



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21b/2014/11.05.14.16-TDI

**ABORDAGEM DOS MODELOS TRL, MRL E
CMMI-DEV APLICADA AO DESENVOLVIMENTO DE
PEQUENOS E MÉDIOS FORNECEDORES DA CADEIA
PRODUTIVA ESPACIAL**

Luís Carlos Catarino

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais, orientada pelo Dr. Geilson Loureiro, aprovada em 27 de novembro de 2014.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP5W34M/3HBUKN8>>

INPE
São José dos Campos
2014

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

Fax: (012) 3208-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

**COMISSÃO DO CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO
DA PRODUÇÃO INTELECTUAL DO INPE (DE/DIR-544):****Presidente:**

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Membros:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

Dr. Amauri Silva Montes - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espaciais (ETE)

Dr. André de Castro Milone - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas
(CEA)

Dr. Joaquim José Barroso de Castro - Centro de Tecnologias Espaciais (CTE)

Dr. Manoel Alonso Gan - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
(CPT)

Dr^a Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

Dr. Plínio Carlos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Maria Tereza Smith de Brito - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Maria Tereza Smith de Brito - Serviço de Informação e Documentação (SID)

André Luis Dias Fernandes - Serviço de Informação e Documentação (SID)



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21b/2014/11.05.14.16-TDI

**ABORDAGEM DOS MODELOS TRL, MRL E
CMMI-DEV APLICADA AO DESENVOLVIMENTO DE
PEQUENOS E MÉDIOS FORNECEDORES DA CADEIA
PRODUTIVA ESPACIAL**

Luís Carlos Catarino

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais, orientada pelo Dr. Geilson Loureiro, aprovada em 27 de novembro de 2014.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP5W34M/3HBUKN8>>

INPE
São José dos Campos
2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Catarino, Luís Carlos.

C281a Abordagem dos modelos TRL, MRL e CMMI-DEV aplicada ao desenvolvimento de pequenos e médios fornecedores da cadeia produtiva espacial / Luís Carlos Catarino. – São José dos Campos : INPE, 2014.

xxvi + 149 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m21b/2014/11.05.14.16-TDI)

Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2014.

Orientador : Dr. Geilson Loureiro.

1. Modelos de maturidade. 2. Melhoria contínua. 3. Desenvolvimento de fornecedores. 4. CMMI-DEV. 5. TRL. I.Título.

CDU 629.7:658.712



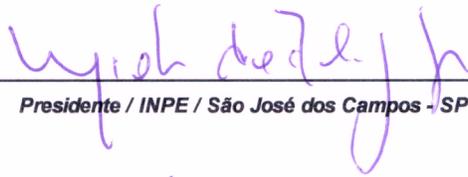
Esta obra foi licenciada sob uma Licença [Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

Aprovado (a) pela Banca Examinadora
em cumprimento ao requisito exigido para
obtenção do Título de **Mestre** em

**Engenharia e Tecnologia
Espaciais/Gerenciamento de Sistemas
Espaciais**

Dr. Milton de Freitas Chagas Junior



Presidente / INPE / São José dos Campos - SP

Dr. Geilson Loureiro



Orientador(a) / INPE / São José dos Campos - SP

Dr. Wilson Rosa de Almeida



Convidado(a) / IEAv/CTA / São José dos Campos - SP

Este trabalho foi aprovado por:

- maioria simples
- unanimidade

Aluno (a): **Luís Carlos Catarino**

São José dos Campos, 27 de Novembro de 2014

“Os resultados vêm do aproveitamento de oportunidades e não da solução de problemas. A resolução de problemas apenas restaura a normalidade. Oportunidades significam explorar novos caminhos”.

Peter Drucker

Dedico este trabalho a minha esposa e a meus filhos, minhas maiores motivações.

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Geilson Loureiro, meu orientador e colega.

Ao Dr. Osni Lisbôa, pela enorme paciência, interesse e ajuda que permitiram viabilizar grande parte deste trabalho.

Ao Dr. Waldemar Castro Leite, pela concessão de bolsa do projeto SIA nos estágios iniciais de meu mestrado.

Ao Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de São Paulo, pela concessão de horas de capacitação que permitiram desenvolver este trabalho.

RESUMO

Esta dissertação propõe uma abordagem aplicável no desenvolvimento de pequenos e médios fornecedores de tecnologia espacial no Brasil. Para isso, foram utilizados modelos de capacidade e maturidade, que vêm abrindo em anos recentes uma nova fronteira de estudos, com propostas de diversos modelos de capacidade e maturidade nos setores de tecnologias avançadas, notadamente no setor aeroespacial. Para esta abordagem foram selecionados 3 dos modelos de avaliação de maturidade/capacidade que vêm se consagrando tanto no setor espacial, quanto em outros setores de alta tecnologia. O primeiro é o TRL (Technology Readiness Levels), que foca na avaliação da maturidade da tecnologia, sem abordar questões relacionadas com a capacidade das organizações de entregar tal tecnologia de forma sustentável, no que se refere a processos de desenvolvimento, fabricação, integração e testes. O segundo modelo é o CMMI-DEV[®] (Capability Maturity Model Integration for Development), orientado para a melhoria contínua de processos de desenvolvimento, mas que não se aprofunda em processos de manufatura. O terceiro modelo é o MRL (Manufacturing Readiness Levels), cujo objetivo é garantir uma transição da tecnologia dos laboratórios de pesquisa para um ambiente essencialmente industrial. A abordagem foi aplicada numa organização do projeto SIA (Sistemas Inerciais para Aplicação Aeroespacial), incumbida de desenvolver e fabricar um subsistema de caráter estratégico em aplicações espaciais e aeronáuticas. Concluiu-se que ao aplicar tal abordagem, a partir da proposta de um método de avaliação, foi possível identificar oportunidades de melhoria em relação às necessidades estratégicas do setor, sugerindo-se uma priorização de ações pontuais que possam melhorar o direcionamento e monitoramento da aplicação de recursos voltados para o desenvolvimento de fornecedores. Também foram propostos indicadores para o monitoramento das melhorias a serem implementadas.

APPROACH OF THE MODELS TRL, MRL AND MMI DEV[®] APPLIED TO THE DEVELOPMENT OF SMALL AND MEDIUM ORGANIZATIONS IN THE SUPPLY CHAIN OF SPACE SECTOR

ABSTRACT

This dissertation proposes an applicable approach in the development of small and medium spatial technology suppliers in Brazil. For this, we used models of evaluation capacity and maturity that have opened in recent years a new frontier studies, generating proposals for many capability and maturity in advanced technology sectors, especially in the aerospace sector. For this approach were selected 3 of the valuation models of maturity / capability that have been devoting so much in the space sector, as in other high-tech sectors. The first is the TRL (Technology Readiness Levels), which focuses on technology assessment without addressing issues related to the ability of organizations to deliver such technology sustainably, especially as regards the development processes, manufacturing, integration and testing. The second model is the CMMI- DEV[®] (Capability Maturity Model Integration for Development) aimed at continuous improvement of development processes, without delving into manufacturing processes. The third model is the MRL (Manufacturing Readiness Levels), whose goal is to ensure a transition of technology from research laboratories to an essentially industrial environment. The approach was applied in an organization of the Project SAI (Inertial Systems for Aerospace Application) in charge of developing and manufacturing a strategic subsystem in space and aeronautics applications. It was concluded that in applying this approach, from the proposal for an evaluation method, it was possible to identify opportunities for improvement related to the strategic needs of the sector, suggesting a prioritization of specific actions that can improve the targeting and monitoring the use of funds directed towards the development of suppliers. Were also proposed indicators for monitoring the improvements to be implemented.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 1.1 - Subdivisão de fontes bibliográficas de pesquisa	7
Figura 1.2: Distribuição das publicações ao longo do tempo.....	9
Figura 1.3: Distribuição das publicações por tipo de documento.....	9
Figura 1.4: Distribuição dos artigos por tema abordado	10
Figura 2.1 - Modelo cascata ou <i>waterfall</i>	15
Figura 2.2 - Modelo espiral.....	15
Figura 2.3 - Modelo “V”	16
Figura 2.4 – Technology Readiness Levels.....	17
Figura 2.5 - Ciclo de vida da tecnologia “ <i>Whale Chart</i> ” e TRLs associados.....	19
Figura 2.6 – Processo de Determinação do <i>Baseline</i> de maturidade tecnológica e do Plano de Desenvolvimento de Tecnologia, Custos, Prazos e Riscos, baseados nos TRLs	24
Figura 2.7 - Fluxo de determinação do TRL.	25
Figura 2.8- Fluxo do processo de avaliação TRL	26
Figura 2.10 - Uso do TRL para controle de riscos de transição de tecnologia	28
Figura 2.11 - TRL em um típico ciclo de vida de projeto espacial da NASA	29
Figura 2.12 - Dimensões críticas de um processo	32
Figura 2.13 - Representação contínua do CMMI®	34
Figura 2.14 - Representação por estágios do CMMI®	35
Figura 2.15 - Componentes fundamentais do CMMI®	36

Figura 2.16 - Relação das áreas de processo de Engenharia com outras áreas de processo	39
Figura 4.1 – Contexto de modelos de desenvolvimento e os modelos de maturidade/maturidade selecionados	65
Figura 4.2 – Processo de amadurecimento da tecnologia	67
Figura 4.3 - Organizações envolvidas no amadurecimento da tecnologia	67
Figura 4.4 - Modelo TRL no processo de amadurecimento da tecnologia.....	68
Figura 4.5 - Modelo CMMI-DEV® associado com as instituições de desenvolvimento..	69
Figura 4.6 - Abordagem proposta usando os modelos TRL, CMMI e MRL.....	69
Figura 4.7 - Sobreposição de abordagens do CMMI-DEV® e MRL.....	70
Figura 4.8 - Modelo de desenvolvimento V típico de Engenharia de Sistemas	71
Figura 4.9 – Áreas de processo de Engenharia do CMMI-DEV® (Engenharia) e atividades de fabricação no modelo "V"	71
Figura 4.10- Sobreposição dos modelos CMMI-DEV® e MRL	72
Figura 4.11 – Tópico "Design" do MRL e Área de processo "Solução Técnica" (TS) do CMMI-DEV®	73
Figura 5.1 - Resumo gráfico da avaliação das práticas específicas de Desenvolvimento de Requisitos	86
Figura 5.2 - Resumo gráfico da avaliação das práticas específicas de Solução Técnica.	89
Figura 5.3 - Resumo gráfico da avaliação das práticas específicas de Integração de Produto	92
Figura 5.4 - Resumo gráfico da avaliação das práticas específicas de Verificação	94
Figura 5.5 - Resumo gráfico de avaliação das práticas específicas de Validação.....	96
Figura 5.6 - Resumo gráfico de avaliação dos tópicos relacionados à manufatura do MRL	101

Figura 5.7 – Gráfico comparativo entre o Indicador Geral de melhoria esperado e o avaliado em 8 <i>milestones</i>	109
Figura 5.8 – Gráfico comparativo entre o Indicador de Tecnologia esperado e o avaliado em 8 <i>milestones</i>	111
Figura 5.9 – Gráfico comparativo entre o Indicador de Desenvolvimento esperado e o avaliado em 8 <i>milestones</i>	112
Figura 5.10 – Gráfico comparativo entre o Indicador de Manufatura esperado e o avaliado em 8 <i>milestones</i>	113

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
Tabela 2.1 - Custo e contexto dos TRLs	20
Tabela 2.2 - Níveis e descrições do TRL, segundo a ISO 16290	22
Tabela 2.3 – Comparação entre representações contínua e por estágios do CMMI® ...	35
Tabela 2.4 – Definição dos componentes fundamentais do CMMI®	37
Tabela 2.5-Objetivos das áreas de processo do grupo de Engenharia	40
Tabela 2.6 – Comparação Níveis de Capacidade e Maturidade	41
Tabela 2.7-Definições e conceitos da escala MRL	46
Tabela 2.8 - Tópicos de avaliação dos níveis MRL (traduzido de DoD (2009)).....	51
Tabela 3.1 - Comparação de uso de modelos de capacidade/maturidade por empresas e por clientes selecionadores de fornecedores	56
Tabela 4.1 – Comparação MRL (Design) com CMMI-DEV® -TS.....	74
Tabela 4.2 - TRLs e tipos de projeto associados	75
Tabela 5.1 - Projetos, tipos de aplicação e TRLs para girômetros fotônicos em 2008 ..	83
Tabela 5.2 – Avaliação da área de processos de Desenvolvimento de Requisitos	85
Tabela 5.4 – Avaliação da área de processos Integração de Produto.....	91
Tabela 5.5– Avaliação da área de processos VerificaçãoFonte: Autor	93
Tabela 5.6 – Avaliação da área de processos Validação	95
Tabela 5.7 – Avaliação dos tópicos de Manufatura do MRL	97
Tabela 5.7 – Priorização de implementação de melhorias identificadas.....	103
Tabela 5.8 – indicadores propostos para monitoramento de implementação de melhorias.....	105

Tabela 5.9 – Determinação dos indicadores propostos para monitoramento de implementação de melhorias	109
---	-----

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

Pág.

AEB	Agência Espacial Brasileira
CMM	Capability Maturity Model
CMMI®	Capability and Maturity Model Integration
CMMI-DEV®	Capability and Maturity Model Integration for Development
DoD	Department of Defense
ESA	European Space Agency
GAO	Government Accountability Office
INCOSE	International Council on Systems Engineering
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
ISO	International Organization for Standardization
ITAR	International Traffic in Arms Regulations
JDMTP	Joint Defense Manufacturing Technology Panel
MRL	Manufacturing Readiness Levels
MRA	Manufacturing Readiness Assessment
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NATO	North Atlantic Treaty Organization
PNAE	Programa Nacional de Atividades Espaciais
SEI	Software Engineering Institute
SIA	Sistemas Inerciais de Aplicação Aeroespacial
SCAMPI®	Standard CMMI Appraisal Method for Process Improvement
SME	Subject Matter Expert
TRL	Technology Readiness Levels
TRA	Technology Readiness Assessment

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivo geral.....	2
1.2. Objetivos específicos.....	2
1.3. Motivação	3
1.4. Componente tecnologia.....	4
1.5. Componente organização	6
1.6. Metodologia da pesquisa.....	6
1.6.1. Aplicação do método da pesquisa	7
1.7. Estrutura do trabalho.....	10
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	13
2.1. Modelos de desenvolvimento.....	14
2. Modelos de maturidade/capacidade.....	16
2. .1. Modelo TRL	16
2. 1.1 Determinação do TL.....	22
2. . .Modelo CMMI-DEV®	30
2. .2. Formas de implementação do CMMI-DEV®	33
2. .2.2 Áreas de processo do CMMI-DEV®	38
2. .2.3 Grupos de área de processo de Engenharia	39
2. .2.4 Avaliação do CMMI-DEV® pelo método SCAMPI®	43
2. .3. Modelo MRL.....	44
2. .3.1 Determinação do MRL.....	50

3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	53
4	ABORDAGEM PROPOSTA	59
4.1.	Princípios norteadores	59
4.1.1.	Perspectiva de desenvolvimento de fornecedores	60
4.1.2.	Seleção dos modelos.....	62
4.1.3.	Relacionamento entre modelos de desenvolvimento e de maturidade/capacidade	64
4.1.4.	Comportamento temporal da abordagem	66
4.1.5.	Relacionamento entre os modelos selecionados	70
4.1.6.	Abrangência do uso dos modelos	75
5	APLICAÇÃO DA ABORDAGEM PROPOSTA E RESULTADOS.....	77
5.1.	O projeto SIA	77
5.2.	A organização estudada	78
5.3.	Metodologia de aplicação da abordagem	79
5.3.1.	Definição de coleta de dados.....	79
5.3.2.	Planejamento da coleta de dados.....	82
5.3.3.	Execução da coleta de dados	82
5.4.	Resultados da aplicação	83
5.4.1.	Abordagem de tecnologia	83
5.4.2.	Abordagem de desenvolvimento.....	84
5.4.2.1.	Área de processo: Desenvolvimento de Requisitos (RD);.....	84
5.4.2.2.	Área de processo: Solução Técnica (TS).....	86
5.4.2.3.	Área de processo: Integração de Produto (PI).....	90
5.4.2.4.	Área de processo: Verificação (VER).....	92

5.4.2.5.	Área de processo: Validação (VAL)	94
5.4.3.	Abordagem de manufatura.....	96
5.4.3.1.	Custos e recursos	98
5.4.3.2.	Materiais	98
5.4.3.3.	Controle e capacidade dos processos de fabricação	98
5.4.3.4.	Gestão da qualidade.....	99
5.4.3.5.	Mão-de-obra	99
5.4.3.6.	Instalações.....	99
5.4.3.7.	Gestão de manufatura	100
5.5.	Proposta de indicadores de monitoramento da implementação de melhorias	105
5.5.1.	Premissas para os valores preliminares dos indicadores	106
5.5.2.	Resultados obtidos.....	107
5.5.3.	Análise do Indicador Geral de Melhoria (IG)	109
5.5.4.	Análise do Indicador de Tecnologia (IT).....	110
5.5.5.	Análise do Indicador de Desenvolvimento (ID).....	111
5.5.6.	Análise do Indicador de Manufatura (IM).....	112
6	DISCUSSÃO	115
6.1.	Comparação com a revisão bibliográfica	115
6.2.	Contribuições deste trabalho.....	116
6.3.	Limitações	117
7	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	119
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	123
	APÊNDICE A – QUESTÕES DA FERRAMENTA TRL CALCULATOR.....	131

APÊNDICE B – QUESTÕES RELATIVAS ÀS PRÁTICAS ESPECÍFICAS DAS ÁREAS DE PROCESSO DO GRUPO DE ENGENHARIA DO CMMI-DEV®	135
APÊNDICE C - QUESTÕES BASEADAS NO NÍVEL EXECUTIVO DA FERRAMENTA MRL ASSIST	143
APÊNDICE D – SUGESTÃO DE CRIAÇÃO E USO DE INDICADORES BASEADOS NA ABORDAGEM PROPOSTA	147

1 INTRODUÇÃO

Dominar tecnologias estratégicas é um anseio antigo do setor espacial brasileiro, pois, via de regra, ele é um importante criador de *spin-offs* para outros setores industriais de países que conduzem programas espaciais (ASSOCIAÇÃO AEROESPACIAL BRASILEIRA, 2010). Tal domínio se reflete numa cadeia espacial robusta de fornecedores nacionais que têm condições de atender às necessidades do setor de forma sustentável.

Segundo o Software Engineering Institute (2010) a qualidade de um sistema ou produto sofre grande influência dos processos utilizados para desenvolvê-lo ou mantê-lo. Todavia, é possível desenvolver uma tecnologia que possa ser aplicada em um sistema na sua totalidade, atendendo aos requisitos, sem que existam processos de desenvolvimento estabelecidos institucionalmente dentro dos fornecedores envolvidos, pois nesse caso, “o sucesso depende da competência e do heroísmo das pessoas e não de processos comprovados” (SOFTWARE ENGINEERING INSTITUTE, 2010).

Competências adquiridas devem constituir um patrimônio da organização, habilitando-a na execução de trabalhos similares em projetos futuros ou mercados, que não sejam necessariamente da área espacial.

Embora exista a necessidade de capacitação de fornecedores nacionais em setores estratégicos, a abordagem utilizada por algumas empresas que tem um papel importante nesse desenvolvimento é diferente da proposta deste trabalho.

Como exemplo, podemos mencionar a Petrobrás, com elevado poder de compra e cujo acionista majoritário é governo federal, atuando em ambiente competitivo de elevados riscos técnicos e operacionais. Conseqüentemente, a empresa exige de seus fornecedores de tecnologias e serviços estratégicos, requisitos que dificultam a participação de pequenos fornecedores nacionais de tecnologia, cuja oportunidade oferecida é a participação em contratos locais com baixo conteúdo tecnológico (PETROBRAS, 2014).

Outro exemplo é a Embraer, maior empresa privada de capital nacional que atua no setor aeronáutico, um mercado altamente competitivo. A empresa divide sua cadeia de fornecedores em dois grupos: os parceiros de risco e as empresas subcontratadas. Os parceiros de risco, que dominam tecnologias críticas, são quase que exclusivamente estrangeiros, consolidados na indústria aeroespacial mundial. Tais parceiros foram estimulados a se instalar no Brasil, para aumentar o adensamento e o valor agregado da indústria nacional. Todavia, esse objetivo não foi atingido uma vez que essas organizações transferiram para o Brasil apenas as etapas finais de fabricação e montagem (BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL, 2010).

1.1. Objetivo geral

Identificando essa oportunidade, o objetivo central deste trabalho é propor uma abordagem baseada em modelos de maturidade/capacidade, buscando identificar oportunidades de melhoria, que auxiliem o desenvolvimento de fornecedores nacionais, de pequeno e médio porte, de alto conteúdo tecnológico, do setor espacial.

Tal abordagem procura contribuir com uma proposta que estabeleça mecanismos que possam ser utilizados pelos órgãos que conduzem a execução da política para direcionar esforços não apenas sob o ponto de vista de tecnologia, mas também em melhorias dos processos organizacionais no âmbito de engenharia, que tornem mais sustentável a cadeia de fornecedores com esse perfil.

1.2. Objetivos específicos

A partir do objetivo principal, este trabalho terá os seguintes objetivos específicos:

1. Propor uma abordagem, baseada nos modelos de maturidade/capacidade TRL, CMMI-DEV® e MRL;

2. Aplicar a abordagem em um projeto de desenvolvimento de tecnologia e capacitação industrial na área espacial no Brasil;
3. Propor o uso de indicadores para avaliar e monitorar as melhorias identificadas.

1.3. Motivação

A cadeia de fornecedores nacionais do setor espacial é considerada frágil (CONSELHO DE ALTOS ESTUDOS E AVALIAÇÃO TECNOLÓGICA, 2010), pois é constituída, em sua maioria, de pequenas ou médias empresas que dispõem de poucos recursos, direcionados quase que integralmente para o projeto e construção do produto ou sistema encomendado, diferentemente do que ocorre no setor aeronáutico, que tem a Embraer como a grande empresa líder.

Um único avião modelo EMB-190, vendido pela Embraer, correspondeu em 2007 à quase totalidade do faturamento das empresas do setor espacial (FERREIRA, 2009). Por outro lado, as organizações com esse perfil apontam para a necessidade de criação de critérios e métricas de avaliação:

Inexiste no Programa Espacial Brasileiro, um mecanismo para avaliação e classificação da disponibilidade das tecnologias necessárias aos projetos, nem para as que se pretende desenvolver. Essa classificação é importante para definir as formas de fomentar e apoiar os desenvolvimentos intermediários, até o desenvolvimento e a qualificação final da tecnologia para voo.

Dessa forma, faz-se necessário, além de dar ao setor industrial a oportunidade para fornecer, reproduzir e aperfeiçoar projetos e tecnologias já desenvolvidas, também apoiar e fomentar o desenvolvimento de sistemas completos, que além de contribuírem para a consecução dos objetivos do PNAE, promovam o aumento da capacitação tecnológica e, conseqüentemente, do nível de envolvimento do setor industrial nos projetos (VAZ, 2011, p.233).

Como destacado no PNAE 2012-2021 (AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA, 2013), existe uma forte preocupação em colocar o programa espacial em destaque economicamente, habilitando empresas a participar de um mercado

global que cresce a uma taxa média de 6% ao ano e movimentou, em 2010, cerca de US\$ 276,5 bilhões no mundo.

Para isso, sob o ponto de vista estratégico, uma das prioridades é o fortalecimento da cadeia produtiva da indústria espacial, que se desdobra nas seguintes ações (AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA, 2013):

- Fomentar a formação, captação e fixação de recursos humanos;
- Dominar tecnologias críticas e de acesso restrito, envolvendo a indústria e academia;
- Usar o poder de compra do Estado, mobilizando a indústria para o desenvolvimento de sistemas espaciais completos;
- Transferir à indústria as tecnologias de produtos espaciais desenvolvidos pelos institutos de pesquisa;
- Incorporar aos sistemas encomendados pelo Estado as tecnologias, partes e processos desenvolvidos e dominados pela indústria brasileira;
- Comprometer a indústria em todas as etapas do desenvolvimento dos projetos espaciais.

Entretanto, a complexidade do desenvolvimento de tecnologias e sistemas de alta confiabilidade na área espacial, exige não apenas uma visão do ponto de vista de tecnologia, mas também do ponto de vista organizacional. Loureiro e Leaney (2003) propõem o “*Total view framework*”, destacando a importância de uma abordagem de engenharia de sistemas que englobe tanto o produto, quanto a organização, por serem ambos componentes da solução sistema.

Diante desse objetivo, este trabalho propõe uma abordagem que possa servir de ferramenta na execução dessa política, identificando oportunidades de melhoria, cuja implementação permita a obtenção de melhores resultados da aplicação de recursos.

1.4. Componente tecnologia

Com o aumento da complexidade das tecnologias, dos sistemas e de sua crescente necessidade de integração com outros sistemas, os *stakeholders*

(partes direta ou indiretamente interessadas) precisam ter elementos que permitam identificar, medir e gerenciar os riscos associados com o desenvolvimento de uma tecnologia, antes de investir grandes volumes de recursos.

O *Technology Readiness Levels*, ou TRL, consagrou-se como critério utilizado na tomada de decisões na gestão de tecnologias espaciais (MANKINS, 2009b), estabelecendo graus evolutivos de maturidade de uma tecnologia.

Sua relevância foi confirmada com a publicação recente da norma ISO 16290 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2013) que padronizou as definições e critérios de avaliação utilizados por versões adaptadas do modelo TRL ao redor do mundo.

Entretanto, esse modelo apresenta limitações por não considerar os impactos que uma tecnologia causaria ao ser integrada com outras tecnologias dentro de um (LONG, 2011; AZIZIAN; SARKANI; MAZZUCHI, 2009; CORNFOLD; SANSFIELD, 2004).

De acordo com Valerdi e Kohl (2004), mesmo que a avaliação dos níveis TRL de uma tecnologia mostre que ela esteja atingindo estágios superiores de maturidade, esta pode tornar-se obsoleta antes mesmo de atingir a maturidade, devido às mudanças tecnológicas cada vez mais rápidas, e ao aumento da complexidade dos sistemas.

O caráter unidimensional do TRL, focado essencialmente em análises, experimentos e demonstrações, além de não considerar riscos do uso da tecnologia, falha por não fazer a avaliação da capacidade da indústria. (DIETRICH; CUDNEY, 2011).

Uma abordagem mais ampla da tecnologia, introduzindo aspectos de design e manufatura foi proposto por Clausing e Holmes (2010), que destacam:

“...se capacidade de uma nova tecnologia de lidar com as subsequentes variações de parâmetros de design e manufatura, ou variações nos

parâmetros do ambiente de uso do cliente, não for rigorosamente desenvolvida, seu desempenho no mercado pode ser imprevisível”.

1.5. Componente organização

No contexto organizacional também surgiram modelos de maturidade e de capacidade, relacionados a processos de desenvolvimento de produtos, sendo que alguns deles foram unificados para dar origem ao CMMI®-*Capability Maturity Model Integration* (WESKA; BABEL; FERGUSON, 2000).

Para garantir uma transição suave da tecnologia, desde seus estágios mais preliminares até um sistema em operação, a necessidade de avaliar e gerenciar riscos sob uma perspectiva de manufatura resultou na criação do MRL, *Manufacturing Readiness Levels* (DEPARTMENT OF DEFENSE, 2012)

1.6. Metodologia da pesquisa

A pesquisa desenvolvida neste trabalho pode ser classificada como exploratória. Segundo Gil (2002), uma pesquisa exploratória busca uma maior familiaridade com o problema, de forma a torná-lo mais explícito, permitindo a elaboração de hipóteses, aprimorando idéias e intuições. Isso torna o planejamento da pesquisa mais flexível por envolver:

- Levantamento bibliográfico;
- Entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema analisado;
- Análise de exemplos que estimulem a compreensão

A classificação da pesquisa, com base nos procedimentos técnicos, define os elementos que compõem o delineamento da pesquisa, que envolve a identificação do procedimento para a coleta de dados. Com base nesses elementos, é possível definir dois grupos de delineamento:

- Fontes de “papel”:
 - Pesquisa bibliográfica;
 - Pesquisa documental;

- Dados fornecidos por pessoas:
 - Pesquisa experimental;
 - Pesquisa ex-post facto;
 - Levantamento;
 - Estudo de caso;

A pesquisa bibliográfica, por sua vez, subdivide as fontes bibliográficas conforme a Figura 1.1 (GIL, 2002):

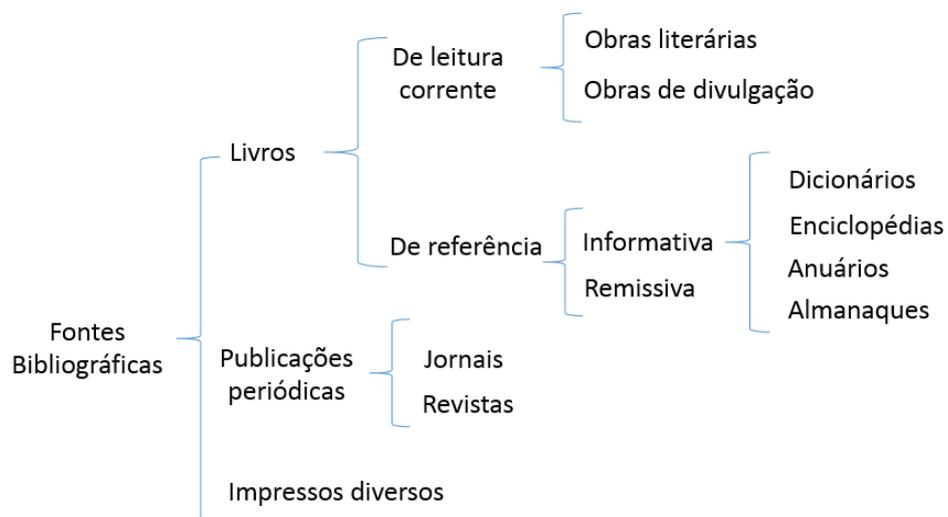


Figura 1.1 - Subdivisão de fontes bibliográficas de pesquisa

Fonte: Gil (2002)

1.6.1. Aplicação do método da pesquisa

Para o levantamento das fontes bibliográficas, os documentos foram organizados da seguinte forma:

- Livros;
- Teses de doutorado.
- Dissertações de mestrado;
- Artigos publicados em congressos, jornais e revistas especializadas;
- Manuais,
- Normas;
- Relatórios,

- Monografias.

No levantamento das fontes bibliográficas, foi dada preferência para publicações mais recentes (até 2009), não sendo, entretanto, uma regra rígida que levou em conta publicações relevantes anteriores. Na pesquisa de artigos, procurou-se buscar aqueles com a seguinte abordagem:

- Análise de vantagens e desvantagens dos modelos utilizados;
- Identificação da importância de avaliar e desenvolver pequenas organizações de desenvolvimento ou manufatura;
- Análise e aplicação combinada dos modelos TRL, CMMI-DEV[®] e MRL entre si e com outros elementos, tais como normas e ferramentas de gestão;
- A aplicação de modelos de capacidade e maturidade, considerando as dificuldades e resultados obtidos;

O levantamento bibliográfico foi feito em duas fases. Na primeira fase do levantamento, foram encontrados mais de 300 artigos, adotando, sempre que possível, o critério da revisão por pares. Na segunda fase, uma análise focada em publicações consideradas mais relevantes para o escopo deste trabalho, reduziu o número para aproximadamente 1/3 da quantidade original. Os resultados do levantamento bibliográfico obtido na segunda fase são mostrados a seguir.

A Figura 1.2 mostra a distribuição das publicações relacionadas com o tema do trabalho ao longo do tempo. O resultado mostra a maior parte das publicações com datas posteriores a 2009.

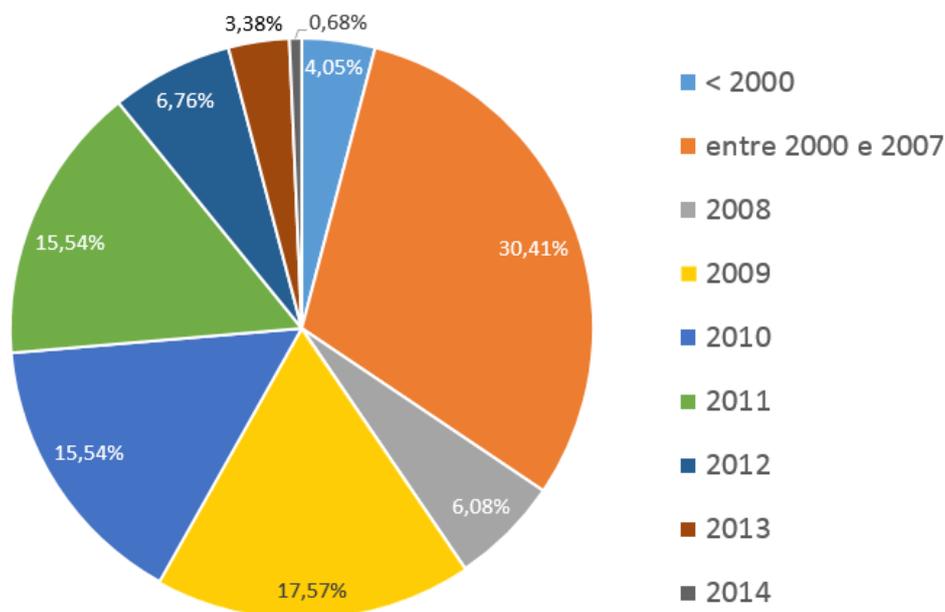


Figura 1.2: Distribuição das publicações ao longo do tempo

Fonte: Elaborada pelo Autor

Com relação à distribuição do levantamento bibliográfico por tipo de documento, a Figura 1.3 mostra uma predominância de artigos publicados em congressos, jornais ou revistas especializadas

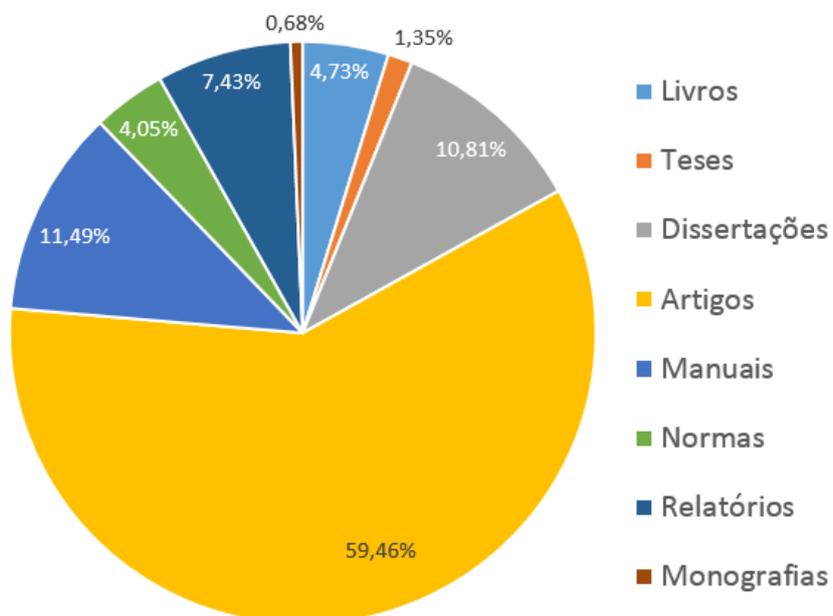


Figura 1.3: Distribuição das publicações por tipo de documento

Fonte: Elaborada pelo Autor

Em relação aos artigos, a distribuição foi feita em função dos temas abordados e representada na Figura 1.4.

