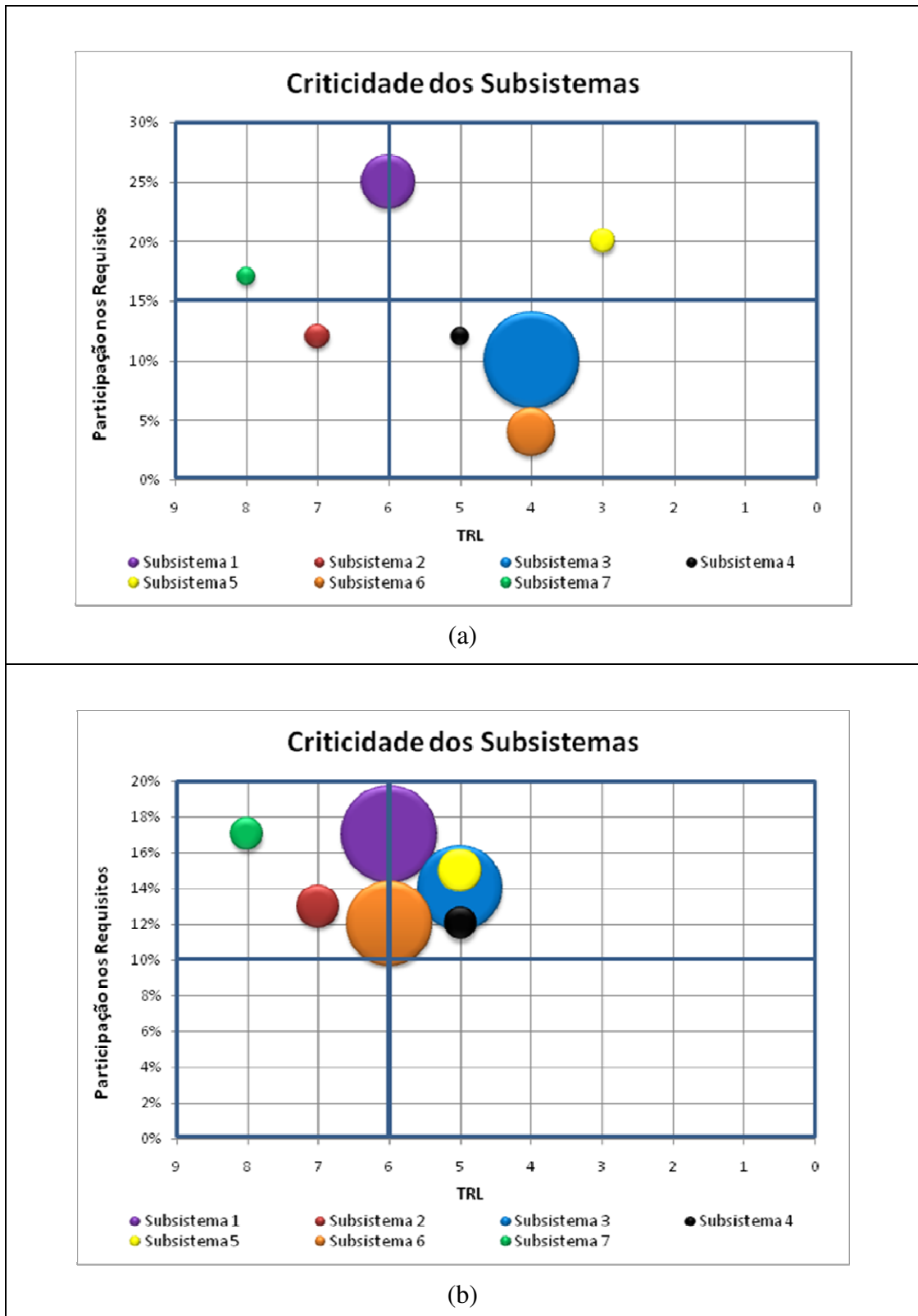


Figura 3.9: Exemplos de resultados de criticidade indesejável (a) e desejável (b).

## 4 Exemplo de Aplicação do Método Proposto – TRACER

Como um exemplo do método de aplicação, esta dissertação se propõe a analisar um subsistema de um dos artefatos tecnológicos mais complexos desenvolvidos pela humanidade, submetidos à operação em condições ambientais das mais adversas, exigido ao extremo em sua estrutura e sistemas e, balizado pelo limitado grau de liberdade de trabalho em termos de dimensões e massa, sendo, em função disso, demandantes de requisitos extremamente exigentes.

Assim é um satélite que, durante o processo de lançamento, deve suportar níveis de vibração e aceleração que chegam a 56 G (ou  $560 \text{ m/s}^2$ ), em órbita é exposto a toda sorte de espectro de radiações, variações de temperatura entre  $-10^\circ\text{C}$  a  $100^\circ\text{C}$  e, principalmente, uma vez colocado em órbita, não permitirá nenhum reparo físico durante toda sua permanência em operação.

Exemplos de sucesso deste tipo de aparato são os satélites do Programa CBERS, desenvolvidos em conjunto entre o Brasil e a China através de um acordo de parceria entre o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e a CAST (Academia Chinesa de Tecnologia Espacial) assinado em julho de 1988 para o desenvolvimento de dois satélites avançados de sensoriamento remoto, o CBERS 1 e CBERS 2. (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2010)

Em novembro de 2002 foi assinado um novo acordo para a continuação do Programa com o desenvolvimento de dois novos satélites, o CBERS 3 e CBERS 4, com redefinição de

atribuições entre os parceiros, novos requisitos e evolução na carga paga. Neste meio tempo, em 2004, foi assinado um acordo para o lançamento do satélite CBERS 2B. A Figura 4.1 apresenta uma ilustração dos satélites desenvolvidos no Programa CBERS.

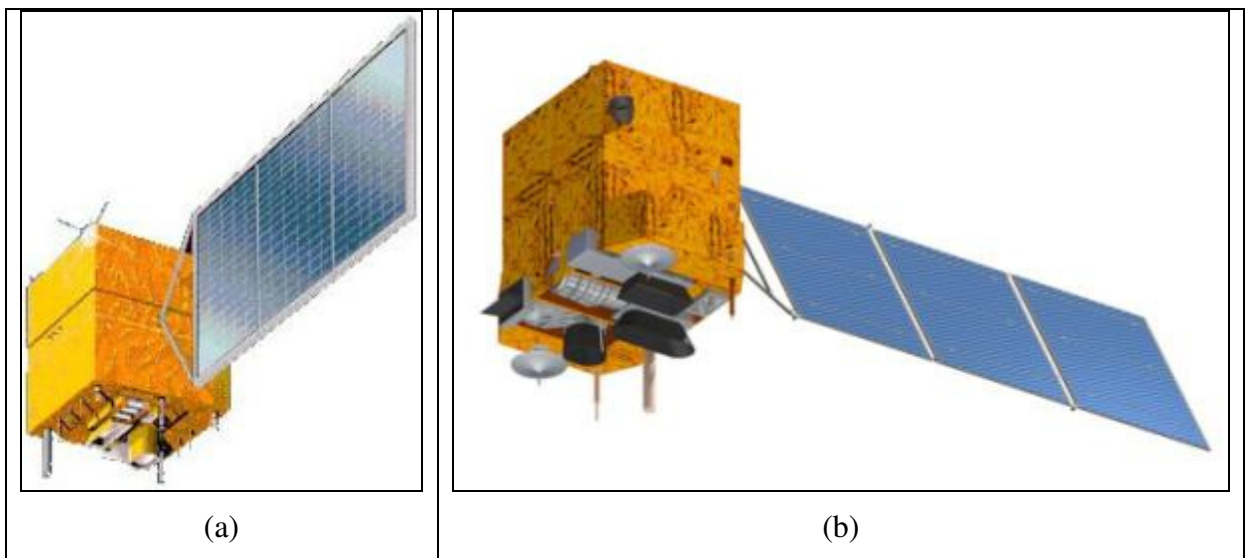


Figura 4.1: Vista dos satélites desenvolvidos no Programa CBERS. (a) CBERS 1, 2 e 2B e (b) CBERS 3 e 4 (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2010).

Elemento que comprova de forma inequívoca o sucesso do Programa é a excepcional longevidade atingida pelos satélites. Lançada em outubro de 2003, o satélite CBERS 2 operou com sucesso durante mais de cinco anos, apesar da expectativa de projeto para apenas 2 anos. Por sua vez, o CBERS 2B executou sua missão até o dia 16 de abril de 2010, mais de dois anos após o seu lançamento, quando o controle do Programa perdeu definitivamente o contato com o equipamento. (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2010)

A aplicação do método proposto em um produto real como o subsistema de um satélite visa, ante a pretensão de validar o método, apresentar as potencialidades, explorar as perspectivas de sua aplicação e identificar pontos que demandam melhoria e oportunidades de novos desenvolvimentos.

#### 4.1 O subsistema

A essência de um satélite de sensoriamento remoto é a sua capacidade de capturar imagens e transmiti-las. No caso do CBERS 3 e 4, o módulo de carga útil contará com 4 câmeras (uma Câmera PanMux - PANMUX, uma Câmera Multi Espectral - MUXCAM, um Imageador por Varredura de Média Resolução – IRSCAM, e uma Câmera Imageadora de Amplo Campo de Visada – WFICAM) (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2010), cada qual atende a uma certa demanda e possuem características específicas. Um sumário dessas características é apresentada na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Sumário das características das Câmeras do CBERS-3 e 4 (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2010).

|                           | Câmera Multi-espectral (MUXCAM)   | Câmera PanMux (PANMUX)  | Imageador por Varredura de Média Resolução (IRMSS)                                     | Câmera Imageadora de Amplo Campo de Visada (WFI)                     |
|---------------------------|---|---|--|--|
| Bandas Espectrais         | 0,45-0,52 $\mu$ m<br>1,55-1,75 $\mu$ m (TBC)<br>0,52-0,59 $\mu$ m (G)<br>0,63-0,69 $\mu$ m (R)<br>0,77-0,89 $\mu$ m (NIR) | 0,51-0,75 $\mu$ m<br>0,51-0,85 $\mu$ m (TBC)<br>0,52-0,59 $\mu$ m (G)<br>0,63-0,69 $\mu$ m (R)<br>0,77-0,89 $\mu$ m (NIR) | 0,76-0,90;<br>0,76-1,10 (C)<br>1,55-1,75 (MIR)<br>2,08-2,35 (SWIR)<br>10,40-12,50 (TH) | 0,52-0,59 (G)<br>0,63-0,69 (R)<br>0,77-0,89 (NIR)<br>1,55-1,75 (MIR) |
| Resolução                 | 20 m  | 5 m / 10 m  | 40 m / 80 m (TH)   | 73 m   |
| Largura da Faixa Imageada | 120 km  | 60 km   | 120 km   | 866 km   |
| Apontamento               | $\pm 32^\circ$ /Não(TBC)  | $\pm 32^\circ$  | não  | não  |
| Revisita                  | 3 dias (TBC)  | 5 dias  |  |  |
| Revisita real             | 26 dias   | não   | 26 dias  | 5 dias   |
| Quantização               | 8 bits  | 8 bits  | 8 bits   | 10 bits  |
| Taxa de Dados Bruta       | 68 Mbit/s   | 140 Mbit/s<br>100 Mbit/s  | 16 Mbit/s  | 50 Mbit/s  |



Um dos grandes desafios encontrados no programa CBERS foi exatamente o desenvolvimento da câmera MUX (Figura 4.2), principalmente em função das restrições impostas pelo governo dos Estados Unidos à venda e exportação de artigos que podem ser relacionados as tecnologias militares e de defesa. Por sua vez, a impossibilidade de adquirir estas tecnologias norte-americanas foi um dos grandes estímulos à busca da capacitação interna para o desenvolvimento das tecnologias associadas à câmera MUX (VASCONCELOS, 2010).

Mais conhecida como ITAR (*International Traffic in Arms Regulations*), o regulamento editado pelo Departamento de Estado dos Estados Unidos remonta à época da guerra fria, onde objetivava fazer o controle unilateral da exportação de armas. Atualmente ele é o responsável por restringir a exportação de artigos tecnológicos e militarmente estratégicos.

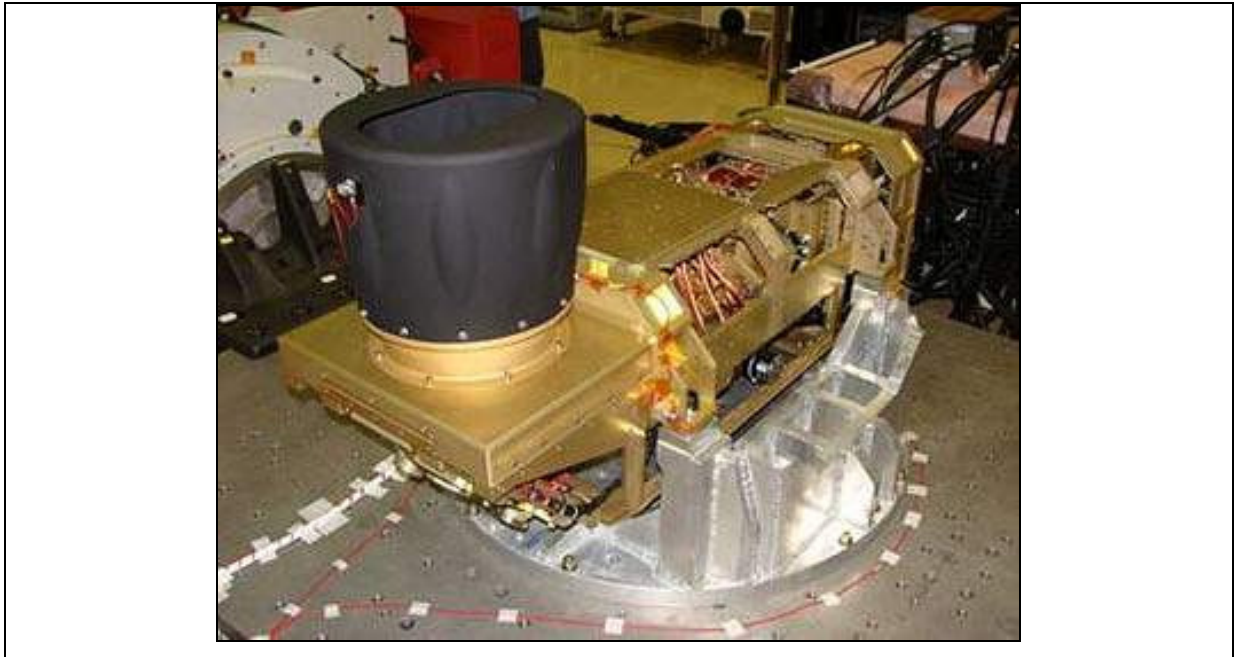


Figura 4.2: Vista da Câmera MUX (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2010).

A câmera MUX em desenvolvimento pesa cerca de 115 quilos e mede 1,10 metros de comprimento por 80 centímetros de largura por 55 centímetros de altura, possui resolução de 20 metros o que, quando se trata de um satélite a uma órbita de 800 quilômetros de distância da Terra, equivale a observar uma mosca a cerca de 400 metros. Tal precisão exige que as lentes sejam construídas com exatidão de décimos de milésimos de milímetro e montadas em uma estrutura altamente rígida e que suporte as diversas cargas provocadas pelo processo de lançamento.

Um dos grandes desafios delegado à câmera nacional foi o cumprimento do requisito de captação de quatro espectros de radiação sendo, além do verde, vermelho e infravermelho, assim como foi a câmera chinesa incorporada ao CBERS 2, a adição do espectro azul. Apesar do aumento da complexidade e custos decorrentes desta demanda, tal requisito justificava-se pela possibilidade de captação de imagens de melhor qualidade das coberturas vegetais e dos recursos hídricos (VASCONCELOS, 2010).

Todo o desenvolvimento da aplicação do método, apresentado a seguir, só foi possível com o inestimável apoio de especialistas do INPE, atuantes diretamente no desenvolvimento da câmera. A identificação dos componentes da Câmera MUX, assim como os requisitos, foram feitos com base na estrutura do produto e requisitos de operação estabelecidos para o processo de aquisição do equipamento. Por sua vez, a priorização dos requisitos e a avaliação dos componentes face aos requisitos, etapas 1 e 2 do método; o levantamento do grau de maturidade das tecnologias, etapa 3 do método, e; a avaliação da interdependência entre os componentes, etapa 4 do método; foi feito por meio de uma entrevista com um dos principais especialistas na Câmera MUX.