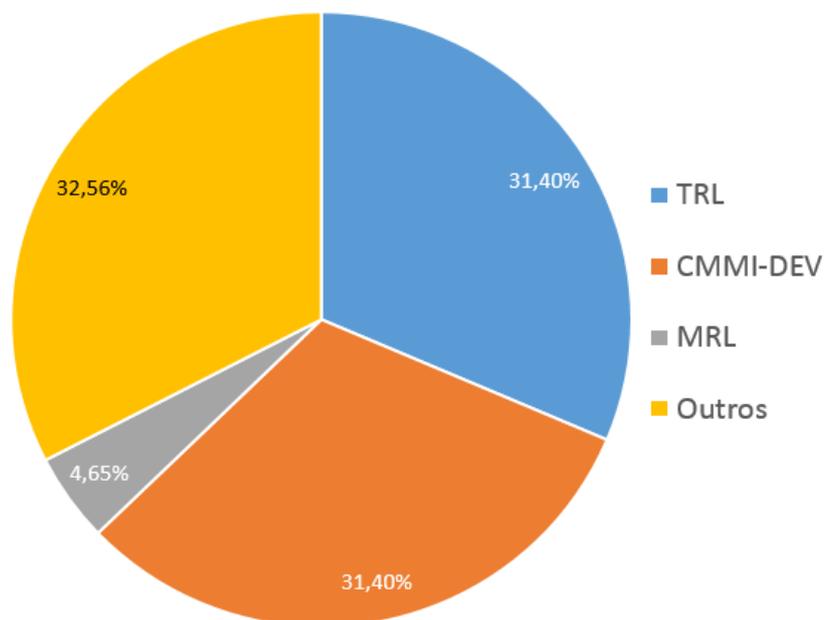


Figura 1.4: Distribuição dos artigos por tema abordado

Fonte: Elaborada pelo Autor

Na classificação “Outros” são contemplados artigos versando direta ou indiretamente sobre o tema, mas de forma mais genérica ou complementar.

Embora seja o mais antigo dos três modelos, os artigos sobre TRL têm um percentual dentro do escopo de análise equivalente aos artigos sobre o modelo CMMI-DEV®. O modelo MRL, o mais recente dos três modelos, apresenta o menor percentual relativo de publicações, sendo a maioria delas feita por órgãos ligados ao DoD e pela sua comunidade de fornecedores.

1.7. Estrutura do trabalho

O trabalho foi dividido em 7 capítulos, sendo que o capítulo 1 contempla a motivação e objetivos que levaram a elaboração deste trabalho e a metodologia de pesquisa;

O capítulo 2 consiste na fundamentação teórica dos modelos de maturidade/capacidade e dos modelos de desenvolvimento contemplados neste trabalho;

O capítulo 3 consiste na pesquisa bibliográfica, que identificou trabalhos com objetivos e abordagens similares ou complementares ao proposto neste trabalho, e sobre os quais pode ser identificada sua contribuição;

O capítulo 4 consiste na parte central deste trabalho que mostra os princípios norteadores utilizados na criação da abordagem proposta;

O capítulo 5 consiste na aplicação da abordagem proposta em uma organização do setor aeroespacial e apresentação dos resultados obtidos;

O Capítulo 6 consiste na discussão dos resultados obtidos com a aplicação da abordagem, comparando-os com trabalhos feitos anteriormente;

O Capítulo 7 apresenta as conclusões do trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Durante a pesquisa de modelos de maturidade/capacidade, foi identificado da mesma forma que Azizian et al. (2011), o uso frequente dos termos “*readiness*” (prontidão) e “*maturity*” (maturidade) como sinônimos, de forma que este trabalho manterá essa tratativa considerando, em português, os dois termos como “maturidade”.

Segundo a National Aeronautics and Space Administration (2013, p.9), tecnologia é “a solução que resulta da aplicação das disciplinas de ciência de engenharia para sintetizar um dispositivo, processo, ou subsistema, para permitir uma capacidade específica”.

Particularmente na indústria espacial, a complexidade, os riscos e recursos envolvidos adquirem dimensões que, na grande maioria dos casos, são assumidos por agentes governamentais. O desenvolvimento de uma tecnologia pode levar anos, até que um sistema espacial esteja operando com a tecnologia incorporada.

Em todo o mundo, o papel do Estado nas atividades espaciais é fundamental (FERREIRA, 2009), seja no programa espacial americano, que se caracteriza por um envolvimento maior com a cadeia industrial privada, seja no programa espacial chinês, com presença estatal em todas as fases de desenvolvimento e construção.

Esse papel, representado por grandes investimentos, tem como um de seus desdobramentos a criação de *spin-offs*, gerando oportunidades para indústria de novas aplicações de tecnologias espaciais, desde bens de capital até bens de consumo (ASSOCIAÇÃO AEROESPACIAL BRASILEIRA, 2010).

Durante o desenvolvimento de produto a partir de uma tecnologia, são apresentados requisitos mais detalhados e específicos, incluindo restrições maiores de tempo e orçamento. No desenvolvimento de produto, tais requisitos exigem para o seu atendimento desde funcionalidades maduras, até

competências técnicas organizacionais adquiridas que garantam repetibilidade em processos e produtos.

As atividades da manufatura são tratadas pelo INTERNATIONAL COUNCIL ON SYSTEMS ENGINEERING (2011) como sendo atividades especiais de engenharia em um único processo denominado *Manufacturing and Producibility Analysis*. Segundo esse processo:

A capacidade de produzir um elemento de sistema é tão essencial quanto a habilidade de projetá-lo e defini-lo adequadamente... Por essa razão, análises de engenharia de produção e estudos comerciais para cada alternativa de design formam uma parte integral do processo de Design de Arquitetura do Sistema (INTERNATIONAL COUNCIL ON SYSTEMS ENGINEERING, 2011, p.321).

2.1. Modelos de desenvolvimento

Ao longo dos anos, foram propostos diferentes modelos de desenvolvimento, sendo comum observar a aplicação combinada desses modelos.

O modelo de desenvolvimento Cascata ou *Waterfall* foi um dos primeiros modelos de desenvolvimento, sendo a abordagem dominante nos anos 80. A palavra chave nesse modelo é a previsibilidade. O modelo cascata, representado na Figura 2.1, estabelece sucessivos desdobramentos no processo de desenvolvimento, sendo mais recomendado para projetos de desenvolvimento com riscos potencialmente baixos, sem modificações significativas de projetos anteriores bem sucedidos.

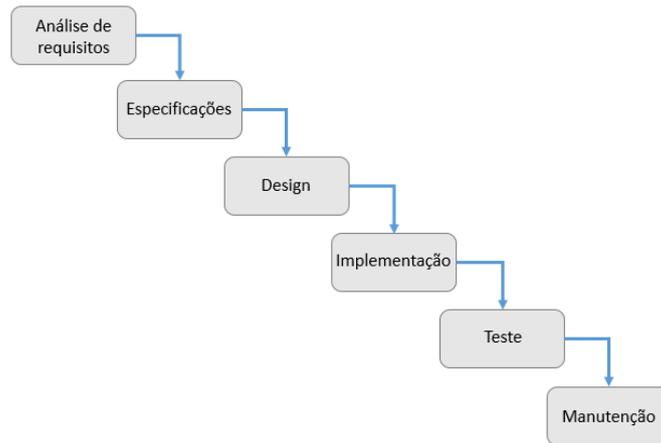


Figura 2.1 - Modelo cascata ou *waterfall*.

Fonte: Blanchard e Fabrycky (2006)

O modelo de desenvolvimento Espiral, representado na Figura 2.2, foi proposto por Boehm (1988), com aplicação inicial para *software*. Esse modelo tem um elevado grau de interação e permite gerenciar riscos de desenvolvimento. Sua principal característica é desenvolver o todo, mas com progressivos níveis de detalhamento. Nas primeiras interações, a incerteza é alta e o nível de detalhamento é baixo até que essa situação se inverta nas iterações posteriores.

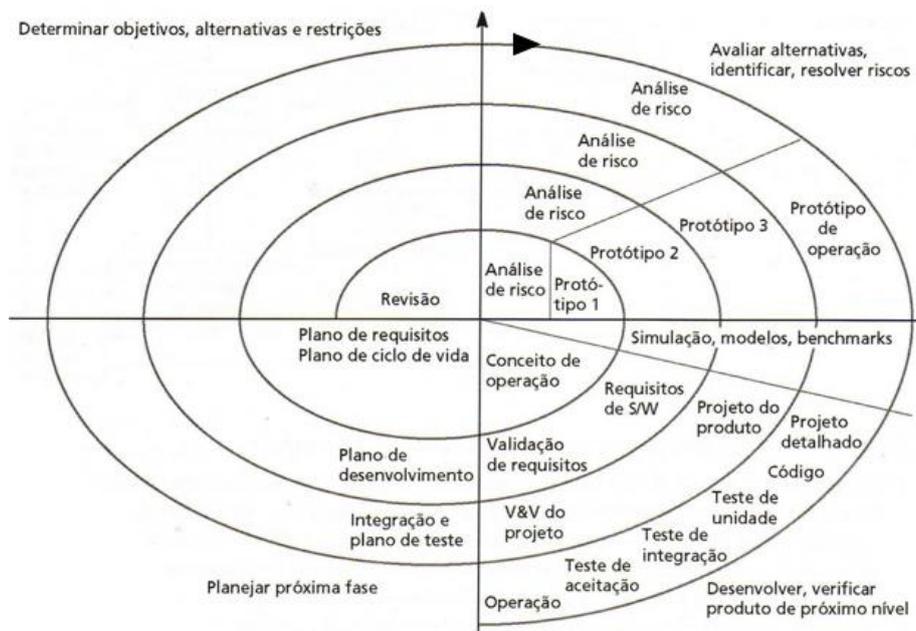


Figura 2.2 - Modelo espiral

Fonte: Boehm (1988)

O modelo de desenvolvimento “V” é o mais utilizado na Engenharia de Sistemas. Ele representa o desdobramento e a interação dos diversos níveis de desenvolvimento de um sistema. Nele podem ser representados os processos centrais de desenvolvimento. O lado esquerdo do “V” representa o trabalho da Engenharia de Sistemas e o lado direito representa a implementação da solução proposta. O modelo V é representado na Figura 2.3.

Neste modelo, os desdobramentos partem de requisitos de alto nível (domínio do problema) para requisitos mais detalhados (domínio da solução), passando pela definição da solução, integração, verificação e validação.

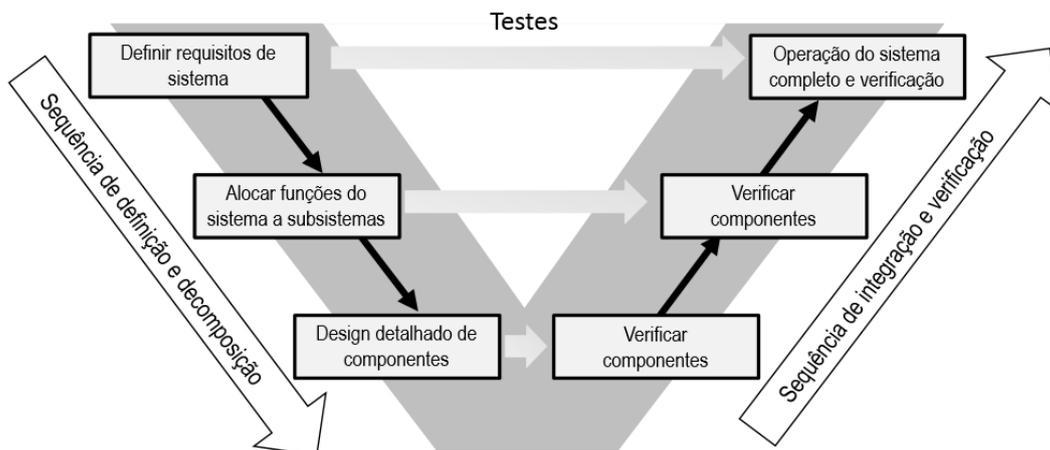


Figura 2.3 - Modelo “V”.

Fonte: Blanchard e Fabrycky (2006)

No modelo V, tempo e maturidade do sistema vão da esquerda para a direita. Um sistema pode ser um subsistema se for parte integrante de um sistema maior (sistema de sistemas), bem como um subsistema pode apresentar outros subsistemas que reúnem funções que atendem determinados requisitos, num nível inferior do desdobramento do modelo V.

2.& Modelos de maturidade/capacidade

2.&1. Modelo TRL

No final dos anos 60, a NASA mostrava preocupação em relação à gestão da maturidade das tecnologias planejadas para uso em futuras missões. Iniciaram-se estudos para criação de um modelo que pudesse medir diferentes níveis de maturidade de uma tecnologia, de forma que esses níveis pudessem ser utilizados nas tomadas de decisão de uso dessa tecnologia.

O fruto deste trabalho levou, no final dos anos 80, à criação do modelo *Technology Readiness Levels (TRL)*, cujo principal objetivo era estabelecer de forma sistemática níveis evolutivos de maturidade, independente da tecnologia analisada. Criada originalmente por Sadin et al. (1989) com 7 níveis, o TRL consistia de uma breve descrição para cada nível. Posteriormente, foram adicionados dois níveis à escala original (MANKINS, 1995). A Figura 2.4 representa os níveis TRL, contendo as descrições de cada nível e as fases de desenvolvimento e aplicação da tecnologia.

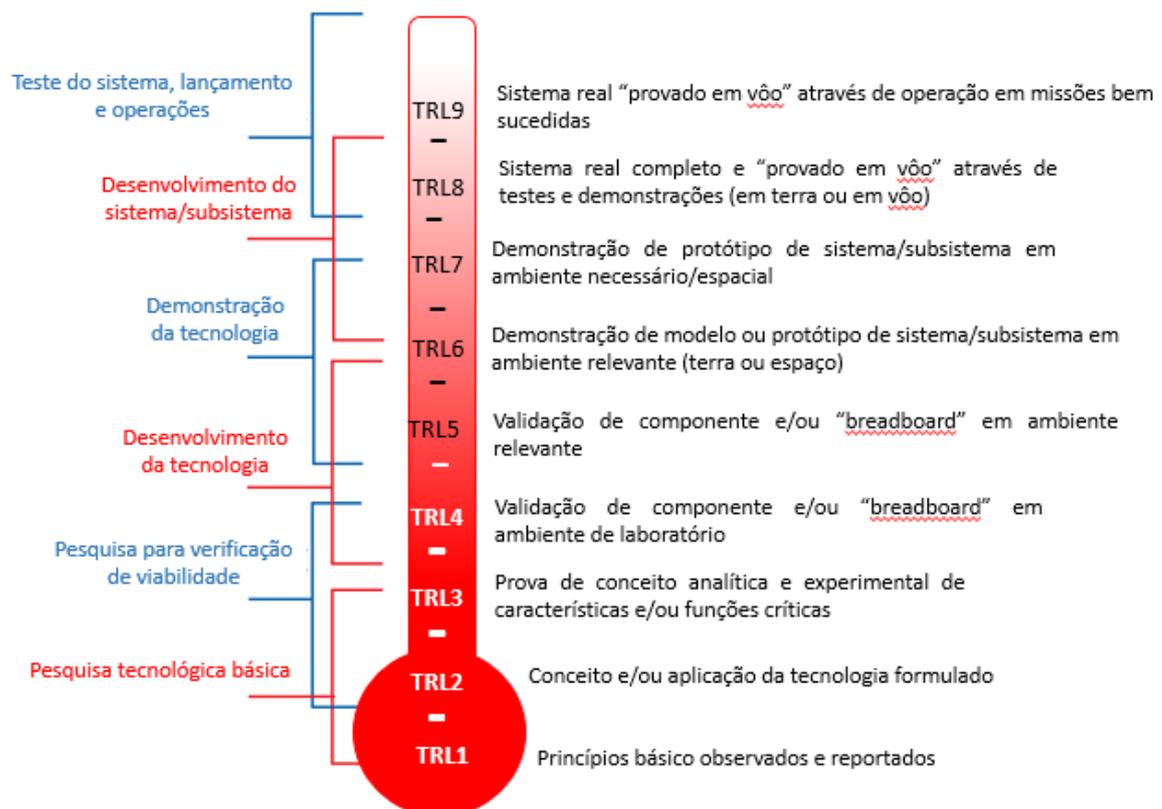


Figura 2.4 – Technology Readiness Levels

Fonte: NASA (2007)

Em 2000, o Departamento de Defesa dos Estados Unidos (DOD), passou a adotar formalmente o modelo TRL da NASA como critério para tomada de decisões em seus numerosos programas de aquisição de tecnologias em diversos níveis de maturidade (AZZIZIAN; SARKANI; MAZZUCHI, 2009; JIE; GAO ZHAOFENG, 2011). Ao longo do tempo, outras agências do governo americano, como o Departamento de Energia (DoE), passaram a adotar esse modelo. O TRL provou ser uma importante ferramenta para gerentes de projeto, gerentes de programa ou gestores associados a processos de aquisição de novas tecnologias.

Por volta do início do século XXI, o TRL passou a ser adotada por outras agências espaciais e seus subcontratados. Versões adaptadas do TRL passaram a ser utilizadas no Japão, França e posteriormente na Europa como um todo pela Agência Espacial Européia (MANKINS, 2009b). No Brasil, um exemplo do uso do TRL pode ser encontrado no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2008)

Embora seja utilizada para avaliar a maturidade de uma tecnologia, os diferentes níveis do modelo TRL são distribuídos predominantemente nos estágios iniciais de seu ciclo de vida. É possível representar graficamente o ciclo de vida da tecnologia usando uma curva conhecida como *Whale Chart* e sobre ela foram sobrepostos seus diferentes TRLs, representados na Figura 2.5 (NOLTE, 2008).

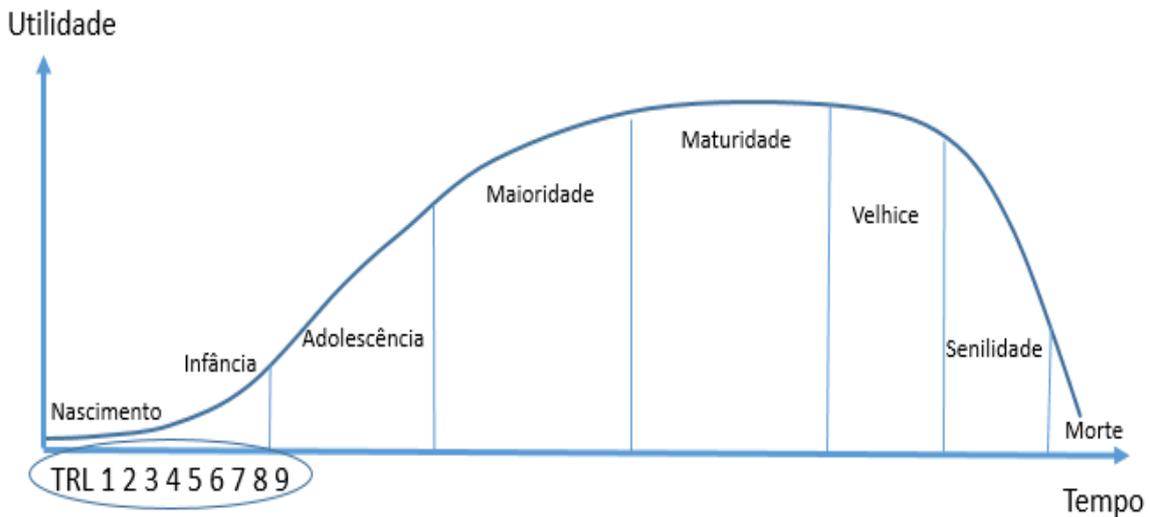


Figura 2.5 - Ciclo de vida da tecnologia “Whale Chart” e TRLs associados

Fonte: Nolte (2008)

O TRL apresenta seus 8 primeiros níveis nos estágios iniciais do ciclo de vida da tecnologia, indo da concepção até desenvolvimento e entrega de um produto/sistema. Neste momento, a nova tecnologia inicia sua fase de “Infância”, atendendo os requisitos operacionais da aplicação. Deste ponto em diante, após missões bem sucedidas, a tecnologia entra em sua “Adolescência”, que corresponde ao nível TRL9, no qual permanecerá ao longo de sua vida operacional, passando por diferentes estágios de melhorias incrementais até seu descarte, ou “Morte”.

Numa retrospectiva do modelo TRL, Mankins (2009b) identificou aspectos adicionais, considerando os custos associados para mudar de um nível TRL para outro e o nível de envolvimento das diversas organizações no contexto de cada nível. Estes aspectos foram organizados na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Custo e contexto dos TRLs

TRL	Descrição	Conceito	Custo para ser atingido	Contexto
1	Princípios básicos observados e reportados	É o nível mais baixo da escala, com pesquisa básica buscando entender fenômenos	De baixo a alto, dependendo da tecnologia em questão	Atividades sendo executadas em organizações de pesquisa
2	Conceito de tecnologia e/ou aplicação formulado	Nesse nível as aplicações ainda estão no nível especulativo, sem nenhuma prova experimental ou análise detalhada	"Tipicamente" baixo, sendo uma pequena fração de uma eventual aplicação que venha a ser desenvolvida	As atividades podem ser executadas, a princípio, por qualquer tipo de organização, mas geralmente feito por universidades, pequenos negócios ou empreendedores
3	Funções analíticas e experimentais críticas e/ou prova de conceito	Nesse nível é necessário efetuar provas tanto analíticas quanto experimentais para confirmar um determinado conceito.	Representa uma fração pequena do custo da aplicação que venha a ser desenvolvida	Atividades podem ser realizadas por quase qualquer organização, porém com o aumento relativo dos custos, é mais frequente a presença de um "sponsor" formal (governo ou empresas privadas). Por causa dos riscos elevados e prazos longos, também é improvável a presença da maioria dos financiamentos de "venture capital".
4	Validação de componente e/ou conjunto em ambiente de laboratório	Os elementos tecnológicos básicos de uma invenção devem ser integrados em laboratório para estabelecer quais são as partes que deverão trabalhar em conjunto para atingir o nível de desempenho. A validação nesse nível ainda é "low-fidelity", quando comparada com as eventuais aplicações a serem desenvolvidas.	É esperado um custo "moderado" em relação ao custo de uma eventual aplicação a ser desenvolvida. Esse custo é maior que os custos envolvidos para atingir o nível 3	As atividades podem ser executadas por várias organizações formais de P&D. Com a diminuição dos riscos e redução do prazo de maturidade, é mais provável encontrar fundos do tipo "venture capital"
5	Validação de componente e/ou conjunto em ambiente relevante	A fidelidade dos testes de componentes ou conjuntos aumenta significativamente, com grau razoável de realismo. A integração dos elementos tecnológicos básicos de sistemas, subsistemas e componentes são testados num ambiente simulado ou próximo do real. Mais de uma tecnologia pode ser demonstrada.	Pode apresentar a mesma ordem de grandeza necessária para atingir o nível 4 ou superá-lo em mais do que o dobro.	Atividades, muito provavelmente, são executadas por centros formais de P&D governamentais ou privados. Pela diminuição do risco, é provável o envolvimento de "sponsors", como "venture capital", governo ou indústria.
6	Modelo de sistema/subsistema ou demonstração de protótipo em ambiente relevante	Nesse nível, se o único ambiente relevante é o ambiente espacial, o modelo ou protótipo deve ser demonstrado no espaço. Entretanto, nem todas as tecnologias precisam ter demonstração nesse nível: nesse ponto a maturidade é mais direcionada para assegurar uma confiança gerencial do que do ponto de vista de requisitos de P&D. A demonstração pode representar uma aplicação real ou pode ser apenas similar a aplicação planejada, mas usando as mesmas tecnologias.	Os custos esperados são geralmente altos, podendo ser similar ou até duas ou 3 vezes menor do que o necessário para atingir o nível 7.	Atividades executadas apenas por organizações formalmente envolvidas num projeto, por envolver altos custos.

Continua

Tabela 2.1 - Conclusão

7	Demonstração de protótipo no ambiente operacional esperado	O que direciona a proposta de atingir esse nível é atingir confiança pela engenharia de sistemas e gestão de desenvolvimento, mais do que requisitos de P&D de tecnologia. Nem todas as tecnologias devem ser Demonstradas nesse nível. Geralmente esse nível deve ser atingido apenas para os casos em que a aplicação seja ao mesmo tempo crítica e arriscada para a missão.	Os custos de P&D são normalmente muito elevados, sendo uma fração significativa da aplicação final.	Atividades podem apenas ser executadas por uma organização de projeto adequada e, pelo grande aumento dos custos, patrocinadas pela indústria, governo ou fundos "venture" onde aplicável.
8	Sistema real completo e qualificado por meio de testes e demonstração	Por definição, todas as tecnologias sendo aplicadas em sistemas reais estão nesse nível. É o caso também de tecnologias sendo inseridas em sistemas já existentes.	Dependem da missão e de seus requisitos funcionais, mas são normalmente muito altos, sendo da ordem de 5 a 10 vezes superior à soma de todos os níveis anteriores	Atividades podem apenas ser executadas por uma organização de projeto adequada e, pelo grande aumento dos custos, patrocinadas pela indústria, governo ou fundos "venture" onde aplicável.
9	Prova de voo do sistema real por meio de missões bem sucedidas	Por definição, todas as tecnologias que atingiram o nível 8, podem ir eventualmente para o nível 9, mas na maioria dos casos, a solução dos últimos "bugs" de um verdadeiro "desenvolvimento de sistema" não ocorrem na entrega do primeiro sistema real. O amadurecimento nesse nível só ocorre com o uso. A diferença entre os níveis 8 e 9 está na operação.	Os custos são altos, mas normalmente significativamente inferiores aos custos do TRL8	Por suas características, as atividades nesse nível são conduzidas apenas por organizações formais de missão ou de operações

Fonte: Mankins (2009b)

Verifica-se na Tabela 2.1 o envolvimento, nos primeiros níveis, de agentes com perfil de pesquisa, com custos relativamente baixos, ao passo que o envolvimento mais intenso de fornecedores externos se dá em níveis de maturidade maiores, com riscos menores e valores de investimento maiores.

O surgimento de versões adaptadas do TRL (EUROPEAN SPACE AGENCY, 2008), gerou uma iniciativa da *International Organization for Standardization* (ISO) para a padronização de seus conceitos e definições. A Tabela 2.2 mostra as definições para cada nível TRL, segundo a ISO 16290 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2013)

Tabela 2.2 - Níveis e descrições do TRL, segundo a ISO 16290

Nível TRL	Descrição
1	Princípios básicos identificados e reportados.
2	Conceitos da tecnologia e ou aplicação formulados.
3	Funções críticas analíticas e experimentais e/ou prova de conceito.
4	Verificação funcional em ambiente de laboratório de componentes ou modelo físico preparado para testes.
5	Verificação de funções críticas em ambiente relevante de componentes ou modelo físico preparado para testes.
6	Modelo demonstrando as funções críticas de um elemento em um ambiente relevante.
7	Modelo demonstrando o desempenho do elemento em ambiente operacional.
8	Sistema real completo e aceito (“qualificado para voo”).
9	Sistema real “provado em voo” pela a operação em missões bem sucedidas.

Fonte: ISO (2013)

2.&1.1. Determinação do TRL

A TRL é fruto do aprendizado da NASA em administrar sistemas complexos com diferentes tecnologias. Embora, na essência, o conceito do TRL não mude, a adoção desse modelo por outras organizações, para atender necessidades específicas, levou a adoção de formas distintas de obtenção dos níveis TRL.

Mesmo que a determinação dos níveis TRL seja feita por especialistas, definidos como *Subject Matter Experts* (SME's), existe nesta determinação um grau de subjetividade que não pode ser desconsiderado (SARFARAZ; SAUSER; BAUER, 2012).

A NASA efetua a avaliação do nível TRL, considerando também o grau de dificuldade para passar de um nível TRL para outro imediatamente superior, definido como *Advancement Degree of Difficulty* (AD²) (NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION, 2007).

O processo de avaliação, mostrado na Figura 2.6, deve ser feito no início do projeto/programa, providenciando as seguintes informações:

- Refinamento das definições TRL;
- Definição dos AD²;
- Definição dos termos a serem usados no processo de avaliação;
- Estabelecer o significado do critério de avaliação e as métricas que permitirão a identificação clara de *gaps* e lacunas de desempenho;
- Estabelecer a equipe de avaliação;
- Estabelecer uma equipe independente de revisão da avaliação de tecnologia;

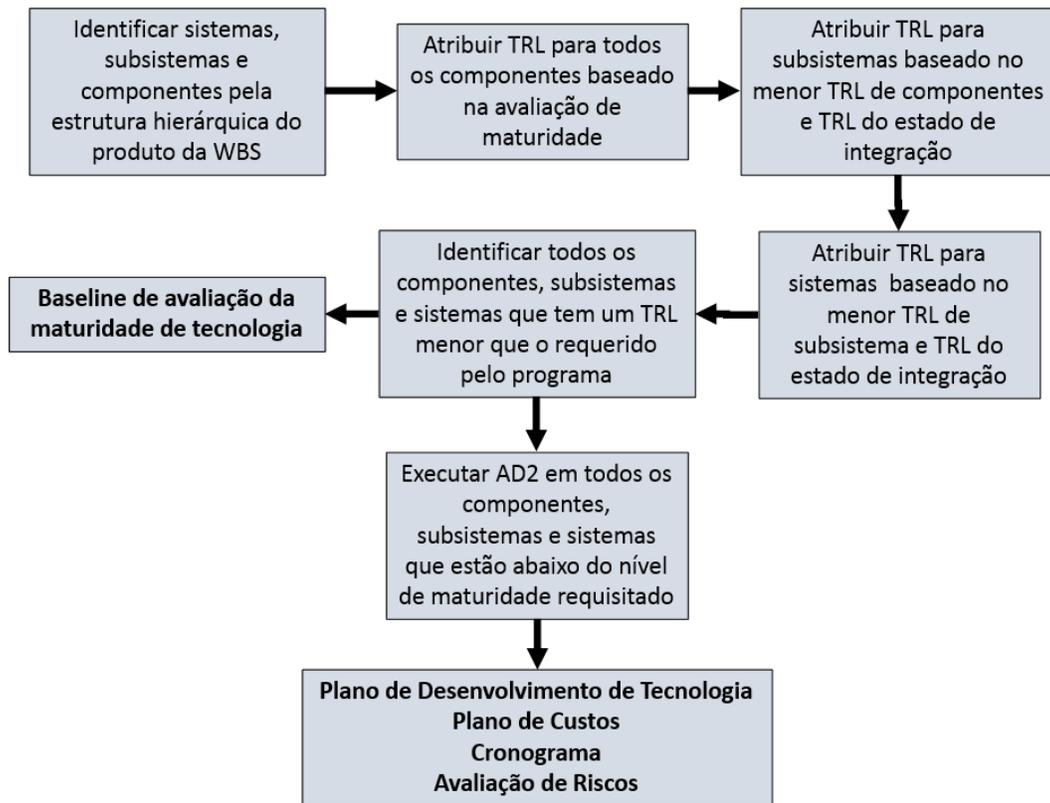


Figura 2.6 – Processo de Determinação do *Baseline* de maturidade tecnológica e do Plano de Desenvolvimento de Tecnologia, Custos, Prazos e Riscos, baseados nos TRLs

Fonte: NASA (2007)

O caminho para a determinação de um nível TRL específico é mostrado na Figura 2.7.

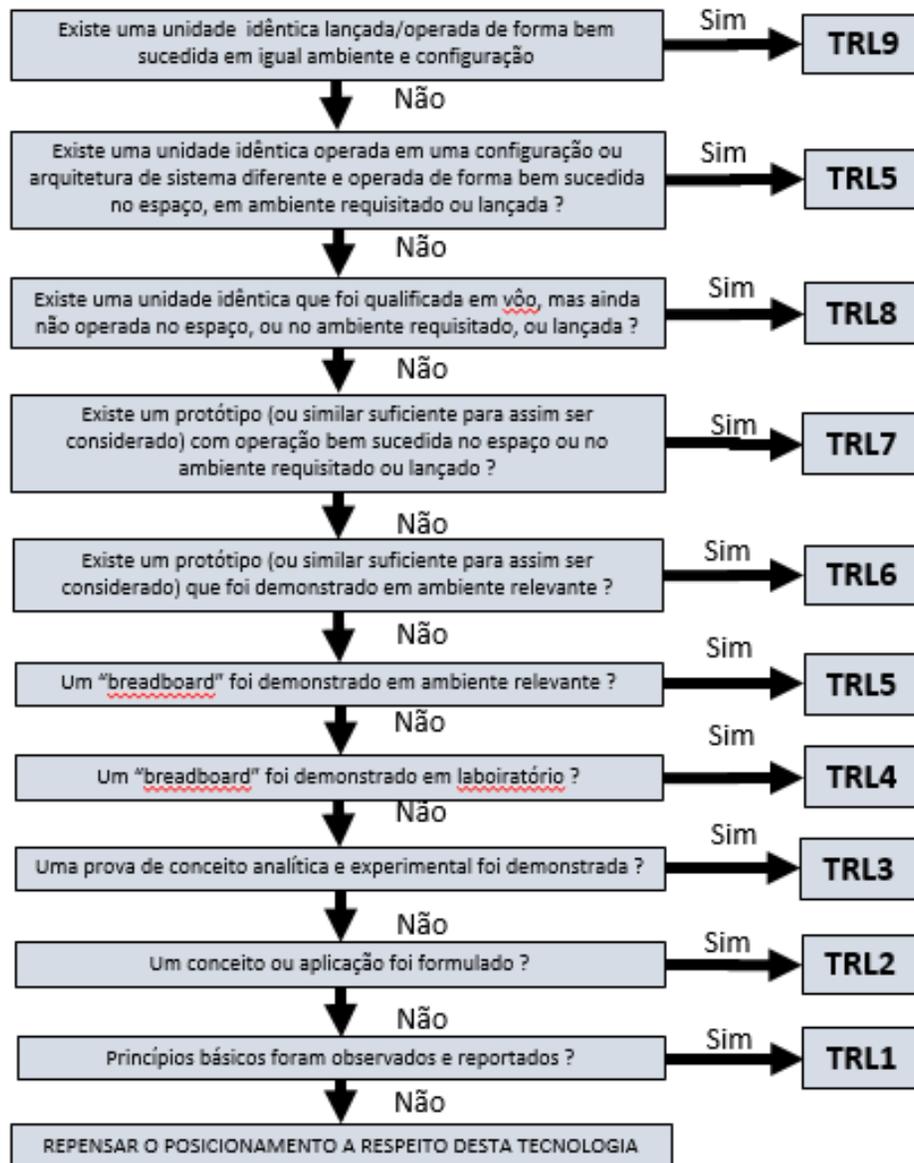


Figura 2.7 - Fluxo de determinação do TRL.

Fonte: NASA (2007)

Observando o fluxo da Figura 2.7, a NASA considera a possibilidade de reutilizar tecnologias com nível TRL9 em outras aplicações/condições, mas que tem seu nível reduzido para TRL5 para a nova aplicação em questão.

No caso da Agência Espacial Européia (EUROPEAN SPACE AGENCY, 2008), a determinação de um nível TRL é baseada em um fluxograma genérico de processo, estruturado em 4 questões fundamentais. Esse fluxograma é mostrado na Figura 2.8.



Figura 2.8- Fluxo do processo de avaliação TRL

Fonte: ESA (2008)

As 4 questões são descritas a seguir:

- Descrição: uma descrição dos detalhes da pesquisa e desenvolvimento que foram executados, ou a tecnologia que avançou.
- Requisitos: Grau para o qual uma futura aplicação de tecnologia é conhecida; e em particular se as características da aplicação são bem conhecidas o suficiente para julgar se uma nova tecnologia poderá atender esses requisitos
- Verificação: O ambiente no qual o teste de uma nova tecnologia ocorreu; e o grau de similaridade que este ambiente tem em relação ao ambiente operacional, levando também em conta os requisitos de desempenho em tal ambiente;
- Viabilidade: A perspectiva futura da viabilidade da tecnologia, sob o ponto de vista de risco e de esforço necessários, deve ser claramente estabelecida. Em particular, é importante saber se uma dada tecnologia pode de fato ser mais desenvolvida e, em caso afirmativo, com qual risco técnico e esforço.

O DoD, por sua vez, desenvolveu o *Technology Readiness Assessment* (DEPARTMENT OF DEFENSE, 2009), consistindo de um processo geral de

avaliação, com orientações de uso, definição de papéis e responsabilidades. Segundo o DoD:

Um TRA é um processo formal e sistemático baseado em métricas, gerando um relatório de acompanhamento que avalia a maturidade de tecnologias definidas como Elementos Críticos de Tecnologia (*Critical Technology Elements-CTEs*) a serem utilizados em sistemas que podem ser de hardware ou software (DEPARTMENT OF DEFENSE, 2009, p.1-1).

O DoD também define o que é um Elemento Crítico de Tecnologia:

Um elemento de tecnologia é “crítico” se o sistema depende deste elemento para atingir os requisitos operacionais (dentro de limites aceitáveis de custos e prazos) e se este elemento ou sua aplicação é novo em uma área que apresenta maior risco tecnológico durante o *design* detalhado ou demonstração (DEPARTMENT OF DEFENSE, 2009, p.1-1).

A determinação dos TRLs é considerada subjetiva. Como forma de diminuir essa limitação, foi desenvolvida por Nolte et.al. (2003) a *TRL Calculator v2.2*.

A *TRL Calculator* é uma planilha eletrônica que consiste de um conjunto estruturado de questões associadas a *hardware* e/ou *software* a serem respondidas pelos SME's. Em função do percentual de questões respondidas afirmativamente para um determinado nível, o algoritmo da planilha determina qual o nível TRL obtido. Os códigos de programação do algoritmo da planilha estão abertos e permitem que seus usuários façam adaptações que julguem necessárias.

No início do desenvolvimento de uma nova tecnologia, o foco é a criação de conhecimento, mas muitas informações ainda tem um elevado grau de incerteza, mantendo esse conhecimento no campo especulativo. À medida que o conhecimento aumenta, identificam-se aplicações para essa nova tecnologia, com a identificação de requisitos de produto ou sistema que podem ser atendidos por essa tecnologia com um grau menor de risco.

A Figura 2.10 mostra o comportamento dos riscos associados com transição de uma tecnologia (requisitos) à medida que essa tecnologia amadurece com o aumento do TRL. Os riscos oriundos do desconhecimento começam a diminuir com o aumento do TRL, tornando os riscos de transição de uma tecnologia menores (GOVERNMENT ACCOUNTABILITY OFFICE, 1999).

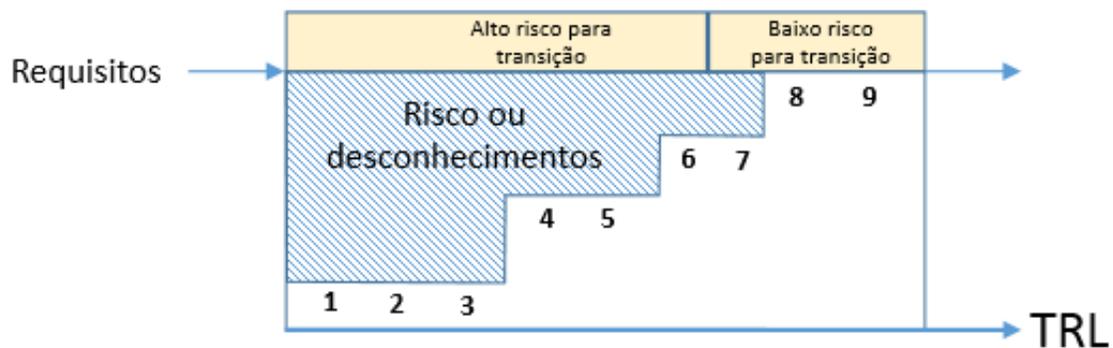
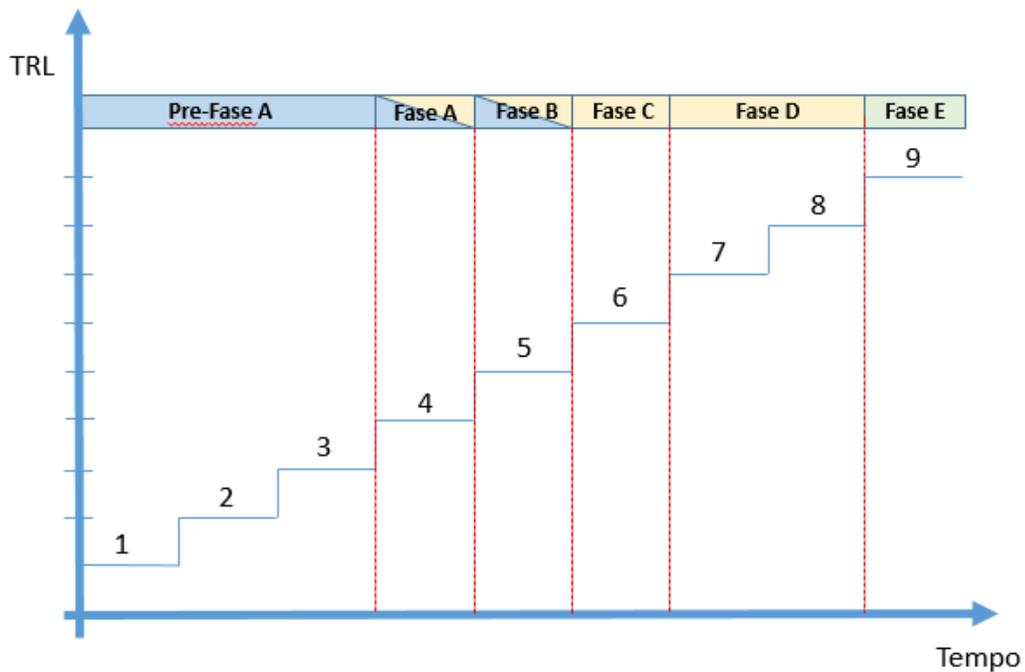


Figura 2.10 - Uso do TRL para controle de riscos de transição de tecnologia

Fonte: Government Accountability Office (1999)

Podemos identificar na Figura 2.10 que, sob o ponto de vista de risco, somente tecnologias com níveis mais elevados de maturidade são elegíveis ao emprego dentro de um desenvolvimento de sistema. Com essa tratativa, a NASA considera tecnologias no nível não inferior a TRL6 como elegíveis para emprego dentro de um projeto. As fases típicas de um projeto da NASA, e os TRLs associados (HUETER; TYSON, 2010) são representadas na Figura 2.11, na qual verifica-se que a exigência do nível TRL6 de maturidade ocorre na Fase C. Nessa fase, as especificações detalhadas do sistema começaram a ser geradas para fabricação, construção e montagem do sistema.



Pré-fase A: Estudo de conceitos
 Fase A: Desenvolvimento de conceito e tecnologia
 Fase B: Projeto preliminar e conclusão de tecnologia
 Fase C: Design final e fabricação
 Fase D: Montagem, integração, testes e lançamento do sistema
 Fase E: Operações

Figura 2.11 - TRL em um típico ciclo de vida de projeto espacial da NASA

Fonte: Hueter e Tyson (2010)

Em linhas gerais, observou-se na literatura uma necessidade de aperfeiçoar os mecanismos que conduzem a avaliação do TRL (SARFARAZ; SAUSER; BAUER, 2012; SHAPIRO, 2004; ALTUNOK; CAKMAK, 2010), complementando-o com outras abordagens (JIE; GAO ZHAOFENG, 2011; MANKINS, 2009a).

2.&2. Modelo CMMI-DEV^{®1}

Esta seção aborda as características gerais dos modelos de maturidade e de capacidade, presentes no CMMI-DEV[®], e relacionadas com os processos de desenvolvimento de produto dentro de uma organização.

Segundo Cristofari Jr., Paula e Fogliatto (2010), o principal objetivo de um modelo de maturidade de processo é descrever o comportamento de uma organização em determinado setor, área de produção ou gestão, tendo como base uma classificação de níveis de maturidade. Isso gera a oportunidade de codificar o que pode ser adotado como boas práticas, a fim de evoluir de um nível intermediário ou de transição para um nível superior.

A literatura propõe diversos modelos de maturidade de processos, mas em geral eles possuem componentes típicos em comum que consistem em um conjunto de dimensões ou áreas de processo, estruturadas em vários estágios ou níveis de maturidade, com a descrição do desempenho das características em vários níveis. Os componentes típicos que podem ser total ou parcialmente incluídos em cada modelo, são (CRISTOFARI JR.; PAULA; FOGLIATTO, 2010):

- a) Um número de níveis (tipicamente de 3 a 6);
- b) Um título para cada nível (exemplo: inicial, definido, gerenciado, etc.);
- c) Uma descrição genérica ou resumo das características presentes em cada nível;
- d) Um número de dimensões ou áreas de processos que agrupam práticas relacionadas e que ao serem implementadas em conjunto, satisfazem aos objetivos de melhoria da área de processos em questão;
- e) Um número de elementos ou atividades para cada área de processo;

¹ CMMI, CMMI-DEV, CMMI-ACQ, CMMI-SRV e SCAMPI são marcas registradas da Carnegie Mellon University

- f) Uma descrição de cada atividade que deve ser desempenhada para cada nível de maturidade.

O grande objetivo da maioria desses modelos é seu uso como parte integrante de um processo de melhoria e não seu uso isolado como medida absoluta de desempenho (PINHEIRO; TOLEDO, 2011).

O conceito de melhoria contínua, originado no Japão e sintetizado na palavra *kaizen*, consiste na implementação de melhorias incrementais de forma sistemática, consistente e de baixo impacto no curto prazo, mas de grande impacto no médio e longo prazo.

Amplamente promovido em programas de gestão da qualidade, produção, desenvolvimento de produtos e processos, a melhoria contínua é um dos alicerces da proposta do CMMI® e de normas como a ISO 9001 (BALDASSARRE, CAIVANO; *et al.*, 2012).

Na aplicação desses modelos buscam-se identificar lacunas e deficiências que podem ser reduzidas por subsequentes ações de melhoria. Dessa forma, tais modelos tornam-se uma ferramenta muito importante para as organizações que buscam identificar oportunidades de melhoria (CRISTOFARI JR.; PAULA; FOGLIATTO, 2010).

Desde o início dos anos 90, diferentes modelos de maturidade e capacidade (CMM-*Capability Maturity Models*) foram propostos (SOFTWARE ENGINEERING INSTITUTE, 2010), procurando atender necessidades de diferentes disciplinas, dentre os quais destacaram-se modelos para a Engenharia de Sistemas, Engenharia de Software, Aquisição de Software, Gestão e Desenvolvimento da Força de Trabalho e Desenvolvimento Integrado de Processo e Produto. Embora todas essas propostas tenham mostrado grande utilidade, o uso de diferentes modelos de forma simultânea dificultava os esforços das organizações na busca pela melhoria dos processos, já que seria mais interessante fazer essa melhoria de forma integrada.

Identificando essa oportunidade, o *Software Engineering Institute*² (SEI), vinculado à *Carnegie Mellon University*, nos Estados Unidos, desenvolveu o *CMM Integration*, que integrou inicialmente os seguintes modelos de capacidade e maturidade (SOFTWARE ENGINEERING INSTITUTE, 2010):

- *Capability Maturity Model for Software* (SW-CMM);
- *Systems Engineering Capability Model* (SECM);
- *Integrated Product Development Capability Maturity Model* (IPD-CMM);

A decisão de adotar esses três modelos pelo SEI baseou-se no fato de que tais modelos já apresentavam boa aceitação dentro das comunidades de Software e de Engenharia de Sistemas.

Segundo o Software Engineering Institute (2010), a base dos processos numa organização consiste na coesão de três dimensões críticas, envolvendo pessoas, recursos físicos e métodos. Estas dimensões estão ilustradas na Figura 2.12.

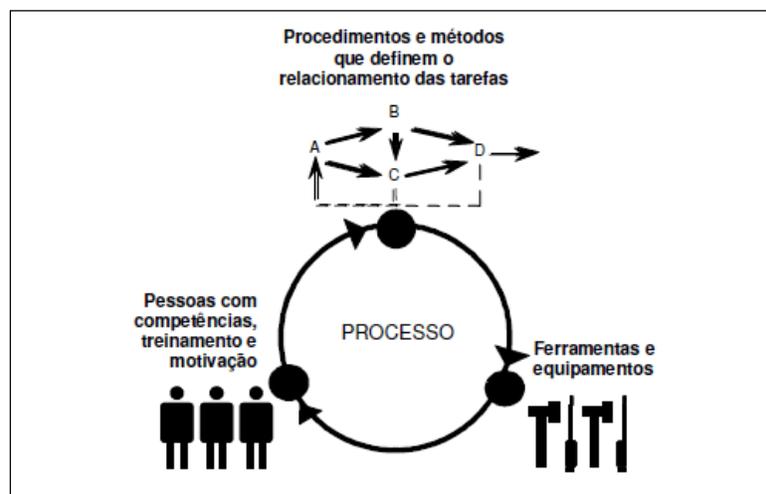


Figura 2.12 - Dimensões críticas de um processo

Fonte: Software Engineering Institute (2010)

² Em 2013 foi criado o CMMI Institute, referenciando-se a este parte da literatura original do SEI

Na versão 1.3, o modelo CMMI® (SOFTWARE ENGINEERING INSTITUTE, 2010), está organizado na forma de “constelação”, na qual 3 diferentes abordagens são utilizadas em função das necessidades da organização:

- CMMI-ACQ®: Foca nos processos das organizações de aquisição;
- CMMI-SER®: Foca nos processos das organizações de serviços;
- CMMI-DEV®: Foca nos processos de desenvolvimento de sistemas;

2.&2.1. Formas de implementação do CMMI-DEV®

De forma geral, os modelos da capacidade/maturidade permitem diferentes abordagens, desde que tais abordagens contemplem elementos essenciais que sejam associados aos processos e suas diferentes disciplinas associadas, além de definir um caminho evolutivo para evolução desde processos imaturos até processos maduros, disciplinados e eficazes. Seguindo essa premissa, o CMMI® propõe duas abordagens por meio de duas representações: a representação contínua e a representação por estágios.

Representação Contínua

Essa representação permite que a organização escolha livremente uma ou mais áreas de processo, buscando melhorias nos processos considerados mais críticos. Tal representação utiliza níveis de capacidade para caracterizar a melhoria contínua no nível de uma área de processo em particular. A representação contínua é mostrada na Figura 2.13.

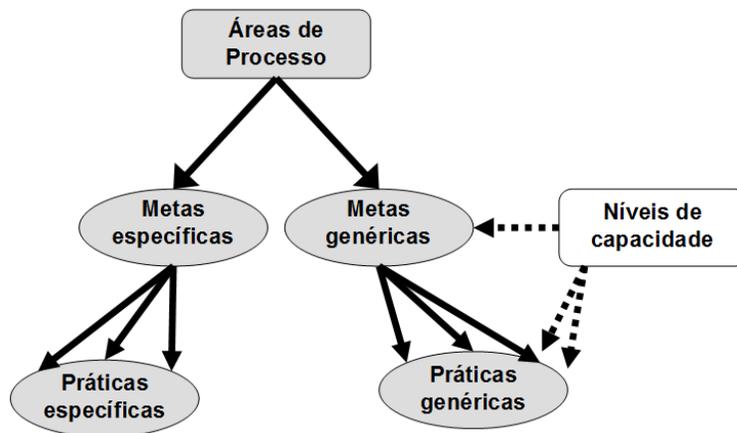


Figura 2.13 - Representação contínua do CMMI®

Fonte: Software Engineering Institute (2010)

Representação por estágios

Essa representação utiliza conjuntos pré-definidos de áreas de processo, definidas pelo modelo, que definem o caminho para melhoria da organização. A melhoria, nesse caso, é caracterizada por níveis de maturidade no nível de organização. Apresenta menos flexibilidade que a representação contínua, por exigir uma seqüência sistemática e estruturada de melhoria de processo, adotando um roteiro no qual um conjunto de áreas de processos é focado de cada vez. Uma vez que esse conjunto de áreas de processo atingiu a maturidade necessária, ele servirá de base para a conquista da maturidade do conjunto de áreas de processos seguinte, segundo uma escala evolutiva. A representação por estágios é mostrada na Figura 2.14.

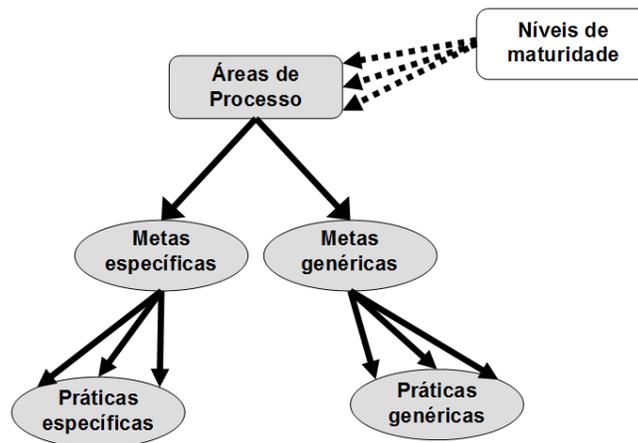


Figura 2.14 - Representação por estágios do CMMI®

Fonte: Software Engineering Institute (2010)

Tanto a representação contínua, quanto por estágios reflete a grande flexibilidade de adoção do modelo, mas têm objetivos diferentes que dependem das expectativas da organização. Não é incomum uma adoção mista de representações. A Tabela 2.3 compara as representações contínua e por estágios (SOFTWARE ENGINEERING INSTITUTE, 2010):

Tabela 2.3 – Comparação entre representações contínua e por estágios do CMMI®

Representação Contínua	Representação por Estágios
Permite livre escolha da sequência de melhorias, de forma a melhor satisfazer aos objetivos estratégicos e mitigar as áreas de risco da organização.	Permite que as organizações tenham um caminho de melhoria predefinido e testado.
Permite visibilidade crescente da capacidade alcançada em cada área de processo.	Foca em um conjunto de processos que fornece à organização uma capacidade específica caracterizada por cada nível de maturidade.
Permite que melhorias em diferentes processos sejam realizadas em diferentes níveis.	Resume os resultados de melhoria de processo em uma forma simples: um único número que representa o nível de maturidade.
Reflete uma abordagem mais recente que ainda não dispõe de dados para demonstrar seu retorno do investimento.	Baseia-se em uma história relativamente longa de utilização, com estudos de casos e dados que demonstram o retorno do investimento.

Fonte: Software Engineering Institute (2010)

O CMMI® é estruturado por componentes fundamentais que se relacionam conforme a Figura 2.15.

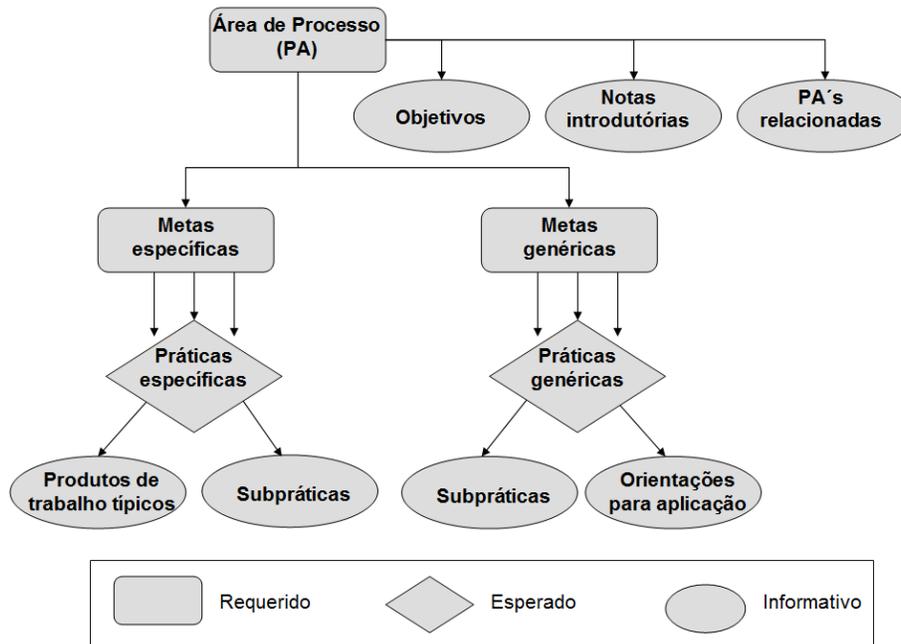


Figura 2.15 - Componentes fundamentais do CMMI®.

Fonte: Software Engineering Institute (2010)

A definição dos componentes considerados fundamentais do modelo CMMI® estão relacionados na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 – Definição dos componentes fundamentais do CMMI®

Componente	Tipo	Definição
Áreas de processo	Informativo	Corresponde a um conjunto de práticas inter-relacionadas que ao serem implementadas satisfazem aos princípios de melhoria do CMMI® para aquela área.
Objetivo	Informativo	Descreve qual o objetivo a ser atingido por uma determinada área de processo.
Notas introdutórias	Informativo	Descreve conceitos abordados dentro de uma área de processo.
Áreas de processo relacionadas	Informativo	Referência as relações de alto nível da área de processo abordada com outras áreas de processo.
Metas específicas	Requerido	Utilizado para avaliar se uma área está implementada ou não. Nas metas específicas estão definidas quais as características que devem estar presentes na implementação de melhorias na área de processo abordada.
Práticas específicas	Esperado	Descreve uma atividade importante para satisfazer a meta específica associada
Produtos de trabalho típicos	Informativo	Descreve exemplos do que seriam as saídas de uma prática específica
Subpráticas	Informativo	Fornece informações detalhadas e úteis para a interpretação e implementação de práticas tanto específicas quanto genéricas para a melhoria do processo.
Metas genéricas	Requerido	Segue os mesmos princípios das metas específicas, com a diferença de que as metas genéricas definidas se aplicam a mais de uma área de processo
Práticas genéricas	Esperado	Descreve uma atividade importante para satisfazer a meta genérica associada
Orientações para aplicação	Esperado	Fornece orientações para a aplicação de uma prática genérica, vindo logo após sua respectiva prática genérica, como recomenda o CMMI®

Fonte: Software Engineering Institute (2010)

2.&2.2. Áreas de processo do CMMI-DEV®

De acordo com o Software Engineering Institute (2010), o CMMI-DEV® é constituído por 22 áreas de processo, listadas abaixo, incluindo seus acrônimos em inglês:

- Análise e Resolução de Causas (CAR)
- Gestão de Configuração (CM)
- Análise e Tomada de Decisões (DAR)
- Gestão Integrada de Projeto +IPPD (IPM +IPPD)
- Medição e Análise (MA)
- Implantação de Inovações na Organização (OID)
- Definição dos Processos da Organização +IPPD (OPD +IPPD)
- Foco nos Processos da Organização (OPF)
- Desempenho dos Processos da Organização (OPP)
- Treinamento na Organização (OT)
- Integração de Produto (PI)
- Monitoramento e Controle de Projeto (PMC)
- Planejamento de Projeto (PP)
- Garantia da Qualidade de Processo e Produto (PPQA)
- Gestão Quantitativa de Projeto (QPM)
- Desenvolvimento de Requisitos (RD)
- Gestão de Requisitos (REQM)
- Gestão de Riscos (RSKM)
- Gestão de Contrato com Fornecedores (SAM)
- Solução Técnica (TS)
- Validação (VAL)
- Verificação (VER)

Essas áreas de processo do CMMI-DEV®, por sua vez, são organizadas em 4 grupos, visando facilitar o entendimento das interações existentes entre suas áreas de processo (SOFTWARE ENGINEERING INSTITUTE, 2010):

- Gestão de Processo;
- Gestão de Projeto;
- Engenharia;
- Suporte;

2.&2.3. Grupos de áreas de processo de Engenharia

Agrupa as áreas de processo relacionadas com atividades centrais de engenharia de sistemas. As áreas de processo adotam uma terminologia genérica que permite acomodar quaisquer disciplinas técnicas envolvidas no processo de desenvolvimento. O grupo de áreas de processo de Engenharia e sua relação com outras áreas de processos é mostrado na Figura 2.16.

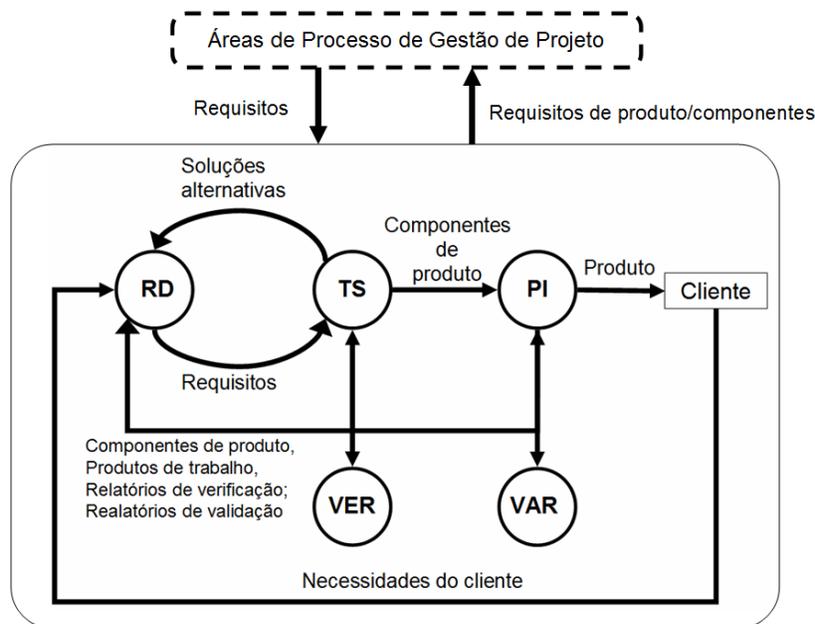


Figura 2.16 - Relação das áreas de processo de Engenharia com outras áreas de processo

Fonte: Software Engineering Institute (2010)

Os objetivos de cada área de processo do grupo de Engenharia estão descritos na Tabela 2.5.

Tabela 2.5-Objetivos das áreas de processo do grupo de Engenharia

Área de Processo	Objetivo
Desenvolvimento de requisitos (RD)	Fornecer subsídios para produzir e analisar os requisitos de cliente, de produto e de componente de produto.
Solução Técnica (TS)	Fornecer subsídios para projetar, desenvolver e implementar soluções para os requisitos. Soluções, <i>designs</i> e implementações englobam produtos, componentes de produto e processos de ciclo de vida relacionados ao produto, seja de forma isolada ou em conjunto, conforme apropriado.
Integração de Produto (PI)	Fornecer subsídios para: - Montar o produto a partir de componentes de produto; - Assegurar que o produto integrado execute as funções de forma apropriada; - Entregar o produto; A integração de produto envolve a gestão de interfaces internas e externas de componentes e produtos.
Verificação³ (VE)	Fornecer subsídios para assegurar que os produtos de trabalho selecionados satisfaçam aos seus requisitos especificados
Validação (VA)	Fornecer subsídios para demonstrar que um produto ou componente de produto satisfaz ao seu uso pretendido quando colocado em seu ambiente pretendido.

Fonte: Software Engineering Institute (2010)

Níveis de Maturidade e de Capacidade do CMMI®

A comparação entre os níveis de capacidade e de maturidade do CMMI® tem seus valores e descrições resumidos na Tabela 2.6, adaptada do Software Engineering Institute (2010):

³ Embora seja muito similar com a área de processo Validação (VA), as questões tratadas por uma e outra são diferentes. Enquanto a Verificação busca assegurar que o produto seja construído corretamente, a Validação busca assegurar que o produto correto seja construído, atendendo a todos os requisitos do cliente.

Tabela 2.6 – Comparação Níveis de Capacidade e Maturidade

Nível	Descrição	
	Nível de Capacidade (Representação contínua)	Nível de Maturidade (Representação por estágios)
0	Incompleto	Não se aplica
1	Executado	Inicial
2	Gerenciado	Gerenciado
3	Definido	Definido
4	Não se aplica	Gerenciado quantitativamente
5	Não se aplica	Em otimização

Fonte: Software Engineering Institute (2010)

Níveis de Capacidade para representação contínua

Na representação contínua, o Software Engineering Institute (2010) estabelece 4 níveis de capacidade para uma determinada área de processo.

Nível 0: Incompleto

Nesse nível de capacidade o processo não é executado ou executado parcialmente. Este processo é considerado incompleto por não satisfazer ou contemplar uma ou mais metas específicas, além de não fazer sentido a implantação de metas genéricas para processos executados de forma parcial.

Nível 1: Executado

- Satisfaz as metas específicas
- Todo o apoio é dado para viabilizar a execução do trabalho.

Nível 2: Gerenciado

- Dispõe de infraestrutura necessária para sua execução

- Possui planejamento e execução, conforme as políticas da organização
- Emprega pessoas experientes que possuem recursos adequados para produzir saídas controladas;
- Envolve partes interessadas relevantes;
- É monitorado, controlado e revisado;
- Sua aderência em relação à descrição de processo é avaliada.

Nível 3: Definido

- É um processo gerenciado e;
- É baseado em um conjunto de processos padrão definidos e adaptáveis segundo critérios da política da organização para atender necessidades de um projeto específico ou unidade organizacional;
- Possui produtos de trabalho, medidas e outras informações que contribuem para a melhoria dos ativos de processo da organização;

Nesse nível, os processos são descritos de forma mais rigorosa que no nível 2 e devem estabelecer claramente:

- O objetivo;
- As entradas e os critérios de entrada;
- As atividades;
- Os papéis
- As medidas;
- As etapas de verificação;
- As saídas e os critérios de saída;

A progressão nos níveis de capacidade ocorre a partir da aplicação das práticas genéricas ou alternativas adequadas aos processos de uma área de processos.

No estudo feito por Monzón (2010), o *Systems Engineering Handbook* (INTERNATIONAL COUNCIL ON SYSTEMS ENGINEERING, 2011) e o CMMI-DEV[®] são complementares. Enquanto que o primeiro busca relacionar os processos de engenharia de sistemas, o segundo é uma proposta de referência

para a melhoria desses processos. As áreas de processo do grupo de Engenharia do CMMI-DEV® possuem boa aderência aos processos do INCOSE.

2.&2.4. Avaliação do CMMI-DEV® pelo método SCAMPI®

O SCAMPI® (CMMI INSTITUTE, 2013) é o método oficial para avaliar e estabelecer os níveis de maturidade e de capacidade das áreas de processo do CMMI®. Ele define 3 classes de avaliação e requisitos para avaliação (SOFTWARE ENGINEERING INSTITUTE, 2011), sendo que tais classes estabelecem os níveis de abrangência e de rigor da avaliação; indo da Classe A, com maior abrangência e rigor, até a Classe C, com a menor abrangência e rigor.

Essa flexibilidade do método está diretamente associada com os objetivos que uma determinada organização tem em relação à avaliação de seus processos de desenvolvimento. Dessa forma, organizações cujo objetivo seja uma certificação CMMI com obtenção de um nível de maturidade CMMI®, terão um escopo e rigor maiores definidos pelo SCAMPI® Classe A. Para organizações cujo objetivo seja fazer uma auto avaliação preliminar de processos que considera mais críticos, sem determinação de um *rating* de maturidade/capacidade específico, o SCAMPI® é feito de forma mais simplificada, muitas vezes pela própria organização, utilizando o SCAMPI® Classe C.

Um dos elementos mais importantes na avaliação SCAMPI® é a identificação de evidências objetivas, que mostrem que determinada prática está implementada ou não. Os tipos de evidências objetivas definidas pelo SCAMPI® (CMMI INSTITUTE, 2013) são:

Artefatos: é uma forma tangível de evidência objetiva, indicativa do trabalho sendo executado, que representa tanto as saídas primárias de uma prática ou uma consequência da implementação da prática. Podem incluir políticas organizacionais, atas de reunião, resultados de revisão ou outros produtos de trabalho no nível de implementação. Artefatos suficientes demonstrando e

corroborando que o trabalho está sendo feito são necessários para verificar a implementação associada com as práticas do modelo. Artefatos são evidências objetivas pré-existentes, na forma documental.

Afirmações: consiste de uma declaração escrita ou oral, confirmando ou suportando a implementação (ou lacuna de implementação) de uma prática do modelo, fornecida por um implementador da prática, por meio de um fórum interativo no qual a equipe de avaliação tenha controle sobre as interações. Estas declarações são tipicamente coletadas usando entrevistas, demonstrações, questionários e outros meios.

Para o SCAMPI® C, pelo menos uma dessas duas evidências objetivas é necessária. Afirmações negativas, confirmando deficiências na implementação de uma prática, também são possíveis.

2.&3. Modelo MRL

O mais recente dos três modelos abordados neste trabalho surgiu como resposta aos sucessivos relatórios do *Government Accountability Office* (GAO) que apontavam problemas com as tecnologias adquiridas pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos (AZIZIAN; MAZZUCHI; et. al, 2011), responsáveis pelo aumento de custos, atrasos e desempenho aquém do esperado. Tais problemas foram associados não apenas à maturidade das tecnologias, mas também aos processos de manufatura de fornecedores. Diante de um cenário de problemas crescentes de fabricação, com aumento de riscos, o DoD desenvolveu este modelo, inspirado no modelo TRL, para avaliar a maturidade dos processos de manufatura.

O *Manufacturing Readiness Levels* (DEPARTMENT OF DEFENSE, 2009) foi elaborado pelo grupo de estudos JDMP (Joint Defense Manufacturing Technology Panel), com a colaboração da indústria, para promover a adoção de boas práticas que contribuam para a redução dos riscos associados aos

processos de manufatura dentro dos programas de aquisição de tecnologias do DOD.

Segundo o JDMTP (2007), “a maturidade de manufatura é a habilidade de aproveitar a manufatura, produção, garantia da qualidade e funções industriais para atingir uma capacidade operacional que satisfaça as necessidades das missões na qualidade e quantidade necessárias...”.

O MRL foca na avaliação da capacidade necessária à reprodução de uma tecnologia em um contexto industrial, identificando *gaps* importantes entre a necessidade e a realidade da manufatura, gerando ações de melhoria (DEPARTMENT OF DEFENSE, 2012).

Segundo o Department of Defense (2012), “a habilidade para efetuar a transição de uma tecnologia de maneira eficiente dos laboratórios para o ‘chão de fábrica’ e depois para sua aplicação em campo é um aspecto crítico no processo de aquisição, e o MRL é vital para seu sucesso”.

O MRL é composto por 10 níveis, mostrados na Tabela 2.8, sendo que os seus níveis de 1 a 9 tem associação com os níveis da escala TRL.