Um processo mais interessante para o levantamento e ponderação das avaliações para preenchimento das matrizes seria através de uma reunião conjunta onde fosse possível congregiar diversos especialistas, buscando o consenso entre todos para definir o melhor valor para as comparações. Uma alternativa possível à dificuldade de reunir tantos especialistas seria submeter o preenchimento das matrizes a cada um deles buscando, em seguida, consolidar todas as opiniões calculando a média aritmética das avaliações individuais. Este último procedimento pode ocasionar, eventualmente, um indesejável problema de extrapolação do coeficiente de inconsistência nas matrizes do AHP modificado. Por mais que a análise individual de cada especialista tenha retornado valores razoáveis de inconsistência, é possível que a análise conjunta de todos demande uma revisão geral das avaliações.

#### **4.2 Etapa 1: Desdobrar e identificar os componentes do Subsistema e Tecnologias**

Neste exemplo de aplicação do método TRACER, o subsistema da Câmera MUX é desdobrado em três componentes principais sendo: o primeiro, reconhecido pela sigla RBNA, composta pelas lentes, espelho frontal, objetiva ótica, mecanismo de ajuste de foco e o conjunto do plano focal, que contempla a unidade de calibração, unidade de detecção e a eletrônica de proximidade, é responsável pela captura das imagens; o segundo segmento, conhecido como RBNB, e composto pela unidade de controle mecânico e térmico e que responde pelo controle de temperatura e do sistema de ajuste focal; por fim, o RBNC, que contempla a unidade eletrônica de processamento, trata e condiciona as imagens para envio à Terra. Esta árvore do produto é apresentada de forma simplificada pela Figura 4.3.

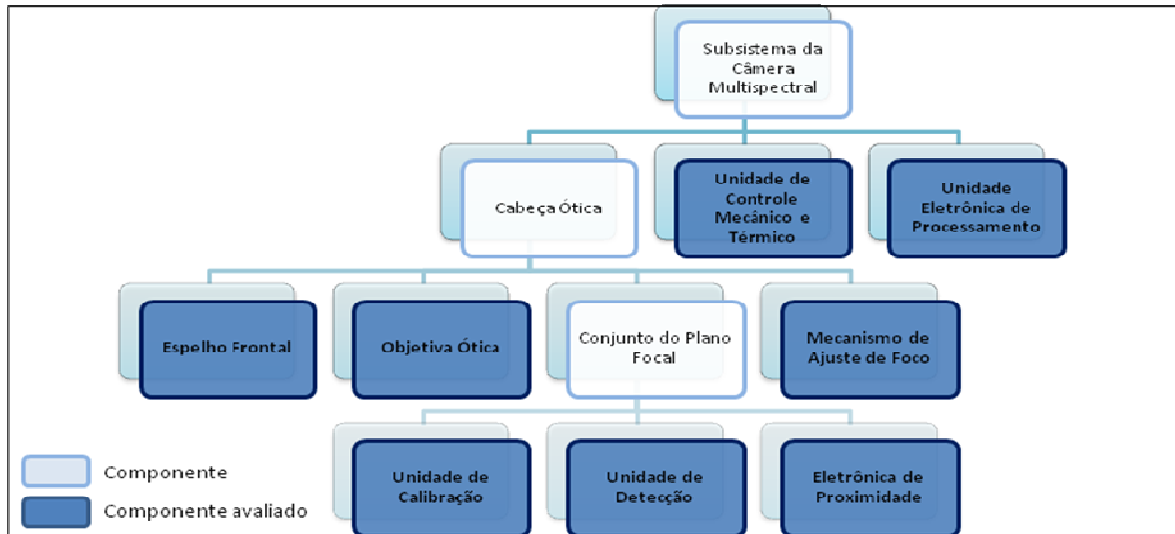


Figura 4.3: Desdobramento dos principais componentes de um subsistema da Câmera MUX.

### 4.3 Etapa 2: Avaliar a contribuição dos componentes do Subsistema no cumprimento dos requisitos

As condições ambientais extremamente adversas em que um satélite está sujeito e, por conseguinte, todos os subsistemas embarcados também, demandam uma ampla gama de características para que o mesmo seja capaz de operar com eficiência e eficácia produzindo os resultados esperados. Neste contexto, os principais requisitos que regem o desenvolvimento de uma câmera Multi-espectral a ser embarcado são apresentados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2: Principais requisitos no desenvolvimento de uma câmera Multi-espectral (continua).

|  |
|--|
| 1. Requisitos                                |
| 1.1. Requisitos de Desempenho                |
| 1.2. Requisitos de Projeto e Construção      |
| 1.2.1. Requisitos Óticos                     |
| 1.2.2. Requisitos de Vida útil               |
| 1.2.3. Requisitos de Confiabilidade          |
| 1.2.4. Requisitos Mecânicos                  |
| 1.2.5. Requisitos Térmicos                   |
| 1.2.6. Requisitos Elétricos                  |
| 1.2.6.1. Requisitos do Subsistema de Energia |

Tabela 4.2: Principais requisitos no desenvolvimento de uma câmera Multi-espectral (término).

|  |
|--|
| 1.2.6.2. Requisitos de Aterramento e Ligações          |
| 1.2.6.3. Requisitos de Cabos e Conectores              |
| 1.2.7. Requisitos de Sinal de Interface                |
| 1.2.8. Requisitos do Subsistema de tratamento de dados |
| 1.3. Requisitos Ambientais                             |
| 1.4. Requisitos de Compatibilidade eletromagnética     |
| 1.5. Requisitos de Garantia do Produto                 |

Para a análise do método proposto, foram considerados alguns dos principais requisitos, desdobrados conforme apresentado na Figura 4.4, de modo que o estudo seja baseado em função do Desempenho desejado, das qualidades Óticas, da Vida Útil, do atendimento dos requisitos Elétricos, da Confiabilidade do subsistema e da Compatibilidade Eletromagnética.

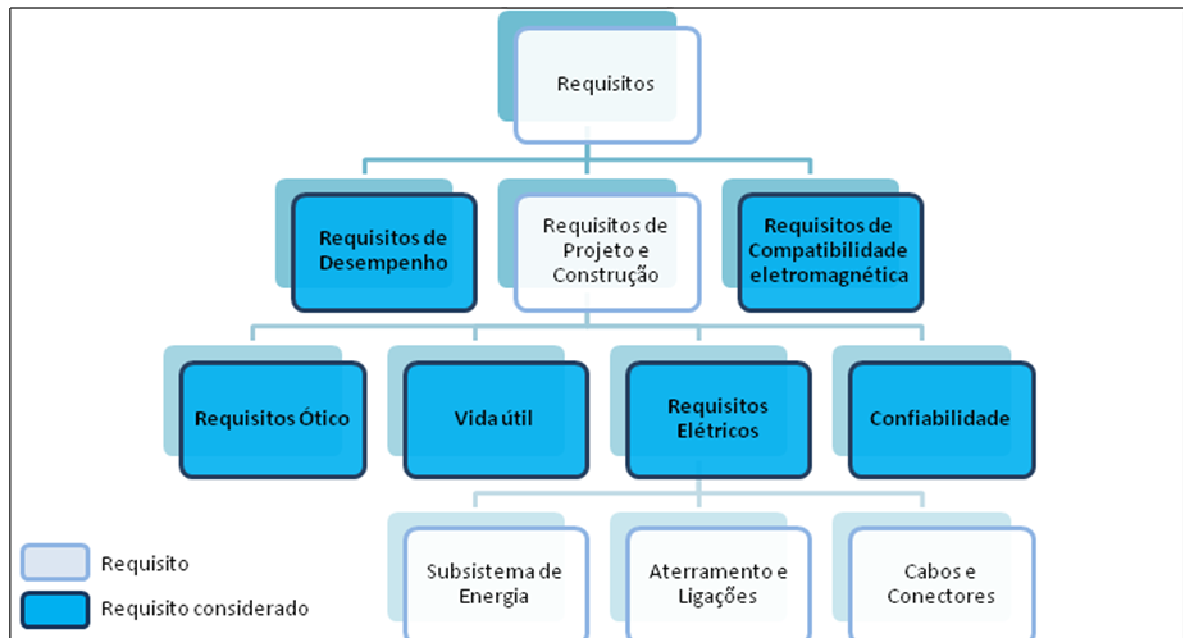


Figura 4.4: Desdobramento dos principais requisitos de um subsistema da Câmera MUX.

A aplicação do AHP modificado para calcular a contribuição de cada requisito ao pleno funcionamento do sistema permite avaliar, em um primeiro momento, o grau de

importância relativa de cada um para o pleno cumprimento da missão, assim como demonstrado na Tabela 4.3. Nesta etapa, cada um dos requisitos é comparado com os demais, avaliando-se a sua importância relativa com base na proposta de adaptação da Escala Fundamental de Saaty. No exemplo abaixo, verifica-se que o requisito Ótico possui uma avaliação de importância sutilmente inferior ao requisito de Desempenho. Por sua vez, o requisito Ótico possui uma importância relativamente forte em relação ao requisito de Compatibilidade Eletromagnética.

Tabela 4.3: Levantamento das prioridades dos requisitos para a Câmera MUX.

| Requisito                       | Óticos | Desempenho | Vida Útil | Confiabilidade | Elétricos | Compatibilidade Eletromagnética. |
|---------------------------------|--------|------------|-----------|----------------|-----------|----------------------------------|
| Óticos                          | 1      | 1/2        | 2         | 2              | 2         | 4                                |
| Desempenho                      | 2      | 1          | 4         | 4              | 4         | 5                                |
| Vida Útil                       | 1/2    | 1/4        | 1         | 1              | 3         | 4                                |
| Confiabilidade                  | 1/2    | 1/4        | 1         | 1              | 3         | 4                                |
| Elétricos                       | 1/2    | 1/4        | 1/3       | 1/3            | 1         | 3                                |
| Compatibilidade Eletromagnética | 1/4    | 1/5        | 1/4       | 1/4            | 1/3       | 1                                |

Um passo seguinte é a normalização dos valores das colunas, de tal modo que a soma de cada uma delas seja igual a 1, assim como demonstrado na Tabela 4.4.

Por fim, os valores de prioridades são obtidos pela soma dos valores de cada uma das linhas da matriz normalizada dos requisitos e, dividido pelo número de requisitos considerados no estudo, como demonstrado na Tabela 4.5.

Tabela 4.4: Normalização da matriz de prioridades dos requisitos para a Câmera MUX.

| Requisito                       | Óticos | Desempenho | Vida Útil | Confiabilidade | Elétricos | Compatibilidade Eletromagnética. |
|---------------------------------|--------|------------|-----------|----------------|-----------|----------------------------------|
| Óticos                          | 4/19   | 10/49      | 17/73     | 17/73          | 3/20      | 4/21                             |
| Desempenho                      | 8/19   | 20/49      | 41/88     | 41/88          | 3/10      | 5/21                             |
| Vida Útil                       | 2/19   | 5/49       | 5/43      | 5/43           | 9/40      | 4/21                             |
| Confiabilidade                  | 2/19   | 5/49       | 5/43      | 5/43           | 9/40      | 4/21                             |
| Elétricos                       | 2/19   | 5/49       | 1/26      | 1/26           | 3/40      | 1/7                              |
| Compatibilidade Eletromagnética | 1/19   | 4/49       | 2/69      | 2/69           | 1/40      | 1/21                             |
| $\Sigma$                        | 1      | 1          | 1         | 1              | 1         | 1                                |

Tabela 4.5: Relação de prioridades dos requisitos para a Câmera MUX.

| Requisito                       | Óticos | Desempenho | Vida Útil | Confiabilidade | Elétricos | Compatibilidade Eletromagnética. | $\Sigma$ | x   | Prioridade |
|---------------------------------|--------|------------|-----------|----------------|-----------|----------------------------------|----------|-----|------------|
| Óticos                          | 4/19   | 10/49      | 17/73     | 17/73          | 3/20      | 4/21                             | 1 21/95  | 1/6 | 0,204      |
| Desempenho                      | 8/19   | 20/49      | 41/88     | 41/88          | 3/10      | 5/21                             | 2 3/10   |     | 0,383      |
| Vida Útil                       | 2/19   | 5/49       | 5/43      | 5/43           | 9/40      | 4/21                             | 6/7      |     | 0,143      |
| Confiabilidade                  | 2/19   | 5/49       | 5/43      | 5/43           | 9/40      | 4/21                             | 6/7      |     | 0,143      |
| Elétricos                       | 2/19   | 5/49       | 1/26      | 1/26           | 3/40      | 1/7                              | 1/2      |     | 0,084      |
| Compatibilidade Eletromagnética | 1/19   | 4/49       | 2/69      | 2/69           | 1/40      | 1/21                             | 22/83    |     | 0,044      |

As prioridades calculadas permitem avaliar que o Desempenho deve ser o requisito prioritário (0,383) para o subsistema da Câmera MUX, por sua vez, a Compatibilidade Eletromagnética (0,044) é o menos representativo dentre os requisitos elencados, entretanto não significando ser menos importante. Os requisitos Óticos, de Vida Útil, Confiabilidade e Requisitos Elétricos compõem, nesta ordem, o segundo, terceiro, quarto e quinto requisitos na ordem de prioridade.

A Taxa de Consistência (CR) calculada nesta análise par a par entre os requisitos foi de 6,4%, ou seja, com um índice de coerência que pode ser considerado como muito bom para as comparações realizadas.

Em sua seqüência, o estudo de prioridade de cada componente do subsistema da Câmera MUX, com relação a cada um dos requisitos levantados, permite avaliar o quão representativo os componentes são para o cumprimento dos requisitos. Esta análise deve ser feita com o preenchimento da matriz de comparação entre os diversos componentes, assim como apresentado na Tabela 4.6 para os requisitos Óticos.

A seqüência para o cálculo da prioridade de cada componente, em relação a um determinado requisito, é idêntica ao aplicado para o cálculo da prioridade na comparação entre os próprios requisitos, assim com apresentado nas Tabela 4.3, Tabela 4.4 e Tabela 4.5.

A análise da prioridade de cada um dos componentes para cada um dos demais requisitos encontra-se no APÊNDICE A.



Tabela 4.6: Levantamento de prioridades entre os componentes da Câmera MUX para os requisitos Óticos.

| Óticos                                 | Espelho Frontal | Objetiva ótica | Unidade de Calibração | Unidade de Detecção | Eletrônica de Proximidade | Mecanismo de Ajuste de Foco | Unidade de Controle Mecânico e Térmico | Unidade Eletrônica de Processamento | Prioridade |
|--|-----------------|----------------|-----------------------|---------------------|---------------------------|-----------------------------|--|-------------------------------------|------------|
| Espelho Frontal                        | 1               | 1/5            | 5                     | 1/3                 | 1                         | 1/4                         | 1/5                                    | 2                                   | 0,058      |
| Objetiva ótica                         | 5               | 1              | 8                     | 4                   | 5                         | 2                           | 2                                      | 8                                   | 0,264      |
| Unidade de Calibração                  | 4               | 1/8            | 1                     | 1/6                 | 1/4                       | 1/6                         | 1/8                                    | 1/2                                 | 0,024      |
| Unidade de Detecção                    | 3               | 1/4            | 6                     | 1                   | 3                         | 1/2                         | 1/4                                    | 4                                   | 0,112      |
| Eletrônica de Proximidade              | 1               | 1/5            | 4                     | 1/3                 | 1                         | 1/4                         | 1/5                                    | 1                                   | 0,041      |
| Mecanismo de Ajuste de Foco            | 4               | 1/2            | 6                     | 2                   | 4                         | 1                           | 1/2                                    | 9                                   | 0,213      |
| Unidade de Controle Mecânico e Térmico | 5               | 1/2            | 8                     | 4                   | 5                         | 2                           | 1                                      | 9                                   | 0,256      |
| Unidade Eletrônica de Processamento    | 1/2             | 1/8            | 2                     | 1/4                 | 1                         | 1/9                         | 1/9                                    | 1                                   | 0,032      |

Nesta análise, para os requisitos Óticos, é possível verificar que o componente prioritário para o cumprimento do seu objetivo é a Objetiva Ótica (0,264) sendo que, dentro da escala de prioridade levantada entre os componentes, a Unidade de Calibração (0,024) é o menos expressivo para o conjunto do subsistema da Câmera MUX.