Tabela 2.7-Definições e conceitos da escala MRL

MRL	Descrição	Conceito
1	Implicações de Manufatura básica identificadas	É o nível mais baixo da escala. O objetivo é abordar deficiências e oportunidades necessários para atingir os objetivos do programa. É iniciado na forma de estudos. Um entendimento da viabilidade e riscos de manufatura começa a surgir.
2	Conceitos de manufatura identificados	É caracterizado por descrever a aplicação de novos conceitos de manufatura, incluindo estudos e análises de materiais e abordagens de processos.
3	Prova de conceito de manufatura desenvolvido	Os conceitos de manufatura são validados em laboratório. Esse é o nível de tecnologias em pesquisa aplicada e desenvolvimento avançado. Materiais e processos se mostram viáveis do ponto de vista de disponibilidade e de manufaturabilidade, mas avaliações adicionais e demonstrações são necessárias. Modelos de hardware são desenvolvidos em ambiente de laboratório com funcionalidades limitadas.
4	Capacidade de produzir a tecnologia em laboratório	Nesse nível, a tecnologia a ser produzida deve estar pelo menos no nível de maturidade TRL4. Processos que assegurem manufaturabilidade, produtividade e qualidade são suficientes para produzir tecnologia demonstrável. Riscos de manufatura são identificados na construção de protótipos e planos de mitigação começam a ganhar forma.
5	Capacidade de produzir protótipos de componentes em um ambiente de produção relevante	Base industrial foi identificada para identificar potenciais fabricantes. Protótipos de materiais, ferramentas, equipamentos de testes, bem como habilidades de pessoal são demonstradas, mas muitos processos e procedimentos de manufatura ainda estão em desenvolvimento. Tecnologia a ser produzida deve estar pelo menos no nível de maturidade TRL5
6	Capacidade de produzir um protótipo de sistema ou subsistema em um ambiente de produção relevante	É normalmente visto como o nível de maturidade de manufatura que denota aceitação de um projeto preliminar de sistema. A maioria dos processos foram definidos e caracterizados, mas ainda existem grandes mudanças de design no sistema. Processos e tecnologias de manufatura de protótipos, materiais, ferramentas e equipamentos de teste, além de habilidades de pessoal foram demonstradas ao criar o sistema/subsistema
7	Capacidade de produzir sistemas, subsistemas ou componentes em um ambiente de produção representativo .	Corresponde a um ponto entre Engenharia e Desenvolvimento da Manufatura A atividade de projeto detalhado do sistema está próxima do encerramento. As especificações de material foram finalizadas e materiais estão disponíveis para iniciar uma fabricação piloto. A cadeia produtiva e a garantia da qualidade dos fornecedores foi avaliada. Planos de fabricação e de metas de qualidade são desenvolvidos. Ferramentas para produção e projeto e desenvolvimento de equipamentos de testes são iniciadas. Nível de maturidade da tecnologia a ser fabricada deve ser pelo menos TRL7
8	Capacidade em ambiente de linha piloto demonstrada; Pronto para iniciar produção em baixa escala.	Projeto detalhado do sistema é concluído e suficientemente estável para iniciar uma produção de baixa escala. Procedimentos, processos Manufatura e Qualidade provaram estar sob controle num ambiente de produção de baixa escala. Ferramentas, materiais, mão-de-obra, equipamentos de testes e instalações foram provados numa linha de produção piloto e disponíveis para iniciar uma produção em baixa escala.

Tabela 2.7 - Conclusão

9	Produção em baixa escala demonstrada; Capacidade para começar produção em grande escala	As tecnologias devem estar pelo menos no nível TRL9
10	Produção em grande escala demonstrada, incluindo práticas de manufatura enxuta	É o nível mais alto da escala. As mudanças de engenharia são poucas e geralmente associadas com a melhoria da qualidade e redução de custos. Sistemas, componentes estão em plena produção, atendendo a todos os requisitos de engenharia, performance, qualidade e confiabilidade. Todos os materiais, processos e procedimentos de fabricação, equipamentos e procedimentos de teste e inspeção são controlados por um nível de qualidade apropriado. Práticas de manufatura enxuta estão bem estabelecidas e processos de melhoria contínua são praticados.

Fonte: Adaptado de Department of Defense (2009)

Na Tabela 2.7 estão destacados alguns termos encontrados na descrição de alguns níveis MRL e detalhados a seguir:

Ambiente de produção relevante:

Ambiente normalmente encontrado durante os níveis MRL5 e MRL6 que contém elementos chave de realismo de produção que não são encontrados em um ambiente de laboratório, como por exemplo, equipe de produção, materiais, equipamentos, ferramentas, processos ou instruções de trabalho. Pode ocorrer em laboratório, se esses elementos chave forem adicionados.

Ambiente de produção representativo:

Ambiente normalmente encontrado durante o MRL7 que contém a maioria dos elementos chave (ferramentas, equipamentos, temperatura, limpeza, iluminação, níveis de capacitação da equipe, materiais, instruções de trabalho, etc.) que serão apresentados nas áreas de manufatura onde uma produção em baixa escala será eventualmente conduzida.

Ambiente de linha piloto:

Ambiente normalmente encontrado no MRL8, num ambiente de “chão de fábrica” que incorpore todos os elementos chave necessários para produzir itens configurados, subsistemas ou sistemas que atenderão aos requisitos de projeto numa baixa escala de produção.

O TRL e o MRL apresentam forte vínculo entre si, pois o segundo foi elaborado utilizando o primeiro como pré-requisito. O Department of Defense (2009) entende que o ritmo de maturidade da manufatura seja estabelecido pelo ritmo de maturidade da tecnologia. Processos de manufatura não podem ser considerados estáveis se a tecnologia não estiver. Por esta razão, as definições de MRL foram feitas considerando um nível nominal mínimo de TRL como um pré-requisito para cada nível de MRL. Assim, para uma avaliação do i -ésimo MRL_i ser iniciada é necessário que a tecnologia associada esteja, no mínimo, no nível TRL_i .

O investimento para conduzir uma avaliação efetiva e gerenciar os riscos de manufatura identificados deve ser parte dos procedimentos operacionais padrão de companhias ou escritórios de programas.

Embora o retorno sobre o investimento seja muito difícil de quantificar, um programa ou projeto não pode negligenciar os riscos de manufatura porque o impacto pode ser muito alto. Conduzir uma avaliação de manufatura baseada na MRL é uma maneira efetiva de assegurar que riscos serão identificados e gerenciados o tão antecipadamente quanto possível (DEPARTMENT OF DEFENSE, 2009).

Para os gestores de projetos de desenvolvimento de tecnologia, considerações sobre questões e riscos relacionados à manufatura devem ser iniciados o quanto antes, para que a maturidade de manufatura seja suficiente no período de transição, a fim de suportar de forma rápida e acessível a incorporação da tecnologia dentro do sistema. Para os gestores de projetos de desenvolvimento, algumas boas práticas de manufatura podem ser relacionadas abaixo:

- Planejar e fornecer recursos para que o MRL pré-estabelecido seja atingido dentro do orçamento na transição;
- Avaliar previamente a maturidade de manufatura dentro do programa, definindo um MRL inicial e incluindo o processo de transição para o cliente;
- Identificar, por meio dos resultados da avaliação prévia de MRL, as prioridades e desenvolver um plano para que a manufatura atinja a maturidade pré-definida;
- Trabalhar com a transição para o cliente para identificar o MRL-alvo que será aceitável para a transição
- Realizar uma avaliação final da maturidade de manufatura para confirmar que o MRL pré-estabelecido foi atingido. Incluir a transição para o cliente neste processo.

- Incluir especialistas de manufatura em todas as revisões técnicas de engenharia de sistemas.

Na literatura em português é comum encontrarmos as palavras *capability* traduzida como “*capacidade*”, que em se tratando de processos difere do termo *capacity*, também traduzido como “*capacidade*”.

- *Capability*: significa construir com a qualidade requisitada;
- *Capacity*: significa construir na quantidade requisitada.

Dessa forma, um processo pode ter uma grande “*capability*” (produz com qualidade), mas pode ter uma baixa “*capacity*” (não produz com quantidade) e vice-versa.

Embora os níveis MRL tenham sido estabelecidos procurando manter um vínculo com a TRL, já adotada há mais tempo pelo DoD, para níveis mais elevados de MRL, o objetivo é estabelecer a capacidade do processo (níveis MRL9 e MRL10), uma vez que sua “*capability*” foi atingida nos níveis anteriores.

2.&3.1. Determinação do MRL

O processo de determinação de um nível específico na escala MRL é definido pelo DoD como *Manufacturing Readiness Assessment* (DEPARTMENT OF DEFENSE, 2009). O processo MRA é uma ferramenta para avaliar a maturidade de manufatura, e os riscos que são mais considerados num contexto mais amplo do processo de gestão de riscos de manufatura. Em resumo, o MRA (DEPARTMENT OF DEFENSE, 2009):

- Compara os “status” dos elementos chave do programa com um valor da escala MRL apropriado para o estágio do programa;
- Descreve os riscos associados com os elementos que estão aquém do padrão;
- Estabelece as bases para os planos de mitigação de riscos de manufatura e de investimento;

A determinação do nível MRL baseia-se em 9 tópicos (“*threads*”), definidos pelo DoD e relacionadas na Tabela 2.8.

Tabela 2.8 - Tópicos de avaliação dos níveis MRL (traduzido de Department of Defense (2009))

Tópico	Definição
1-Tecnologia e Base industrial	Analisa a capacidade da tecnologia e da indústria nacional de projetar, desenvolver, produzir, operar, manter de forma ininterrupta ⁴ o sistema e seu eventual descarte.
2-Design	Requer um entendimento da maturidade e estabilidade da evolução do design do sistema e das questões relacionadas a sua maturidade de fabricação.
3-Custos e Recursos	Analisa a compatibilidade dos recursos financeiros para atingir os níveis de maturidade de manufatura. Examina o risco associado com os custos-alvo de manufatura.
4-Materiais	Analisa os riscos associados com materiais (incluindo matérias-primas, componentes, peças semiacabadas e submontagens).
5-Capacidade de Processos e Controle	Analisa os riscos de um processo de manufatura não ser capaz de refletir as intenções de projeto (repetibilidade e acessibilidade) de características chave.
6-Gestão da Qualidade	Analisa os riscos e a gestão dos esforços para controlar a qualidade e a melhoria contínua.
7-Equipe de manufatura	Avalia as habilidades necessárias e a disponibilidade numérica de mão de obra, com os conhecimentos e habilidades necessárias para executar as tarefas de manufatura.
8-Instalações	Analisa a capacidade das instalações de manufatura de produzir um item conforme as especificações (<i>capability</i>) e na quantidade necessária (<i>capacity</i>).

⁴ Neste tópico observa-se a grande preocupação do DoD de manter uma cadeia de fornecedores sustentável, pois não é raro que os itens adquiridos obedçam a um cronograma de entregas e períodos de operação que podem alongar-se por vários anos.

Fonte: Department of Defense (2009)

O DoD possui um número muito grande de programas de aquisição de tecnologia em andamento, envolvendo muitos fornecedores. Dessa forma, fazer a avaliação MRL *on site* de toda a cadeia de suprimentos seria uma tarefa muito difícil e dispendiosa. Foi estimulada uma auto avaliação preliminar à avaliação do DoD. Além disso, boa parte do trabalho de avaliação fica a cargo do *Prime Contractor*, a organização responsável por toda a Engenharia de Sistemas. As experiências com o MRL já vêm produzindo resultados significativos, no sentido de atingir os objetivos propostos originalmente pelo DoD (KARR, 2010).

Segundo Karr (2010), a adoção dos níveis MRL, vem ganhando força e embora seu objetivo não seja definir um critério para avaliação de fornecedores, mas sim recomendar um conjunto de boas práticas, pode tornar-se um critério natural de avaliação e seleção de fornecedores no futuro.

Como ferramenta para registro e avaliação dos MRLs, foi desenvolvido pelo JDMTP, a *MRL Assist Tool*. Essa é uma ferramenta hospedada no *website* do *Best Manufacturing Practices Center of Excellence* (BEST MANUFACTURING PRACTICES CENTER OF EXCELLENCE, 2014), que consiste em um repositório de questões hierarquicamente divididas nos níveis executivo, gerencial e operacional. Os níveis MRL1 a MRL3, considerados como pré-conceitos ainda não contemplam nenhuma questão. As questões relacionadas ao nível MRL10 buscam focar na melhoria contínua e otimizações de processos, por meio de ferramentas como *Lean* e *Six Sigma*. As questões de nível executivo do *MRL Assist Tool* constam do Anexo C.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A variedade de modelos de maturidade e de capacidade que surgiram nos últimos anos gerou, e continua gerando, oportunidades de estudos que procuram complementá-los ou analisá-los sob determinadas condições de aplicação.

Segundo Fromenteau (2006), o CMMI® mostrou ser indispensável para o setor espacial ao descrever um estudo de caso de implantação desse modelo, na representação por estágios, numa indústria aeroespacial europeia.

Segundo Tetlay e John (2009), a importância que a avaliação da maturidade de tecnologias vem ganhando nos últimos anos é confirmada com o surgimento de várias métricas como o *Technology Readiness Levels*, o *Manufacturing Readiness Levels* e a *System Readiness Levels*.

Jones *et al* (2012), estabelecem um framework que considera o uso do modelo TRL associado com custos de desenvolvimento, riscos e benefícios como forma de medir coerentemente os custos e benefícios tangíveis e intangíveis para passar de um nível TRL para outro,

Sob um ponto de vista estratégico, o investimento em desenvolvimento de tecnologias com níveis menores de maturidade pode ser necessário. Nesse sentido, o DoD reluta em seguir as recomendações do GAO, pela adoção de tecnologias maduras, com TRLs maiores, alegando que tais tecnologias correm um risco muito elevado de se tornarem obsoletas rapidamente, aumentando o risco de perda da supremacia militar (DUBOS; SALEH, 2010).

Sarfaraz *et al.* (2012) identificam que uma das deficiências do modelo TRL é a subjetividade na determinação do valor de maturidade, baseado na avaliação de especialistas no assunto, definidos como *Subject Matter Expert* (SME) e propõem diminuir essa subjetividade a partir de elementos presentes em modelos de arquitetura de sistemas.

Um aspecto identificado por Shapiro (2004) durante a infusão de uma tecnologia em programas espaciais, é a dificuldade de mover a tecnologia do nível TRL3 para o nível TRL6, pois muitos fundos de P&D são aplicados dos níveis TRL1 ao TRL3. Entretanto, a maioria dos projetos de aplicações está interessada apenas em tecnologias que estejam no nível mínimo TRL6 para justificar investimentos adicionais nessa tecnologia. Tal situação gera uma lacuna que corresponde aos níveis TRL4 e TRL5. Para diminuir essa lacuna e melhorar a infusão da tecnologia, o autor propõe ações relacionadas a obtenção de recursos a serem investidos em tecnologias nesses dois níveis.

Genady e Karwowski (2008) identificam a necessidade de uma metodologia para avaliar, melhorar e sustentar pequenos e médios fabricantes no que se refere à tecnologia e ciclo de vida do produto, baseada em elementos do MRL.

Embora consagrada na prática, não existem na literatura trabalhos que busquem identificar relacionamentos entre a avaliação dos níveis TRL com outras variáveis. Um dos primeiros trabalhos nessa direção foi proposto por Azizian et al. (2011) que identificou e estabeleceu empiricamente um *framework* com uma significativa correlação entre as atividades de engenharia contempladas no processo de TRA do DOD (DEPARTMENT OF DEFENSE, 2009), as características de qualidade prescritas do modelo da qualidade da norma ISO/IEC 9126-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003) e os indicadores de desempenho dos processos de aquisição do DOD.

O *Supply Chain Readiness Levels* (SCRL) foi proposto por Tucker e Paxton (2010) como forma de desenvolver e avaliar uma cadeia global de suprimentos robusta para o setor aeroespacial. Para isso, os autores fizeram a conjunção de elementos presentes nos modelos TRL, MRL e o processo de ciclo de vida de projetos da NASA, de modo a tornar tal avaliação mais abrangente.

O uso do TRL e MRL combinados, de modo a estabelecer uma correlação com atrasos de fornecedores de diferentes tecnologias em contratos firmados junto

ao INPE foi feito por Santos *et al.* (2013) e, ao contrário do esperado, o estudo mostrou que os baixos níveis TRL e MRL, puderam explicar o desempenho apenas de uma parte relativamente pequena de fornecedores. O estudo mostrou também que elevados TRL e MRL não se refletiram no desempenho dos fornecedores. Como uma das possíveis causas para os atrasos, é mencionada a perda de recursos humanos qualificados ao longo do contrato, por envelhecimento ou aposentadoria, levando à perda da capacidade da contratada na condução das atividades técnicas dos contratos.

Yon et al (2004) propuseram um modelo integrado considerando a ISO 9001:2000 e o CMMI®, pelo fato de ambos buscarem melhoria contínua.

Embora os modelos de maturidade/capacidade de processos busquem a melhoria, a interpretação e a efetividade de seus resultados podem ser conflitantes; quando são utilizados pelo cliente, para selecionar fornecedores, ou por uma organização, para melhorar seus processos. Essa situação foi identificada por Sheard e Roedler (1999), num trabalho precedente à própria criação do CMMI, e resumida na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Comparação de uso de modelos de capacidade/maturidade por empresas e por clientes selecionadores de fornecedores

Uso como ferramenta de melhoria interna de processos	Uso como ferramenta de seleção de fornecedores pelos clientes
Os modelos deveriam ser flexíveis e facilmente adaptados às necessidades das organizações, sendo seu processo de avaliação executado com o mínimo de custo.	Os modelos deveriam ser inflexíveis. Assim um “nível 3” tem o mesmo significado entre as organizações e as avaliações precisam ser intensas o suficiente para provar que tal nível foi atingido.
Recomendações de melhoria são a parte mais importante da avaliação.	A avaliação deve resultar num “rating” defensável, caso contrário a avaliação não é significativa. O “rating” é um indicador de objetivo alcançado.
Atividades de melhoria de processo são baseadas num entendimento de como os processos mudam e melhoram. Mudança é vista como contínua.	A seleção de fornecedores assume níveis, como indicadores estáticos de qualidade.
Atividades de melhoria consideram processos e projetos separadamente, encorajando a descoberta das melhores práticas em diferentes áreas e a promoção de tais práticas a práticas padronizadas, se aplicável.	A seleção de fornecedores considera um único nível para a organização como um todo para facilitar a comparação.

Fonte: Sheard e Roedler (1999)

Os autores também relatam que o nível de exigência imposto pelo DoD aos fornecedores acabou gerando *ratings* irreais de maturidade, pois diante da necessidade de atender um requisito contratual com o cliente, algumas organizações ficam inclinadas a “comprar” o *rating* imposto pelo cliente, tendendo a fazer uso de avaliadores menos rigorosos. Por outro lado, a preocupação do DoD em tornar os *ratings* reproduzíveis aumentou o número de avaliações feitas por auditores independentes, gerando protestos na comunidade de fornecedores diante dos altos custos envolvidos.

Seria esperado que tais esforços, na busca por níveis de maturidade baseados no CMMI, trouxessem vantagens tanto para a organização quanto para seus clientes. Entretanto, ao estudar uma série de problemas em *Prime Contractors* do DoD com a certificação CMMI®, Pyster (2005) identifica possíveis razões para a elevação dos custos previstos, atrasos e baixo desempenho técnico, em detrimento da sua maturidade obtida com modelo o CMMI®.

Em suas conclusões, um dos principais pontos abordados foi o caráter genérico do nível CMMI atingido que assume a premissa de que a maturidade foi atingida na organização como um todo, sendo que as maiores fontes de problemas ocorreram em divisões internas criadas precocemente em grandes organizações, que não refletiam a maturidade/capacidade certificada.

A flexibilidade da representação contínua do CMMI gera dúvidas nas organizações sobre a seleção e priorização mais adequada das áreas de processo para análise e avaliação (SOFTWARE ENGINEERING INSTITUTE, 2008). Buscando resolver atender essa necessidade, o CMMI *Institute* propôs uma relação de *roadmaps*, que embora não abordem todo o universo de situações, procuram ajudar as organizações nessa seleção.

Essa mesma dificuldade, apresentada pelas organizações, foi identificada por Huang e Han (2006) que destacam a dificuldade das organizações de selecionarem e priorizarem as áreas de processo usando a abordagem contínua do CMMI® e propuseram um método que depende do sistema a ser desenvolvido, objetivos de negócio, riscos e recursos disponíveis.

O uso tradicional desses modelos, notadamente aqueles relacionados a processos organizacionais, exige das pequenas e médias organizações de alta tecnologia esforços incompatíveis com seus recursos (HABRA; ALEXANDRE et al., 2007; WILKIE; MC FERRY et al., 2007), existindo o receio de que tal esforço produza resultados pouco animadores ou de difícil visualização, que desestimulem sua continuidade.

Identificando uma forma de mostrar a viabilidade do uso do CMMI® em pequenas organizações de tecnologia, Wilkie, Mc Ferry et al. (2007) criaram um método de avaliação para um conjunto pré-definido de áreas de processo do modelo CMMI-DEV®, usando a abordagem contínua e o SCAMPI® C, que pudesse oferecer uma boa relação custo-benefício, estimulando tais organizações a investir esforços em melhoria contínua de processos.

4 ABORDAGEM PROPOSTA

4.1. Princípios norteadores

Os princípios que embasaram a criação da abordagem foram relacionados de forma resumida a seguir:

- A abordagem foi elaborada visando aplicação no desenvolvimento de pequenos e médios fornecedores do setor espacial;
- Sua aplicação busca auxiliar na identificação de oportunidades de melhoria;
- Os critérios para identificação das oportunidades de melhoria baseiam-se na estrutura de modelos de maturidade e capacidade;
- Os modelos selecionados são consagrados no setor espacial, aeronáutico e de defesa;
- Os aspectos de tecnologia e organizacionais abordados nos modelos de maturidade/capacidade foram contextualizados a partir de modelos de desenvolvimento.
- A abrangência dos modelos de capacidade/maturidade contempla mais de uma perspectiva, permitindo que outras oportunidades sejam evidenciadas. Para isso, foram selecionados 3 modelos de maturidade/capacidade;
- Existem elementos redundantes nos modelos;
- A abordagem simplificou e adaptou os modelos para facilitar sua aplicação em pequenos e médios fornecedores;
- O relacionamento entre os modelos de capacidade/maturidade se modifica com o tempo;
- Para monitorar a efetividade dos investimentos em melhoria, é sugerido o uso de indicadores, com base em objetivos estabelecidos.

4.1.1. Perspectiva de desenvolvimento de fornecedores

Essa abordagem para a capacitação técnica de pequenos e médios fornecedores propõe aspectos mais amplos do que a mera entrega de um produto/sistema. Dessa forma o que se espera com o uso dessa abordagem é a incorporação de competências organizacionais que permitam a entrega do produto/sistema de forma sustentável.

Capacitar a indústria é destacado no PNAE (AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA, 2013), mas um dos elementos que tornam essa necessidade mais desafiadora é o perfil da cadeia brasileira de fornecedores de tecnologia espacial, em geral constituída de pequenos e médios fornecedores.

Para medir e avaliar o desempenho de fornecedores, de forma a torná-la uma atividade gerenciável, Gordon (2005) propõe o estabelecimento e implementação de um processo genérico de avaliação de fornecedores, constituído de 7 passos descritos a seguir:

1. Alinhar os objetivos de performance dos fornecedores com os objetivos da organização;
2. Definir uma abordagem de avaliação;
3. Desenvolver um método para coletar as informações dos fornecedores;
4. Desenhar e desenvolver um sistema robusto de avaliação;
5. Implementar um sistema de avaliação de desempenho dos fornecedores;
6. Informar os fornecedores sobre seu desempenho;
7. Produzir resultados da medição de desempenho dos fornecedores.

No contexto deste trabalho, o passo 1 corresponde aos objetivos das organizações responsáveis pela condução da política espacial e que possuem poder de compra para impor essa política.

O passo 2 corresponde à abordagem proposta neste trabalho, que utiliza os modelos selecionados de maturidade/capacidade TRL, CMMI-DEV® e MRL.

Os itens 3 a 7 correspondem à aplicação da abordagem, detalhada no capítulo 5. O monitoramento das melhorias prevê que os fornecedores sejam informados de seu desempenho à luz da abordagem, além de gerar informações de nível gerencial para que as organizações governamentais possam avaliar a efetividade da aplicação das suas políticas.

Como forma de auxiliar o uso prático da abordagem, pela identificação e monitoramento da implementação das oportunidades de melhoria foi sugerido a criação de um indicador geral de melhoria (IG) esperado que ao ser comparado com o indicador avaliado na prática, pode indicar gaps, que sugiram a existência de oportunidades de melhoria a serem detalhadas, priorizadas e implementadas pelos fornecedores com a ajuda dos órgãos governamentais. O indicador geral de melhoria procura representar as oportunidades de melhoria num nível menor de detalhamento, representando as oportunidades de tecnologia, desenvolvimento e manufatura de forma consolidada.

O indicador IG é calculado a partir de três sub-indicadores, associados com tecnologia (IT), desenvolvimento (ID) e manufatura (IM). Esses três indicadores possuem um nível maior de detalhamento, pois ao identificarem as oportunidades de melhoria da cadeia produtiva, procuram auxiliar na identificação das maiores deficiências em aspectos específicos e conseqüentemente, das maiores oportunidades de melhoria para que a cadeia de fornecedores possa entregar produtos de alta tecnologia de forma sustentável.

O acompanhamento temporal é vinculado com determinados marcos (*milestones*) de um projeto, cujo objetivo, além de entregar produtos, seja monitorar o desempenho de pequenos e médios fornecedores por meio da comparação entre o esperado para um determinado *milestone* e o que foi avaliado na prática.

No caso da identificação de gaps, deve-se estabelecer um plano de ação com as atividades de implementação de melhorias, segundo os *milestones* pré-

estabelecidos, e que deverão atender as prioridades estratégicas definidas pelos órgãos de fomento.

4.1.2. Seleção dos modelos

A seleção dos modelos usados na construção da abordagem foi motivada pelos seguintes aspectos:

Modelo TRL:

- Ganhou grande adesão da indústria espacial global, justificando inclusive esforços para criação da norma ISO-16290 para padronizar termos e definições;
- Embora consagrada, considera apenas a tecnologia, sem abordar de que forma a indústria tornará essa tecnologia madura do ponto de vista de processos de desenvolvimento e fabricação de produtos;
- É uma ferramenta de gestão.

Modelo CMMI-DEV®:

- Busca institucionalizar os processos de desenvolvimento dentro da organização, tornando-os gerenciáveis e estáveis, com redução de riscos e aumento de eficiência;
- Incorpora a filosofia da melhoria contínua;
- Embora tenha origens na indústria de *software*, o CMMI-DEV® se aplica a qualquer organização que desenvolva *software* ou *hardware* (PINHEIRO; TOLEDO, 2011);
- Suas práticas podem ser implementadas pela organização de forma flexível, sem que haja um compromisso contratual com o *CMMI Institute* pela sua adoção. Tal condição só ocorre no caso de organizações que busquem formalmente a certificação CMMI®;
- Seu nível de flexibilidade permite selecionar os processos que a organização considera mais críticos e prioritários, sob o ponto de vista de melhorias;

- Reúne suas áreas de processo em 4 grandes grupos, sendo que um deles, o de Engenharia, contempla as áreas de processo adentes às atividades centrais de engenharia de sistemas.

CMMI-DEV[®] foi abordado adotando-se a sua representação contínua, cuja flexibilidade possibilitou contemplar as áreas de processo pertencentes ao grupo de Engenharia. Este grupo não corresponde a nenhum dos grupos de áreas de processo usados na representação por estágios. Enquanto o grupo de áreas de processo de Engenharia corresponde a uma área de conhecimento, a representação por estágios define grupos específicos de áreas de processo a serem tratados em cada estágio de melhoria para obter um nível de maturidade CMMI[®] específico.

A partir do perfil de organizações para o qual se propõem aplicar esta abordagem, as seguintes considerações foram feitas para o modelo CMMI-DEV[®]:

- Sua abordagem focou nas áreas de processo e suas respectivas práticas específicas que constituem o grupo de Engenharia, pois:
 - Esse grupo contempla as atividades centrais de engenharia de sistemas;
 - Tipicamente, organizações menores, pelas características já apresentadas, dificilmente contemplam práticas de outras áreas de processo do CMMI-DEV[®], visto que isso ocorre em organizações maiores que incorporam características de integradoras de sistemas, mas que são minoria na cadeia espacial brasileira;
- Foram consideradas na avaliação apenas as metas e práticas específicas de cada área de processo, visto que as metas e práticas genéricas condizem um cenário de maior integração com outras áreas de processos;
- A avaliação das práticas das áreas de processo do CMMI-DEV[®] foi baseada no SCAMPI[®] C (CMMI, 2013), menos rigorosa e abrangente, mas também a mais acessível aos objetivos deste trabalho.

Modelo MRL:

- Busca viabilizar a transição da tecnologia dos laboratórios de pesquisa para um ambiente industrial;
- Tem um foco voltado para elementos relacionados com atividades de fabricação e manufatura;
- Sua criação foi patrocinada pelo DoD, um comprador de serviços e tecnologia com orçamento de 1,6 trilhão de dólares em 2009 (AZIZIAN, MAZZUCHI et al., 2011), com programas de aquisição que se estendem por vários anos, envolvendo uma cadeia de fornecedores cuja capacidade precisa ser avaliada tanto do ponto de vista qualitativo quanto quantitativo;
- É uma ferramenta de gestão que estimula a adoção das boas práticas da indústria, incluindo também a indústria espacial, importante fornecedora tanto do DoD, quanto da NASA.

É importante observar que nenhum dos modelos considerados define um tamanho mínimo da organização para que sejam aplicados;

4.1.3. Relacionamento entre modelos de desenvolvimento e de maturidade/capacidade

Para contextualizar os modelos de capacidade/maturidade dentro da abordagem foram utilizados os modelos de desenvolvimento. Esse contexto é mostrado na Figura 4.1.

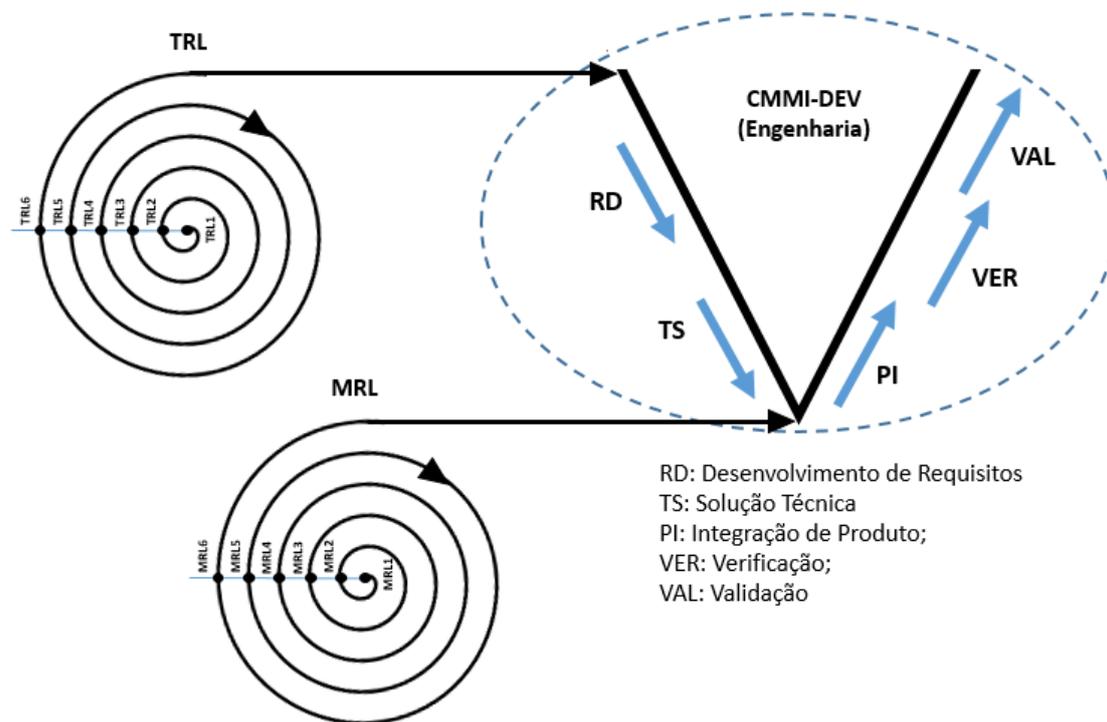


Figura 4.1 – Contexto de modelos de desenvolvimento e os modelos de maturidade/maturidade selecionados

Fonte: Elaborada pelo Autor

O modelo de desenvolvimento utilizado para representar inicialmente a evolução da tecnologia foi o espiral, pois nos primeiros estágios o conhecimento ainda está sendo criado, num cenário com muitas incertezas.

No nível TRL6 a tecnologia já adquiriu robustez suficiente para torná-la elegível à aquisição e inclusão nas alternativas de solução (NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION, 2007; EUROPEAN SPACE AGENCY, 2008; DEPARTMENT OF DEFENSE, 2009). Nestas condições a tecnologia é inserida no modelo de desenvolvimento “V” da engenharia de sistemas, juntamente com a necessidade de atender requisitos mais específicos e críticos para o desempenho do produto ou do sistema/subsistema.

Neste modelo de desenvolvimento, diversos requisitos específicos de um produto, subsistema ou sistema, devem ser atendidos, incluindo aqueles que envolvem a sua utilização dentro do ciclo de vida operacional até seu descarte.

Paralelamente ao desenvolvimento da tecnologia, ocorre o desenvolvimento dos elementos que habilitam a tecnologia do ponto de vista de manufatura.

O modelo adotado para as atividades iniciais de desenvolvimento dos conceitos de manufatura foi o modelo espiral, pois da mesma forma que a tecnologia, os conceitos de fabricação ainda estão sendo desenvolvidos e ciclos da avaliação são necessários. Como critério de saída do modelo espiral para o modelo “V”, a manufatura deve estar no nível de maturidade MRL6 (DEPARTMENT OF DEFENSE, 2009).

Os processos centrais dos modelos de desenvolvimento “V” estão representados na Figura 4.2 pelo CMMI-DEV®, por 5 áreas de processo do grupo de Engenharia e seus acrônimos em inglês. Esse modelo permite evidenciar a maturidade do desenvolvimento do sistema, mas não evidencia a maturidade dos processos envolvidos, que são fatores críticos de sucesso (SOFTWARE ENGINEERING INSTITUTE, 2010) para a qualidade final do sistema, caso apresentem um nível de capacidade e maturidade incompatível com os resultados esperados.

4.1.4. Comportamento temporal da abordagem

A seta horizontal, representada na Figura 4.3 mostra o processo temporal de amadurecimento de uma tecnologia. No início é descoberto um princípio físico observado em laboratório, representado na 1ª seta vertical da esquerda para direita, culminando na sua aplicação em um produto ou sistema real, representado pela 3ª seta vertical da esquerda para direita. Essa evolução ao longo do tempo passa por diversos estágios até que uma tecnologia esteja suficientemente madura para atender aos requisitos de uma aplicação em um ambiente operacional.

Durante esse processo de amadurecimento, a tecnologia passa por uma importante transição, ao sair de um contexto de pesquisa para um o contexto de desenvolvimento, visando atender requisitos específicos de uma aplicação.