A Taxa de Consistência (CR) da análise feita foi de 8,5%, o que representa a plena validade das análises comparativas realizadas entre os requisitos para a hierarquização dos componentes em função da contribuição para o atendimento de um determinado requisito.

Tabela 4.7: Levantamento das prioridades entre os componentes da Câmera MUX.

| Requisitos<br>Componentes                 | Ótico | Desempenho | Vida Útil | Confiabilidade | Elétricos | Compatibilidade<br>Eletromagnética | Média  |
|---|-------|------------|-----------|----------------|-----------|------------------------------------|--------|
| Prioridade do Requisito                   | 20,4% | 38,3%      | 14,3%     | 14,3%          | 8,4%      | 4,4%                               |        |
| Espelho Frontal                           | 0,058 | 0,019      | 0,027     | 0,036          | 0,025     | 0,025                              | 3,11%  |
| Objetiva ótica                            | 0,264 | 0,284      | 0,135     | 0,055          | 0,025     | 0,025                              | 19,29% |
| Unidade de Calibração                     | 0,024 | 0,037      | 0,039     | 0,095          | 0,120     | 0,120                              | 5,37%  |
| Unidade de Detecção                       | 0,112 | 0,155      | 0,155     | 0,161          | 0,120     | 0,120                              | 14,27% |
| Eletrônica de Proximidade                 | 0,041 | 0,073      | 0,094     | 0,112          | 0,120     | 0,120                              | 8,13%  |
| Mecanismo de Ajuste de Foco               | 0,213 | 0,084      | 0,052     | 0,051          | 0,120     | 0,120                              | 10,56% |
| Unidade de Controle Mecânico<br>e Térmico | 0,256 | 0,167      | 0,249     | 0,246          | 0,235     | 0,235                              | 21,67% |
| Unidade Eletrônica de<br>Processamento    | 0,032 | 0,180      | 0,249     | 0,246          | 0,235     | 0,235                              | 17,61% |
|   |       |            |           |                |           |                                    | 100%   |

Por fim, assim como apresentado na Tabela 4.11, a aplicação do AHP modificado permite avaliar, no contexto apresentado de estrutura do produto e requisitos, que o componente crítico para maximizar o atendimento dos requisitos é a Unidade de Controle Mecânico e Térmico (21,67%) sendo, o de menor contribuição, o Espelho Frontal (3,11%).

#### 4.4 Etapa 3: Avaliar o grau de maturidade das Tecnologias

A avaliação do grau de maturidade de cada componente do subsistema da Câmera MUX, considerado as tecnologias escolhidas para sua composição, permite avaliar o estágio

de maturação das tecnologias para a sua aplicação ao longo do desenvolvimento do subsistema, assim como demonstrado pela Tabela 4.8.

Tabela 4.8: Grau de maturidade dos principais componentes da Câmera MUX.

| Componentes                            | Tecnologia                                       | TRL |
|--|--|-----|
| Espelho Frontal                        | Planicidade e robustez do espelho                | 3   |
| Objetiva Ótica                         | Jogo de lentes e sua integração                  | 2   |
| Unidade de Calibração                  | Lâmpadas LEDs                                    | 3   |
| Unidade de Detecção                    | CCD, Filtros e colagem                           | 5   |
| Eletrônica de Proximidade              | Amplificação de baixo ruído                      | 3   |
| Mecanismo de Ajuste de Foco            | Eletro-mecânico                                  | 2   |
| Unidade de Controle Mecânico e Térmico | Eletrônica de controle                           | 4   |
| Unidade Eletrônica de Processamento    | Eletrônica de processamento e acionamento do CCD | 4   |

Neste contexto, verifica-se a incipiente maturidade de grande parte das tecnologias, à época da especificação dos requisitos que iriam nortear o desenvolvimento do subsistema. Tal fato, coerente com a inexistência naquele momento de uma indústria nacional com uma expertise pregressa, agregava ao projeto riscos razoáveis em função da demanda de componentes cujos princípios físicos ainda não haviam sido completamente testados em laboratório.

#### 4.5 Etapa 4: Analisar a interdependência entre os componentes do Subsistema

Os diversos inter-relacionamentos estabelecidos entre os componentes avaliados da Câmera MUX são apresentados na matriz da Tabela 4.9. Neste sentido, a priori, a

interdependência entre os componentes do subsistema são avaliados em função dos relacionamentos estabelecidos como demandante.

No exemplo apresentado na Tabela 4.9, verifica-se que o Espelho Frontal não demanda interfaces, por sua vez, a Unidade de Detecção é um componente muito dependente dos demais.

Tabela 4.9: Matriz de interdependência entre os componentes da Câmera MUX, com relação à demanda de informações, dados, energia e material.

| Demanda                           | Espelho Frontal | Coletor Ótico | Unidade de Calibração | Unidade de Detecção | Eletrônica de Proximidade | Mecanismo de Ajuste de Foco | Unidade de Controle Mecânico e Térmico | Unidade Eletrônica de Processamento | $\Pi$ |
|-----------------------------------|-----------------|---------------|-----------------------|---------------------|---------------------------|-----------------------------|--|-------------------------------------|-------|
| Espelho Frontal                   | 1               | 1             | 1                     | 1                   | 1                         | 1                           | 1                                      | 1                                   | 1     |
| Coletor Ótico                     | 2               | 1             | 1                     | 1                   | 1                         | 4                           | 4                                      | 1                                   | 32    |
| Unidade de Calibração             | 1               | 1             | 1                     | 1                   | 4                         | 1                           | 3                                      | 1                                   | 12    |
| Unidade de Detecção               | 1               | 1             | 2                     | 1                   | 4                         | 1                           | 3                                      | 4                                   | 96    |
| Eletrônica de Proximidade         | 1               | 1             | 2                     | 2                   | 1                         | 1                           | 2                                      | 2                                   | 16    |
| Mecanismo de Ajuste de Foco       | 1               | 3             | 1                     | 1                   | 1                         | 1                           | 4                                      | 1                                   | 12    |
| Unid. Controle Mec. e Térmico     | 1               | 3             | 1                     | 1                   | 1                         | 2                           | 1                                      | 1                                   | 6     |
| Unid. Eletrônica de Processamento | 1               | 1             | 1                     | 1                   | 2                         | 1                           | 2                                      | 1                                   | 4     |

Por sua vez, outro ponto crítico na análise da interdependência é, conforme proposta do método, a avaliação do fornecimento de informação, energia, suporte físico ou material

apresentado por cada um dos componentes. Estas informações são apresentadas na Tabela 4.10, onde é possível verificar a pequena contribuição de componentes como o Espelho Frontal e a Unidade de Detecção, em contraposição à Unidade de Controle Térmico e Mecânico que provê muitas informações.

Tabela 4.10: Matriz de interdependência entre os componentes da Câmera MUX, com relação ao fornecimento de informações, dados, energia e material.

| Fornecimento                      | Espelho Frontal | Objetiva Ótica | Unidade de Calibração | Unidade de Detecção | Eletrônica de Proximidade | Mecanismo de Ajuste de Foco | Unidade de Controle Mecânico e Térmico | Unidade Eletrônica de Processamento | $\Pi$ |
|-----------------------------------|-----------------|----------------|-----------------------|---------------------|---------------------------|-----------------------------|--|-------------------------------------|-------|
| Espelho Frontal                   | 1               | 2              | 1                     | 1                   | 1                         | 1                           | 1                                      | 1                                   | 2     |
| Objetiva Ótica                    | 1               | 1              | 1                     | 1                   | 1                         | 3                           | 3                                      | 1                                   | 9     |
| Unidade de Calibração             | 1               | 1              | 1                     | 2                   | 2                         | 1                           | 1                                      | 1                                   | 4     |
| Unidade de Detecção               | 1               | 1              | 1                     | 1                   | 2                         | 1                           | 1                                      | 1                                   | 2     |
| Eletrônica de Proximidade         | 1               | 1              | 4                     | 4                   | 1                         | 1                           | 1                                      | 2                                   | 32    |
| Mecanismo de Ajuste de Foco       | 1               | 4              | 1                     | 1                   | 1                         | 1                           | 2                                      | 1                                   | 8     |
| Unid. Controle Mec. e Térmico     | 1               | 4              | 3                     | 3                   | 2                         | 4                           | 1                                      | 2                                   | 576   |
| Unid. Eletrônica de Processamento | 1               | 1              | 1                     | 4                   | 2                         | 1                           | 1                                      | 1                                   | 8     |

#### 4.6 Etapa 5: Definir a criticidade de cada componente do Subsistema

A síntese das análises parciais, apresentadas através da Tabela 4.11, permite avaliar, de forma integrada, a contribuição de cada componente para o pleno atendimento dos

requisitos levantados para o subsistema (coluna AHP), a interdependência dos componentes no tangente à provisão de interfaces (coluna DSM) e demanda por interfaces (coluna DSMt) e, por fim, o respectivo grau de maturidade da tecnologia (coluna Maturidades (TRL)).

Tabela 4.11: Tabulação dos dados obtidos através do Método TRACER para a identificação dos componentes críticos.

| Subsistema                             | Tecnologia                                       | AHP (%) | DSM | DSMt | Maturidade (TRL) |
|--|--|---------|-----|------|------------------|
| Espelho Frontal                        | Espelho Plano e robusto                          | 3,11    | 1   | 2    | 3                |
| Objetiva Ótica                         | Jogo de lentes e integração                      | 19,29   | 32  | 9    | 2                |
| Unidade de Calibração                  | LEDs   | 5,37    | 12  | 4    | 3                |
| Unidade de Detecção                    | CCD, Filtros e colagem                           | 14,27   | 96  | 2    | 5                |
| Eletrônica de Proximidade              | Amplificação de baixo ruído                      | 8,13    | 16  | 32   | 3                |
| Mecanismo de Ajuste de Foco            | Eletro-mecânico                                  | 10,56   | 12  | 8    | 2                |
| Unidade de Controle Mecânico e Térmico | Eletrônica de controle                           | 21,67   | 6   | 576  | 4                |
| Unidade Eletrônica de Processamento    | Eletrônica de processamento e acionamento do CCD | 17,61   | 4   | 8    | 4                |

O gráfico da Figura 4.5, resultado da transcrição dos dados tabulados nas etapas iniciais do método para uma estrutura gráfica e os dados consolidados permitem proceder algumas análises:

- A Unidade de Controle Mecânico e Térmico é um dos componentes mais importantes para o funcionamento da câmera MUX, pois responde por um grande percentual de

participação no atendimento aos requisitos e provê uma quantidade significativa de interfaces;

- Em contraposição à Unidade de Controle Mecânico e Térmico, o Espelho Frontal é o componente de menos demanda por interfaces e responde por uma menor parcela do cumprimento dos requisitos;
- A Objetiva Ótica pode ser vista como sendo um dos componentes elementares para o cumprimento dos Requisitos Óticos e de Desempenho;
- Por sua vez, a Unidade de Controle Mecânico e Térmico e a Unidade Eletrônica de Processamento são grandes contribuintes para o atendimento dos Requisitos de Vida Útil, Confiabilidade, Elétricos e Compatibilidade Eletromagnética;
- Tanto a Objetiva Ótica como o Mecanismo de Ajuste de Foco eram os componentes com menor grau de maturidade, devendo ser elementos de grande foco de atenção e empenho de esforços adicionais;
- Há uma grande centralização na delegação de funções à Unidade de Controle Mecânico e Térmico, que responde sozinho por muitas interfaces. Já a Unidade de Detecção e a Objetiva Ótica são dois dos componentes que mais dependem dos demais componentes;
- Cada componente possui papel essencial no cumprimento da missão, todavia cada qual contribuindo em graduações diferentes.

Desta análise, os elementos considerados como críticos no desenvolvimento seriam: a Objetiva Ótica e o Mecanismo de Ajuste de Foco pela baixa maturidade, importância para o atendimento dos Requisitos Óticos e de Desempenho e quantidade de interdependências e; a Unidade de Controle Mecânico e Térmico pela quantidade de interfaces estabelecidas com diversos outros componentes e, pela importância assumida para o atendimento de vários

requisitos, simultaneamente, como os Requisitos de Vida Útil, Confiabilidade, Elétricos e Compatibilidade Eletromagnética.

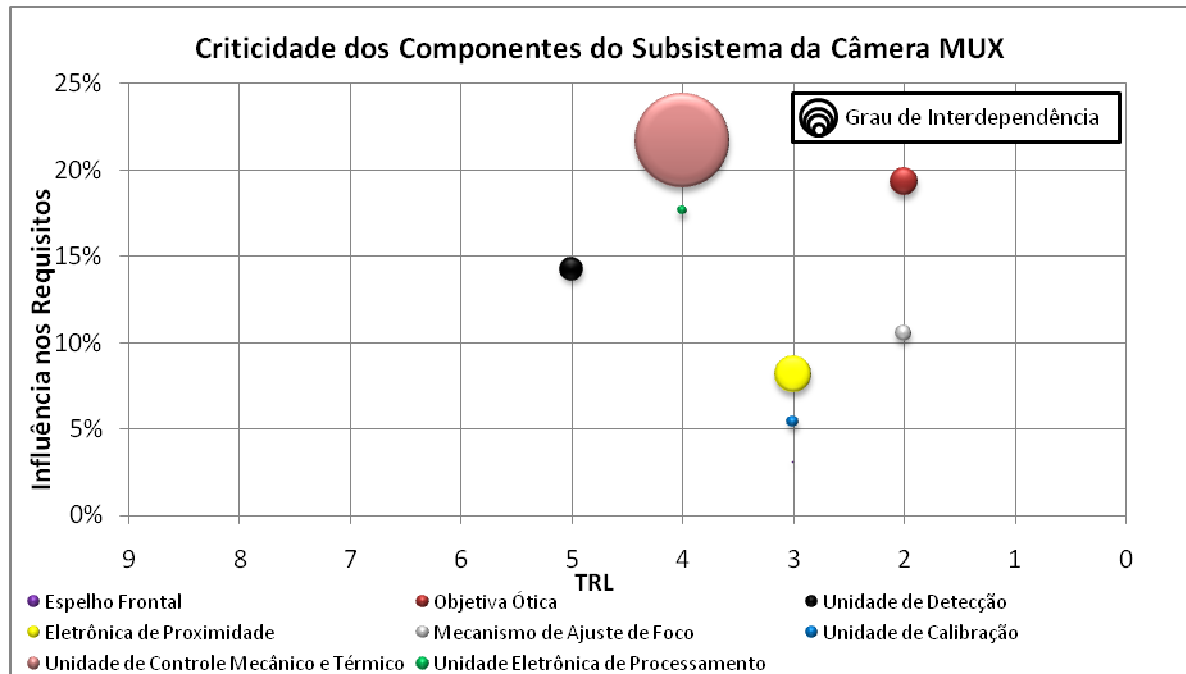


Figura 4.5: Gráfico com os dados obtidos com a aplicação do método TRACER.



## 5 Discussão

O ponto forte do método apresentado é a sua capacidade de expressar, simultaneamente, vários aspectos como as interdependências entre os subsistemas, o grau de maturidade das tecnologias aplicadas e, a colaboração de cada subsistema para o atendimento dos requisitos desejados para o sistema como um todo. Tal visão permite avaliar todo o cenário de uma forma ampla, ao invés de demandar várias análises parciais.

Com o resultado é possível identificar quais são os subsistemas críticos, levantando os elementos que devem demandar maior atenção. Utilizando o método como instrumento de análise preventiva, ele permite simular cenários para diferentes arquiteturas de subsistemas, permitindo avaliar as melhores opções que para mitigar riscos e otimizar o desempenho.

Por sua vez, a análise da criticidade dos subsistemas vai ao encontro dos dois axiomas estabelecidos por Suh (LEE *et al.*, 2006) para os Projetos Axiomáticos, metodologia largamente aplicada para o desenvolvimento de projetos de sistema.

Quando avaliado em referência ao Axioma da Independência, primeiro dos axiomas de Suh, que preza pela manutenção da independência dos requisitos funcionais, o método TRACER permite associar, em um primeiro momento, através do uso do AHP modificado, os requisitos e os subsistemas. Em seguida, através das matrizes de interface DSM, permite avaliar o grau de interdependência entre os subsistemas, seja como fornecedor ou como usuários das interfaces, permitindo ponderar o quanto um subsistema contribui para o atendimento de um requisito e como ele está vinculado a outros subsistemas.

Já o segundo axioma de Suh, também conhecido como Axioma da Informação, tem como prerrogativa minimizar o conteúdo de informações agregadas, buscando utilizar-se de soluções de design que contemplem o primeiro axioma e, dentre elas, fazer uso do que contenha a menor quantidade de informações. Em geral tal solução pode ser atingida através do uso de componentes padronizados e intercambiáveis e reduzindo o número de requisitos funcionais e restrições estabelecidas. Tal fato vai ao encontro do proposto no método TRACER por meio da aplicação do TRL, onde se busca ao máximo a utilização de tecnologias consolidadas e específicas para determinadas aplicações.

Por fim, uma vez que decisões gerenciais devem ser baseadas em fatos e dados, o método espera prover informações para que ações sejam empreendidas pelos gestores. Em sendo comum que decisões sejam requeridas sem que existam critérios claros para as escolhas, a existência de um gráfico que apresenta os pontos críticos de um projeto de inovação permite fornecer direcionadores para tomada de decisões, sejam elas ousadas ou conservadoras.

## **5.1 Posicionamento**

Em sua essência, o método TRRA proposto por Mankins (2009a) guarda algumas similaridades como o método TRACER. Ambos têm como objetivo serem instrumentos gerenciais para a tomada de decisões, buscando associar o grau de maturidade das tecnologias com os riscos existentes e a perspectiva de sucesso do programa, sendo baseados em métodos bem sedimentados. Por sua vez, os métodos possuem algumas diferenças, como os instrumentos aplicados em seu processo e a visão utilizada para avaliar os riscos.

Uma síntese das semelhanças e diferenças entre os métodos TRRA e TRACER, bem como dos pontos fortes e fracos de cada um dos métodos é apresentada na Tabela 5.1.

Tabela 5.1: Análise comparativa entre os métodos TRRA proposto por Mankins (2009a) e TRACER.

| Aspecto           | TRRA<br>( <i>Technology Readiness and Risk Assessment</i> )  | TRACER<br>( <i>Technology Readiness Assessment and Critical Elements Recognition</i> )  |
|-------------------|--|---|
| Objetivo          | Prover uma análise dos riscos e impactos da perspectiva de aplicação de tecnologias pouco maduras em programas, de modo a substanciar a tomada de decisões.  |   |
| Conceito          | Incorpora em uma matriz de riscos as dificuldades de evolução, na escala de maturidade, da tecnologia em desenvolvimento (TRL), a probabilidade de sucesso do esforço (R&D3) e os impactos no Programa das possíveis falhas (TNV).                                       | Apresenta, de forma gráfica, a importância relativa de cada um dos subsistemas para o atendimento dos requisitos do Programa (AHP), o grau de maturidade das tecnologias aplicadas (TRL) e a interdependência entre elas (DSM).                           |
| Métodos aplicados | TRL, R&D3 e TNV.   | AHP, DSM e TRL.   |
| Análise           | Quantitativa, aplicando-se a parametrização de dados. Possui um caráter de prognóstico.  | Quantitativa, aplicando-se a parametrização de dados. Possui um caráter de diagnóstico.   |
| Pontos fortes     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Avalia a probabilidade de sucesso do esforço;</li> <li>• Permite segregar de forma estruturada os aspectos de maior risco;</li> <li>• Os resultados são apresentados em uma matriz de risco, de fácil interpretação.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Provê uma análise da interdependência entre os subsistemas;</li> <li>• Correlaciona diretamente requisitos com os subsistemas;</li> <li>• Pela facilidade do método, permite simular vários cenários.</li> </ul> |
| Pontos fracos     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Subjetividade para a parametrização de alguns dados;</li> <li>• Não avalia a interdependência entre os elementos;</li> <li>• Não correlaciona o sucesso com os requisitos demandados.</li> </ul>                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Subjetividade para a parametrização de alguns dados;</li> <li>• Demanda que o resultado seja interpretado por especialistas.</li> </ul>  |

Para o método TRACER, uma modificação possível seria utilizar-se de outras metodologias para correlacionar requisitos e subsistemas em um contexto de tomada de decisão gerencial em projetos de inovação, assim como proposto por Matsumoto e Trabasso

(2009). O AHP modificado proposto neste trabalho não permite um detalhamento tão grande das interações, todavia é um instrumento muito dinâmico e que permite uma montagem rápida de diferentes cenários como elementos de estudo para a tomada de decisão. Há que se avaliar os benefícios frente à limitação comentada.

## 6 Conclusão

Conforme objetivo proposto, o método TRACER apresentado congrega conceitos de três metodologias amplamente utilizadas, tanto no ambiente empresarial como acadêmico, para fornecer um instrumento que permite acompanhar o desenvolvimento das tecnologias em projetos de inovação e, também, permite prover dados, aos gestores dos projetos, para que substanciem as tomadas de decisões.

O método TRACER, conforme proposto, aplica três metodologias bem sedimentadas sendo: o AHP, com pequenas modificações que constituem parte da contribuição deste trabalho para maior aderência à proposta prática; o TRL, em sua visão original e; o DSM, com a proposta análise como provedor e demandante de interfaces, que constitui nova contribuição deste trabalho.

Assim como demonstrado no exemplo, a aplicação do método TRACER em dados das etapas iniciais do desenvolvimento da câmera MUX permitiu identificar alguns elementos tecnologicamente críticos, corroborando as expectativas do método.

Apesar de cumprir o proposto, o método apresentou algumas limitações que não são críticas, todavia aventam a possibilidade de melhorias como: quantificar a importância das interfaces não apenas pela sua relevância como também pela quantidade de interdependências estabelecidas; propor uma forma de considerar a existência de mais de uma tecnologia em um componente, avaliando sua implicação e; desenvolver uma forma de quantificar o risco potencial, não apenas seus impactos.

O nível de desdobramento da estrutura do produto deve ser mais bem explorado de forma a evitar uma visão excessivamente macro como também demasiadamente detalhada. Um nível adequado pode ser obtido considerando o modo de falha, onde o componente deve ser desdobrado até o ponto onde uma falha represente a inoperância total deste subconjunto.

### **6.1 Recomendações e propostas para futuros trabalhos**

Oportunidade de continuidade deste trabalho é a avaliação do seu comportamento por meio da sua aplicação em sistemas mais complexos para avaliar o seu desempenho, principalmente expandindo o grau de detalhamento do sistema com níveis maiores de desdobramento.

Outra oportunidade advém da comparação dos resultados com o que seria obtido em outros métodos como, por exemplo, o TRRA, de modo a identificar oportunidade de melhoria, seja com a sua modificação ou através de novas parametrizações que venham a aumentar a eficácia do método.

Também, o estudo da aplicação de outros métodos que tenham similar função aos utilizados no TRACER pode trazer benefícios, propiciando um ajuste do método às oportunidades e reais demandas dos gestores, fazendo com que os resultados sejam mais adequados às necessidades de gerenciamento do projeto.

A aplicação do método TRACER para outras finalidades como, por exemplo, para otimização organizacional, também pode ser foco de estudos futuros. Para tanto, o AHP modificado pode ser utilizado para relacionar requisitos com processos, avaliando a contribuição de cada uma delas para a plena consecução dos objetivos; o TRL pode assumir

um indicador similar que avalie a maturidade dos processos e; o DSM e DSMt podem ser utilizados para estabelecer a interdependência entre processos da organização, como demonstrado na Figura 6.1.

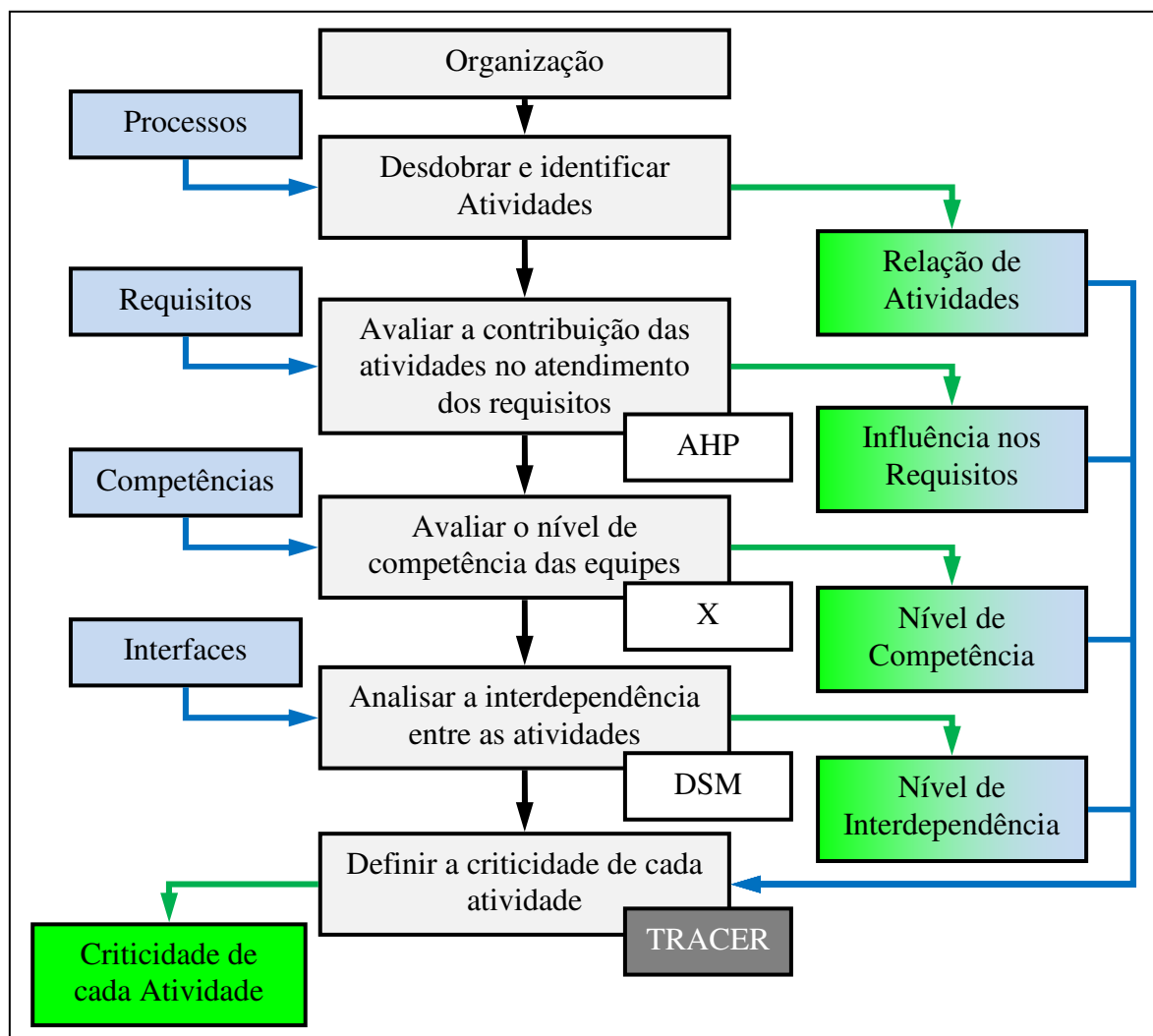


Figura 6.1: Método proposto para Avaliação do Risco Tecnológico e Identificação de Elementos Críticos

Outra aplicação vislumbrada seria por meio da inclusão de mais uma dimensão ao método. Além da contribuição nos requisitos, grau de maturidade e quantidade de interdependências, é possível agregar também uma estimativa dos riscos, ponderado com o uso de uma matriz de riscos (probabilidade versus impacto), como apresentado na Tabela 6.1, e expresso no gráfico por meio de uma escala de cores, como demonstrado na Figura 6.2.

Tabela 6.1: Proposta do método TRACER com a inclusão da dimensão riscos.

| Subsistema | Tecnologia | AHP (%) | DSM | DSMt | Risco   |         |           | Maturidade (TRL) |
|------------|------------|---------|-----|------|---------|---------|-----------|------------------|
|            |            |         |     |      | Probab. | Impacto | Resultado |                  |
|            |            |         |     |      |         |         |           |                  |
|            |            |         |     |      |         |         |           |                  |
|            |            |         |     |      |         |         |           |                  |
|            |            |         |     |      |         |         |           |                  |

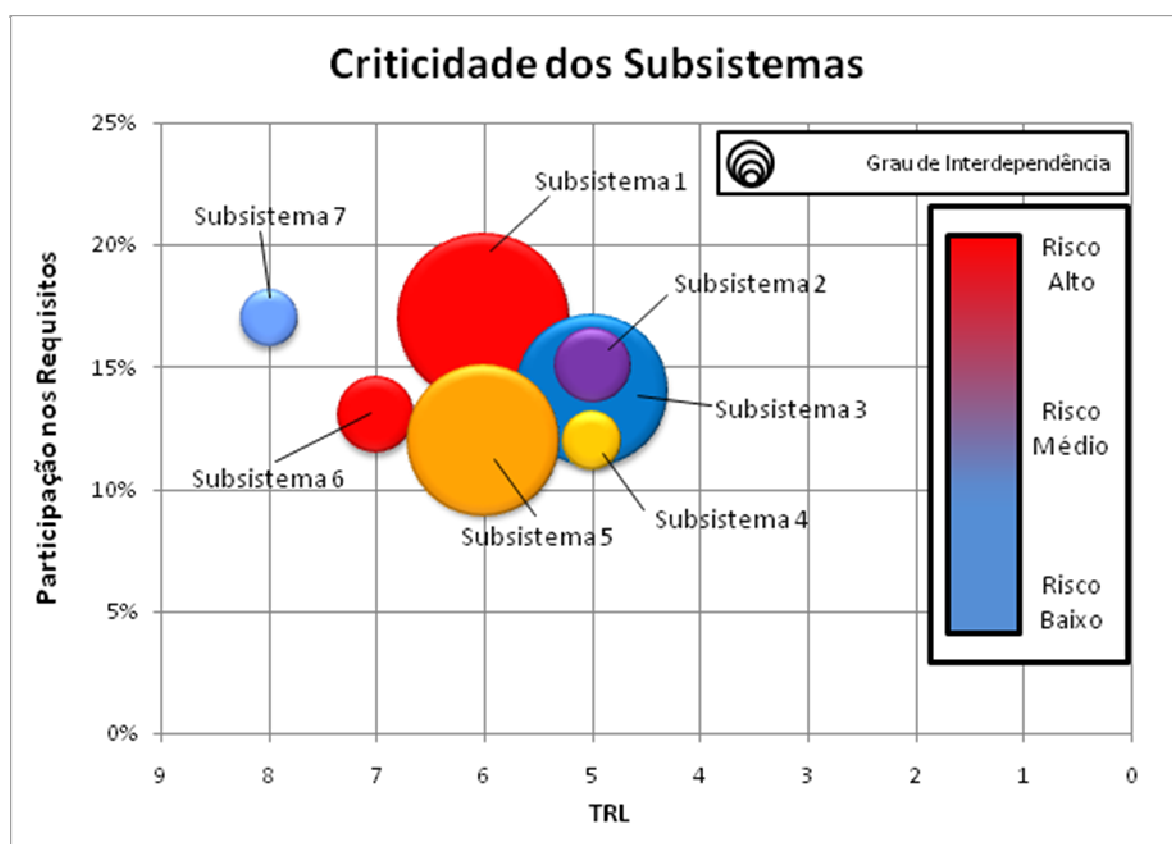


Figura 6.2: Proposta do gráfico do método TRACER com quatro dimensões.