A Figura 4.2 mostra, de forma genérica esta transição, representada pela 2ª seta vertical da esquerda para direita,

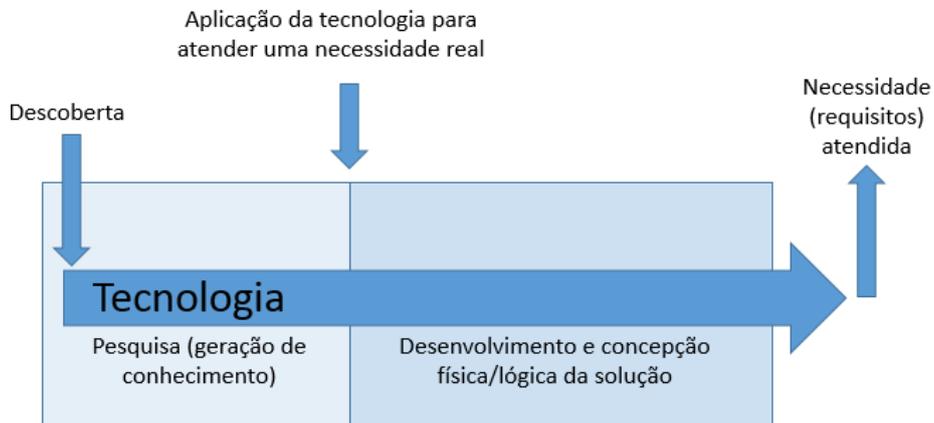


Figura 4.2 – Processo de amadurecimento da tecnologia

Fonte: Elaborada pelo Autor

Nessa transição também é possível identificar a existência de organizações que desempenham papéis específicos nesse processo de amadurecimento da tecnologia. Essas organizações estão representadas na Figura 4.3, tendo em suas fases iniciais a presença dominante de centros de pesquisa, como apontado anteriormente na Tabela 2.1. À medida que o amadurecimento ocorre, novas organizações de desenvolvimento e de manufatura são envolvidas com o objetivo de tornar essa tecnologia aplicável.



Figura 4.3 - Organizações envolvidas no amadurecimento da tecnologia

Fonte: Elaborada pelo Autor

Uma das lições aprendidas ao longo dos anos mostrou a importância de gerenciar o amadurecimento da tecnologia em programas espaciais, levando à criação da escala TRL pela NASA. A sua característica unidimensional, focada exclusivamente em demonstrações de funcionamento (DIETRICH; CUDNEY, 2011) que ocorrem ao longo do tempo é representada na Figura 4.4. Mesmo sendo útil, sua avaliação em apenas uma dimensão não considera, entre outros aspectos, o amadurecimento necessário das competências técnicas organizacionais dos envolvidos na transição.

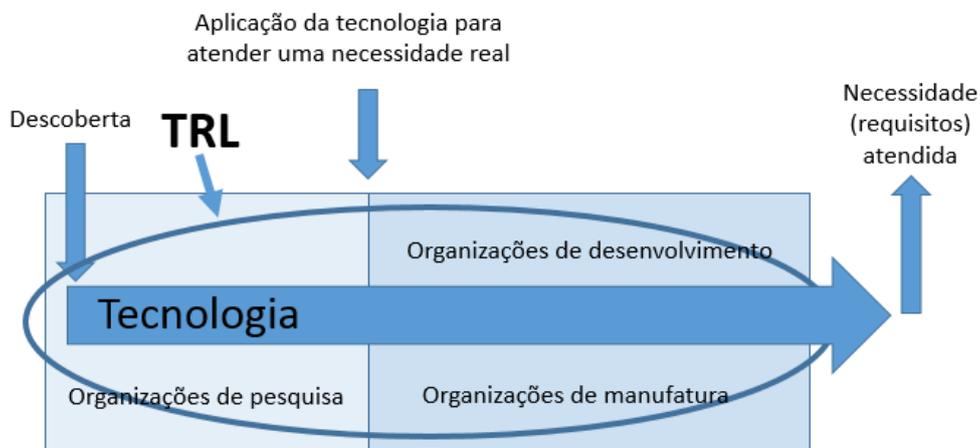


Figura 4.4 - Modelo TRL no processo de amadurecimento da tecnologia

Fonte: Elaborada pelo Autor

Dessa forma, competências em estágios muito embrionários poderão comprometer a capacidade das organizações envolvidas de entregar efetivamente uma solução, sem recorrer, não raramente, a meios como importar conhecimento, componentes a preços proibitivos para suprir essas deficiências, somando-se a isso as restrições do ITAR (DIRECTORATE OF DEFENSE TRADE CONTROLS, 2014), que impede o acesso a tecnologias sensíveis.

Portanto, existe por trás dessa transição um importante aspecto não identificado na avaliação isolada do TRL e um dos fatores críticos de sucesso do programa espacial: a necessidade de capacitação de organizações de desenvolvimento e de manufatura. As Figuras 4.5 e 4.6 associam os modelos

de capacidade/maturidade CMMI-DEV® e MRL com as instituições de desenvolvimento e manufatura, respectivamente.

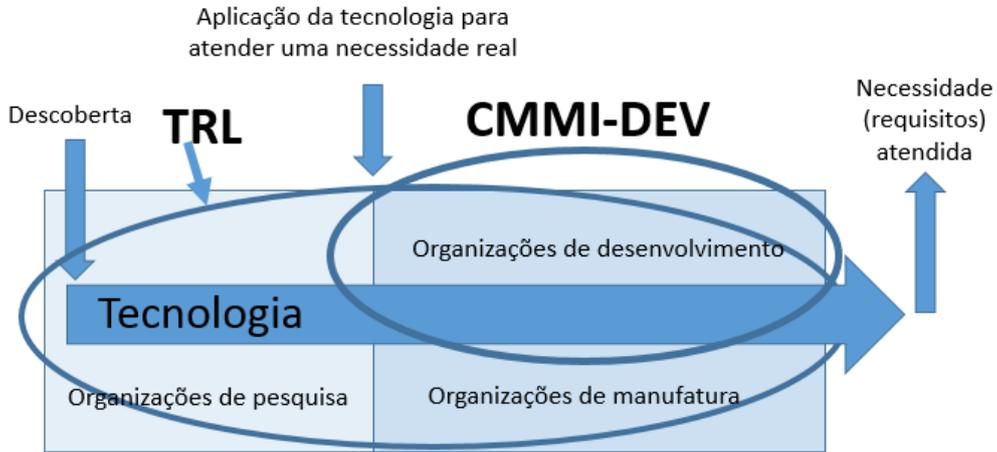


Figura 4.5 - Modelo CMMI-DEV® associado com as instituições de desenvolvimento

Fonte: Elaborada pelo Autor

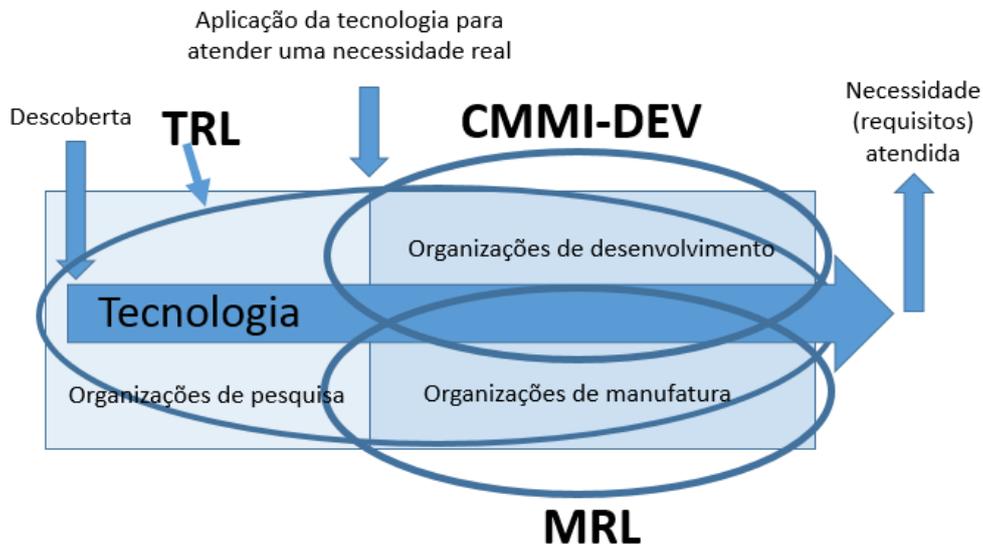


Figura 4.6 - Abordagem proposta usando os modelos TRL, CMMI e MRL

Fonte: Elaborada pelo Autor

A Transição ocorre no nível TRL4. Nos níveis TRL anteriores não será considerado o relacionamento do TRL com o MRL e o CMMI, visto que o CMMI relaciona-se com desenvolvimento e os níveis inferiores ao MRL4 são

considerados pouco factíveis (BEST MANUFACTURING PRACTICES CENTER OF EXCELLENCE, 2014).

4.1.5. Relacionamento entre os modelos selecionados

Durante a abordagem proposta, os modelos CMMI-DEV® e MRL foram sobrepostos, conforme a Figura 4.7, verificando-se a existência de elementos redundantes que devem ser considerados.

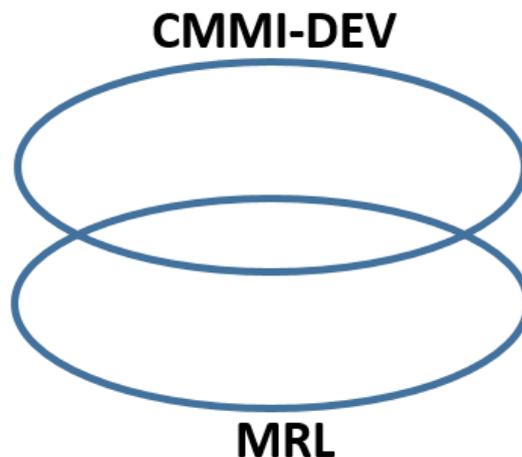


Figura 4.7 - Sobreposição de abordagens do CMMI-DEV® e MRL

Fonte: Elaborada pelo Autor

O objetivo de sobrepor os modelos CMMI-DEV e MRL é reunir mais elementos para uma avaliação mais ampla da cadeia de fornecedores de tecnologia espacial, no contexto brasileiro, eliminando suas redundâncias. Nesse contexto, é possível obter níveis altos de maturidade tecnológica, mas no momento de avaliar a capacidade/maturidade dos fornecedores, é possível que estes não estejam preparados para absorver essa tecnologia e explorá-la de forma sustentável.

Ao considerar as atividades realizadas no modelo típico de desenvolvimento V (SAUSER; GOVE et al., 2010) da Figura 4.8, vemos que os processos centrais de engenharia de sistemas são representados nas duas laterais do modelo. Em

sua parte inferior estão representadas as atividades de fabricação, iniciadas a partir de especificações detalhadas geradas pelo modelo V.

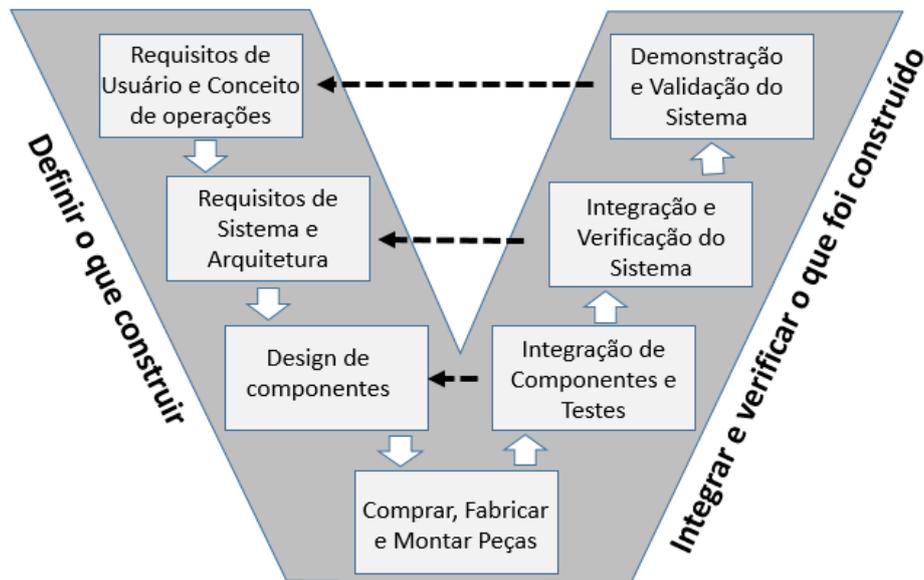


Figura 4.8 - Modelo de desenvolvimento V típico de Engenharia de Sistemas

Fonte: Sauser, Grove et al. (2010)

O modelo V acrescido das áreas de processo de Engenharia do CMMI-DEV® e atividades de fabricação é mostrado na Figura 4.9.

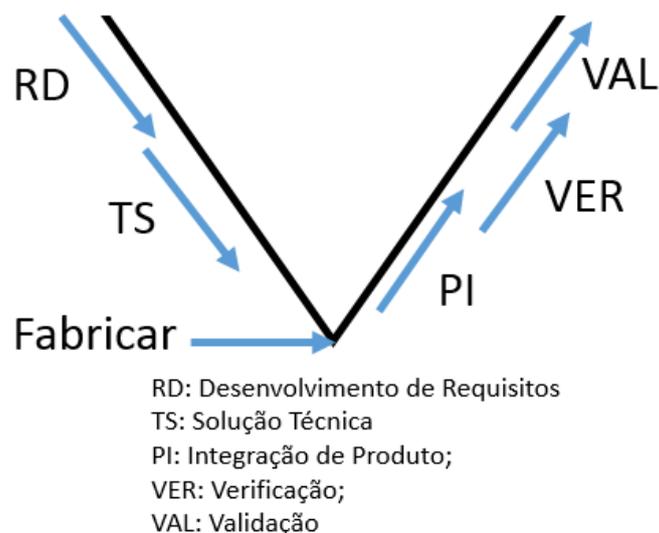


Figura 4.9 – Áreas de processo de Engenharia do CMMI-DEV® (Engenharia) e atividades de fabricação no modelo "V"

Fonte: Elaborada pelo Autor

Sobrepondo as Figuras 4.7 e 4.9, identifica-se o ponto no qual existe a redundância de abordagens entre o CMMI-DEV® e o MRL. Essa redundância é mostrada na Figura 4.10.

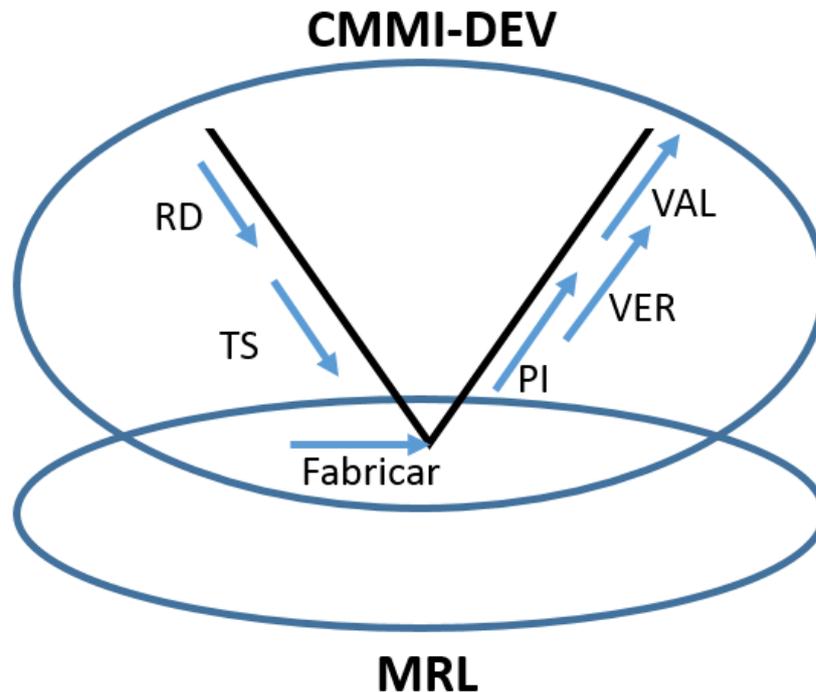


Figura 4.10- Sobreposição dos modelos CMMI-DEV® e MRL

Fonte: Elaborada pelo Autor

Foi identificado que a redundância ocorre ao compararmos as preocupações do tópico “Design” do MRL com as práticas específicas da área de processo “Solução técnica” (TS) do CMMI-DEV®, mostrada na Figura 4.11. Identificamos que tais práticas têm uma abrangência que considera praticamente todas as preocupações do tópico “Design” do MRL.

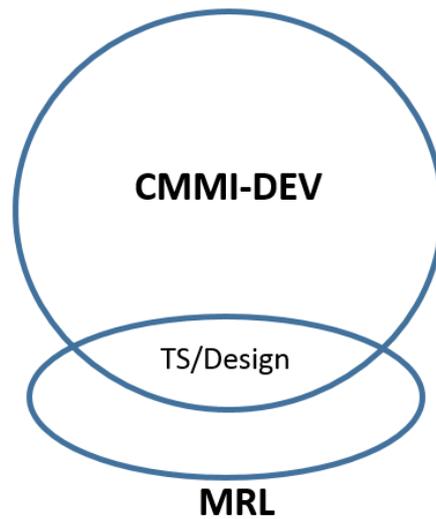


Figura 4.11 – Tópico "Design" do MRL e Área de processo "Solução Técnica" (TS) do CMMI-DEV®

Fonte: Elaborada pelo Autor

Na abordagem proposta, foram mantidas as questões relacionadas com a área de processo "Solução técnica" (TS), pois está relacionada com a melhoria de processos organizacionais, enquanto o Tópico "Design" do MRL, é um *check list* daquilo que é esperado da atividade de Design.

A Tabela 4.1 mostra, comparativamente, as questões de nível hierárquico mais alto do tópico de *Design* da ferramenta *MRL Assist*, com as práticas específicas da Solução Técnica.

Tabela 4.1 – Comparação MRL (Design) com CMMI-DEV®-TS

Preocupações de "Design" do MRL	Práticas CMMI-DEV-TS associadas
As alternativas de design serão desenvolvidas considerando desenho para fabricação ?	1.1-Desenvolver soluções alternativas e critérios de seleção
O produto e processo refletirão a performance desejada para este esforço ?	1.1-Desenvolver soluções alternativas e critérios de seleção
O plano de engenharia de sistemas inclui provisões para validar a evolução do <i>design</i> com fabricação ?	1.1-Desenvolver soluções alternativas e critérios de seleção
O produto e processo ainda refletem a performance desejada para esta fase ?	1.1-Desenvolver soluções alternativas e critérios de seleção
O <i>baseline</i> de performance foi estabelecido e validado ?	1.2-Selecionar soluções de componente de produto
Critérios técnicos de aceitação foram estabelecidos ?	1.2-Selecionar soluções de componente de produto
O plano de design de ferramentas está no prazo ?	Não está explícito em nenhuma prática da TS
As alternativas de design foram desenvolvidas considerando desenho para fabricação ?	2.1-Projetar o produto ou componente de produto 2.4-Executar análise de fazer, comprar ou reutilizar
O produto e processo ainda refletem a <i>performance</i> desejada ?	2.1-Projetar o produto ou componente de produto
O design do sistema está suficientemente estável para prova de linha piloto ?	2.2-Estabelecer pacote de dados técnicos 2.3-Projetar interfaces usando critérios 3.1-Implementar o design 3.2-Desenvolver documentação de suporte do produto
O design está estável suficiente para uma produção em baixa escala ?	2.2-Estabelecer pacote de dados técnicos 2.3-Projetar interfaces usando critérios 3.1-Implementar o design 3.2-Desenvolver documentação de suporte do produto
O design está suficientemente estável para uma produção em grande escala ?	2.2-Estabelecer pacote de dados técnicos 2.3-Projetar interfaces usando critérios 3.1-Implementar o design 3.2-Desenvolver documentação de suporte do produto
Revisões Incrementais de Maturidade de produção foram feitas nas instalações do <i>prime contractor</i> e subcontradados ?	3.1-Implementar o design 3.2-Desenvolver documentação de suporte do produto

Fonte: Elaborada pelo Autor

O tópico “Tecnologia e Base industrial” do MRL contempla as preocupações relacionadas com a capacidade da indústria nacional (no caso original, a indústria norte americana) de dar suporte ao *design*, desenvolvimento, produção, operação, manutenção ininterrupta do sistema e descarte. Como essas preocupações consistem o principal objetivo deste trabalho, tratá-las dentro da abordagem também seria redundante.

A abordagem busca encontrar nos modelos de maturidade/capacidade oportunidades de melhoria, num contexto que considera as organizações no desenvolvimento e manufatura de tecnologias. Para contextualizar o

desenvolvimento de tecnologia, utilizou-se o modelo TRL, de modo que este tornou-se o pano de fundo da abordagem, ao passo que os outros dois modelos focam nas organizações.

4.1.6. Abrangência do uso dos modelos

O desenvolvimento de fornecedores pode ocorrer não apenas para projetos que tenham como objetivo atingir níveis máximos de maturidade/capacidade, mas também pode considerar estágios intermediários, de acordo com os objetivos iniciais de desenvolvimento estabelecidos para os fornecedores que devam ser atingidos no fim de um projeto.

Projetos que tenham por objetivo atingir níveis menores podem ser contemplados com a abordagem proposta, diferenciando-se nos valores de referência de maturidade/capacidade para identificar oportunidades de melhoria.

Trentim (2012) classificou tipos de projeto nos quais se enquadram os TRLs. Essa classificação está representada na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 - TRLs e tipos de projeto associados

TRL	Tipo de projeto	Mercado
1	Projetos de prospecção	Pré-competitivo
2		
3		
4	Projetos de desenvolvimento tecnológico	
5		
6	Aplicação em programa de desenvolvimento	Competitivo
7		
8		
9		

Fonte: Trentim (2012)

Dessa forma, se o objetivo do projeto é desenvolver uma tecnologia que atenda a requisitos funcionais críticos, em ambiente relevante, mas que ainda não

atende a requisitos específicos de um sistema em ambiente operacional relevante, o projeto estabeleceria como objetivo atingir, no máximo o nível, TRL5. A partir desse objetivo principal, objetivos mais específicos podem auxiliar na definição do nível de desenvolvimento esperado de competências da cadeia de fornecedores, se aplicável.

Na medida em que tais competências tornam-se parte integrante de um fornecedor, surge um potencial maior para criação de valor em novas oportunidades de negócio que contribuam para seu crescimento sustentável, e redução de sua dependência de contratos exclusivamente governamentais.

O nível máximo do MRL, o MRL10, é definido pela fabricação do produto em grande escala, adoção de práticas mais avançadas de melhoria contínua, com vistas à otimização de um processo já estável que atenda a uma necessidade do DoD. É possível discutir se esse nível é uma questão crítica no setor espacial, e conseqüentemente alvo prioritário de melhoria. Produção em baixa escala, associada com a qualidade, confiabilidade e desempenho do sistema/subsistema como forma de reduzir os riscos de uma missão é mais factível no setor espacial. Dessa forma, neste trabalho não foram consideradas aplicáveis as questões associadas ao nível MRL10.

Para efeito de análise e uso das informações coletadas na aplicação da abordagem, foi estabelecida uma comparação hierárquica da estrutura dos elementos presentes nos modelos CMMI-DEV® e MRL, adotando-se a seguinte convenção:

- A avaliação geral dos tópicos previsto do modelo MRL estaria em um nível equivalente a uma área de processo do CMMI-DEV®;
- Os tópicos do MRL estão no mesmo nível hierárquico das metas específicas de uma área de processo do CMMI-DEV®;
- As questões de nível executivo do MRL estão no mesmo nível hierárquico das práticas específicas de uma área de processo do CMMI-DEV®.

5 APLICAÇÃO DA ABORDAGEM PROPOSTA E RESULTADOS

5.1. O projeto SIA

O projeto SIA (Sistemas Inerciais para aplicação Aeroespacial) é um projeto que reúne o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE), o Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA), o Instituto de Estudos Avançados (IEAv) e um consórcio de empresas nacionais de capital privado. Um de seus principais objetivos é consolidar a tecnologia de sistemas de navegação inercial no país, uma competência muito almejada no setor aeroespacial brasileiro. No fim do projeto, as competências tecnológicas serão aplicadas pelo consórcio de empresas que compõem o projeto SIA.

A tecnologia de sistemas inerciais tem uma aplicação relativamente ampla, dependendo de seu grau de precisão. Requisitos de elevada estabilidade e precisão são oriundos de sistemas altamente complexos e que exigem grande confiabilidade.

Os sistemas inerciais englobam diferentes tecnologias, dentre as quais estão no escopo do projeto SIA (SILVEIRA, 2009):

- Sensor de estrelas;
- Girômetros a fibra óptica;
- Magnetômetros.

Os sistemas de navegação inercial de alta precisão têm aplicações tais como:

- Guiagem de veículos de sondagem e lançadores de satélites;
- Controle de Atitude e Órbita de Satélites;
- Navegação submarina.

Dentre as tecnologias de navegação inercial, destaca-se a de girômetros fotônicos, conhecidos também como girômetros à fibra óptica (*FOG-Fiber Optic*

Gyrometer). Sua viabilidade foi mostrada em 1976, pela demonstração do “efeito Sagnac”. Mostrando ser potencialmente mais precisa, barata e simples de ser fabricada que os girômetros a laser. O girômetro à fibra óptica também é conhecido como girômetro de fibra óptica interferométrico (*IFOG-Interferometric Fiber Optic Gyrometer*) (BARBOUR, 2011).

Em nível mundial, a tecnologia FOG/IFOG é considerada madura, comparável em desempenho e tamanho com outras tecnologias já estabelecidas, como o girômetro a laser (*RLG-Ring Laser Gyroscope*). Diversos fabricantes internacionais dominam ambas as tecnologias e apresentam uma grande variedade de produtos para todas as aplicações já mencionadas.

5.2. A organização estudada

A organização foi constituída em 2003 por dois sócios altamente qualificados e com grande experiência em atividades de pesquisa dentro de instituições governamentais do setor de engenharia aeroespacial, notadamente nas áreas de fotônica e eletrônica.

Sediada em São José dos Campos, ocupa uma instalação modesta e adaptada para suprir suas necessidades específicas de laboratórios de desenvolvimento, montagem, integração e testes ópticos e eletrônicos. Faz parte desta instalação uma pequena infraestrutura de apoio para projeto, fabricação e montagem de dispositivos mecânicos.

A empresa estudada tem como metas dentro do projeto SIA:

- Desenvolver, construir, integrar e qualificar girômetros a fibra óptica para aplicação em satélites, veículos lançadores e de sondagem (modelos de engenharia e qualificação);
- Desenvolver, construir, integrar e qualificar blocos girométricos completos de três e quatro eixos, constituindo uma plataforma inercial completa (modelo de engenharia e qualificação) em conjunto com outras empresas do consórcio;

A organização desenvolve e fabrica os elementos mais críticos de seus subsistemas, subcontratando outros fornecedores para complementar sua competência na fabricação de componentes menos críticos, tais como fabricação de placas de circuito impresso.

A empresa importa praticamente todos os componentes ópticos e eletrônicos, visto que não existem fornecedores locais que atendam o nível de qualidade exigido para aplicações aeroespaciais.

5.3. Metodologia de aplicação da abordagem

Para aplicação da abordagem, foram definidas as seguintes:

- Definição de critérios de coleta de dados;
- Planejamento de coleta de dados;
- Execução da coleta de dados;
- Análise dos resultados;
- Priorização das ações de melhoria identificadas;
- Definir indicadores de acompanhamento da implementação de melhorias;

5.3.1. Definição de coleta de dados

Modelo TRL

Para a determinação do estágio atual da tecnologia FOG/IFOG no Brasil, foi realizada uma consulta a especialistas, utilizando a planilha *TRL Calculator versão 2.2*. Embora exista uma versão mais atual desta planilha, este trabalho adotou a versão 2.2 como forma de manter a consistência com o levantamento anterior. As questões utilizadas do *TRL Calculator versão 2.2* estão no Apêndice A.

Modelo CMMI-DEV®

Foram preparadas 5 planilhas, uma para cada área de processo e que são mostradas no Apêndice B.

As informações geradas nas planilhas possuem três níveis:

- Nível 1: Avaliação da área de processo;
- Nível 2: Avaliação das metas específicas;
- Nível 3: Avaliação das práticas específicas;

A caracterização da implementação das práticas específicas, no nível 3, seguiu um padrão sugerido pelo SCAMPI® C, cujas respostas das questões relacionadas a cada prática específica tem as seguintes opções:

- N/A – Não se aplica;
- 0 - Não implementada (0%);
- 1 - Parcialmente implementada (33%);
- 2 - Largamente implementada (67%);
- 3 - Totalmente implementada (100%);

Na coluna “R” (resposta) são registrados os valores respondidos (0, 1, 2 ou 3), cujo respectivo valor percentual é mostrado na coluna imediatamente à esquerda da coluna “R”.

A partir dessa caracterização, a avaliação nos três níveis da planilha foi calculada da seguinte forma:

- Nível 3: Média aritmética dos valores percentuais das respostas;
- Nível 2: Média aritmética dos valores obtidos no nível 3;
- Nível 1: Média aritmética dos valores obtidos no nível 2;

Modelo MRL

As questões da planilha para coleta das informações relacionadas ao MRL foram estruturadas com base na ferramenta *MRL Assist*, desenvolvida pelo JDMP, e se encontram no Apêndice C.

Essa ferramenta registra o percentual atingido para cada uma das questões, fazendo essa abordagem a partir do nível MRL4, considerado o menor nível factível de avaliação de manufatura, já que os níveis MRL1 a MRL3 ainda estão dentro do contexto de pesquisa.

No *MRL Assist*, (BEST MANUFACTURING PRACTICES CENTER OF EXCELLENCE, 2014), as questões têm a seguinte hierarquia:

- Questões de nível executivo (prefixo “EXEC”):
- Questões de nível gerencial (prefixo “MGMT”):
- Questões de nível operacional (prefixo “WORK”):

As questões utilizadas neste trabalho foram baseadas no nível hierárquico mais elevado (nível “EXEC” do *MRL Assist*), sendo caracterizadas em termos percentuais, semelhantes aos adotados nas questões associadas com as práticas específicas das áreas de processo de desenvolvimento. As opções de resposta foram definidas de seguinte forma:

- N/A – Não se aplica;
- 0 - A questão se aplica, mas ainda não foi considerada (0%);
- 1 - Apenas alguns aspectos foram considerados (33%);
- 2 - Muitos aspectos foram considerados, mas existem pendências importantes (67%);
- 3 - A questão foi considerada, com poucas pendências de baixo impacto (100%);

Na coluna “R” (resposta) são indicados os valores obtidos em cada questão, cujo respectivo valor percentual é mostrado na coluna do nível 3

A planilha elaborada contém três níveis de informação:

- Nível 1: Avaliação geral dos tópicos MRL considerados;
- Nível 2: Avaliação dos tópicos;
- Nível 3: Percentual associado às questões

A partir da caracterização das respostas, os três níveis da planilha foram calculados da seguinte forma:

- Nível 3: Obtido diretamente da resposta percentual associada;
- Nível 2: Média aritmética dos valores obtidos no nível 3;
- Nível 1: Média aritmética dos valores obtidos no nível 2;

A abordagem de manufatura neste trabalho não busca identificar um nível de maturidade MRL específico, mas sim oportunidades de melhoria usando a estrutura desse modelo. Além disso, por desconsiderar dois tópicos do modelo original, a determinação de um MRL específico seria inconsistente.

A planilha possui uma avaliação em 3 níveis, sendo que:

- O nível 3 corresponde aos resultados percentuais obtidos com as respostas das entrevistas;
- O nível 2 é a média dos valores percentuais obtidos no nível 3;
- O nível 1 é a média dos valores percentuais obtidos no nível 2;

5.3.2. Planejamento da coleta de dados

Após a elaboração das planilhas, a atividade de coleta de dados foi planejada da seguinte forma:

- Identificação do responsável (entrevistado) pelo preenchimento e validação das respostas em nome da organização;
- Agendamento de uma sequência de entrevistas presenciais, de 1 a 2h de duração, previamente acordadas com o responsável, em local conveniente para o entrevistado.

5.3.3. Execução da coleta de dados

Foi realizada uma apresentação preliminar sobre os objetivos do trabalho e da forma de preenchimento das planilhas TRL, CMMI e MRL.

A coleta inicialmente foi prevista como sendo presencial, com interação entre o autor e o representante da organização designado. Devido a pouca disponibilidade do representante, foi preciso adotar uma forma alternativa de coleta de dados que resultou no envio da planilha eletrônica para preenchimento pelo responsável, sem a interação presencial.

5.4. Resultados da aplicação

5.4.1. Abordagem de tecnologia

Segundo relatório da NATO (BARBOUR, 2011), a tecnologia de girômetros à fibra óptica é considerada madura (TRL 9), sendo utilizada tanto em produtos de aplicação específica, quanto para mercados consumidores de massa. No Brasil, entretanto, essa tecnologia apresenta um nível inferior de maturidade, mostrado por Almeida (2008) que determinou o nível TRL dessa tecnologia, por meio do *TRL Calculator* (NOLTE; KENNEDY; DZIEGEL, 2003) em duas aplicações diferentes, conforme a Tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Projetos, tipos de aplicação e TRLs para girômetros fotônicos em 2008

Girômetros Fotônicos		
Projeto	Tipo de Aplicação	Nível TRL
GIROMAR	TÁTICA	6
SAI	ESTRATÉGICA	7

Fonte: Almeida (2008)

Na Tabela 5.1 também consta o desenvolvimento de girômetros à fibra óptica (girômetros fotônicos) em outro projeto, o GIROMAR, que objetiva a aplicação dessa tecnologia em mísseis do tipo MAR-1.

Durante a nova avaliação do nível de maturidade TRL para a tecnologia de girômetros, por meio do *TRL calculator*, no projeto SIA, não foi possível refazer todos os cálculos, por insuficiência de dados, de modo que o autor optou por manter a tecnologia no nível TRL 7.

Apesar da aparente estabilização do nível TRL, pelo menos no período entre as duas avaliações, existe a possibilidade de retrocesso no nível de

maturidade, caso variáveis importantes não sejam mantidas, como manutenção de investimentos em recursos humanos para pesquisa e desenvolvimento, atualização de instalações e equipamentos de testes, entre outras. A maturidade atingida exige a manutenção de todos os fatores que contribuíram para isso. Não se pode descartar em avaliações futuras completas, a redução do nível TRL obtido anteriormente.