## Referências

- [1] ASSAO, R. **Aplicação de processos de engenharia de sistemas e conceitos da área de comunicação organizacional para o aprimoramento da gestão da comunicação em projetos**. 2009.126 f. Dissertação (Mestrado em Produção) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.
- [2] AZIZIAN, N.; SARKANI, S.; MAZZUCHI, T. A comprehensive review and analysis of maturity assessment approaches for improved decision support to achieve efficient defense acquisition. In: **WORLD CONGRESS ON ENGINEERING AND COMPUTER SCIENCE**, 2009. **Proceedings ...** San Francisco: [s.n.], 2009.v. 2
- [3] BROWNING, T. R. Applying the Design Structure Matrix to System Decomposition and Integration problems: A Review and New Directions. **IEEE Transactions on Engineering management**, Vol. 48, No. 3, ago. 2001. 292-306p.
- [4] BROWNING, T. R. Process Integration Using the Design Structure Matrix. **Systems engineering: The journal of the International Council on Systems Engineering**, Vol. 5, No. 3, 2002. 180-193p.
- [5] BROWNING, T. R. The Many Views of a Process: Towards a Process Architecture Framework for Product Development Processes. Fort Worth: Neeley School of Business, 2008. 69-90p. Disponíveis em: <  
[http://sbufaculty.tcu.edu/tbrowning/Publications/Browning%20\(2009\)--SE%20Towards%20a%20PAF.pdf](http://sbufaculty.tcu.edu/tbrowning/Publications/Browning%20(2009)--SE%20Towards%20a%20PAF.pdf)>. Acesso em: 27 mar. 2010.
- [6] BROWNING, T. R.; EPPINGER, S. Modeling Impacts of Process Architecture on Cost and Schedule Risk in Product Development. **IEEE Transactions on Engineering Management**, Vol. 49, No. 4, nov. 2002. p. 428-442.
- [7] CRONEMYR, P.; RÖNNBÄCK, A. O.; EPPINGER, S. D. A Decision Support Tool for Predicting the Impact of Development Process Improvements. **Journal of Engineering Design**, Vol. 12, No. 3, 2001. 177-199p.
- [8] EPPINGER, S. D.; SALMINEN, V. Patterns of Product Development Interactions. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING DESIGN**, 01., Glasgow, Scotland, ICED 01, ago. 2001.
- [9] GARTNER, I. R. Avaliação ambiental de projetos em bancos de desenvolvimento nacionais e multilaterais: evidências e propostas. Brasília: Editora Universa, 2001.

- [10] GIL, A. C. Como Elaborar Projetos de Pesquisa. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1991.
- [11] GOMES, L. F. A. M.; ARAYA, M. C. G.; CARIGNANO, C. Tomada de Decisões em Cenários Complexos. São Paulo: Thomson Learning, 2004.
- [12] GREENFIELD, M. A.; Risk Management “Risk as a Resource”. Hampton, VA: NASA Langley Research Center, mai. 1998.
- [13] HOLSTEIN, W. J. Emerging Markets, Emerging Giants. **The New York Times**, Edição de 22/04/2007. Disponíveis em: <<http://www.nytimes.com/2007/04/22/business/yourmoney/22view.html>>. Acesso em: 27 mar. 2010.
- [14] INTERNATIONAL COUNCIL ON SYSTEMS ENGINEERING, SE Handbook – Systems Engineering Handbook Version 2.a. USA: INCOSE, 2004. 10p.
- [15] INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, IEEE STD 1220 - Standard for application and management of the systems engineering process. Software Engineering Standard Committee. New York, NY: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1995.
- [16] INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, **Sala de Imprensa CBERS**. Disponíveis em: <<http://www.cbbers.inpe.br/?content=index>>. Acesso em: 17 mai. 2010.
- [17] JARUZELSKI, B.; DEHOFF, K.; BORDIA, R. Money isn't everything - "The Booz Allen Hamilton Global Innovation 1000". New York: BOOZ ALLEN HAMILTON, 2005.
- [18] LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. Fundamentos de Metodologia Científica. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1997.
- [19] LEE, D. G.; SUH, N. P. Axiomatic Design and Fabrication of Composites Structures, Applications in Robots, Machine Tools, and Automobiles. New York: Oxford Press, 2006.
- [20] LOUREIRO, G. A. **Systems engineering and concurrent engineering framework for the integrated development of complex products**. 1999. 575 f. Thesis (PhD ) – Loughborough University, Loughborough.

- [21] MANDELBAUM, J. Enabling Technology Readiness Assessments (TRAs) with Systems Engineering. In: ANNUAL SYSTEMS ENGINEERING CONFERENCE, 8, **Anais eletrônicos...** San San Diego, 8th NDIA, out. 2005. Disponível em: <<http://www.dtic.mil/ndia/2005systems/2005systems.html>>. Acesso em: 27 mar. 2010.
- [22] MANDL, C. Ranking revela baixo gasto com P&D no país. **Valor Econômico**, Edição de 11/10/2005, Disponíveis em: <<http://www2.senado.gov.br/bdsf/bitstream/id/22088/1/noticia.htm>>. Acesso em: 27 mar. 2010.
- [23] MANKINS, J. C. Technology readiness and risk assessment: A new approach. **Acta Astronautica**, 65, 2009a, 1208-1215p.
- [24] MANKINS, J. C. Technology readiness assessment: A retrospective. **Acta Astronautica**, 65, 2009b, 1216-1223p.
- [25] MARTINS, R. A. **Sistemas de medição de desempenho**: um modelo para estruturação do uso. 1998. 248 f.. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- [26] MATSUMOTO, S. M.; TRABASSO, L. G. A Risk management model proposal for complex projects in technological innovation. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING, 20., 2009, Gramado. **Proceedings...** Gramado: ABCM, 2009.
- [27] NOLTE, W. L.; Technology readiness level calculator. In: ANNUAL SYSTEMS ENGINEERING CONFERENCE, 6., 2003, San Diego. **Anais eletrônicos...** Fort Belvoir, VA: NDIA, Apr. 2003. Disponível em: <<http://www.dtic.mil/ndia/2003systems/2003systems.html>>. Acesso em: 27 mar. 2010.
- [28] NOLTE, W. L. **TRL Calculator Version 2.2**. Greene: Wright-Patterson AFB, mar. 2007. Disponíveis em: <[http://www.acq.osd.mil/jctd/TRL/TRL%20Calc%20Ver%202\\_2.xls](http://www.acq.osd.mil/jctd/TRL/TRL%20Calc%20Ver%202_2.xls)>. Acesso em: 13 abr. 2010.
- [29] NOLTE, W. L. **TRL Calculator Version 2.2, Release Notes**. Greene: Wright-Patterson AFB, mai. 2004. Disponíveis em: <[www.acq.osd.mil/jctd/TRL/Version%202\\_2%20Release%20Notes.doc](http://www.acq.osd.mil/jctd/TRL/Version%202_2%20Release%20Notes.doc)>. Acesso em: 13 abr. 2010.

- [30] ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. Manual Frascati: Proposed Standard Practice for Surveys on Research and Experimental Development. 1. ed. OECD, 2002.
- [31] ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. Manual de Oslo: Diretrizes para coleta e interpretação de dados sobre inovação. 3. ed. OECD, 2007.
- [32] PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, PMBOK - Project Management Body of Knowledge. 3. Ed. Pennsylvania: PMI, 2004.
- [33] SAATY, T. L. Decision Making For Leaders – The Analytic Hierarchy Process for Decisions in a Complex World. Pittsburgh: RWS Publications, 2008.
- [34] SCHUMPETER, J. A. Teoria do Desenvolvimento Econômico: Uma Investigação Sobre Lucros, Capital, Crédito, Juro e o Ciclo Econômico. São Paulo: Abril Cultural, 1982
- [35] SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. Metodologia de pesquisa e elaboração de dissertação. 3. ed. Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001.
- [36] SILVA, R. C.; LESSA, N. O.; BELDERRAIN, M. C. N. Considerações sobre a robustez dos métodos KT e AHP. In: BRAZILIAN SYMPOSIUM OF OPERATIONAL RESEARC, 37., Gramado: SOBRAPO, 2005. **Anais...**[S.l.:s.n], 2005.
- [37] SOARES, S. R. Análise multicritério como instrumento de gestão ambiental. Gestão Ambiental Urbana. São Paulo: Editora Manole, 2004.
- [38] TRIANTAPHYLLOU, E.; MANN, S. H. Using the Analytic Hierarchy Process for Decision Making in Engineering Applications: Some Challenges. **International Journal of Industrial Engineering: Applications and Practice**, Vol. 2, No. 1, 1995. 35-44p.
- [39] UNITED STATES. Department of Defense. **Technology Readiness Assessment (TRA) deskbook**. Washington, 2005.
- [40] UNITED STATES GENERAL ACCOUNTING OFFICE, Best Practices - Better Management of Technology Development Can Improve Weapon System Outcomes. USA: GAO/NSIAD-99-162, 1999.

- [41] UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY. “Recovery Act”- Financial Assistance -Funding Opportunity Announcement 03/fev/2010. USA: Headquarters Advanced Research Projects Agency – Energy (ARPA-E), 2010. Disponíveis em: <[http://www.lanl.gov/stimulus\\_communication\\_center/documents/161/DE-FOA-0000288\\_ADEPT\\_\(Mar\\_2\\_2010\)\\_03-04-2010\\_08:20:28.pdf](http://www.lanl.gov/stimulus_communication_center/documents/161/DE-FOA-0000288_ADEPT_(Mar_2_2010)_03-04-2010_08:20:28.pdf)> Acesso em: 27 mar 2010.
- [42] VASCONCELOS, Y. Lente espacial - Uma câmera feita no Brasil para fotografar a Terra vai equipar o satélite sino-brasileiro Cbers-3. **Revista Pesquisa FAPESP**, Edição 148, Jun. 2008. Disponíveis em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/?art=3548&bd=1&pg=1&lg=>>. Acesso em: 17 mai. 2010.
- [43] VICÁRIA, L. Ciência Improdutiva. **Revista Época**, Edição 436, Set. 2006. Disponíveis em: <<http://revistaepoca.globo.com/Revista/Epoca/0,,EMI55313-15228,00-CIENCIA+IMPRODUTIVA.html>>. Acesso em: 27 mar. 2010.
- [44] YASSINE, A. A. An Introduction to Modeling and Analyzing Complex Product Development Processes Using the Design Structure Matrix (DSM) Method. **Quaderni di Management**, No.9, mai.-jun. 2004. Disponíveis em: <[www.quaderni-di-management.it](http://www.quaderni-di-management.it)>. Acesso em: 08 mai. 2008.
- [45] YIN, R. K. Case study research: design and methods. 4. ed. Beverly Hills: Sage Publications Inc, 2009.
- [46] WRIGHT, P. M.; NOE, R. A. Management of Organizations. New York: McGraw Hill College, 1996

**APÊNDICE A – Matrizes de comparação dos componentes da câmera MUX aplicando o método AHP modificado.**

Matriz de comparação entre Requisitos do Subsistema da Câmera MUX.

| Requisito                       | Óticos | Desempenho | Vida Útil | Confiabilidade | Elétricos | Compatibilidade Eletromagnética | Prioridade |
|---------------------------------|--------|------------|-----------|----------------|-----------|---------------------------------|------------|
| Óticos                          | 1      | 1/2        | 2         | 2              | 2         | 4                               | 0,204      |
| Desempenho                      | 2      | 1          | 4         | 4              | 4         | 5                               | 0,383      |
| Vida Útil                       | 1/2    | 1/4        | 1         | 1              | 3         | 4                               | 0,143      |
| Confiabilidade                  | 1/2    | 1/4        | 1         | 1              | 3         | 4                               | 0,143      |
| Elétricos                       | 1/2    | 1/4        | 1/3       | 1/3            | 1         | 3                               | 0,084      |
| Compatibilidade Eletromagnética | 1/4    | 1/5        | 1/4       | 1/4            | 1/3       | 1                               | 0,044      |

Matriz de comparação entre componentes do Subsistema da câmera MUX para Requisitos Óticos.

| Requisitos Óticos                      | Espelho Frontal | Objetiva ótica | Unidade de Calibração | Unidade de Detecção | Eletrônica de Proximidade | Mecanismo de Ajuste de Foco | Unidade de Controle Mecânico e Térmico | Unidade Eletrônica de Processamento | Prioridade |
|--|-----------------|----------------|-----------------------|---------------------|---------------------------|-----------------------------|--|-------------------------------------|------------|
| Espelho Frontal                        | 1               | 1/5            | 5                     | 1/3                 | 1                         | 1/4                         | 1/5                                    | 2                                   | 0,058      |
| Objetiva ótica                         | 5               | 1              | 8                     | 4                   | 5                         | 2                           | 2                                      | 8                                   | 0,264      |
| Unidade de Calibração                  | 4               | 1/8            | 1                     | 1/6                 | 1/4                       | 1/6                         | 1/8                                    | 1/2                                 | 0,024      |
| Unidade de Detecção                    | 3               | 1/4            | 6                     | 1                   | 3                         | 1/2                         | 1/4                                    | 4                                   | 0,112      |
| Eletrônica de Proximidade              | 1               | 1/5            | 4                     | 1/3                 | 1                         | 1/4                         | 1/5                                    | 1                                   | 0,041      |
| Mecanismo de Ajuste de Foco            | 4               | 1/2            | 6                     | 2                   | 4                         | 1                           | 1/2                                    | 9                                   | 0,213      |
| Unidade de Controle Mecânico e Térmico | 5               | 1/2            | 8                     | 4                   | 5                         | 2                           | 1                                      | 9                                   | 0,256      |
| Unidade Eletrônica de Processamento    | 1/2             | 1/8            | 2                     | 1/4                 | 1                         | 1/9                         | 1/9                                    | 1                                   | 0,032      |

Matriz de comparação entre componentes do Subsistema da câmera MUX para o Requisito de Desempenho.

| Requisitos de Desempenho               | Espelho Frontal | Objetiva ótica | Unidade de Calibração | Unidade de Detecção | Eletrônica de Proximidade | Mecanismo de Ajuste de Foco | Unidade de Controle Mecânico e Térmico | Unidade Eletrônica de Processamento | Prioridade |
|--|-----------------|----------------|-----------------------|---------------------|---------------------------|-----------------------------|--|-------------------------------------|------------|
| Espelho Frontal                        | 1               | 1/8            | 1/5                   | 1/8                 | 1/8                       | 1/5                         | 1/6                                    | 1/8                                 | 0,019      |
| Objetiva ótica                         | 8               | 1              | 6                     | 3                   | 5                         | 4                           | 3                                      | 1                                   | 0,284      |
| Unidade de Calibração                  | 5               | 1/6            | 1                     | 1/6                 | 1/3                       | 1/3                         | 1/6                                    | 1/8                                 | 0,037      |
| Unidade de Detecção                    | 8               | 1/3            | 6                     | 1                   | 3                         | 2                           | 1                                      | 1                                   | 0,155      |
| Eletrônica de Proximidade              | 8               | 1/5            | 3                     | 1/3                 | 1                         | 1/2                         | 1/4                                    | 1/2                                 | 0,073      |
| Mecanismo de Ajuste de Foco            | 5               | 1/4            | 3                     | 1/2                 | 2                         | 1                           | 1/3                                    | 1/2                                 | 0,084      |
| Unidade de Controle Mecânico e Térmico | 6               | 1/3            | 6                     | 1                   | 4                         | 3                           | 1                                      | 1                                   | 0,167      |
| Unidade Eletrônica de Processamento    | 8               | 1              | 8                     | 1                   | 2                         | 2                           | 1                                      | 1                                   | 0,180      |



Matriz de comparação entre componentes do Subsistema da câmera MUX para o Requisito de Vida Útil.

| Requisitos de Vida Útil                | Espelho Frontal | Objetiva ótica | Unidade de Calibração | Unidade de Detecção | Eletrônica de Proximidade | Mecanismo de Ajuste de Foco | Unidade de Controle Mecânico e Térmico | Unidade Eletrônica de Processamento | Prioridade |
|--|-----------------|----------------|-----------------------|---------------------|---------------------------|-----------------------------|--|-------------------------------------|------------|
| Espelho Frontal                        | 1               | 1/4            | 1                     | 1/5                 | 1/3                       | 1/5                         | 1/8                                    | 1/8                                 | 0,027      |
| Objetiva ótica                         | 4               | 1              | 5                     | 1/2                 | 3                         | 3                           | 1/2                                    | 1/2                                 | 0,135      |
| Unidade de Calibração                  | 5               | 1/5            | 1                     | 1/5                 | 1/4                       | 1/2                         | 1/8                                    | 1/8                                 | 0,039      |
| Unidade de Detecção                    | 5               | 2              | 5                     | 1                   | 3                         | 4                           | 1/3                                    | 1/3                                 | 0,155      |
| Eletrônica de Proximidade              | 3               | 1/3            | 4                     | 1/3                 | 1                         | 3                           | 1/2                                    | 1/2                                 | 0,094      |
| Mecanismo de Ajuste de Foco            | 5               | 1/3            | 2                     | 1/4                 | 1/3                       | 1                           | 1/6                                    | 1/6                                 | 0,052      |
| Unidade de Controle Mecânico e Térmico | 8               | 2              | 8                     | 3                   | 2                         | 6                           | 1                                      | 1                                   | 0,249      |
| Unidade Eletrônica de Processamento    | 8               | 2              | 8                     | 3                   | 2                         | 6                           | 1                                      | 1                                   | 0,249      |