5.4.2. Abordagem de desenvolvimento

5.4.2.1. Área de processo: Desenvolvimento de Requisitos (RD);

De forma geral, o processo da organização de levantamento de necessidades é *ad-hoc*, executado com base na experiência e nos contatos disponíveis obtidos informalmente com alguns *stakeholders*, sem que existam evidências de um processo formal executado com o objetivo de identificar outros *stakeholders* relevantes. Os resultados obtidos estão na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Avaliação da área de processos de Desenvolvimento de Requisitos

	Nível 1	Nível 2	Nível 3	R
RD - Desenvolvimento de requisitos	0,36			
RD01-Desenvolver requisitos de stakeholders		0,25		
RD0101-Elicitar necessidades			0,00	
RD010101-Utiliza métodos de elicitação de necessidades, expectativas, restrições e interfaces externas para envolver stakeholders relevantes ?			0	0
RD0102-Desenvolver os requisitos de stakeholder			0,50	
RD010201-Traduz as necessidades, expectativas, restrições e interfaces em um documento de requisitos do stakeholder ?			0,33	1
RD010202-Define restrições para verificação e validação ?			0,67	2
RD02-Desenvolver requisitos de produto		0,56		
RD0201-Estabelecer requisitos de produto e componentes de produto			0,67	
RD020101-Desenvolve requisitos em termos técnicos necessários para o produto e design de componente de produto ?			0,67	2
RD020102-Deriva requisitos que resultam de decisões de design ?			0,67	2
RD020103-Estabelece e mantém relacionamentos entre requisitos para serem considerados durante a gestão das modificações e alocação de requisitos ?			0,67	2
RD0202-Alocar requisitos de componente de produto			0,50	
RD020201-Aloca requisitos a funções ?			0,67	2
RD020202-Aloca requisitos a componentes de produto ?			0,67	2
RD020203-Aloca restrições de design a componentes de produto ?			0,33	1
RD020204-Documenta relacionamentos entre requisitos alocados ?			0,33	1
RD0203-Identificar requisitos de interface			0,50	
RD020301-Identifica interfaces tanto externas ao produto, quanto internas ?			0,33	1
RD020302-Desenvolve os requisitos para as interfaces identificadas ?			0,67	2
RD03-Analisar e validar requisitos		0,28		
RD0301-Estabelecer conceitos operacionais e cenários			0,17	
RD030101-Desenvolve conceitos operacionais e cenários que incluem funcionalidade, performance, manutenção, suporte e descarte apropriado ?			0	0
RD030102-Define o ambiente no qual o produto ou o componente de produto irá operar, incluindo condições de contorno e restrições ?			0,33	1
RD030103-Revisa conceitos operacionais e cenários para refinar e descobrir novos requisitos ?			0,33	1
RD030104-Desenvolve um conceito operacional detalhado, com o produto e componentes de produto selecionados, que define a interação do produto, o usuário final e o ambiente e que satisfaz as necessidades de operação, manutenção, suporte e descarte ?			0	0
RD0302-Estabelecer uma definição da funcionalidade requerida			0,28	
Analisa e quantifica a funcionalidade requerida pelo usuário final ?			0,33	1
Analisa requisitos para identificar partições lógicas e funcionais, como por exemplo, subfunções ?			0,33	1
Particiona requisitos em grupos, baseados em critérios estabelecidos como por exemplo: funcionalidade similar, desempenho ou acoplamento, para facilitar e focar a análise dos requisitos ?			0	0
Considerar o sequenciamento de funções de tempo-crítico tanto inicialmente quanto posteriormente durante o desenvolvimento de componentes de produto ?			0,33	1
Aloca requisitos de stakeholder para partições funcionais, objetos, pessoas ou elementos de suporte para suportar a síntese das soluções ?			0	0
Alocar requisitos funcionais e de performance para funções e subfunções ?			0,67	2
RD0303-Analisar requisitos			0,39	
Analisa necessidades, expectativas, restrições e interfaces para remover conflitos e organizá-los em seus assuntos relativos ?			0,33	1
Analisa requisitos para determinar se eles satisfazem aos objetivos de requisitos de níveis superiores ?			0,67	2
Analisa requisitos para assegurar que eles sejam completos, factíveis, realizáveis e verificáveis ?			0	0
Identifica requisitos chave que tem forte influência nos custos, prazos, funcionalidade, riscos ou desempenho ?			0,33	1
Identifica medidas técnicas de desempenho que serão perseguidas durante o esforço de desenvolvimento ?			0,67	2
Analisa os conceitos operacionais e cenários para refinar as necessidades dos stakeholders, restrições e interfaces para descobrir novos requisitos ?			0,33	1
RD0304-Analisar requisitos para atingir o balaceamento			0,33	
usar modelos provados, simulações e prototipagem para analisar o balanço das necessidades dos stakeholders e restrições ?			0,67	2
Executar uma avaliação de risco sobre os requisitos e arquitetura funcional ?			0,33	1
Examinar os conceitos de ciclo de vida do produto para impactos dos requisitos nos riscos ?			0	0
RD0305-Validar requisitos			0,22	
Analisa os requisitos para determinar o risco que o produto não execute suas funções adequadamente no ambiente de uso ?			0,33	1
Explora a adequação e abrangência das necessidades, desenvolvendo representações de produtos por exemplo, protótipos, simulações, modelos, cenários e storyboards e pela obtenção de feedback sobre eles a partir de partes interessadas relevantes ?			0	0
Avalia o design à medida que amadurece no contexto do ambiente de validação dos requisitos para identificar problemas de validação e expor as necessidades e exigências dos stakeholders não declaradas ?			0,33	1

Fonte: Elaborada pelo Autor

Os dados da Tabela 5.2 foram resumidos de modo a permitir uma análise no nível de práticas específicas pelo gráfico da Figura 5.1.

Não foi encontrada nenhuma evidência de que a organização execute a prática específica “Elicitar necessidades”, sendo esta a maior oportunidade e melhoria identificada nesta área de processo. A prática associada com a definição de requisitos de produtos e componentes foi a mais bem avaliada, embora também ainda exista muito espaço para sua melhoria. Em geral, as práticas específicas dessa área de processo não têm evidências objetivas de que estejam largamente implementadas, caracterizadas na sua maioria como parcialmente implementadas.

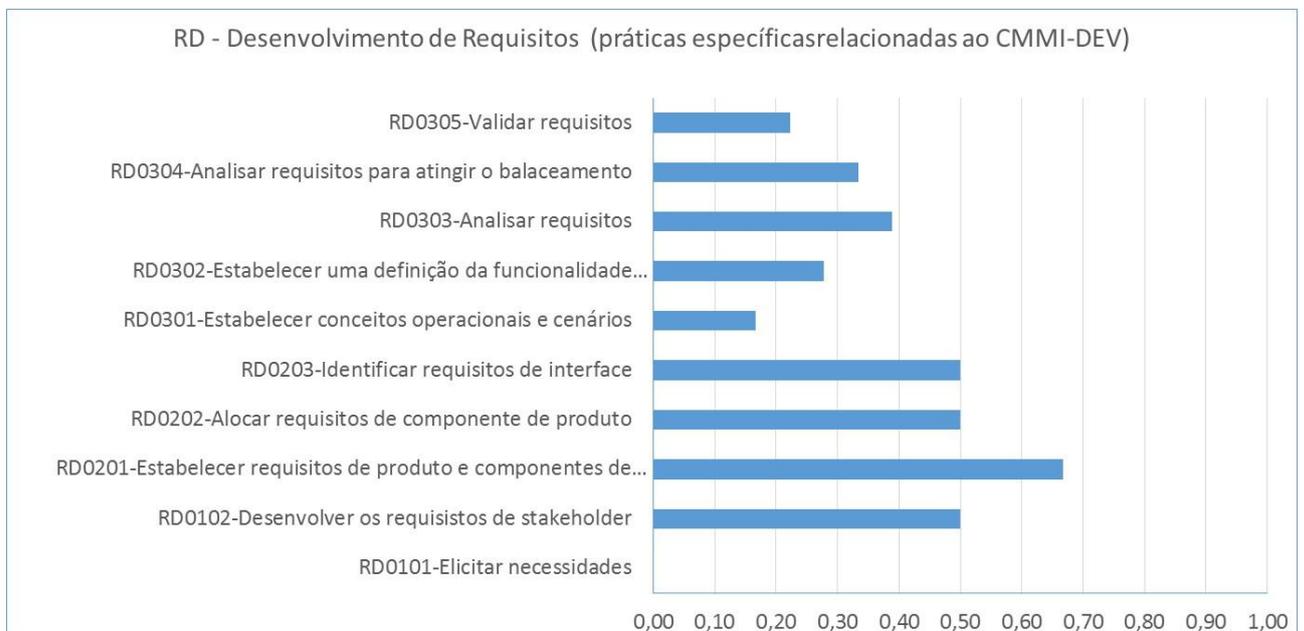


Figura 5.1 - Resumo gráfico da avaliação das práticas específicas de Desenvolvimento de Requisitos

Fonte: Elaborada pelo Autor

5.4.2.2. Área de processo: Solução Técnica (TS)

A organização desenvolve sua tecnologia até o nível de modelo de engenharia, baseada em experiências bem sucedidas com outros modelos. O modelo de engenharia não é considerado um produto, pois ainda não incorpora requisitos críticos, previstos nos processos de ciclo de vida de operação do

produto/sistema. Os resultados obtidos estão na Tabela 5.3 e resumidos no gráfico da Figura 5.2.

Tabela 5.3 – Avaliação da área de processos Solução Técnica

	Nível 1	Nível 2	Nível 3	R
TS - Solução Técnica	0,35			
TS01-Selecionar soluções de componente de produto		0,31		
TS0101-Desenvolver soluções alternativas e critérios de seleção			0,33	
São identificados critérios para selecionar um conjunto de soluções alternativas ?			0	0
São identificadas tecnologias em uso atualmente e novas tecnologias de produtos para obter vantagem competitiva ?			0,33	1
São identificados produtos COTS candidatos que satisfaçam os requisitos ?			0,33	1
São geradas soluções alternativas ?			0,67	2
São feitas alocações de requisitos com para cada alternativa ?			0,67	2
São desenvolvidos critérios para a escolha da melhor solução alternativa ?			0	0
TS0102-Selecionar soluções de componente de produto			0,29	
Cada alternativa é avaliada contra os critérios de seleção estabelecidos no contexto dos conceitos operacionais e cenários ?			0	0
Os critérios de avaliação das alternativas tem sua adequação avaliada e atualizada, se necessário ?			0	0
Os problemas são identificados e resolvidos com as soluções e requisitos alternativo ?			0,67	2
É escolhido o melhor conjunto de soluções alternativas que satisfaçam os critérios de seleção estabelecidos ?			0,33	1
São estabelecidos os requisitos associados com o conjunto selecionado de alternativa, tais como o conjunto de requisitos alocados aos componentes do produto ?			0,33	1
São identificadas as soluções de componentes do produto a serem reutilizadas ou adquiridas ?			0,33	1
Estabelece e mantém a documentação das soluções, avaliações e justificativas ?			0,33	1
TS02-Desenvolver o design		0,48		
TS0201-Projetar o produto ou componente de produto			0,40	
Estabelece e mantém critérios pelos quais o design pode ser avaliado ?			0,33	1
Identifica, desenvolve ou adquire os métodos de design adequados para o produto ?			0,67	2
Assegurar que o design adere aos padrões aplicáveis ?			0,33	1
Assegura que o design adere aos requisitos alocados ?			0,33	1
Documenta o design ?			0,33	1
TS0202-Estabelecer pacote de dados técnicos			0,50	
Determina o número de níveis de projeto e do nível apropriado de documentação para cada nível de design ?			0,33	1
Documenta o design no pacote de dados técnicos ?			0,67	2
Documenta a justificativa para as decisões chave (custo, cronograma ou desempenho técnico) tomadas ou definidas ?			0,33	1
Revisa o pacote de dados técnicos, conforme necessário ?			0,67	2
TS0203-Projetar interfaces usando critérios			0,44	
Define critérios de interface ?			0,33	1
Identifica as interfaces associadas a outros componentes do produto ?			0,67	2
Identifica as interfaces associadas a itens externos ?			0,67	2
Identifica interfaces entre componentes do produto e processos de ciclo de vida de produtos relacionados ?			0	0
Aplica os critérios para as alternativas de design de interface ?			0,67	2
Documenta os designs de interface selecionados e o critério para a seleção ?			0,33	1
TS0204-Executar análise de fazer, comprar ou reutilizar			0,56	
Desenvolve critérios para reutilizar designs de componentes de produtos ?			0,67	2
Analisa projetos para determinar se os componentes do produto devem ser desenvolvidos, reutilizados ou comprados ?			0,67	2
Analisa as implicações para a manutenção quando se considera itens adquiridos ou não desenvolvíveis (do governo, da prateleira, e reutilização)			0,33	1
TS03-Implementar o design de produto		0,28		
TS0301-Implementar o design			0,33	
Usa métodos eficazes para implementar os componentes do produto ?			0,67	2
Adere as às normas e critérios aplicáveis ?			0,33	1
Conduz avaliações por pares dos componentes de produtos selecionados ?			0	0
Realiza testes unitários de componente do produto, conforme apropriado ?			0,33	1
Revisa o componente do produto, conforme necessário ?			0,33	1
TS0302-Desenvolver documentação de suporte do produto			0,22	
Revê os requisitos, design, produto e resultados de teste para garantir que as questões que afetam a instalação, operação, manutenção e documentação são identificados e resolvidos ?			0,33	1
Usa métodos eficazes para desenvolver a documentação de instalação, operação e manutenção			0,33	1
Adere aos padrões de documentação aplicáveis ?			0,33	1
Desenvolve versões preliminares da instalação, operação, manutenção e documentação nas fases iniciais do ciclo de vida do projeto de revisão pelos stakeholders relevantes ?			0	0
Conduz avaliações por pares da documentação de instalação, operação e manutenção ?			0	0
Revê a documentação de instalação, operação e manutenção conforme necessário ?			0,33	1

Fonte: Elaborada pelo Autor

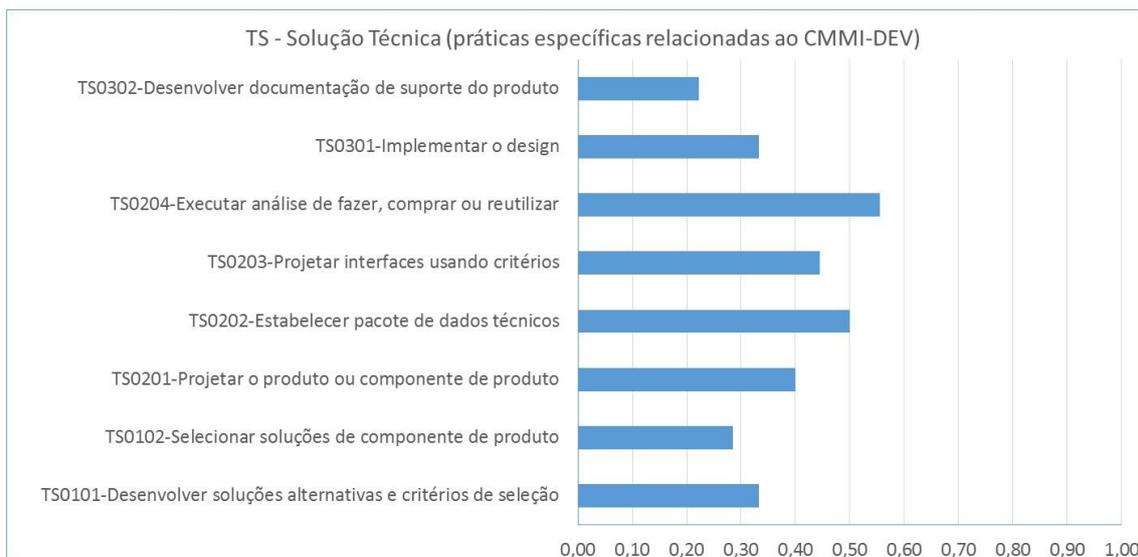


Figura 5.2 - Resumo gráfico da avaliação das práticas específicas de Solução Técnica

Fonte: Elaborada pelo Autor

As soluções são selecionadas com base exclusivamente na experiência de seus analisadores. Embora existente na organização, a prática específica “desenvolver soluções alternativas” é executada de forma parcial.

O desenvolvimento de soluções alternativas é aplicável, mesmo se tratando de modelos de engenharia. Entretanto, o representante da organização relatou diversos atrasos na determinação de soluções por carecer de um processo mais eficiente que permitisse fundamentar a escolha da melhor alternativa de design.

O desenvolvimento de design é *ad-hoc*, executada por pessoas experientes que contam com seu conhecimento técnico para decidir, sem que haja um processo da organização que dê embasamento a elas. Embora a prática “Executar análise de fazer, comprar ou reutilizar” seja a mais bem avaliada, ela tende a sofrer distorções pois depende diretamente das alternativas selecionadas de design, cuja prática associada é parcialmente executada.

A prática “desenvolver documentação de suporte ao produto” apresenta as maiores oportunidades de melhoria, mas sua implementação exige uma

mobilização de recursos humanos dos quais a organização não dispõe no cenário atual.

5.4.2.3. Área de processo: Integração de Produto (PI)

Os resultados obtidos estão na Tabela 5.4 e resumidos no gráfico da Figura 5.3.

Tabela 5.4 – Avaliação da área de processos Integração de Produto

	Nível 1	Nível 2	Nível 3	R
PI - Integração de produto	0,27			
PI01-Preparar para integração de produto		0,37		
PI0101-Determinar sequência de integração			0,28	
Identifica os componentes a serem integrados ?			0,67	2
Identifica as verificações a serem feitas durante a integração dos componentes do produto ?			0,33	1
Identifica as alternativas de sequência de integração de componentes ?			0,33	1
Seleciona a melhor alternativa ?			0,33	1
Revisa periodicamente a sequência selecionada, conforme a necessidade ?			0	0
Registra e referencia as justificativas (rationale) ?			0	0
PI0102-Estabelecer ambiente de integração de produto		0,50		
Identifica os requisitos do ambiente de integração ?			0,67	2
Identifica os procedimentos e critérios de verificação para o ambiente de integração ?			0,67	2
É estabelecido se é necessário comprar ou construir o ambiente de integração ?			0,33	1
O ambiente de integração é desenvolvido se não puder ser adquirido ?			0,67	2
O ambiente é mantido ao longo do projeto ?			0,67	2
Partes do ambiente de integração que não serão mais úteis são devidamente descartadas ?			0	
PI0103-Estabelecer critérios e procedimentos de integração de produto		0,33		
São estabelecidos e mantidos procedimentos de integração de produto para componentes de produto ?			0,33	1
São estabelecidos e mantidos critérios para integração de componentes de produto e avaliação ?			0,33	1
São estabelecidos e mantidos critérios para validação e entrega do produto integrado ?			0,33	1
PI02-Assegurar compatibilidade de interfaces	0,22			
PI0201-Revisar descrições de interface para completude		0,22		
Os dados de interface para assegurar a completa cobertura de todas as interfaces são revistos ?			0,33	1
É assegurado que os componentes de produtos e suas interfaces são marcados para assegurar fácil e correta conexão dos componentes do produto ?			0,33	1
A adequação das descrições de interface são periodicamente revistas ?			0	0
PI0202-Gerenciar interfaces		0,22		
A compatibilidade das interfaces ao longo do ciclo de vida do produto são asseguradas ?			0,33	1
Questões sobre conflitos, não conformidades e modificações são resolvidas ?			0,33	1
É mantido um repositório de dados de interface para todos os participantes do projeto ?			0	0
PI03-Montar componentes de produto e entregar o produto	0,21			
PI0301-Confirmar se os componentes de produto estão prontos para integração			0,33	
Rastrear o status de todos os componentes de produto assim que eles estejam disponíveis para integração ?			0,33	1
É assegurado que os componentes de produto são entregues no ambiente de integração de acordo com a sequência de integração e procedimentos ?			0,33	1
Os componentes são recebidos e identificados adequadamente ?			0,33	1
Cada componente recebido tem sua descrição ?			0,33	1
O status da configuração é checado contra a configuração esperada ?			0,33	1
São executados Procedimentos de pré-chechagem (exemplo: inspeção visual e medições básicas de verificação) dos componentes físicos do produtos antes de conectá-los ?			0,33	1
PI0302-Montar componentes de produto		0,22		
É assegurado que o ambiente de integração está pronto para o início da integração ?			0,33	1
É assegurado que a sequência de montagem foi executada corretamente ?			0,33	1
A sequência de integração e os procedimentos disponíveis são revistos apropriadamente ?			0	0
PI0303-Avaliar montagem de componentes de produto		0,00		
É conduzida a avaliação dos componentes montados seguindo a sequência de integração de produto e os procedimentos disponíveis ?			0	0
Os resultados da avaliação são registrados ?			0	0
PI0304-Embalar e entregar o produto ou componente de produto		0,28		
A revisão dos requisitos, design, produto, resultados de verificação e documentação asseguram que as questões que afetam o condicionamento e entrega do produto são identificados e resolvidos ?			0,33	1
Existem métodos efetivos para condicionar e entregar o produto montado ?			0	0
Os requisitos aplicáveis e normas de embalagem e entrega do produto são satisfeitos ?			0,33	1
O ambiente operacional é preparado para a instalação do produto ?			0,33	1
Entrega o produto com a documentação relacionada e confirma recebimento			0,33	1
Instala o produto no ambiente operacional e confirma a correta operação ?			0,33	1

Fonte: Elaborada pelo Autor



Figura 5.3 - Resumo gráfico da avaliação das práticas específicas de Integração de Produto

Fonte: Elaborada pelo Autor

O levantamento não mostrou evidências da execução da prática “avaliar montagem de componentes de produto”, identificando nessa prática específica a maior oportunidade de melhoria dessa área de processo. As análises das áreas de processo de Verificação (VER) e Validação (VAL), mostradas mais adiante, mostram que essa é uma oportunidade de melhoria aplicável de forma bem mais ampla.

A prática mais bem avaliada, “estabelecer ambiente de integração”, resultado da necessidade imediata de produzir modelos de engenharia, é executada de forma parcial e também apresenta grande potencial de melhoria.

5.4.2.4. Área de processo: Verificação (VER)

Ao fazer as entrevistas, a coleta de dados identificou que essa área de processo apresenta oportunidades de melhoria em práticas específicas muito importantes para o setor aeroespacial, mas que não mostraram evidências de serem executadas. Os resultados obtidos estão na Tabela 5.5 e resumidos no gráfico da Figura 5.4.

Tabela 5.5– Avaliação da área de processos Verificação

	Nível 1	Nível 2	Nível 3		R
VER - Verificação	0,15				
VER01-Preparar para verificação		0,21			
VER0101-Selecionar produtos de trabalho para verificação			0,20		
Identifica os produtos de trabalho para verificação ?				0,33	1
Identifica os requisitos a serem satisfeitos para cada produto de trabalho selecionado ?				0,33	1
Identifica os métodos de verificação disponíveis para uso ?				0,33	1
Define os métodos de verificação a serem usados para cada produto de trabalho selecionado ?				0	0
Submete as atividades de integração com plano de projeto para identificar produtos de trabalho a serem verificados, os requisitos a serem satisfeitos e os métodos a serem utilizados ?				0	0
VER0102-Estabelecer ambiente de verificação		0,17			
Identifica requisitos do ambiente de verificação ?				0,33	1
Identifica os recursos que estão disponíveis para reuso e modificação ?				0	0
Identifica equipamentos e ferramentas de verificação ?				0,33	1
Obtém equipamentos e ambiente de suporte para verificação, tais como equipamentos de teste e software ?				0	0
VER0103-Estabelecer critérios e procedimentos de verificação		0,25			
Gera um conjunto amplo de procedimentos de verificação integrada para qualquer produto de trabalho ou de prateleira (COTS) conforme o necessário ?				0	0
Desenvolve e refina critérios de verificação, quando necessário ?				0,33	1
Identifica os resultados esperados, qualquer tolerância permitida em observações, e outros critérios que satisfaçam os requisitos ?				0,33	1
Identifica qualquer equipamento e componente ambiental necessário para suportar a verificação ?				0,33	1
VER02-Executar revisão por pares	0,00				
VER0201-Preparar-se para revisão por pares		0,00			
Determina qual tipo de revisão por pares será realizada ?				0	0
Define os requisitos de coleta de dados durante a revisão por pares ?				0	0
Estabelece e mantém critérios de entrada e saída para a revisão por pares ?				0	0
Estabelece e mantém critérios para requerer outra revisão por pares ?				0	0
Estabelece e mantém listas de verificação (checklists) para assegurar que todos os produtos de trabalho são revisados consistentemente ?				0	0
Desenvolve um detalhado plano de revisão por pares, incluindo as datas para treinamento e quando o material para revisão por pares estará disponível ?				0	0
Assegura que os produtos de trabalho satisfazem os critérios de entrada da revisão por pares de priorização para distribuição ?				0	0
Distribui o produto de trabalho a ser revisado e as informações relacionadas para os participantes com antecedência suficiente para prepará-los adequadamente para a revisão por pares ?				0	0
Atribui de forma apropriada os papéis para a revisão por pares ?				0	0
Prepara para revisão por pares, revendo o produto de trabalho antes de conduzir a revisão por pares ?				0	0
VER0202-Conduzir revisão por pares		0,00			
Executa a revisão por pares conforme os papéis atribuídos ?				0	0
Identifica e documenta defeitos e outras questões do produto de trabalho ?				0	0
Registra os resultados da revisão por pares, incluindo itens de ação ?				0	0
Coleta os dados da revisão por pares ?				0	0
Identifica itens de ação e comunica as questões aos stakeholders relevantes ?				0	0
Conduz uma revisão por pares adicional se o critérios definidos indicam a necessidade ?				0	0
Assegura que os critérios de saída para a revisão por pares são satisfeitos ?				0	0
VER0203-Analisar dados da revisão por pares		0,00			
Registra o dados relacionados com a preparação, realização e resultados da avaliação por pares ?				0	0
Armazena os dados para futuras referências e análises ?				0	0
Protege os dados da revisão por pares para que não sejam usados de forma inadequada ?				0	0
Analisa os dados da revisão por pares ?				0	0
VER03-Verificar produtos de trabalho selecionados	0,24				
VER0301-Executar verificação		0,25			
Executa a verificação dos produtos de trabalho selecionados contra seus requisitos ?				0,33	1
Registra os resultados das atividades de verificação ?				0,33	1
Identifica itens de ação resultantes da verificação dos produtos de trabalho ?				0,33	1
Documentar o método de verificação "as-run" e os desvios dos métodos e procedimentos disponíveis descobertos durante o seu desempenho ?				0	0
VER0302-Analisar resultados da verificação		0,22			
Compara resultados reais com os resultados esperados ?				0,33	1
Baseado nos critérios de verificação estabelecidos, identifica produtos que não atingiram seus requisitos ou identifica problemas com métodos, procedimentos, critérios e ambiente de verificação ?				0,33	1
Analisa os dados de verificação em defeitos ?				0,33	1
Registra todos os resultados das análises em um relatório ?				0,33	1
Usa os resultados da verificação para comparar medidas e desempenho reais para os parâmetros de desempenho técnico ?				0	0
Fornecer informações de como os problemas podem ser resolvidos (incluindo métodos de verificação, critérios e ambiente de verificação) e inicia ações corretivas ?				0	0

Fonte: Elaborada pelo Autor

Na Figura 5.4, destacam-se as práticas associadas com a “verificação por pares”. Executar essa prática demanda o uso de recursos humanos de forma redundante; recursos que a organização não dispõe.

De forma geral, a avaliação das práticas específicas da área de processo de Verificação, indicam grandes oportunidades de melhoria, tanto na implementação de novas práticas quanto na melhoria das já executadas de forma *ad-hoc*.

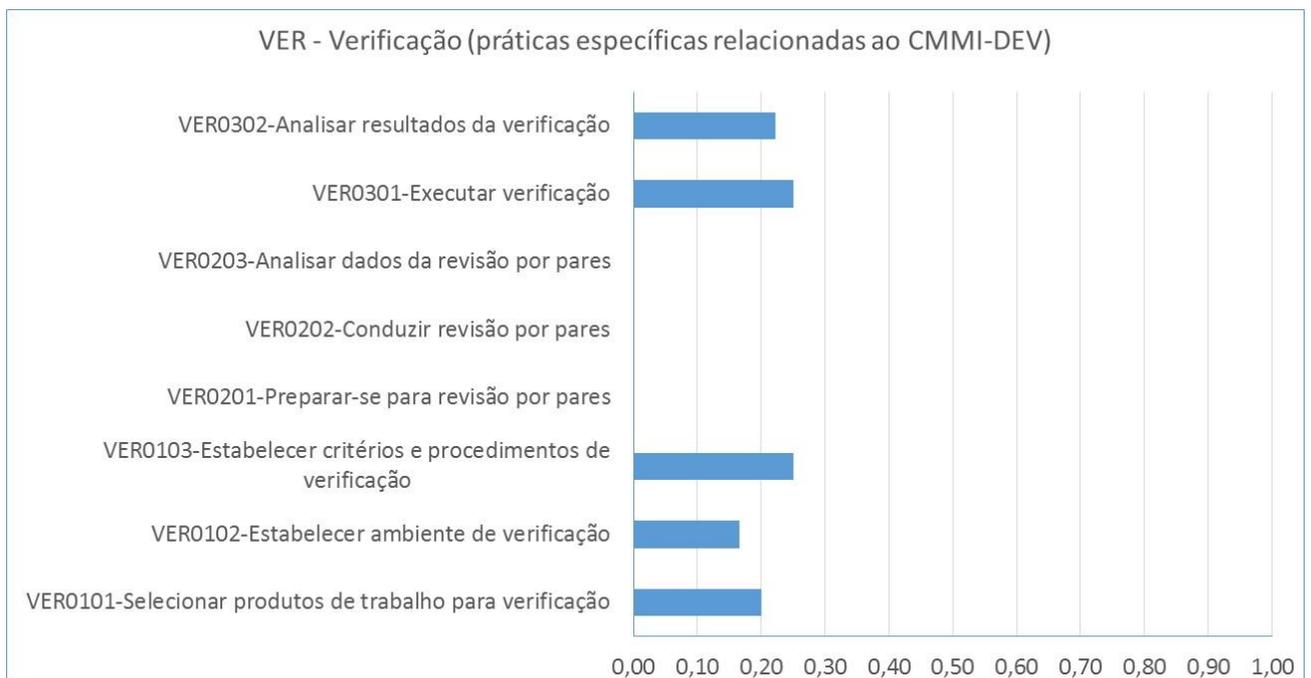


Figura 5.4 - Resumo gráfico da avaliação das práticas específicas de Verificação

Fonte: Elaborada pelo Autor

5.4.2.5. Área de processo: Validação (VAL)

Os resultados obtidos estão na Tabela 5.6 e resumidos no gráfico da Figura 5.5

Tabela 5.6 – Avaliação da área de processos Validação

	Nível 1	Nível 2	Nível 3		R
VAL - Validação	0,22				
VAL01-Preparar validação		0,14			
VAL0101-Selecionar produtos para validação			0,13		
Identifica princípios chave, características e fases para validação de produto ou componentes de produto através do ciclo de vida do projeto ?				0	0
Determina quais categorias de necessidades de usuário (operacional, manutenção, treinamento ou suporte) serão validadas ?				0	0
Seleciona o produto ou componentes de produto a ser validado ?				0,33	1
Seleciona os métodos de avaliação para validação produto ou componente de produto ?				0,33	1
Revisa a seleção de validação, restrições e métodos com stakeholders relevantes ?				0	0
VAL0102-Estabelecer ambiente de validação			0,07		
Identifica os requisitos do ambiente de validação ?				0,33	1
Identifica produtos fornecidos pelo stakeholder ?				0	0
Identifica equipamentos de teste e ferramentas ?				0	0
Identifica recursos de validação disponíveis para reuso e modificação ?				0	0
Planeja a disponibilidade de recursos em detalhes ?				0	0
VAL0103-Estabelecer critérios e procedimentos de validação			0,22		
Revisa os requisitos de produto para assegurar que as questões que afetam a validação do produto ou componente de produto estão identificadas e resolvidas ?				0,33	1
Documenta o ambiente, cenário operacional, procedimentos, entradas, saídas e critérios para validação do produto ou componente de produto selecionado ?				0	0
Avaliar o design à medida que amadurece no contexto do ambiente de validação para identificar problemas de validação ?				0,33	1
VAL02-Validar produto ou componente de produto		0,30			
VAL0201-Executar validação			0,27		
Cria relatórios de validação ?				0,33	1
Registra resultados de validação ?				0,33	1
Usa matriz de referência cruzada de validação ?				0	0
Registra log de execução de procedimento ?				0	0
Realiza demonstrações operacionais ?				0,67	2
VAL0202-Analisar resultados da validação			0,33		
Compara resultados reais com os resultados esperados ?				0,33	1
Baseado nos critérios de validação estabelecidos, identifica produtos ou componentes de produto que não funcionaram adequadamente em seus ambientes operacionais pretendidos ?				0,33	1
Analisa dados de validação para defeitos ?				0,33	1
Registra os resultados das análises e identifica problemas ?				0,33	1
Usa os resultados da validação para comparar medidas e desempenho reais com o uso pretendido em ambiente operacional ?				0,33	1

Fonte: Elaborada pelo Autor

Após a coleta e compilação dos dados, identificou-se que essa área de processo apresenta oportunidades de melhoria principalmente nas práticas específicas associadas ao ambiente de validação. Tais práticas são particularmente críticas, pois relacionam-se diretamente com qualidade da avaliação de tecnologias em desenvolvimento e podem gerar resultados que levem a decisões errôneas, principalmente na própria avaliação da maturidade de uma tecnologia. Na prática melhor avaliada, “Analisar resultados de validação”, também existem grandes oportunidades de melhoria.