Matriz de comparação entre componentes do Subsistema da câmera MUX para o Requisito de Confiabilidade.

| Requisitos de Confiabilidade           | Espelho Frontal | Objetiva ótica | Unidade de Calibração | Unidade de Detecção | Eletrônica de Proximidade | Mecanismo de Ajuste de Foco | Unidade de Controle Mecânico e Térmico | Unidade Eletrônica de Processamento | Prioridade |
|--|-----------------|----------------|-----------------------|---------------------|---------------------------|-----------------------------|--|-------------------------------------|------------|
| Espelho Frontal                        | 1               | 1/2            | 1/3                   | 1/4                 | 1/4                       | 1/2                         | 1/5                                    | 1/5                                 | 0,036      |
| Objetiva ótica                         | 2               | 1              | 1/2                   | 1/3                 | 1/3                       | 1                           | 1/4                                    | 1/4                                 | 0,055      |
| Unidade de Calibração                  | 2               | 2              | 1                     | 1/2                 | 1                         | 3                           | 1/3                                    | 1/3                                 | 0,095      |
| Unidade de Detecção                    | 4               | 3              | 2                     | 1                   | 2                         | 4                           | 1/2                                    | 1/2                                 | 0,161      |
| Eletrônica de Proximidade              | 4               | 3              | 1                     | 1/2                 | 1                         | 3                           | 1/3                                    | 1/3                                 | 0,112      |
| Mecanismo de Ajuste de Foco            | 2               | 1              | 1/3                   | 1/4                 | 1/3                       | 1                           | 1/4                                    | 1/4                                 | 0,051      |
| Unidade de Controle Mecânico e Térmico | 5               | 4              | 3                     | 2                   | 3                         | 4                           | 1                                      | 1                                   | 0,246      |
| Unidade Eletrônica de Processamento    | 5               | 4              | 3                     | 2                   | 3                         | 4                           | 1                                      | 1                                   | 0,246      |

Matriz de comparação entre componentes do Subsistema da câmera MUX para os Requisitos Elétricos.

| Requisitos Elétricos                   | Espelho Frontal | Objetiva ótica | Unidade de Calibração | Unidade de Detecção | Eletrônica de Proximidade | Mecanismo de Ajuste de Foco | Unidade de Controle Mecânico e Térmico | Unidade Eletrônica de Processamento | Prioridade |
|--|-----------------|----------------|-----------------------|---------------------|---------------------------|-----------------------------|--|-------------------------------------|------------|
| Espelho Frontal                        | 1               | 1              | 1/5                   | 1/5                 | 1/5                       | 1/5                         | 1/9                                    | 1/9                                 | 0,025      |
| Objetiva ótica                         | 1               | 1              | 1/5                   | 1/5                 | 1/5                       | 1/5                         | 1/9                                    | 1/9                                 | 0,025      |
| Unidade de Calibração                  | 5               | 5              | 1                     | 1                   | 1                         | 1                           | 1/2                                    | 1/2                                 | 0,120      |
| Unidade de Detecção                    | 5               | 5              | 1                     | 1                   | 1                         | 1                           | 1/2                                    | 1/2                                 | 0,120      |
| Eletrônica de Proximidade              | 5               | 5              | 1                     | 1                   | 1                         | 1                           | 1/2                                    | 1/2                                 | 0,120      |
| Mecanismo de Ajuste de Foco            | 5               | 5              | 1                     | 1                   | 1                         | 1                           | 1/2                                    | 1/2                                 | 0,120      |
| Unidade de Controle Mecânico e Térmico | 9               | 9              | 2                     | 2                   | 2                         | 2                           | 1                                      | 1                                   | 0,235      |
| Unidade Eletrônica de Processamento    | 9               | 9              | 2                     | 2                   | 2                         | 2                           | 1                                      | 1                                   | 0,235      |

Matriz de comparação entre componentes do Subsistema da câmera MUX para os Requisitos de Compatibilidade Eletromagnética.

| Requisitos de Compatibilidade Eletromagnéticas | Espelho Frontal | Objetiva ótica | Unidade de Calibração | Unidade de Detecção | Eletrônica de Proximidade | Mecanismo de Ajuste de Foco | Unidade de Controle Mecânico e Térmico | Unidade Eletrônica de Processamento | Prioridade |
|--|-----------------|----------------|-----------------------|---------------------|---------------------------|-----------------------------|--|-------------------------------------|------------|
| Espelho Frontal                                | 1               | 1              | 1/5                   | 1/5                 | 1/5                       | 1/5                         | 1/9                                    | 1/9                                 | 0,025      |
| Objetiva ótica                                 | 1               | 1              | 1/5                   | 1/5                 | 1/5                       | 1/5                         | 1/9                                    | 1/9                                 | 0,025      |
| Unidade de Calibração                          | 5               | 5              | 1                     | 1                   | 1                         | 1                           | 1/2                                    | 1/2                                 | 0,120      |
| Unidade de Detecção                            | 5               | 5              | 1                     | 1                   | 1                         | 1                           | 1/2                                    | 1/2                                 | 0,120      |
| Eletrônica de Proximidade                      | 5               | 5              | 1                     | 1                   | 1                         | 1                           | 1/2                                    | 1/2                                 | 0,120      |
| Mecanismo de Ajuste de Foco                    | 5               | 5              | 1                     | 1                   | 1                         | 1                           | 1/2                                    | 1/2                                 | 0,120      |
| Unidade de Controle Mecânico e Térmico         | 9               | 9              | 2                     | 2                   | 2                         | 2                           | 1                                      | 1                                   | 0,235      |
| Unidade Eletrônica de Processamento            | 9               | 9              | 2                     | 2                   | 2                         | 2                           | 1                                      | 1                                   | 0,235      |

## **ANEXO I – Metodologias científicas aplicadas.**

Diversos aspectos norteiam a escolha das metodologias corretas para a execução da pesquisa em curso. Abaixo segue uma relação das principais metodologias disseminadas e seu contexto de aplicação.

Quanto à compreensão da Natureza da Pesquisa, ou seja, da aplicabilidade prática dos resultados obtidos com o desenvolvimento da pesquisa, segundo Silva e Menezes em seu livro “Metodologia de pesquisa e elaboração de dissertação” 3. ed. Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001, a pesquisa pode ser classificada de duas formas:

- Pesquisa Básica – concernem as pesquisas que buscam gerar novas teorias ou pensamentos científicos, mas sem se preocupar com a sua aplicação prática imediata.
- Pesquisa Aplicada – são as pesquisas que, a partir de problemas práticos e reais, buscam soluções que poderão ser aplicados a estes casos.

Quanto aos Objetivos Gerais da Pesquisa, ou seja, o que se busca atingir com a pesquisa realizada, ela pode ser caracterizada, segundo Gil em seu livro “Como Elaborar Projetos de Pesquisa” 3. ed. São Paulo: Atlas, 1991, em três tipos:

- Pesquisa Exploratória – tem por princípio comprovar e descrever um novo fenômeno até então indeterminado para, em um segundo momento, proceder aos estudos que levarão às hipóteses que promovem sua ocorrência.
- Pesquisa Descritiva – estabelecida a existência de um fenômeno, a pesquisa descritiva trata de caracterizá-la de forma a delimitá-lo, estabelecendo as variáveis que devem ser analisadas para a análise das correlações existentes.

- Pesquisa Explicativa – este tipo de pesquisa centra-se, a partir de um fenômeno já descrito e bem determinado, levantar as hipóteses que expliquem a correlação entre as variáveis que levam à ocorrência do fenômeno.

Com relação à Abordagem do Problema, onde a análise dos tipos de variáveis envolvidas estabelece o modo como as informações serão coletadas, sintetizadas e analisadas, Martins, em sua tese “Sistemas de medição de desempenho: um modelo para estruturação do uso”. 1998. 248 f.. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, considera que pode ser:

- Pesquisa Quantitativa – focadas na busca do estabelecimento de correlações estatísticas entre parâmetros ou variáveis mensuráveis, sendo possível inferir a existência de uma situação de causa e efeito.

- Pesquisa Qualitativa – tem um enfoque na captação de perspectivas, entendimentos e interpretações das pessoas, em detrimento de parâmetros mensuráveis. Neste caso, o resultado é fruto do entendimento dos indivíduos e do pesquisador e, não necessariamente, possui uma determinada frequência estatística.

Para o Método de Pesquisa, onde se define o modelo de pesquisa a ser adotado para a busca das soluções do problema/fenômeno levantado, Lakatos e Marconi em seu livro “Fundamentos de Metodologia Científica” 3. ed. São Paulo: Atlas, 1997, considera que os Métodos de Pesquisa podem ser divididos em:

- Método Indutivo – onde as conclusões, sejam genéricas ou formalizadas em teorias ou leis, devem ser buscadas a partir da coleta de dados, sem se prender a princípios pré-estabelecidos.

- Método Dedutivo – neste caso, novos resultados, conclusões e premissas são obtidas a partir da análise de leis e teorias já aplicadas em situações específicas.

- Método Dialético – onde o raciocínio estruturado, utilizando-se de metodologias adequadas, das contradições na interpretação de um problema leva ao encontro de novas soluções.

- Método Hipotético-dedutivo – modelo onde teorias e leis já existentes são, exaustivamente, postas à prova diante de um problema, até que falhem, levando à necessidade do estabelecimento de novas regras e teorias.

A determinação do Método de Procedimento da Pesquisa deve ser feita, na visão de Martins, em sua tese “Sistemas de medição de desempenho: um modelo para estruturação do uso”. 1998. 248 f.. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, tendo em vista o ambiente em que a pesquisa será feita e de acordo com a influência do pesquisador frente às variáveis e parâmetros a serem monitorados. Desta forma, o procedimento pode ser classificado como:

- Pesquisa experimental – onde, a partir de um ambiente onde as variáveis são controladas, busca-se o levantamento de dados experimentais que venham a estabelecer as relações de causa e efeito.

- Pesquisa de avaliação – também conhecida como levantamento de dados, este método pode ser sintetizado como o levantamento de um grande volume de informação de um problema, em um único instante no tempo, de maneira que permita sua posterior análise estatística. Esta característica torna difícil a extrapolação das conclusões para outras populações.

- Estudo de caso – método onde se busca o estabelecimento de correlações entre causas e efeitos a partir da observação e coleta de dados de um conjunto de variáveis em um ambiente com pouco ou nenhum controle do pesquisador sobre os eventos.

- Pesquisa-ação – método onde o pesquisador possui maior controle sobre determinadas variáveis do ambiente, podendo envolver-se diretamente no estabelecimento de correlações de causa e efeito.

Tanto Yin em seu livro “*Case study research: design and methods*” 4. ed. Beverly Hills: Sage Publications Inc. 2009, como Gil em seu livro “Como Elaborar Projetos de Pesquisa” 3. ed. São Paulo: Atlas, 1991, afirmam que a definição dos Instrumentos de Pesquisa visa estabelecer a forma de coleta das informações, podendo ser através de:

- Análise de documentos e registros – ou seja, pelo levantamento de dados a partir da cuidadosa análise semântica de documentos e registros já existentes.

- Entrevistas – onde as informações são obtidas a partir de uma série de entrevistas, podendo ser: estruturadas (com um roteiro previamente detalhado) ou; semi-estruturadas (utilizando-se de um roteiro apenas com as linhas gerais).

- Questionários – neste modelo, as informações são obtidas através de uma série de perguntas que podem ser feitas através de questionários abertos, fechados ou de múltipla escolha.

- Observação – instrumento de pesquisa onde os dados são obtidos através da percepção do observador pesquisador, seja de forma direta, onde apenas são avaliadas as condições ambientais mais relevantes ou, através da interação com o ambiente em estudo.



O quadro a seguir apresenta um resumo das Metodologias Científicas usualmente aplicadas, o que permite vislumbrar a diversidade das técnicas e avaliar as melhores estratégias de abordagem das pesquisas.

|                                    |   |
|------------------------------------|---|
| Natureza da Pesquisa               | - Básica<br>- Aplicada  |
| Objetivos Gerais da Pesquisa       | - Exploratória<br>- Descritiva<br>- Explicativa   |
| Abordagem do Problema              | - Quantitativa<br>- Qualitativa   |
| Método de Pesquisa                 | - Indutivo<br>- Dedutivo<br>- Dialético<br>- Hipotético-dedutivo                          |
| Método de Procedimento da Pesquisa | - Pesquisa experimental<br>- Pesquisa de avaliação<br>- Estudo de caso<br>- Pesquisa-ação |
| Instrumentos de Pesquisa           | - Análise de documentos e registros<br>- Entrevistas<br>- Questionários<br>- Observação   |

## **ANEXO II – Questões para Identificação de elementos tecnológicos críticos.**

O Departamento de Defesa norte-americano (DoD), em seu *Technology Readiness Assessment (TRA) deskbook*, Washington (2005), sugere, para a identificação de uma tecnologia crítica, avaliar se a resposta de uma das seguintes questões é "sim":

- A tecnologia impacta diretamente algum requisito operacional?
- A tecnologia tem impacto significativo sobre um cronograma de entrega previsto?
- A tecnologia tem efeito significativo sobre a disponibilidade do sistema?
- Se este é um desenvolvimento em espiral, a tecnologia é essencial para cumprir as entregas em espiral?

Além disso, a resposta a uma das seguintes questões também devem ser "sim":

- A tecnologia é nova ou estabelecida?
- A tecnologia é modificada?
- Tendo sido a tecnologia re-configurada para um novo ambiente relevante, foi avaliado?
- É esperado que a tecnologia opere em um ambiente e / ou obtenha um desempenho além da intenção do projeto original ou capacidade demonstrada?

### ANEXO III – Relação entre etapa do desenvolvimento e custos envolvidos.

Segundo Mankins, em seu artigo *Technology readiness and risk assessment: A new approach*. Acta Astronautica, 65, 2009, há uma correlação típica entre custos envolvidos em função do esforço demandado para prover um nível superior de maturidade em projetos de inovação da área espacial. Esta correlação se mostra de grande valia na gestão de projetos ao permitir vislumbrar o esforço financeiro demandado para o atendimento de determinado nível de maturidade e antever os próximos passos.

| Nível | Descrição Básica  | Expectativa do custo  |
|-------|---|---|
| TRL 1 | Princípios básicos observados e reportados a partir de pesquisa científica básica começam a ser em pesquisa e desenvolvimento aplicado  | Os custos envolvidos no nível TRL1 podem variar desde valores muito baixos a valores muito altos, dependendo, em grande parte, das disciplinas envolvidas na pesquisa.    |
| TRL 2 | Nível onde as aplicações são ainda meramente especulações e não existem prova experimental específica ou análise detalhada que suporte a conjectura                           | Tipicamente os valores envolvidos neste nível são baixos se comparados ao custo total necessário para, eventualmente, aplicar em um sistema o princípio observado         |
| TRL 3 | Este nível, normalmente baseado em estudos de laboratórios, inclui tanto abordagens analíticas e experimentais para provar um conceito em particular                          | Nesta fase os custos envolvidos representam, usualmente, uma fração pequena a modesta dos custos totais envolvidos na aplicação, em um sistema, dos princípios observados |
| TRL 4 | Tendo sucesso no estabelecimento da “prova de conceito”, o elemento tecnológico deve ser integrado a outros componentes do sistema para avaliar o seu desempenho em conjunto. | Os custos esperados nesta etapa são tipicamente modestos quando comparados ao montante total demandado para a total implementação de uma nova tecnologia                  |
| TRL 5 | Os componentes s são integrados em um ambiente razoavelmente realístico permitindo uma simulação do seu funcionamento no sistema  | Como referência, os custos representando por esta etapa tendem a ser de moderado para alto, sendo, geralmente, muito maior do que os custos do desenvolvimento do TRL4    |

|          |   |   |
|----------|---|---|
| TRL<br>6 | Neste nível o sistema, ou protótipo do sistema, ou modelo representativo deve ser testado em ambiente representativo  | Usualmente os custos envolvidos no desenvolvimento desta etapa tendem a ser altos tendo em vista o total demandado para a implementação da tecnologia                     |
| TRL<br>7 | Esta etapa requer a demonstração, no ambiente operacional esperado, de um protótipo real do sistema   | Os custos envolvidos nesta etapa representam, usualmente, uma parcela significativa do processo de desenvolvimento, sendo bastante alto se comparado às fases anteriores. |
| TRL<br>8 | Na maioria dos casos esta fase representa o final do processo de desenvolvimento. Mas também pode representar os casos onde novas tecnologias estão sendo incorporadas em sistemas já operacionais. | Tipicamente os custos envolvidos nesta etapa são muito altos podendo ser, em muitos casos, maior do que o custo combinado de todas as etapas anteriores.                  |
| TRL<br>9 | Representa, na maioria dos casos, o término da resolução do último problema.  | Pode ser, via de regra, alto, todavia significativamente menor do que os custos da etapa anterior de TRL 8.   |

## **ANEXO IV – Descrição detalhada do nível de maturidade tecnológica.**

Segundo o *United States Department of Energy* em seu “*Recovery Act*”- *Financial Assistance -Funding Opportunity Announcement* 03/fev/2010. USA: *Headquarters Advanced Research Projects Agency – Energy (ARPA-E)*, 2010, o grau de maturidade das tecnologias podem ser definidas da seguinte forma:

TRL - 1. Princípios básicos observados e relatados.