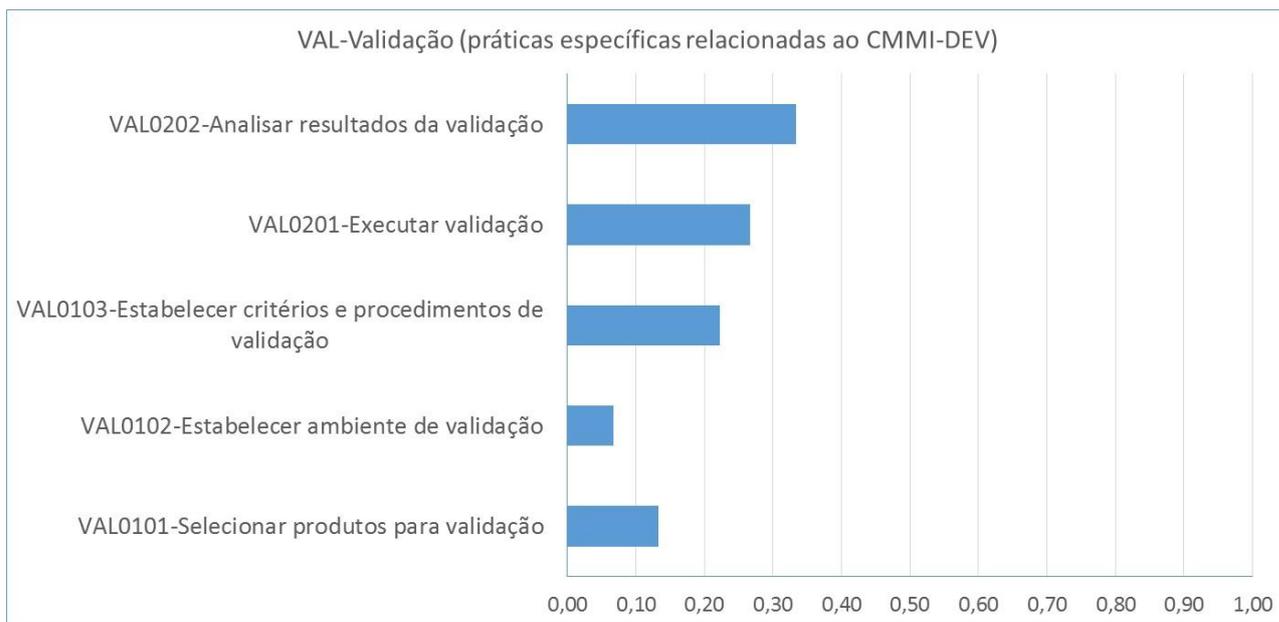


Figura 5.5 - Resumo gráfico de avaliação das práticas específicas de Validação

Fonte: Elaborada pelo Autor

5.4.3. Abordagem de manufatura

A planilha preenchida com os resultados da abordagem de Manufatura está representada na Tabela 5.7

Tabela 5.7 – Avaliação dos tópicos de Manufatura do MRL

	Nível 1	Nível 2	Nível 3	R
MAN-Manufatura	0,14			
MAN01-Custos e recursos:		0,00		
1.1-Foi estabelecido um programa de Design to Production Cost (DPTC) ?			0,00	0
1.2-Foram estabelecidos direcionadores de custo ?			0,00	0
1.3-Os direcionadores de custos estão sendo monitorados ?			0,00	0
1.4-Foram identificados os custos de produção ?				N/A
1.5-Foi desenvolvido um plano de redução de custos ?			0,00	0
1.6-Existem recursos disponíveis para a condução dos esforços de manufatura ?			0,00	0
MAN02-Materiais:		0,00		
2.1-Os materiais foram caracterizados ?			0,00	0
2.2-A disponibilidade dos materiais atende às necessidades ?			0,00	0
2.3-A adequação das fontes de suprimentos foi avaliada e atende às necessidades ?			0,00	0
2.4-O sistema de gestão da cadeia de suprimentos do contratado foi validado ?			0,00	0
2.5-Aspectos de manuseio especial de materiais foram identificados e estão sendo gerenciados ?			0,00	0
2.6-Os materiais foram validados em linha piloto ?			0,00	0
2.7-Os materiais foram validados em linha de produção de pequena escala ?				N/A
MAN03-Controle e capacidade do processo:		0,39		
3.1-Os métodos requeridos de montagem foram identificados ?			0,33	1
3.2-O estado da arte da manufatura foi definido ?			0,67	2
3.3-Os processos de fabricação foram simulados/modelados ?			0,00	0
3.4-Os requisitos de processo foram identificados ?			0,67	2
3.5-Os processos críticos foram definidos ?			0,67	2
3.6-Existe um plano para a redução da variação e da variabilidade ?			0,00	0
MAN04-Gestão da Qualidade:		0,00		
4.1-Foi desenvolvido um plano e estratégia da qualidade ?			0,00	0
4.2-O modelo da qualidade a ser usado foi analisado ?			0,00	0
4.3-O modelo da qualidade do subcontratado foi analisado ?			0,00	0
4.4-Foram identificadas as estruturas chave da gestão da cadeia de suprimentos ?				N/A
4.5-Foram integradas as estruturas chave da gestão da cadeia de suprimentos ?				N/A
MAN05-Mão de obra:		0,06		
5.1-Foi avaliada a necessidade de processos e habilidades especiais ?			0,33	1
5.2-Foi estabelecido um plano para implementar habilidades necessárias ?			0,00	0
5.3-Existem ações planejadas para minimizar os requisitos de habilidades especiais ?			0,00	0
5.4-Foi estabelecido um plano de educação e treinamento ?			0,00	0
5.5-Foi realizado treinamento/certificação para as habilidades necessárias ?			0,00	0
5.6-As habilidades necessárias e especiais foram verificadas em linha piloto ?			0,00	0
5.7-As habilidades necessárias e especiais foram validadas em linha de produção de pequena escala ?				N/A
MAN06-Infraestrutura/Instalações:		0,56		
6.1-Foram avaliados os efeitos do design nos processos e infraestrutura disponíveis ?			0,33	1
6.2-Foram estabelecidos requisitos de infraestrutura (incluindo laboratórios e instalações de teste) ?			0,67	2
6.3-Foram estabelecidas e validadas instalações específicas ?			0,67	2
6.4-Foi definido o fluxo de produção ?				N/A
MAN07-Gestão de manufatura:		0,00		
7.1-Foi avaliada a aplicabilidade dos elementos críticos de tecnologia ?			0,00	0
7.2-Foram identificados os requisitos de tecnologia de manufatura ?			0,00	0
7.3-Foi desenvolvida uma estratégia de manufatura ?				N/A
7.4-Foi desenvolvido um plano inicial de manufatura ?				N/A
7.5-O plano de manufatura está sendo gerenciado ?				N/A

Fonte: Elaborada pelo Autor

5.4.3.1. Custos e recursos

A empresa possui fontes de recursos financeiros muito reduzidas. As fontes de financiamento obtidas não incluem investimentos de infraestrutura, focando essencialmente na capacitação de recursos humanos.

Os custos do desenvolvimento e fabricação são, em sua grande maioria, dependentes de outras variáveis, fora do controle da organização. Os custos que estão sob seu controle estão associados, em grande parte, à gestão de Recursos Humanos e processos administrativos internos. A baixa escala de desenvolvimento, os prazos longos do processo de aquisições internacionais aumentam significativamente esses custos, pois muitas dessas variáveis não estão sob controle exclusivo da empresa.

5.4.3.2. Materiais

Os materiais mais críticos estão associados com os componentes ópticos e com a eletrônica de precisão associada com os requisitos da aplicação. Os materiais empregados na construção dos subsistemas estão bem caracterizados, mas são na sua quase totalidade importados, sem a presença de uma cadeia nacional sustentável de fornecimento. A possibilidade de criação de embargos internacionais sobre componentes e materiais críticos dificulta afirmar se futuras aplicações estratégicas, que venham a utilizar tal tecnologia, serão factíveis, pois uma questão importante abordada é a disponibilidade do material e a gestão da sua cadeia de fornecedores no médio e longo prazo.

5.4.3.3. Controle e capacidade dos processos de fabricação

Os processos de fabricação são feitos *ad-hoc*, e nesse caso não existem evidências de que a organização utilize sistematicamente ferramentas de modelagem e simulação que permitam identificação prévia de deficiências de processos de fabricação. Os processos mais críticos são conhecidos,

entretanto não foram encontradas evidências da existência de um plano para redução da variabilidade dos resultados obtidos.

O controle de variáveis e critérios de tolerâncias para construção, ajustes e configurações de equipamentos usados na fabricação de submontagens são aplicados com base na longa experiência de um número reduzido de profissionais. Caso a organização venha a prescindir de membros dessa equipe, a perda de conhecimento será grande. Essa situação cria uma grande oportunidade para formação especializada de recursos humanos, bem como introduzir novas ferramentas de simulação e modelagem de processos.

5.4.3.4. Gestão da qualidade

Não foram encontradas evidências da utilização sistemática de uso de ferramentas de gestão da qualidade, incluindo a gestão da qualidade de fornecedores, importante requisito previsto no manual de boas práticas industriais do JDMTP (JOINT DEFENSE MANUFACTURING TECHNOLOGY PANEL, 2007). A empresa não desconhece a importância dessa questão, mas a sua implementação de forma sistemática, na situação atual da empresa não é prioridade.

5.4.3.5. Mão-de-obra

A equipe é altamente capacitada e experiente, porém de tamanho reduzido, tende naturalmente a ter as atividades de desenvolvimento e de fabricação dividida entre seus membros baseada nas competências individuais, podendo criar um viés importante na concepção do produto, notadamente nas práticas de desenvolvimento associadas com análise de alternativas.

A organização iniciou um processo de gestão de toda documentação relativa a documentos de engenharia, instruções de montagem, fabricação e inspeção, não dispondo todavia de uma equipe, cujo tempo dedicado a esse trabalho permitisse avanços consistentes e sustentáveis.

5.4.3.6. Instalações

As instalações são modestas, mas atendem ao desenvolvimento de protótipos e modelos de engenharia. Para futuros modelos de qualificação e vôo, a empresa necessitará contratar instalações governamentais para efetuar testes e validações mais elaborados.

Para um de seus processos mais críticos, a fabricação das bobinas de fibra óptica, a organização conta com um único equipamento operado manualmente por um engenheiro com vários anos de experiência acumulada. Este processo é feito em baixa escala para atender à construção de modelos de engenharia de girômetros fotônicos.

Um outro equipamento mais avançado, para fabricação de bobinas de fibra óptica, operado de forma semi-automatizada, permitirá suprir a necessidade de um lote piloto de fabricação. Sua construção foi realizada por um fornecedor internacional, a partir dos requisitos do projeto SIA, sendo que tal equipamento permanecerá nos laboratórios governamentais e cujo acesso pela empresa no futuro pode esbarrar em questões legais.

Os módulos eletrônicos também são projetados, montados e integrados nas instalações da empresa. Para a fabricação de componentes específicos, tais como placas de circuito impresso, são contratadas outras organizações no país que incluem centros de pesquisa e fabricantes que atendem requisitos técnicos similares em demandas de maior escala no mercado.

5.4.3.7. Gestão de manufatura

O perfil da organização estudada não contempla fabricação de produtos em alta escala. Evoluir nesse tópico significa capacitar a organização para fornecimento de volumes maiores, necessitando também um fluxo contínuo de demandas. Dessa forma, apenas algumas questões foram consideradas aplicáveis e, mesmo assim, não foi possível identificar evidências de que estejam sendo tratadas neste momento.

O resultado da abordagem da manufatura para a empresa estudada é mostrado de forma resumida no gráfico da Figura 5.6.

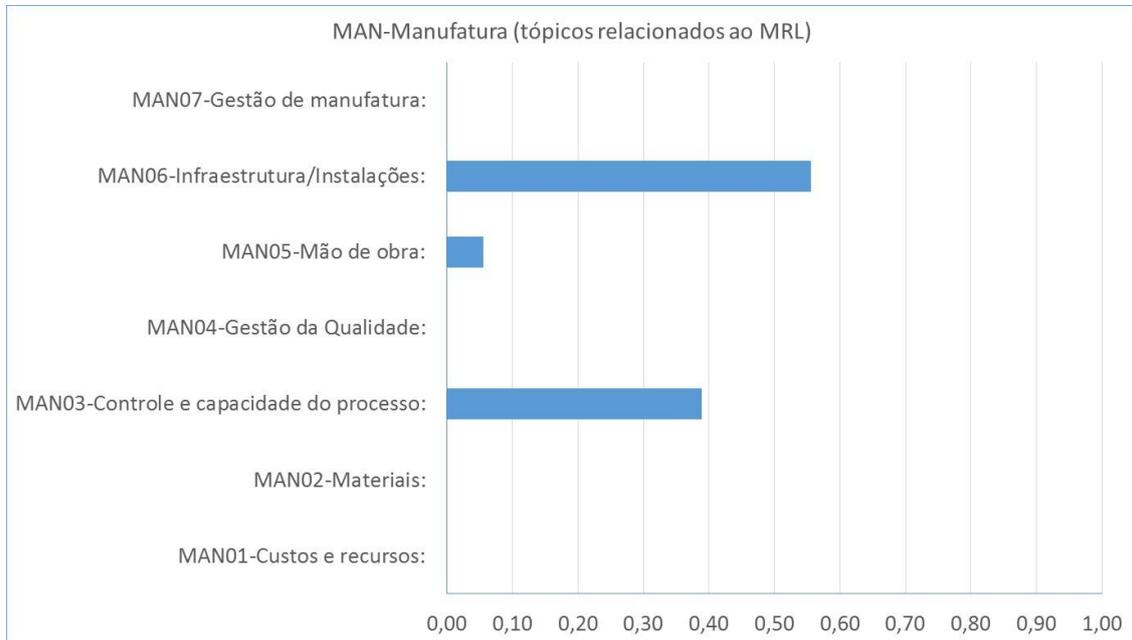


Figura 5.6 - Resumo gráfico de avaliação dos tópicos relacionados à manufatura do MRL

Fonte: Elaborada pelo Autor

O gráfico demonstra, a partir dos dados obtidos, uma preocupação maior com os elementos fundamentais para o desenvolvimento de protótipos ou modelos de engenharia, representados pela infraestrutura, processos de fabricação e mão-de-obra, nessa ordem. Representantes da empresa estudada consideram a grande importância dos demais tópicos, mas implementá-los implica num volume de recursos financeiros, humanos e técnicos incompatíveis com seu contexto atual e cujo escopo pode extrapolar a atuação da organização, como é o caso do tópico “Materiais”. Nesse caso, a avaliação mostra a elevada dependência estrangeira de componentes essenciais para a fabricação e cuja aquisição é regulada nos países de origem por serem consideradas estratégicas.

Priorização da implementação de melhorias

Como forma de explicitar as maiores oportunidades de melhoria, este trabalho propõe uma priorização de implementação, baseada nas áreas de processos do CMMI e tópicos do MRL. Essa priorização, baseada nos percentuais obtidos com o levantamento dos dados, adotou os seguintes critérios:

- Foram ordenados em ordem crescente os resultados obtidos no nível 1 das avaliações, tanto de desenvolvimento quanto de manufatura;
- Para cada nível 1, foram ordenados em ordem crescente os valores obtidos no respectivo nível 2
- Para cada nível 2, foram ordenados em ordem crescente os valores obtidos no respectivo nível 3

Na aplicação da abordagem, não foi estabelecido, *a priori*, nenhuma ponderação sobre as questões utilizadas nas planilhas e nem entre os próprios modelos, durante a construção dos indicadores de melhorias propostos. Além do risco de tornar sua interpretação confusa, a determinação dos pesos envolveria uma subjetividade que tiraria o foco deste trabalho.

Todavia, ferramentas como a *Analytic Hierarchy Process* (SAATY, 1980) permitem, por meio do envolvimento de especialistas, a determinação de pesos baseados em um método matricial, comparando por pares a importância relativa entre os diferentes critérios de avaliação estabelecidos. A priorização obtida está representada na Tabela 5.7

Tabela 5.7 – Priorização de implementação de melhorias identificadas

Nível 1	Nível 2	Nível 3
MAN-Manufatura	MAN01-Custos e recursos	MAN0101-Foi estabelecido um programa de Design to Production Cost (DPTC) ?
		MAN0102-Foram estabelecidos direcionadores de custo ?
		MAN0103-Os direcionadores de custos estão sendo monitorados ?
		MAN0105-Foi desenvolvido um plano de redução de custos ?
		MAN0106-Existem recursos disponíveis para a condução dos esforços de manufatura ?
		MAN0201-Os materiais foram caracterizados ?
	MAN02-Materiais	MAN0202-A disponibilidade dos materiais atende às necessidades ?
		MAN0203-A adequação das fontes de suprimentos foi avaliada e atende às necessidades ?
		MAN0204-O sistema de gestão da cadeia de suprimentos do contratado foi validado ?
		MAN0205-Aspectos de manuseio especial de materiais foram identificados e estão sendo gerenciados ?
		MAN0206-Os materiais foram validados em linha piloto ?
		MAN0401-Foi desenvolvido um plano e estratégia da qualidade ?
	MAN04-Gestão da qualidade	MAN0402-O modelo da qualidade a ser usado foi analisado ?
		MAN0403-O modelo da qualidade do subcontratado foi analisado ?
	MAN07-Gestão de Manufatura	MAN0701-Foi avaliada a aplicabilidade dos elementos críticos de tecnologia ?
		MAN0702-Foram identificados os requisitos de tecnologia de manufatura ?
	MAN05-Mão de Obra	MAN0502-Foi estabelecido um plano para implementar habilidades necessárias ?
		MAN0503-Existem ações planejadas para minimizar os requisitos de habilidades especiais ?
		MAN0504-Foi estabelecido um plano de educação e treinamento ?
		MAN0505-Foi realizado treinamento/certificação para as habilidades necessárias ?
		MAN0506-As habilidades necessárias e especiais foram verificadas em linha piloto ?
		MAN0501-Foi avaliada a necessidade de processos e habilidades especiais ?
	MAN03-Controle e Capacidade de processo	MAN0303-Os processos de fabricação foram simulados/modelados ?
		MAN0306-Existe um plano para e redução da variação e da variabilidade ?
MAN0301-Os métodos requeridos de montagem foram identificados ?		
MAN0302-O estado da arte da manufatura foi definido ?		
MAN0304-Os requisitos de processo foram identificados ?		
MAN0305-Os processos críticos foram definidos ?		
MAN06-Infraestrutura/Instalações	MAN0601-Foram avaliados os efeitos do design nos processos e infraestrutura disponíveis ?	
	MAN0602-Foram estabelecidos requisitos de infraestrutura (incluindo laboratórios e instalações de teste) ?	
	MAN0603-Foram estabelecidas e validadas instalações específicas ?	
VER-Verificação	VER02-Executar revisão por pares	VER0201-Preparar-se para revisão por pares
		VER0202-Conduzir revisão por pares
		VER0203-Analisar dados da revisão por pares
	VER01-Preparar para verificação	VER0102-Estabelecer ambiente de verificação
		VER0101-Selecionar produtos de trabalho para verificação
		VER0103-Estabelecer critérios e procedimentos de verificação
VER03-Verificar produtos de trabalho selecionados	VER0302-Analisar resultados da verificação	
	VER0301-Executar verificação	
VAL-Validação	VAL01-Preparar validação	VAL0102-Estabelecer ambiente de validação
		VAL0101-Selecionar produtos para validação
		VAL0103-Estabelecer critérios e procedimentos de validação
	VAL02-Validar produto ou componente de produto	VAL0201-Executar validação
VAL0202-Analisar resultados da validação		
PI-Integração de produto	PI03-Montar componentes de produto e entregar o produto	PI0303-Avaliar montagem de componentes de produto
		PI0302-Montar componentes de produto
		PI0304-Embalar e entregar o produto ou componente de produto
	PI02-Assegurar compatibilidade de interfaces	PI0301-Confirmar se os componentes de produto estão prontos para integração
		PI0201-Revisar descrições de interface para completude
	PI01-Preparar para integração de produto	PI0202-Gerenciar interfaces
PI0101-Determinar sequência de integração		
PI0103-Estabelecer critérios e procedimentos de integração de produto		
TS-Solução técnica	TS03-Implementar o design de produto	PI0102-Estabelecer ambiente de integração de produto
		TS0302-Desenvolver documentação de suporte do produto
	TS01-Selecionar soluções de componente de produto	TS0301-Implementar o design
		TS0102-Selecionar soluções de componente de produto
	TS02-Desenvolver o design	TS0101-Desenvolver soluções alternativas e critérios de seleção
		TS0201-Projetar o produto ou componente de produto
TS0203-Projetar interfaces usando critérios		
TS0202-Estabelecer pacote de dados técnicos		
TS0204-Executar análise de fazer, comprar ou reutilizar		
RD-Desenvolvimento de requisitos	RD01-Desenvolver requisitos de stakeholders	RD0101-Elicitar necessidades
		RD0102-Desenvolver os requisitos de stakeholder
	RD03-Analisar e validar requisitos	RD0301-Estabelecer conceitos operacionais e cenários
		RD0305-Validar requisitos
		RD0302-Estabelecer uma definição da funcionalidade requerida
		RD0304-Analisar requisitos para atingir o balanceamento
	RD02-Desenvolver requisitos de produto	RD0303-Analisar requisitos
		RD0202-Alocar requisitos de componente de produto
		RD0203-Identificar requisitos de interface
RD0201-Estabelecer requisitos de produto e componentes de produto		

Fonte: Elaborada pelo Autor

Após a priorização, os tópicos relacionados à manufatura apresentaram as maiores oportunidades de melhoria. Embora a área de processo de desenvolvimento de requisitos tenha a menor prioridade na implementação de melhorias, a sua avaliação também mostra grandes oportunidades de melhoria.

5.5. Proposta de indicadores de monitoramento da implementação de melhorias

Como complemento aos resultados deste trabalho, é proposto a avaliação em diferentes momentos dos elementos propostos na abordagem, seja como *feedback* para a organização fornecedora envolvida (GORDON, 2005), seja para órgão patrocinador da implementação das melhorias.

Inicialmente, são estabelecidos os objetivos de melhoria, representados na forma de indicadores de melhoria, a serem atingidos pelos fornecedores em determinados momentos de um projeto (*milestones*). Durante esse projeto, em cada *milestone*, é realizada uma avaliação para coletar e avaliar os resultados obtidos de forma detalhada, comparando esses resultados com os esperados.

Os 4 indicadores propostos e suas formas de cálculo são mostradas na Tabela 5.8

Tabela 5.8 – indicadores propostos para monitoramento de implementação de melhorias

Indicador	Descrição	Forma de cálculo
IT _i	Indicador de Tecnologia no i-ésimo <i>milestone</i>	IT _i = TRL _i /TRL _{máx} TRL _i : TRL obtido no i-ésimo <i>milestone</i> ; TRL _{máx} : Máximo valor de TRL esperado para o projeto
ID _i	Indicador de Desenvolvimento no i-ésimo <i>milestone</i>	Corresponde média aritmética dos valores do nível 1 das Tabelas 5.2 a 5.6, obtidos no i-ésimo <i>milestone</i>
IM _i	Indicador de Manufatura no i-ésimo <i>milestone</i>	Corresponde ao valor do nível 1 da Tabela 5.7, obtido no i-ésimo <i>milestone</i>
IG _i	Indicador Geral de melhoria no i-ésimo <i>milestone</i>	$IG_i = IT_i \sqrt{ID_i \cdot IM_i}$

Fonte: Elaborada pelo Autor

O Indicador Geral (IGi), no *i*-ésimo *milestone* é obtido pelo produto entre o Indicador de Tecnologia ITi e a média geométrica dos Indicadores de Desenvolvimento IDi e de Manufatura IMi. O objetivo de utilizar a média geométrica para IDi e IMi foi reduzir o efeito da implementação de muitas melhorias identificadas em apenas um indicador, em detrimento de poucas melhorias implementadas e identificadas no outro indicador, podendo gerar distorções na interpretação do IGi. A estruturação dos indicadores é mostrada no Apêndice D.

5.5.1. Premissas para os valores preliminares dos indicadores

De forma geral, o projeto SIA tem objetivos de alto nível alinhados com o PNAE 2012-2021, mas não permitiu investigar com maior profundidade esses objetivos em níveis mais detalhados como proposto neste trabalho, de modo que o uso dos indicadores sugeridos para a comparação entre o medido e o esperado foi feito a partir de premissas descritas nos parágrafos seguintes desta seção.

A fim de exemplificar o uso dos indicadores propostos, foi criado um gráfico de monitoramento no qual um eixo horizontal temporal contemplando 8 *milestones* estabelecidos dentro do período de execução de um projeto.

Para o indicador ITi, os *milestones* coincidem com o TRL esperado naquele momento do projeto, como mostra a Figura 2.5. Embora, na prática, o intervalo de tempo entre TRLs não seja o mesmo, para efeito de simplificação, assumiu-se regularidade nos intervalos entre eles. No eixo vertical, foi representado o comportamento do indicador, cujos valores vão de zero a 1, tanto para valores esperados quanto para valores avaliados. A mesma escala do eixo horizontal, com seus *milestones* associados, bem como a escala do eixo vertical, serão adotadas para os demais indicadores propostos.

Para os valores esperados de IDi e IMi, foi assumido que teriam o valor máximo (1,0) desde o primeiro *milestone*, pressupondo que as questões previstas na abordagem relacionadas ao desenvolvimento e fabricação não

sejam um problema para os fornecedores. Dessa forma, a maior parte dos esforços seriam direcionados ao desenvolvimento da tecnologia.

De acordo com os relacionamentos identificados na seção capítulo 4, os indicadores esperados e avaliados de IDi e IMi não foram previstos para os *milestones* 1, 2 e 3, pois esses correspondem aos TRLs esperados TRL1, TRL2 e TRL3, nos quais a tecnologia não está suficientemente madura para o envolvimento da cadeia de fornecedores. Reforçando esse princípio, a ferramenta *MRL Assist Tool* não contempla questões em seus níveis MRL1, MRL2 e MRL3, por considerar que essa análise é mais factível a partir do nível MRL4 (BEST MANUFACTURING PRACTICES CENTER OF EXCELLENCE, 2014).

A partir do levantamento feito com especialistas, foi considerado que o projeto SIA tem uma expectativa de que a maturidade atingida pela tecnologia de girômetros no fim do projeto seja TRL8, sendo esse o TRL máximo esperado na aplicação da abordagem.

5.5.2. Resultados obtidos

Embora tenham sido estabelecidos 8 *milestones*, na prática foi possível aplicar a abordagem apenas no *milestone* 8. Com exceção da avaliação TRL anterior feita por Almeida (2008), que permitiu avaliar a evolução do IT₇ para o IT₈, não foi possível determinar os indicadores para os *milestones* anteriores a ID₈ e IM₈. Foi assumido para representação gráfica desses dois indicadores os mesmos valores determinados no *milestone* 8 para os anteriores.

Para representação gráfica dos valores de IT_i, foi assumido que os i-ésimos valores avaliados, anteriores a IT₇, coincidem com os i-ésimos valores esperados.

A avaliação dos indicadores foi determinada a partir da regra de cálculo da Tabela 5.8, e os valores obtidos são descritos a seguir.

Determinação do IT₈:

TRL_{máx}: 8

Na avaliação anterior de Almeida (2008), a tecnologia de girômetros fotônicos obteve, no projeto SIA, o nível TRL 7.

$$IT_7 = 7/8 = 0,875;$$

No *milestone* 8, a avaliação obteve um mesmo nível TRL7, logo:

$$IT_8 = 7/8 = 0,875;$$

Determinação do ID₈

$$ID_8 = \frac{0,36+0,35+0,27+0,15+0,22}{5} = 0,27$$

Determinação do IM₈

$$IM_8 = 0,14 \text{ (nível 1 da Tabela 5.7)}$$

Determinação do IG₈

O Indicador Geral de melhoria avaliado no *milestone* 8 foi calculado segundo a expressão da Tabela 5.8.

$$IG_8 = IT_8 \sqrt{ID_8 \cdot IM_8}$$

$$IG_8 = 0,88 \sqrt{0,27 \cdot 0,14} = 0,17$$

Os resultados para os valores esperados e avaliados foram calculados para todos os *milestones* e estão resumidos na Tabela 5.9

Tabela 5.9 – Determinação dos indicadores propostos para monitoramento de implementação de melhorias

TRL máx: 8	TRL		ITi		IDi		IMi		IGi	
	Esperado	Avaliado								
1	1	1	0,13	0,13	N/A	N/A	N/A	N/A	0,13	0,13
2	2	2	0,25	0,25	N/A	N/A	N/A	N/A	0,25	0,25
3	3	3	0,38	0,38	N/A	N/A	N/A	N/A	0,38	0,38
4	4	4	0,50	0,50	1,00	0,27	1,00	0,14	0,50	0,10
5	5	5	0,63	0,63	1,00	0,27	1,00	0,14	0,63	0,12
6	6	6	0,75	0,75	1,00	0,27	1,00	0,14	0,75	0,15
7	7	7	0,88	0,88	1,00	0,27	1,00	0,14	0,88	0,17
8	8	7	1,00	0,88	1,00	0,27	1,00	0,14	1,00	0,17

Fonte: Elaborada pelo Autor

5.5.3. Análise do Indicador Geral de Melhoria (IG)

A partir dos valores da Tabela 5.9 foi construído o gráfico da Figura 5.7 que mostra o comportamento esperado e avaliado do indicador geral de melhoria nos 8 *milestones*.

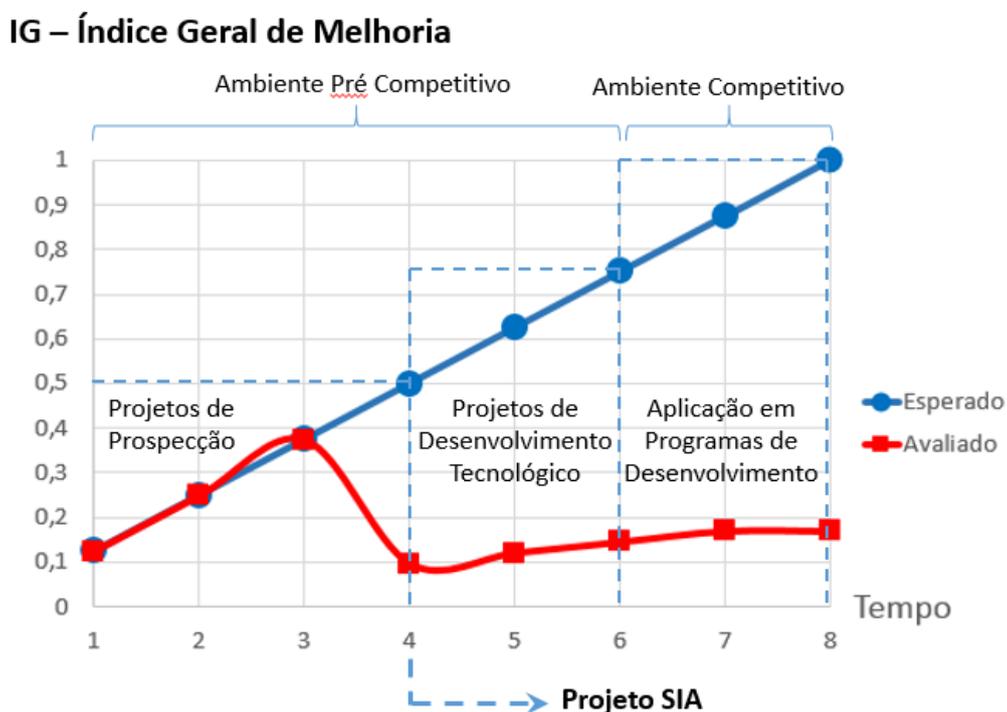


Figura 5.7 – Gráfico comparativo entre o Indicador Geral de melhoria esperado e o avaliado em 8 *milestones*

Fonte: Elaborada pelo Autor

O projeto SIA não foi iniciado com a tecnologia no nível TRL 1. Segundo informações de especialista envolvidos, quando o projeto foi iniciado, em 2004, a tecnologia de girômetros à fibra óptica estava no nível TRL 4. O projeto SIA foi destacado na Figura 5.7 por uma linha tracejada iniciando no *milestone* 4. É a partir do nível TRL 4 que são iniciados os esforços para tornar a tecnologia elegível a uma aplicação.

A queda observada na curva do IG entre os *milestones* 3 e 4 é causada por considerar no cálculo de IG, a partir do *milestone* 4, os indicadores associados com a cadeia de fornecedores no desenvolvimento e manufatura da tecnologia. Como valor esperado, tanto para o IM quanto para o ID era 1,0, a curva com IG avaliado mostra uma diferença crescente entre o valor esperado e o avaliado a partir do *milestone* 4, sobre o qual podem ser implementadas diversas ações de melhoria, priorizadas segundo a Tabela 5.7. Essa diferença também sugere um descompasso existente entre a maturidade da tecnologia e a capacidade de pequenos e médios fornecedores de aplicá-la em mercados competitivos de forma sustentável.

5.5.4. Análise do Indicador de Tecnologia (IT)

A curva do indicador IT é mostrada na Figura 5.8 e mostra uma diferença no *milestone* 8 entre o esperado e o avaliado. Como foi assumido que a maturidade da tecnologia havia atingido o percentual esperado no *milestone* 7, mas permaneceu o mesmo no *milestone* 8, por insuficiência de informações que permitissem uma avaliação completa, o gráfico representa essa “estagnação” da maturidade da tecnologia em relação ao *milestone* 7.

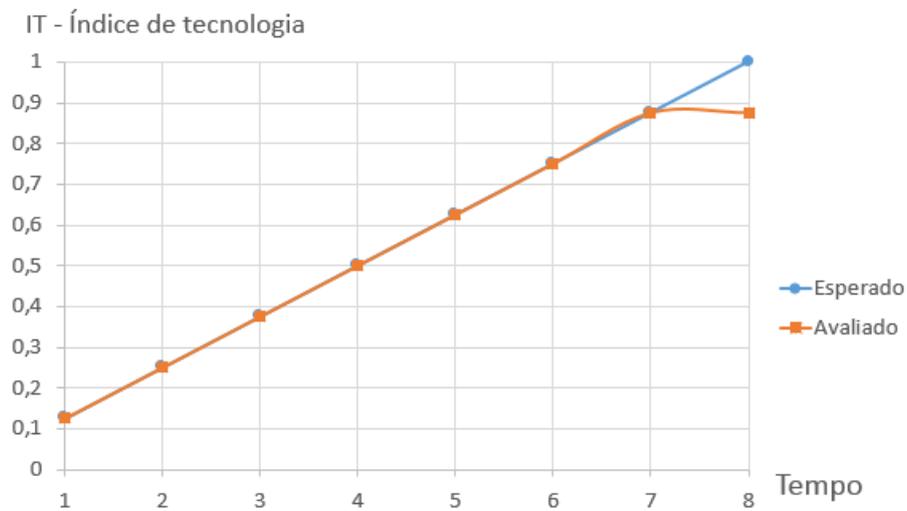


Figura 5.8 – Gráfico comparativo entre o Indicador de Tecnologia esperado e o avaliado em 8 *milestones*

Fonte: Elaborada pelo Autor

5.5.5. Análise do Indicador de Desenvolvimento (ID)

Como o valor esperado era o máximo (1,0), assumindo que os processos já estivessem largamente implementados e estáveis, a diferença que surgiu ao comparar os valores esperados com o avaliado sugere a existência de grandes oportunidades de melhoria que podem ser implementadas conforme as prioridades estabelecidas. O gráfico comparativo do ID esperado e avaliado é mostrado na Figura 5.9

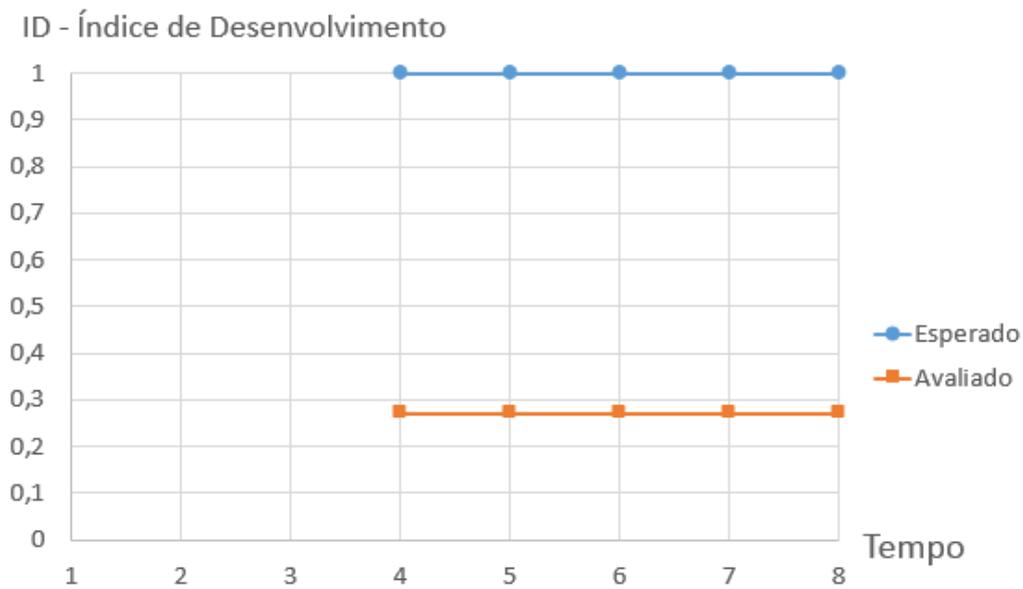


Figura 5.9 – Gráfico comparativo entre o Indicador de Desenvolvimento esperado e o avaliado em 8 *milestones*

Fonte: Elaborada pelo Autor

5.5.6. Análise do Indicador de Manufatura (IM)

O indicador de manufatura IM teve comportamento semelhante ao indicador ID, porém a diferença que sugere oportunidades de melhoria nos aspectos relacionados à manufatura foi maior. A questão associada à disponibilidade de recursos e gerenciamento de custos não só liderou a lista de prioridades de melhoria no âmbito de manufatura, mas também em relação à abordagem de desenvolvimento. O gráfico comparativo do IM esperado e avaliado é mostrado na Figura 5.10

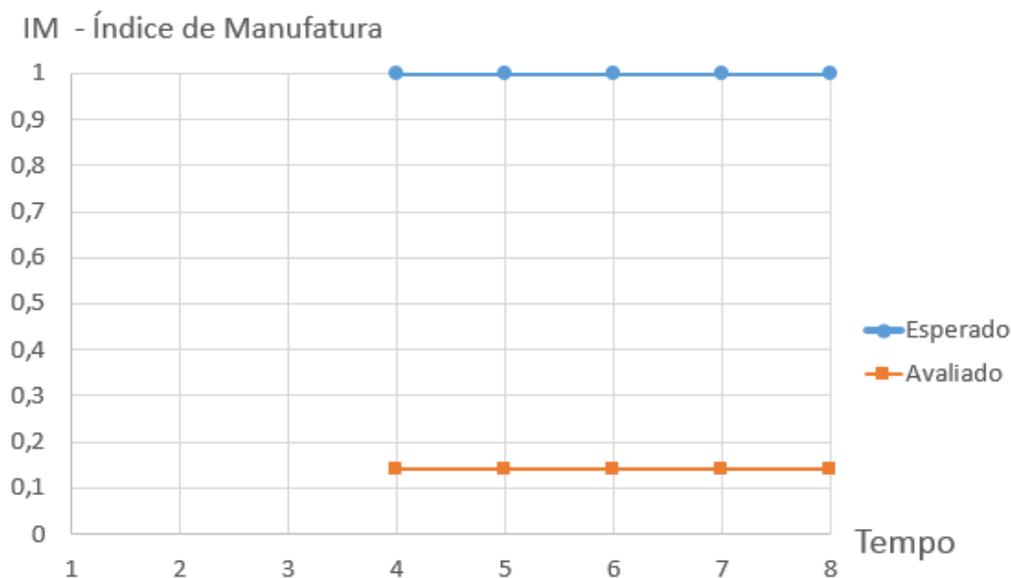


Figura 5.10 – Gráfico comparativo entre o Indicador de Manufatura esperado e o avaliado em 8 *milestones*

Fonte: Elaborada pelo Autor

Embora algumas premissas tenham sido assumidas na interpretação dos resultados, o levantamento das informações permitiu identificar grandes oportunidades de melhoria aplicáveis na organização e que mostraram compatibilidade com a realidade do setor observada pela literatura (FERREIRA, 2009).