Este é o nível mais baixo de prontidão da tecnologia. As investigações científicas começam com um estudo sistemático voltado para um maior conhecimento e compreensão dos aspectos fundamentais de fenômenos e fatos observáveis, sem demanda ou produtos específicos em mente. O conhecimento ou entendimento será depois traduzido em pesquisa aplicada e desenvolvimento. Como exemplos podem ser incluídos os estudos de propriedades básicas de uma tecnologia.

TRL - 2. Conceito tecnológico e / ou aplicação formulada.

Tem início a invenção. Uma vez que os princípios básicos são observados, aplicações práticas podem ser inventadas. As aplicações são, neste momento, especulações e pode não haver nenhuma prova ou análise detalhada que apóie as hipóteses.

TRL - 3. Funções analíticas e experimentais críticas e / ou prova de conceito característica.

As atividades de pesquisa e desenvolvimento são iniciadas. Isto inclui estudos analíticos e de laboratório para validar fisicamente previsões analíticas de elementos tecnológicos isolados. Exemplos incluem componentes que ainda não estão integrados ou são representativos.

TRL - 4. Validação de componentes e / ou bancada de teste em ambiente laboratorial.

Os componentes de base tecnológica são integrados para provar que eles vão trabalhar em sinergia. Esta validação possui, relativamente, "baixa fidelidade" em relação ao sistema final. Exemplos incluem a integração, em laboratório, de hardwares dedicados.

TRL - 5. Validação de componentes e / ou bancada de teste em ambiente relevante.

A fidelidade da tecnologia em bancada de teste aumenta significativamente. Os componentes de base tecnológica são integrados com razoável realismo a elementos de apoio para que possa ser testado em um ambiente simulado. Exemplos incluem integração laboratorial de componentes em "alta fidelidade".

TRL - 6. Modelo de Sistema / subsistema ou protótipo de demonstração em um ambiente relevante.

Modelo representativo ou protótipo de sistema, que está bem além da TRL-5, é testado em um ambiente relevante. Isto representa um grande passo na demonstração da prontidão de uma tecnologia. Exemplos incluem testes de protótipos em um ambiente de laboratório de alta-fidelidade ou em ambiente operacional simulado.

TRL - 7. Demonstração de protótipo de sistema em um ambiente operacional.

Isto representa um passo importante a partir TRL-6. Ela exige a demonstração de um protótipo do sistema real em um ambiente operacional, como em uma plataforma. Exemplos incluem testes de um protótipo de bateria em um veículo híbrido (gás-eletricidade) operacional.

TRL - 8. Sistema real concluído e qualificado através de testes e demonstrações.

A tecnologia tem sido comprovada para o trabalho em sua forma final e nas condições esperadas. Em quase todos os casos, este TRL-8 representa o fim do desenvolvimento do sistema real. Exemplos incluem testes de desenvolvimento e avaliação do sistema junto ao seu sistema principal para determinar se ele atende às especificações de projeto.

TRL - 9. Sistema real comprovado através de missão de operações bem sucedida.

A tecnologia é aplicada e operada em sua forma final e em condições reais, tais como aqueles encontrados no teste e avaliação operacional. Em quase todos os casos, este é o término da resolução dos "últimos problemas" de desenvolvimento do sistema de verdade.

Exemplos incluem o uso do sistema sob diferentes condições de vida real.

## ANEXO V – Questionário para avaliação do grau de maturidade.

Questionário desenvolvido por Nolte (2007) em seu *TRL Calculator Version 2.2* (Disponíveis em: < <http://www.acq.osd.mil/jctd/TRL/TRL%20Calc%20Ver%202.2.xls>>) para avaliar o grau de maturidade de sistemas compostos por software, hardware, ou que incorporem ambos e, parte integrante do programa MS Excel *TRL Calculator Version 2.2*. A coluna “H/SW/Both” indica a qual contexto a questão se aplica, se a hardware (H), software (S) ou para ambos (B). Por sua vez, a coluna “Ques Catgry” define a categoria para a qual a questão se aplica, no caso de maturidade de tecnologia (T), para maturidade de manufatura (M) e, em para maturidade dos aspectos de suporte, foco em cliente e outros ligados ao programa (P). A coluna “% Complete” indica qual o grau de realização dentro da questão considerada.

| <b>TOP LEVEL VIEW -- Demonstration Environment (Start at top and pick the first correct answer)</b> |  |
|---|--|
|   | Has an identical unit been successful an on operational mission (space or launch) in an identical configuration?         |
|   | Has an identical unit been demonstrated on an operational mission, but in a different configuration/system architecture? |
|   | Has an identical unit been mission (flight) qualified but not operationally demonstrated (space or launch)?              |
|   | Has a prototype unit been demonstrated in the operational environment (space or launch)?                                 |
|   | Has a prototype been demonstrated in a relevant environment, on the target or surrogate platform?                        |
|   | Has a breadboard unit been demonstrated in a relevant (typical; not necessarily stressing) environment?                  |
|   | Has a breadboard unit been demonstrated in a laboratory (controlled) environment?  |
|   | Has analytical and experimental proof-of-concept been demonstrated?  |
|   | Has a concept or application been formulated?  |
|   | Have basic principles been observed and reported?  |
|   | None of the above  |



Source: James W. Bilbro, NASA, Marshall SFC, May 2001

| H/SW/Both | Ques Catgry | % Complete | TRL 1 (Check all that apply or use slider for % complete)                                     |
|-----------|-------------|------------|---|
| B         | T           |            | "Back of envelope" environment  |
| B         | T           |            | Physical laws and assumptions used in new technologies defined                                |
| S         | T           |            | Have some concept in mind that may be realizable in software                                  |
| S         | T           |            | Know what software needs to do in general terms   |
| B         | T           |            | Paper studies confirm basic principles  |
| S         | T           |            | Mathematical formulations of concepts that might be realizable in software                    |
| S         | T           |            | Have an idea that captures the basic principles of a possible algorithm                       |
| B         | P           |            | Initial scientific observations reported in journals/conference proceedings/technical reports |
| B         | T           |            | Basic scientific principles observed  |
| B         | P           |            | Know who cares about technology, e.g., sponsor, money source                                  |
| B         | T           |            | Research hypothesis formulated  |
| B         | P           |            | Know who will perform research and where it will be done                                      |

| H/SW/Both | Ques Catgry | % Complete | TRL 2 (Check all that apply or use slider for % complete)         |
|-----------|-------------|------------|---|
| B         | P           |            | Customer identified   |
| B         | T           |            | Potential system or component application(s) have been identified |
| B         | T           |            | Paper studies show that application is feasible                   |
| B         | P           |            | Know what program the technology will support                     |
| B         | T           |            | An apparent theoretical or empirical design solution identified   |
| H         | T           |            | Basic elements of technology have been identified                 |
| B         | T           |            | Desktop environment   |
| H         | T           |            | Components of technology have been partially characterized        |
| H         | T           |            | Performance predictions made for each element                     |
| B         | P           |            | Customer expresses interest in application                        |

|   |   |  |  |
|---|---|--|--|
| S | T |  | Some coding to confirm basic principles  |
| B | T |  | Initial analysis shows what major functions need to be done                                      |
| H | T |  | Modeling & Simulation only used to verify physical principles                                    |
| B | P |  | System architecture defined in terms of major functions to be performed                          |
| S | T |  | Experiments performed with synthetic data  |
| B | P |  | Requirement tracking system defined to manage requirements creep                                 |
| B | T |  | Rigorous analytical studies confirm basic principles   |
| B | P |  | Analytical studies reported in scientific journals/conference proceedings/technical reports      |
| B | T |  | Individual parts of the technology work (No real attempt at integration)                         |
| S | T |  | Know what hardware software will be hosted on  |
| B | T |  | Know what output devices are available   |
| B | P |  | Investment Strategy Sheet  |
| B | P |  | Know capabilities and limitations of researchers and research facilities                         |
| B | T |  | Know what experiments you need to do (research approach)   |
| B | P |  | Qualitative idea of risk areas (cost, schedule, performance)                                     |
| B | P |  | Have rough idea of how to market technology (Who's interested, how will they find out about it?) |

| H/SW/Both | Ques Catgry | % Complete | <b>TRL 3 (Check all that apply or use slider for % complete)</b>                               |
|-----------|-------------|------------|--|
| B         | T           |            | Academic environment   |
| H         | T           |            | Predictions of elements of technology capability validated by Analytical Studies               |
| S         | T           |            | Analytical studies verify predictions, produce algorithms                                      |
| H         | T           |            | Science known to extent that mathematical and/or computer models and simulations are possible  |
| H         | P           |            | Preliminary system performance characteristics and measures have been identified and estimated |
| S         | T           |            | Outline of software algorithms available   |
| H         | T           |            | Predictions of elements of technology capability validated by Modeling and Simulation          |
| S         | T           |            | Preliminary coding verifies that software can satisfy an operational need                      |
| H         | M           |            | No system components, just basic laboratory research equipment to verify physical principles   |
| B         | T           |            | Laboratory experiments verify feasibility of application                                       |

|   |   |  |   |
|---|---|--|---|
| H | T |  | Predictions of elements of technology capability validated by Laboratory Experiments          |
| B | P |  | Customer representative identified to work with development team                              |
| B | P |  | Customer participates in requirements generation  |
| B | T |  | Cross technology effects (if any) have begun to be identified                                 |
| H | M |  | Design techniques have been identified/developed  |
| B | T |  | Paper studies indicate that system components ought to work together                          |
| B | P |  | Customer identifies transition window(s) of opportunity                                       |
| B | T |  | Metrics established   |
| B | P |  | Scaling studies have been started   |
| S | T |  | Experiments carried out with small representative data sets                                   |
| S | T |  | Algorithms run on surrogate processor in a laboratory environment                             |
| H | M |  | Current manufacturability concepts assessed   |
| S | T |  | Know what software is presently available that does similar task (100% = Inventory completed) |
| S | T |  | Existing software examined for possible reuse   |
| H | M |  | Producibility needs for key breadboard components identified                                  |
| S | T |  | Know limitations of presently available software (Analysis of current software completed)     |
| B | T |  | Scientific feasibility fully demonstrated   |
| B | T |  | Analysis of present state of the art shows that technology fills a need                       |
| B | P |  | Risk areas identified in general terms  |
| B | P |  | Risk mitigation strategies identified   |
| B | P |  | Rudimentary best value analysis performed, not including cost factors                         |

| H/SW/Both | Ques Catgry | % Complete | TRL 4 (Check all that apply or use slider for % complete)  |
|-----------|-------------|------------|--|
| B         | T           |            | Cross technology issues (if any) have been fully identified  |
| H         | M           |            | Ad hoc and available laboratory components are surrogates for system components                    |
| H         | T           |            | Individual components tested in laboratory/by supplier (contractor's component acceptance testing) |
| H         | M           |            | Piece parts and components in a pre-production form exist  |
| H         | T           |            | M&S used to simulate some components and interfaces between components                             |

|   |   |  |  |
|---|---|--|--|
| S | T |  | Formal system architecture development begins  |
| B | P |  | Customer publishes requirements document   |
| B | T |  | Overall system requirements for end user's application are known                           |
| B | P |  | System performance metrics have been established   |
| S | T |  | Analysis provides detailed knowledge of specific functions software needs to perform       |
| B | P |  | Laboratory requirements derived from system requirements are established                   |
| H | M |  | Available components assembled into system breadboard                                      |
| H | T |  | Laboratory experiments with available components show that they work together (lab kludge) |
| S | T |  | Requirements for each function established   |
| S | T |  | Algorithms converted to pseudocode   |
| S | T |  | Analysis of data requirements and formats completed  |
| S | T |  | Stand-alone modules follow preliminary system architecture plan                            |
| H | T |  | Hardware in the loop/computer in the loop tools to establish component compatibility       |
| S | M |  | Designs verified through formal inspection process   |
| B | P |  | S&T exit criteria established  |
| B | T |  | Technology demonstrates basic functionality in simplified environment                      |
| S | P |  | Able to estimate software program size in lines of code and/or function points             |
| H | M |  | Scalable technology prototypes have been produced  |
| B | P |  | Draft conceptual designs have been documented  |
| H | M |  | Design techniques identified/defined to where small applications may be analyzed/simulated |
| B | T |  | Controlled laboratory environment  |
| B | P |  | Initial cost drivers identified  |
| S | T |  | Experiments with full scale problems and representative data sets                          |
| B | M |  | Integration studies have been started  |
| B | P |  | CAIV targets set   |
| S | T |  | Individual functions or modules demonstrated in a laboratory environment                   |
| H | M |  | Key manufacturing processes identified   |
| B | P |  | Scaling documents and diagrams of technology have been completed                           |
| S | T |  | Some ad hoc integration of functions or modules demonstrates that they will work together  |

|          |          |  |   |
|----------|----------|--|---|
| <b>H</b> | <b>M</b> |  | Key manufacturing processes assessed in laboratory  |
| <b>B</b> | <b>P</b> |  | Draft Systems Engineering Master Plan (SEMP)  |
| <b>B</b> | <b>T</b> |  | Low fidelity technology "system" integration and engineering completed in a lab environment |
| <b>H</b> | <b>M</b> |  | Mitigation strategies identified to address manufacturability / producibility shortfalls    |
| <b>B</b> | <b>P</b> |  | Customer commits to transition through ATD commissioning and/or MOU                         |
| <b>B</b> | <b>T</b> |  | Functional work breakdown structure developed   |
| <b>B</b> | <b>P</b> |  | Integrated Product Team (IPT) formally established with charter                             |
| <b>B</b> | <b>P</b> |  | Customer representative is member of IPT  |
| <b>B</b> | <b>P</b> |  | Formal risk management program initiated  |
| <b>B</b> | <b>P</b> |  | Preliminary Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) or Risk Waterfall analysis performed   |
| <b>B</b> | <b>P</b> |  | Technology availability dates established   |

| H/SW/Both | Ques Catgry | % Complete | <b>TRL 5 (Check all that apply or use sliders)</b>  |
|-----------|-------------|------------|---|
| <b>B</b>  | <b>T</b>    |            | Cross technology effects (if any) identified and established through analysis                         |
| <b>H</b>  | <b>M</b>    |            | Pre-production hardware available   |
| <b>B</b>  | <b>T</b>    |            | System interface requirements known   |
| <b>B</b>  | <b>P</b>    |            | System requirements flow down through work breakdown structure (systems engineering begins)           |
| <b>S</b>  | <b>T</b>    |            | System software architecture established  |
| <b>H</b>  | <b>M</b>    |            | Targets for improved yield established  |
| <b>S</b>  | <b>T</b>    |            | External interfaces described as to source, format, structure, content, and method of support         |
| <b>S</b>  | <b>T</b>    |            | Analysis of internal interface requirements completed   |
| <b>H</b>  | <b>M</b>    |            | Trade studies and lab experiments define key manufacturing processes                                  |
| <b>B</b>  | <b>T</b>    |            | Interfaces between components/subsystems are realistic (Breadboard with realistic interfaces)         |
| <b>H</b>  | <b>M</b>    |            | Significant engineering and design changes  |
| <b>S</b>  | <b>T</b>    |            | Coding of individual functions/modules completed  |
| <b>H</b>  | <b>M</b>    |            | Prototypes have been created  |
| <b>H</b>  | <b>M</b>    |            | Tooling and machines demonstrated in lab  |
| <b>B</b>  | <b>T</b>    |            | High fidelity lab integration of system completed, ready for test in realistic/simulated environments |

|   |   |  |  |
|---|---|--|--|
| H | M |  | Design techniques have been defined to the point where largest problems defined                  |
| H | P |  | Form, fit, and function for application addressed in conjunction with end user development staff |
| H | T |  | Fidelity of system mock-up improves from breadboard to brassboard                                |
| B | M |  | Quality and reliability considered, but target levels not yet established                        |
| H | M |  | Some special purpose components combined with available laboratory components                    |
| H | P |  | Three view drawings and wiring diagrams have been submitted                                      |
| B | T |  | Laboratory environment modified to approximate operational environment                           |
| H | M |  | Initial assesment of assembly needs performed  |
| H | P |  | Detailed design drawings have been completed   |
| H | M |  | Sigma levels needed to satisfy CAIV targets defined  |
| B | P |  | Draft SEMP addresses integration   |
| B | P |  | Draft SEMP addresses test and evaluation   |
| B | P |  | Draft SEMP addresses mechanical and electrical interfaces  |
| H | M |  | Production processes have been reviewed with Manufacturing and Producibility office(s)           |
| B | P |  | Draft SEMP addresses performance; translate measured to expected final performance               |
| B | P |  | Risk management plan documented  |
| S | T |  | Functions integrated into modules  |
| B | P |  | Configuration management plan in place   |
| S | T |  | Individual functions tested to verify that they work   |
| S | T |  | Individual modules and functions tested for bugs   |
| S | T |  | Integration of modules/functions demonstrated in a laboratory environment                        |
| S | P |  | Formal inspection of all modules/components completed as part of configuration management        |
| B | P |  | Configuration management plan documented   |
| B | P |  | Draft Test & Evaluation Master Plan (TEMP)   |
| S | T |  | Algorithms run on processor with characteristics representative of target environment            |
| H | P |  | Preliminary hardware technology "system" engineering report (Draft SEMP) completed               |
| B | P |  | Customer commits to transition via POM process   |
| B | P |  | Draft Transition Plan with Business Case   |
| H | P |  | Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) performed   |

|          |          |  |   |
|----------|----------|--|---|
| <b>B</b> | <b>P</b> |  | Value analysis includes analysis of multiple technology and non-material alternatives |
| <b>B</b> | <b>T</b> |  | IPT develops requirements matrix with thresholds and objectives                       |
| <b>B</b> | <b>T</b> |  | Physical work breakdown structure available   |
| <b>B</b> | <b>P</b> |  | Value analysis includes life-cycle cost analysis                                      |

| H/SW/Both | Ques Catgry | % Complete | <b>TRL 6 (Check all that apply or use sliders)</b>   |
|-----------|-------------|------------|--|
| <b>B</b>  | <b>T</b>    |            | Cross technology issue measurement and performance characteristic validations completed          |
| <b>H</b>  | <b>M</b>    |            | Quality and reliability levels established   |
| <b>B</b>  | <b>M</b>    |            | Frequent design changes occur  |
| <b>H</b>  | <b>P</b>    |            | Draft design drawings are nearly complete  |
| <b>B</b>  | <b>T</b>    |            | Operating environment for eventual system known  |
| <b>B</b>  | <b>P</b>    |            | Collection of actual maintainability, reliability, and supportability data has been started      |
| <b>B</b>  | <b>P</b>    |            | Design to cost goals identified  |
| <b>H</b>  | <b>M</b>    |            | Investment needs for process and tooling determined  |
| <b>B</b>  | <b>T</b>    |            | M&S used to simulate system performance in an operational environment                            |
| <b>B</b>  | <b>P</b>    |            | Final Test & Evaluation Master Plan (TEMP)   |
| <b>H</b>  | <b>T</b>    |            | Factory acceptance testing of laboratory system in laboratory setting                            |
| <b>B</b>  | <b>T</b>    |            | Representative model / prototype tested in high-fidelity lab / simulated operational environment |
| <b>B</b>  | <b>T</b>    |            | Realistic environment outside the lab, but not the eventual operating environment                |
| <b>B</b>  | <b>P</b>    |            | Final Systems Engineering Master Plan (SEMP)   |
| <b>S</b>  | <b>T</b>    |            | Inventory of external interfaces completed   |
| <b>B</b>  | <b>P</b>    |            | Technology Transition Agreement has been updated   |
| <b>B</b>  | <b>P</b>    |            | Scaling issues that remain are identified and supporting analysis is complete                    |
| <b>S</b>  | <b>T</b>    |            | Analysis of timing constraints completed   |
| <b>S</b>  | <b>T</b>    |            | Analysis of database structures and interfaces completed   |
| <b>B</b>  | <b>P</b>    |            | Have begun to establish an interface control process   |
| <b>H</b>  | <b>P</b>    |            | Draft production planning has been reviewed by end user and developer                            |
| <b>H</b>  | <b>M</b>    |            | Critical manufacturing processes prototyped  |

|   |   |  |  |
|---|---|--|--|
| H | M |  | Most pre-production hardware is available  |
| B | P |  | Technology Transition Agreement has been coordinated and approved by end user            |
| S | T |  | Prototype implementation includes functionality to handle large scale realistic problems |
| S | T |  | Algorithms parially integrated with existing hardware / software systems                 |
| H | M |  | Materials, process, design, and integration methods have been employed                   |
| S | T |  | Individual modules tested to verify that the module components (functions) work together |
| B | P |  | Technology "system" specification complete   |
| H | M |  | Components are functionally compatible with operational system                           |
| S | T |  | Representative software system or prototype demonstrated in a laboratory environment     |
| B | T |  | Laboratory system is high-fidelity functional prototype of operational system            |
| B | P |  | Formal configuration management program defined to control change process                |
| B | M |  | Integration demonstrations have been completed   |
| B | P |  | Final Technical Report   |
| H | M |  | Production issues have been identified and major ones have been resolved                 |
| S | T |  | Limited software documentation available   |
| S | P |  | Verification, Validation and Accreditation (VV&A) initiated                              |
| H | M |  | Process and tooling are mature   |
| H | M |  | Production demonstrations are complete   |
| S | P |  | "Alpha" version software has been released   |
| B | T |  | Engineering feasibility fully demonstrated   |
| B | P |  | Final Transition Plan with Business Case   |
| B | P |  | Acquisition program milestones established   |
| B | P |  | Value analysis includes business case  |
| B | P |  | Technical alternatives include "do nothing case"   |
| B | P |  | Formal requirements document available   |

|           |             |            |   |
|-----------|-------------|------------|---|
| H/SW/Both | Ques Catgry | % Complete | <b>TRL 7 (Check all that apply or use sliders)</b>                        |
| H         | M           |            | Materials, processes, methods, and design techniques have been identified |



|   |   |  |  |
|---|---|--|--|
| H | M |  | Materials and manufacturing process and procedures initially demonstrated                  |
| H | T |  | M&S used to simulate some unavailable elements of system, but these instances are rare     |
| H | M |  | Prototype system built on "soft" tooling   |
| B | T |  | Each system/software interface tested individually under stressed and anomolous conditions |
| S | T |  | Algorithms run on processor(s) in operating environment                                    |
| S | P |  | VV&A in process with the verification step that software specifications are met completed  |
| H | M |  | Process tooling and inspection / test equipment demonstrated in production environment     |
| H | M |  | Machines and tooling proven  |
| H | M |  | Design changes decrease significantly  |
| B | T |  | Operational environment, but not the eventual platform, e.g., test-bed aircraft            |
| B | M |  | Maintainability, reliability, and supportability data is above 60% of total needed data    |
| H | P |  | Draft design drawings are complete.  |
| H | M |  | Materials, processes, methods, and design techniques are moderately developed and verified |
| B | P |  | Scaling is complete.   |
| H | M |  | Pre-production hardware is available; quantities may be limited                            |
| H | T |  | Components are representative of production components                                     |
| H | P |  | Design to cost goals validated   |
| H | M |  | Initial sigma levels established   |
| H | M |  | Manufacturing processes generally well understood  |
| S | M |  | Most software bugs removed   |
| H | M |  | Production planning is complete.   |
| B | T |  | Most functionality available for demonstration in simulated operational environment        |
| B | T |  | Operational/flight testing of laboratory system in representational environment            |
| H | M |  | Prototype improves to pre-production quality   |
| S | P |  | "Beta" version software has been released  |
| B | T |  | Fully integrated prototype demonstrated in actual or simulated operational environment     |
| B | T |  | System prototype successfully tested in a field environment.                               |
| H | M |  | Ready for Low Rate Initial Production (LRIP)   |

| H/SW/Both | Ques Catgry | % Complete | TRL 8 (Check all that apply or use sliders)  |
|-----------|-------------|------------|--|
| B         | T           |            | Components are form, fit, and function compatible with operational system                    |
| H         | M           |            | Cost estimates <125% cost goals (e.g., design to cost goals met for LRIP)                    |
| B         | T           |            | System is form, fit, and function design for intended application and weapon system platform |
| B         | T           |            | Form, fit, and function demonstrated in eventual platform/weapon system                      |
| H         | M           |            | Machines and tooling demonstrated in production environment                                  |
| B         | T           |            | Interface control process has been completed   |
| S         | P           |            | Most software user documentation completed and under configuration control                   |
| B         | P           |            | Most training documentation completed and under configuration control                        |
| B         | P           |            | Most maintenance documentation completed and under configuration control                     |
| B         | T           |            | Final architecture diagrams have been submitted  |
| H         | M           |            | Manufacturing processes demonstrated by pilot line, LRIP, or similar item production         |
| H         | M           |            | Manufacturing processes demonstrate acceptable yield and producibility levels                |
| S         | T           |            | Software thoroughly debugged   |
| B         | T           |            | All functionality demonstrated in simulated operational environment                          |
| H         | M           |            | Manufacturing process controlled to 4-sigma or appropriate quality level                     |
| H         | M           |            | All materials are in production and readily available  |
| B         | T           |            | System qualified through test and evaluation on actual platform (DT&E completed)             |
| B         | M           |            | Maintainability, reliability, and supportability data collection has been completed          |
| S         | P           |            | VV&A validation step completed, software works in real world                                 |
| B         | T           |            | DT&E completed, system meets specifications  |
| S         | P           |            | VV&A accreditation step completed, software authorized for use in intended weapon system     |
| H         | M           |            | Ready for Full Rate Production   |

| H/SW/Both | Ques Catgry | % Complete | TRL 9 (Check all that apply or use sliders)   |
|-----------|-------------|------------|---|
| B         | T           |            | Operational Concept has been implemented successfully                               |
| H         | M           |            | Cost estimates <110% cost goals or meet cost goals (e.g., design to cost goals met) |

|          |          |  |  |
|----------|----------|--|--|
| <b>H</b> | <b>M</b> |  | Affordability issues built into initial production and evolutionary acquisition milestones   |
| <b>H</b> | <b>M</b> |  | Design stable, few or no design changes  |
| <b>B</b> | <b>T</b> |  | System has been installed and deployed in intended weapon system platform                    |
| <b>B</b> | <b>P</b> |  | Safety/Adverse effects issues have been identified and mitigated.                            |
| <b>B</b> | <b>T</b> |  | Actual system fully demonstrated   |
| <b>B</b> | <b>P</b> |  | Training Plan has been implemented.  |
| <b>B</b> | <b>P</b> |  | Supportability Plan has been implemented.  |
| <b>B</b> | <b>P</b> |  | Program Protection Plan has been implemented.  |
| <b>B</b> | <b>T</b> |  | Actual mission system "flight proven" through successful mission operations (OT&E completed) |
| <b>H</b> | <b>M</b> |  | All manufacturing processes controlled to 6-sigma or appropriate quality level               |
| <b>H</b> | <b>M</b> |  | Stable production  |
| <b>B</b> | <b>P</b> |  | All documentation completed  |

**FOLHA DE REGISTRO DO DOCUMENTO**

|   |                                     |  |                             |
|---|-------------------------------------|--|-----------------------------|
| 1. CLASSIFICAÇÃO/TIPO<br><br>DM   | 2. DATA<br><br>30 de agosto de 2010 | 3. REGISTRO N°<br><br>DCTA/ITA/DM-049/2010 | 4. N° DE PÁGINAS<br><br>138 |
| 5. TÍTULO E SUBTÍTULO:<br><br>Proposta de Método para Gestão de Riscos em Projetos de Inovação Tecnológica  |                                     |  |                             |
| 6. AUTOR(ES):<br><br><b>Sérgio Mitiharu Matsumoto</b>   |                                     |  |                             |
| 7. INSTITUIÇÃO(ÕES)/ÓRGÃO(S) INTERNO(S)/DIVISÃO(ÕES):<br><br>Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA   |                                     |  |                             |
| 8. PALAVRAS-CHAVE SUGERIDAS PELO AUTOR:<br><br>Gerenciamento de Projetos, Inovação Tecnológica, Riscos, Design Structure Matrix, Analytic Hierarchy Process, Technology Readiness Level.  |                                     |  |                             |
| 9. PALAVRAS-CHAVE RESULTANTES DE INDEXAÇÃO:<br><br>Administração de projetos; Inovações tecnológicas; Gerenciamento de riscos; Modelos de decisão; Integração de sistemas; Modelo de capacidade e maturidade; Administração   |                                     |  |                             |
| 10. APRESENTAÇÃO:<br><br><b>X Nacional    Internacional</b><br><br>ITA, São José dos Campos. Curso de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aeronáutica e Mecânica. Área de Produção. Orientador: Prof. Dr. Luís Gonzaga Trabasso. Defesa em 29/07/2010. Publicada em 2010.   |                                     |  |                             |
| 11. RESUMO:<br><br>Projetos de Inovação Tecnológica são usualmente caracterizados pelas grandes interdependências existentes entre os subsistemas que compõem o produto final, pelos limitados recursos disponíveis (financeiros, de infra-estrutura, tempo ou pessoas), pela restritiva legislação a que se sujeita e, também pela necessidade do atendimento de níveis cada vez mais elevados de requisitos. O atendimento a esses requisitos é, em muitos casos, alcançado através da incorporação de novas tecnologias, sendo essenciais para a concepção de um produto de alto valor agregado. Neste cenário, a aplicação de novas tecnologias representa não apenas uma oportunidade de diferenciação, como também um elemento de alto risco que deve ser adequadamente gerenciado pelo projeto.<br>O presente trabalho propõe um novo método para gerenciar riscos tecnológicos em projetos de inovação. Este método é estruturado com base em ferramentas e metodologias largamente utilizadas, tanto na academia quanto nos ambientes empresariais, sendo os mais importantes: os conceitos do <i>Project Management Body of Knowledge</i> (PMBOK) para o gerenciamento de projetos; o <i>Design Structure Matrix</i> (DSM) para o estabelecimento de inter-relações entre os subsistemas; os conceitos do <i>Analytic Hierarchy Process</i> (AHP) para estabelecer a relação entre os diversos subsistemas e os requisitos e; o <i>Technology Readiness Level</i> (TRL) para medir o nível de maturidade das tecnologias adicionadas ao produto final. Por fim, o trabalho apresenta a aplicação do método TRACER no subsistema Câmera MUX do satélite CBERS 3, de modo a exemplificar a possibilidade de identificação de elementos críticos ao projeto seja pela alta concentração de requisitos, elevada interdependência ou baixo grau de maturidade da tecnologia. |                                     |  |                             |
| 12. GRAU DE SIGILO:<br><br><b>(X) OSTENSIVO      ( ) RESERVADO      ( ) CONFIDENCIAL      ( ) SECRETO</b>   |                                     |  |                             |

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)