Para análise e interpretação dos dados, foi assumido que os valores avaliados dos indicadores ID_8 e IM_8 fossem iguais aos anteriores. Essa premissa não considerou a possibilidade de que, em estágios anteriores, tivessem existido percentuais melhores que os avaliados no *milestone* 8. Via de regra, as premissas assumiram que a maturidade/capacidade melhora com o tempo ou no máximo fica estagnada. Todavia, não existe garantia de não possa ocorrer uma regressão dos indicadores em qualquer momento, o que na prática implica numa diminuição das competências organizacionais consideradas e cujas causas extrapolam o escopo deste trabalho.

6 DISCUSSÃO

6.1. Comparação com a revisão bibliográfica

Por mais que o modelo TRL seja consagrado no setor espacial, a ponto de justificar uma padronização recente de suas definições (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2013), o seu caráter unidimensional (AZIZIAN; SARKANI; MAZZUCHI, 2009; DIETRICH; CUDNEY, 2011) contempla apenas questões sobre as funcionalidades da tecnologia a serem atingidas num determinado nível de maturidade.

Essa necessidade de complementar o TRL gerou diversas propostas (JIE; GAO ZHAOFENG, 2011; MANKINS, 1998; LONG, 2011), que à medida que se tornavam mais específicas, tornavam-se mais limitadas para tratar de questões com uma visão ampliada. Essa proliferação de modelos, motivou um estudo comparativo de Nazanin et. al (2009), de alguns desses modelos em uso nos programas de aquisição do DoD.

Na abordagem proposta, o modelo TRL é o pano de fundo para os modelos MRL e CMMI-DEV® e se considerarmos apenas a tecnologia, as limitações já vistas no uso do TRL ocultariam problemas existentes sob a ótica de desenvolvimento e fabricação (CLAUSING; HOLMES, 2010).

Ao mesmo tempo, a oportunidade de explorar propostas que fossem aplicáveis numa realidade em que predominam organizações desenvolvedoras de pequeno e médio porte, geraram metodologias simplificadas que pudessem despertar nessas organizações a necessidade de investir em melhorias (WILKIE; MC FERRY et al., 2007; CEPEDA, GARCIA; LANHOUT, 2008; LESTER; WILKIE et al., 2009; HABRA; ALEXANDRE et al., 2007). Essas propostas simplificadas considerando o CMMI-DEV® na sua representação contínua e sua metodologia de avaliação SCAMPI C, abordam em sua maioria as organizações de *software*. Entretanto, esse modelo é aplicável a qualquer organização de desenvolvimento de tecnologia, seja de *software* ou de *hardware* (PINHEIRO; TOLEDO, 2011).

Os processos de desenvolvimento de produtos são considerados estratégicos e diante da complexidade de identificar oportunidades de melhoria, Cristofari Jr., Paula e Fogliatto (2010) propuseram o uso dos conceitos presentes nos modelos de maturidade para avaliar, priorizar e monitorar essas melhorias. O resultado desse estudo mostrou que uma das maiores oportunidades de melhoria identificadas, foi a utilização de um sistema formal de avaliação de desempenho, que no método proposto por Gordon (2005), já é parte integrante da forma de monitorar o desempenho de fornecedores.

6.2. Contribuições deste trabalho

A necessidade de combinar modelos para avaliar e configurar uma cadeia de fornecedores sustentável proposta por Tucker e Paxton (2010), também utiliza modelos de maturidade TRL e MRL. Entretanto, na literatura pesquisada não foram identificadas abordagens similares a este trabalho considerando os modelos TRL, CMMI-DEV® e MRL aplicados ao desenvolvimento de pequenos e médios fornecedores.

Os indicadores propostos neste trabalho construídos a partir da abordagem estão alinhados com a tendência observada nas organizações e com a demanda mencionada por Vaz (2011) para uso de critérios de avaliação no setor espacial.

Além disso, o monitoramento estruturado do desempenho organizacional por meio de indicadores é uma forte tendência na Administração. A justificativa para isso vem do conceito de que só é possível gerenciar aquilo que se pode medir, comparando o desempenho atual com um objetivo inicial (FUNDAÇÃO NACIONAL DA QUALIDADE, 2013).

A proposta da abordagem busca melhorias, não tendo como objetivo imediato certificar organizações pequenas em modelos, ferramentas, normas ou outros mecanismos que sugiram a diminuição de seus riscos perante o cliente. Os conflitos que tendem a surgir entre clientes, exigindo diversas certificações e elevados níveis de capacitação, para diminuir seus riscos, e os fornecedores

buscando atender essas exigências contratuais a um custo elevado (SHEARD; ROEDLER, 1999), não necessariamente faz com que as organizações incorporem institucionalmente tais exigências (PYSTER, 2005).

6.3. Limitações

Uma das limitações na aplicação da abordagem foi a definição dos objetivos iniciais de referência que pudessem ser traduzidos para abordagem e para os indicadores propostos. Isso exigiu a adoção de algumas premissas na aplicação. Como o projeto SIA teve início em 2004, muitas atividades já haviam sido finalizadas, e a aplicação da abordagem, desde o seu início, não foi possível. Além disso, considerações relacionadas a avaliação do incremento de capacidades das organizações não foram explicitamente definidas no projeto.

Aplicar a abordagem em um único fornecedor permitiu definir um escopo factível para este trabalho. Entretanto, a ampliação desse escopo considerando mais organizações da cadeia, poderia identificar pontos não contemplados pela abordagem, reduzindo ou eliminando possíveis parcialidades de interpretação, além de identificar melhorias na própria abordagem.

É possível que a simplificação do uso dos modelos MRL e CMMI-DEV®, tanto em termos de escopo quanto em termos de avaliação, tenha incorporado mais inconsistências e subjetividades que uma abordagem de escopo mais amplo.

7 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O objetivo geral, mostrado na seção 1.1, propondo uma abordagem para identificar oportunidades de melhoria aplicada no desenvolvimento de pequenos e médios fornecedores, foi atingido por meio do atendimento dos objetivos específicos, mencionados na seção 1.2.

O objetivo específico de propor uma abordagem baseada nos modelos de maturidade/capacidade TRL, CMMI-DEV® e MRL foi atingido a partir da definição de princípios norteadores da construção desta abordagem. Isso é mostrado na seção 4.1, tendo como ponto de partida as limitações que o uso de um único modelo apresenta. Diversos trabalhos foram identificados na literatura sobre uso e limitações desses modelos, mas não foi identificado nessa pesquisa o uso combinado desses três modelos com uma abordagem voltada para o desenvolvimento de pequenos e médios fornecedores.

O objetivo específico da aplicação prática da abordagem foi atingido. Isso foi feito e mostrado na seção 5.3, com a definição do contexto da aplicação e de critérios da avaliação baseados na abordagem, aplicados em uma pequena empresa do setor aeroespacial. Os resultados da aplicação, mostrados na seção 5.4, permitiram a identificação de oportunidades de melhoria, sugerindo-se posteriormente uma priorização para implementação de tais melhorias.

Atingiu-se o objetivo específico de criar um sistema avaliação para monitorar a implementação das melhorias identificadas, propondo-se o uso de indicadores de melhoria. Tal proposta, mostrada na seção 5.5, buscou também auxiliar no atendimento de uma demanda manifestada pela indústria espacial brasileira.

Para uso dos indicadores propostos, foi necessário estabelecer premissas para reproduzir objetivos iniciais e compará-los com os resultados da aplicação da abordagem. Entretanto, os resultados obtidos mostraram-se compatíveis com a realidade das organizações de pequeno porte do setor.

A proposta da abordagem, baseada em modelos de capacidade/maturidade, procurou apresentar um caminho alternativo para o desenvolvimento de pequenos e médios fornecedores. Uma abordagem mais tradicional, baseada em análise de riscos, não foi o foco deste trabalho, uma vez que pequenos e médios fornecedores já embutem riscos justamente pelo seu porte. Essa abordagem faz mais sentido em mercados competitivos em que organizações nele envolvidas são pressionadas a apresentar bons resultados no curto e médio prazo, sendo essa pressão repassada aos seus fornecedores.

Os resultados obtidos com a aplicação da abordagem não mostraram evidências de que a empresa estudada já incorpore, de forma institucional, processos sustentáveis de desenvolvimento, bem como elementos associados à manufatura, que possam contribuir para sua atuação em ambientes competitivos. Todavia, os resultados também sugeriram onde podem ser investidos recursos para fomento dessas capacidades.

Diversas questões importantes estão associadas à política espacial e este trabalho não tem a pretensão de ignorá-las. Todavia, apesar das suas limitações de escopo, espera-se que ele contribua para a criação e uso de uma ferramenta de gestão por órgãos que estabelecem e fomentam a política espacial, com o intuito não só de obter tecnologias sensíveis, mas também auxilie no incremento de competências organizacionais de pequenos e médios fornecedores.

O objetivo maior nesse auxílio é proporcionar não apenas melhores condições, para que tais fornecedores possam entregar produtos e sistemas competitivos, mas também aproveitar oportunidades de negócio que vão além do setor espacial e que sejam exploradas de forma sustentável.

A oportunidade de explorar uma tecnologia em novas aplicações encontra exemplos nos diversos programas espaciais, notadamente no americano, cujos *spin-offs* atingiram inclusive o mercado consumidor de massa. Nesse, e em

outros exemplos, verifica-se o papel central do Estado no estímulo ao desenvolvimento de organizações.

Sugestões para trabalhos futuros

Como o objetivo da aplicação da abordagem foi identificar melhorias que possam ser implementadas, propomos um estudo no médio e longo prazo que busque correlacionar as melhorias implementadas a partir da aplicação da abordagem e novas oportunidades de negócio criadas pelas organizações. A aplicação dessa abordagem em pequenas empresas, com ou sem experiência no setor espacial, como um “critério de entrada” nessa cadeia de fornecimento, sugere que ela possa ser parte integrante de um sistema mais amplo de desenvolvimento de fornecedores, criado de modo que abordagens adicionais de avaliação e desenvolvimento sejam adotadas em função da capacidade alcançada pelos fornecedores em estágios precedentes.

O trabalho focou em aspectos de capacitação ligados ao desenvolvimento e fabricação de tecnologias. Esses aspectos, por outro lado não evoluem isoladamente, sugerindo, pelo próprio perfil de organizações, a realização de estudos em outras frentes, como capacitação no gerenciamento de projetos.

Embora, a priorização de melhorias, bem como os indicadores propostos não tenham sido o foco central do trabalho, sua aplicação sugere refinamentos que incluem, por exemplo, a determinação de critérios ponderados para priorização das ações de melhoria, baseada nas limitações de recursos para implementá-las.

No caso dos indicadores propostos neste trabalho, estudos sobre formas mais robustas de cálculo, parametrização e representação permitirão melhores interpretações da realidade observada, aprimorando os processos de gestão.

Verificou-se, com base na pesquisa realizada, que apesar da relevância dada ao tema da capacitação da indústria espacial, não foram identificados outros

trabalhos similares a este, de modo que uma nova frente de estudos possa ser desenvolvida nesse sentido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA. **Programa Nacional de Atividades Espaciais 2012-2021**. Brasília, DF: [s.n.], 2013. 36 p. Disponível em: <<http://www.aeb.gov.br/wp-content/uploads/2013/01/PNAE-Portugues.pdf>>. Acesso em: 14 nov. 2014.

ALMEIDA, V. R. **Sensores inerciais fotônicos para aplicações aeroespaciais: nível de maturidade tecnológica**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2008. 86 p. Disponível em: <http://www.ele.ita.br/~wilsonra/TRL/Monografia_VersaoFinalEntregueECEMAR.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2014.

ALTUNOK, T.; CAKMAK, T. A technology readiness levels (TRLs) calculator for systems engineering and technology management tool. **Advances in Software Engineering**, n. 41, 2010. 769-778.

ASSOCIAÇÃO AEROESPACIAL BRASILEIRA. **A VISÃO DA AAB PARA O PROGRAMA ESPACIAL BRASILEIRO**. São José dos Campos: [s.n.], 2010. 74 p. Disponível em: <http://www.aeroespacial.org.br/downloads/AAB_VisaoProgramaEspacialBrasileiro_vFinal%28201011%29.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/IEC 9126-1: Engenharia de software - Qualidade de produto (Parte 1: Modelo de qualidade)**. Rio de Janeiro, p. 21. 2003.

AZIZIAN, N. et al. A framework for evaluating technology readiness, system quality and program performance of U.S. DoD acquisitions. **Systems Engineering**, 14, n. 4, 2011. 410-425.

AZIZIAN, N.; SARKANI, S.; MAZZUCHI, T. **A comprehensive review and analysis of maturity assessment approaches for improvement decisions support to achieve efficient defense acquisition**. Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science - WCECS. São Francisco: [s.n.]. 2009. p. 1-8.

BALDASSARRE, M. T. et al. Harmonization of ISO/IEC 9001:2000 and CMMI-DEV: from a theoretical comparison to a real case application. **Software Qual J**, n. 20, p. 309-335, 2012.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. Perspectivas de Investimento na Economia do conhecimento. In: IE-UFRJ; IE-UNICAMP **Perspectivas de Investimento no Brasil**. Rio de Janeiro: Synergia, v. 3, 2010. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/empresa/pesquisa/pib/pib_sintese_econ_conhec_vfinal.pdf>. Acesso em: 17 julho 2014.

BARBOUR, N. M. Inertial Navigation Sensors. In: NATO **RTO-EN-SET-116 - Low cost Navigation Sensors and integration technology**. [S.l.]: [s.n.], 2011. Cap. 2, p. 240. ISBN 978-92-837-0137-8. Disponível em: <<https://www.cso.nato.int/abstracts.aspx?pg=1&RestrictPanel=0&SearchString=&RestrictRDP=5&Authors=>>>. Acesso em: 24 nov. 2014.

BEST MANUFACTURING PRACTICES CENTER OF EXCELLENCE. **Manufacturing Readiness Level Assessment Tool.**, 2014. Disponível em: <<https://mrlassist.bmpcoe.org/mrlassist/>>. Acesso em: 22 outubro 2014.

BLANCHARD, S. B.; FABRYKY, J. W. **Systems Engineering and Analysis**. 4ª. ed. [S.l.]: Prentice Hall Inc., 2006. 804 p. ISBN 0-13-186977-9.

BOEHM, B. A spiral model of software development and enhancement. **Computer**, p. 61-72, may 1988.

CEPEDA, S.; GARCIA, S.; LANHOUT, J. Is CMMI Useful and Usable in Small Settings? One example. **CrossTalk**, February 2008. 14-17.

CLAUSING, D.; HOLMES, M. Technology Readiness. **Research - Technology Management**, p. 52-59, 2010.

CMMI INSTITUTE. **Standard CMMI® Appraisal Method for Process Improvement (SCAMPI) Version 1.3a: Method Definition Document for SCAMPI A, B, and C**. Carnegie Mellon University. [S.l.], p. 264. 2013. (CMMI Institute-2013-HB-001).

CONSELHO DE ALTOS ESTUDOS E AVALIAÇÃO TECNOLÓGICA. **A política espacial brasileira - Parte 1**. Brasília: Edições Câmara, 2010. 480 p. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/documentos-e-pesquisa/publicacoes/edicoes/paginas-individuais-dos-livros/a-politica-espacial-brasileira>>. Acesso em: 14 nov. 2014.

CRISTOFARI JR., C. A.; PAULA, I. C.; FOGLIATTO, F. S. Método de análise de maturidade e priorização de melhorias na gestão do processo de desenvolvimento de produtos. **Produção**, v. 20, n.3, p. 359-377, jul/set 2010.

DEPARTMENT OF DEFENSE. **Manufacturing Readiness Assessment (MRA) Deskbook**. [S.l.]: [s.n.], 2009. 68 p. Disponível em: <http://www.dodmrl.com/MRA_Deskbook_v7.1.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2014.

DEPARTMENT OF DEFENSE. **Technology Readiness Assessment (TRA) Deskbook**. [S.l.]: [s.n.], 2009. 129 p. Disponível em: <<http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a418881.pdf>>. Acesso em: 14 nov. 2014.

DEPARTMENT OF DEFENSE. **Manufacturing Readiness Levels (MRL) deskbook, version 2.2.1**. [S.l.]: [s.n.], 2012. 82 p. Disponível em: <http://www.dodmrl.com/MRL_Deskbook_V2_21.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2014.

DIETRICH, D. M.; CUDNEY, E. A. Methods and considerations for development of emerging manufacturing technologies into a global aerospace supply chain. **International Journal of Production Research**, 49, n. 10, 15 May 2011. 2819-2831.

DIRECTORATE OF DEFENSE TRADE CONTROLS. International Traffic in Arms Regulations. **http://www.pmdtdc.state.gov/regulations_laws/itar.html**, 2014. Acesso em: 07 março 2014.

DUBOS, G. F.; SALEH, J. H. Risk of spacecraft on-orbit obsolescence: Novel framework, stochastic modelling and implications. **Acta Astronautica**, 2010. 155-172.

EUROPEAN SPACE AGENCY. **Technology Readiness Levels Handbook for Space Applications**. 1ª. ed. [S.l.]: [s.n.], 2008. 60 p. ISBN TEC-SHS/5551/MG/ap. Disponível em: <https://telecom.esa.int/telecom/media/document/TRL_Handbook.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2014.

FERREIRA, M. J. B. **Projeto Perspectivas de Investimento no Brasil - Documento Setorial: Aeroespacial & Defesa**. Instituto de Economia da UFRJ, Instituto de Economia da Unicamp. [S.l.], p. 74. 2009.

FROMENTEAU, J. **CMMI: an indispensable lever for improvement space sector**. Proceedings of The DASIA - Data System in Aerospace Conference. Berlin: [s.n.]. 2006. p. 22-25.

FUNDAÇÃO NACIONAL DA QUALIDADE. **Indicadores de desempenho: Estruturação de Sistema de Indicadores Organizacionais**. 3ª. ed. São Paulo: [s.n.], 2013. ISBN 978-85-8139-013-0.

GENADY, A.; KARWOVSKI, W. A roadmap for a methodology to assess, improve and sustain intra- and inter-enterprise system performance with respect to technology -

product life cycle in small and medium manufacturers. **Human factors and ergonomics in manufacturing**, 2008. 70-84.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4ª. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GORDON, S. Seven Steps To Measure Supplier Performance. **Quality Progress**, p. 20-25, August 2005.

GOVERNMENT ACCOUNTABILITY OFFICE. **BEST PRACTICES - Better Management of Technology Development Can Improve Weapon System Outcomes**. Government Accountability Office. Washington D.C., p. 80. 1999. (GAO/NSIAD-99-162).

HABRA, N. et al. Initiating software process improvement in very small enterprises. Experiences with a light assessment tool. **Information and Software Engineering**, p. 763-771, 2007.

HUANG, S.-J.; HAN, W.-M. Selection priority of process areas based on CMMI continuous representation. **Information & Management**, 2006.

HUETER, U.; TYSON, R. **ARES PROJECT TECHNOLOGY ASSESSMENT - APPROACH AND TOOLS**. 61th International Astronautical Congress 2010. Prague: [s.n.]. 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Roteiro de Desenvolvimento de Missões e Tecnologias Espaciais para o período 2008-2020 - Roteiro MTE**. São José dos Campos: [s.n.], 2008. 230 p. Disponível em: <http://www.inpe.br/twiki/pub/Home/DocumentosPlanejamento/CPA-070-2008_v4_28-06-08.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2014.

INTERNATIONAL COUNCIL ON SYSTEMS ENGINEERING. **Systems Engineering Handbook - A guide for system life cycle processes and activities**. v.3.2.1. ed. San Diego, CA: INCOSE, 2011. 374 p. ISBN 0-9720562-9-7.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 16290: 2013 Space systems - Definition of Technology Readiness Levels (TRLs) and their criteria of assessment**. [S.l.]: [s.n.], 2013. 13 p.

JIE, H.; GAO ZHAOFENG, Z. K. **Research on Evaluation Method of Electronic Product Maturity**. In: IEEE 2nd International Conference on Computing, Control and Industrial Engineering (CCIE), 2011, Whuan. Proceedings. Whuan: IEEE. 2011. p. 118-121.

JOINT DEFENSE MANUFACTURING TECHNOLOGY PANEL. **MRL Guide**. [S.l.]: [s.n.], 2007. 78 p. Disponível em:

<<http://www.acqnotes.com/Attachments/Manufacturing%20Readiness%20Level%20Guide%20Feb%202007.pdf>>. Acesso em: 22 nov. 2014.

JONES, M. et al. **A manufacturing technology readiness impact assessment transitional framework**. In: IEEE Aerospace Conference, AERO 2012, Big Sky. Proceedings. Big Sky, MT: IEEE. 2012. p. 1-9.

KARR, D. Manufacturing Readiness Levels. **Advanced Materials Manufacturing and Testing Information Analysis Center**, v. 20, n.3, 2010. Disponível em: <<http://ammtiac.alionscience.com/pdf/AQV5N3.pdf>>. Acesso em: 28 jan. 2013.

LESTER, N. G. et al. Investigating the role of CMMI with expanding company size for small- to medium-sized enterprises. **JOURNAL OF SOFTWARE MAINTENANCE AND EVOLUTION: RESEARCH AND PRACTICE**, May 2009. 17-31.

LONG, J. **Integration Readiness Levels**. In: IEEE Aerospace Conference, AERO 2011, Big Sky. Proceedings. Big Sky, MT: IEEE. 2011. p. 1-9.

LOUREIRO, G.; LEANEY, P. A system and concurrent engineering framework for the integrated development of space products. **Acta Astronautica**, p. 945-961, 2003.

MANKINS, J. C. Technology readiness levels - a white paper, Washington D.C., 1995. Disponível em: <<http://www.hq.nasa.gov/office/codeq/trl/trl.pdf>>. Acesso em: 28 jan. 2013.

MANKINS, J. C. **Research & Development Degree of Difficulty (R&D3) - A white paper**. Advanced Projects Office of Space Flight - NASA. [S.l.], p. 3. 1998.

MANKINS, J. C. Technology readiness and risk management: a new approach. **Acta Astronautica**, 2009a. ISSN 1208-1215.

MANKINS, J. C. Technology Readiness: A retrospective. **Acta Astronautica**, p. 1216-1223, 2009b.

MONZÓN, A. **Bi-directional Mapping between CMMI and INCOSE SE Handbook**. ERST - EMBEDDED REAL TIME SOFTWARE AND SYSTEMS. Toulouse: [s.n.]. 2010.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **Systems Engineering Handbook**. Washington D.C.: [s.n.], 2007. 360 p. ISBN 978-0-16-079747-7. Disponível em: <<http://www.acq.osd.mil/se/docs/NASA-SP-2007-6105-Rev-1-Final-31Dec2007.pdf>>. Acesso em: 14 nov. 2014.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **NASA Strategic Space Technology Investment Plan**. Washington DC: [s.n.], 2013. 92 p. Disponível em: <http://www.nasa.gov/sites/default/files/files/space_tech_2013.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2014.

NOLTE, W. **Did you ever tell about the whale? Or measuring technology**. [S.l.]: IAP - Information Age Publishing Inc., 2008. 220 p. ISBN 1593119631.

NOLTE, W.; KENNEDY, B.; DZIEGIEL, R. Technology Readiness Calculator, 2003. Disponível em: <<http://www.dtic.mil/ndia/2003systems/nolte2.pdf>>. Acesso em: 08/01/2013 2013 2013.

PETROBRAS. **Cadastro de Fornecedores de bens e Serviços da Petrobrás**. Rio de Janeiro. 2014.

PINHEIRO, L. M. P.; TOLEDO, J. C. **Estudo de caso sobre maturidade do processo de desenvolvimento de produto em uma empresa do setor petroquímico**. In: Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto - CBGDP 2011, 8., 2011, Porto Alegre. Proceedings. Porto Alegre: [s.n.]. 2011.

PYSTER, A. **What beyond CMMI is needed to help assure program and project success ?** [S.l.]: M.Li, B. Boehm, and L.J. Osterweil Editors. 2005. p. 75-82.

SAATY, T. **The Analytical Hierarchy Process: planning, priority settings, resource allocation**. New York: [s.n.], 1980.

SADIN, S.; POVINELLI, F.; ROSEN, R. NASA technology push towards future space mission systems. **Acta Astronautica**, Bangalore, v. 20, p. 73-77, 1989.

SANTOS, B. V. D.; MARSHALL, P.; DARUIZ, V. T. **AVALIAÇÃO DOS ATRASOS DOS CONTRATOS INDUSTRIAIS DOS PROGRAMAS CBERS E AMAZONIA E OS GRAUS DE MATURIDADE TECNOLÓGICA (TRL) E DE FABRICAÇÃO (MRL)**. In: Workshop em Engenharia e Tecnologia Espaciais, 4., WETE 2013, São José dos Campos. Proceedings. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2013. p. 1-9.

SARFARAZ, M.; SAUSER, B.; BAUER, E. **Using system architecture maturity artifacts to improve technology maturity assessment**. *Procedia Computer Science*. [S.l.]: Elsevier B.V. 2012. p. 165-170.

SAUSER, B. et al. Integration maturity metrics: Development of an integration readiness level. **Information Knowledge Systems Management**, v. 9, p. 17-46, 2010.

SHAPIRO, A. A. **Technology infusion for space-flight programs**. In: IEEE Aerospace conference, 2004. Big Sky. Proceedings. Big Sky, MT: IEEE. 2004. p. 653-662.

SHEARD, S.; ROEDLER, G. J. Interpreting continuous view capability models for higher levels of maturity. **Systems Engineering**, n. 2, p. 15-31, 1999.

SILVEIRA, V. BRASIL DESENVOLVE SISTEMA DE NAVEGAÇÃO DE SATÉLITES E FOGUETES. **Valor Econômico**, São Paulo, 14 dez. 2009. 1. Disponível em: <<http://www.aeb.gov.br/brasil-desenvolve-sistema-de-navegacao-de-satelites-e-foguetes/>>.

SOFTWARE ENGINEERING INSTITUTE. **CMMI roadmaps**. [S.l.]: [s.n.], 2008. 30 p. Disponível em: <<http://www.sei.cmu.edu/reports/08tn010.pdf>>. Acesso em: 28 jan. 2013.

SOFTWARE ENGINEERING INSTITUTE. **CMMI for Development - version 1.3**. [S.l.]: [s.n.], 2010. 482 p. Disponível em: <http://resources.sei.cmu.edu/asset_files/TechnicalReport/2010_005_001_15287.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2014.

SOFTWARE ENGINEERING INSTITUTE. **Appraisal Requirements for CMMI®, v1.3**. [S.l.]: [s.n.], 2011. Disponível em: <http://resources.sei.cmu.edu/asset_files/technicalreport/2011_005_001_15383.pdf>. Acesso em: 26 nov. 2014.

TETLAY, A.; JOHN, P. **Determining the lines of system maturity, system readiness and capability readiness in the system development life cycle**. In: Annual Conference on Systems Engineering Research, 7., 2009, Loughborough, UK. Proceedings. Loughborough, UK: Reseach School of Systems Engineering at Loughborough University. 2009. p. 1-8.

TRENTIM, M. Maturidade Tecnológica em projetos, 2012. Disponível em: <<http://blog.mundopm.com.br/2012/05/30/maturidade-tecnologica-em-projetos/>>. Acesso em: 21 março 2014.

TUCKER, B.; PAXTON, J. **SCRL Model for human space flight operations enterprise supply chain**. Hunstville,AL, USA: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2010.

VALERDI, R.; KOHL, R. **An approach to technology risk management**. In: Engineering Systems Division Sysposium, 1., 2004. Proceedings. Cambridge, MA: [s.n.]. 2004.

VAZ, C. C. Fomento e apoio ao desenvolvimento da capacidade industrial, atendimento às demandas de fabricação dos projetos espaciais. In: ESTRATÉGICOS, S. D. A. **Desafios do programa espacial brasileiro**. Brasília, D.F.: [s.n.], 2011. p. 219-237. Disponível em: <http://www.sae.gov.br/site/wp-content/uploads/espacial_site.pdf>. Acesso em: 28 jan. 2013.

WESKA, J.; BABEL, P.; FERGUSON, J. CMMI: Evolutionary path to enterprise process improvement. **CrossTalk - The Journal of Defense Software Engineering**, p. 8-11, July 2000.

WILKIE, F. G. et al. A low-overhead method for software process appraisal. **Software Process Improvement and Practice Journal**, v12, 19 February 2007. 339-349.

WILKIE, F. G.; MC FALL, D.; MC FERRY, F. An evaluation of CMMI process areas for small-to-medium-sized software development organizations. **Software process improvement and practice Journal**, v10, 2005. 189-201.

YOO, C. et al. **An integrated model of ISO 9001: 2000 and CMMI** for ISO registered organizations. In: Asia-Pacific Software Engineering Conference, 11., 2004, Busan, South Korea. Proceedings. Busan: IEEE. 2004. p. 150-157.

APÊNDICE A – QUESTÕES DA FERRAMENTA TRL CALCULATOR

Foi utilizada neste trabalho as questões previstas no TRL Calculator versão 2.2 (NOLTE, KENNEDY e DZIEGIEL, 2003).

TRL1

Hipótese de pesquisa formulada?

Foram observados princípios científicos básicos ?

Foram definidas as leis físicas e premissas que sustentam as observações ?

Foram verificadas as leis físicas e premissas que sustentam as observações ?

Elementos básicos de tecnologia identificados ?

Conhecimentos científicos gerados sustentam as hipóteses ?

Foram feitas publicações revisadas por pares de estudos confirmando os princípios básicos ?

TRL2

Foi formulado um conceito ?

Os princípios científicos básicos sustentando esse conceito foram identificados ?

Estudos analíticos preliminares confirmam o conceito básico ?

Aplicação foi identificada ?

Uma solução preliminar de design foi identificada ?

Estudos preliminares de sistema mostra que aplicação é factível ?

Foram feitas previsões preliminares de desempenho ?

Foram usados recursos de modelagem e simulação para refinar as previsões de desempenho e confirmar os benefícios ?

Os benefícios foram formulados ?

Foram estabelecidas as definições preliminares de testes de laboratório e de ambiente ?

A viabilidade e os benefícios do conceito/aplicação foram reportados em jornais, anais de conferências científicas ou relatórios técnicos ?

TRL3

Funções e componentes críticos do conceito/aplicação foram identificados ?
Foram feitas previsões analíticas de subsistemas ou componentes ?
A avaliação do desempenho de subsistemas ou componentes foi feita através de modelagem e simulação ?
Foram estabelecidos parâmetros chave preliminares de desempenho ?
Foram estabelecidos testes de laboratório e de ambiente ?
Instalações e equipamentos de testes de laboratório foram concluídos para testes de prova de conceito de componente ?
Foi concluída a aquisição/fabricação de componentes ?
Testes de componentes foram concluídos ?
Análise dos resultados dos testes foram concluídas, estabelecendo parâmetros chave de desempenho de componentes/subsistema ?
Foi feita a verificação analítica de funções críticas da prova de conceito ?
A prova de conceito analítica e experimental foi documentada ?

TRL4

Conceito/aplicação traduzida para um protótipo de bancada detalhado no nível sistema/subsistema/componente ?
Foi completada a definição preliminar de ambiente operacional ?
Testes de laboratório e de ambiente foram definidos para o protótipo de bancada ?
Previsões pré-teste de desempenho do protótipo de bancada em ambiente de laboratório foram avaliadas através de modelagem e simulação ?
Foram estabelecidos parâmetros chave de desempenho para os testes de laboratório do protótipo de bancada ?
Equipamentos de testes de laboratório e instalações foram concluídos para testes do protótipo de bancada ?
Fabricação do protótipo de bancada no nível de sistema/subsistema/componente foi concluída ?
Testes do protótipo de bancada foram concluídos ?
Análise dos testes foi concluída verificando o desempenho em relação às previsões ?
Foram definidos os requisitos preliminares de sistema para usuário final da aplicação ?
Previsões de desempenho e de ambientes de teste críticos foram definidas em relação às definições preliminares de ambiente operacional ?
Foi definido o ambiente relevante de testes ?
Resultados do desempenho do protótipo de bancada, verificando previsões analíticas e definições de ambiente operacional de testes foram documentadas ?

TRL5

Foram identificadas as funções críticas e subsistemas/componentes associados ?
Ambientes relevantes foram finalizados ?
Requisitos de escala foram definidos e documentados ?
Subsistemas/componentes críticos do protótipo de bancada foram identificados e desenhados ?
Foram construídos os subsistemas/componentes do protótipo de bancada ?
Instalações e equipamentos de testes estão disponíveis para suportar o teste em ambiente relevante ?
Foi concluídas as previsões de desempenho pré-teste usando modelagem e simulação ?
Previsões de desempenho no nível de sistema foram feitas para fases subsequentes de desenvolvimento ?
O Protótipo de bancada foi demonstrado com sucesso em ambiente relevante ?
Demonstração bem sucedida foi documentada juntamente com os requisitos de escala ?

TRL6

Requisitos de sistema foram finalizados ?
Definição do ambiente operacional foi finalizada ?
Subconjunto de ambientes relevantes identificados para considerar aspectos chave do ambiente
Foram usados recursos de modelagem e simulação para simular o desempenho do sistema em um ambiente operacional relevante ?
sistema/modelo
de engenharia de subsistema/protótipo no ambiente operacional relevante ?
Foi estabelecido o baseline de interfaces ?
Requisitos de escala foram finalizados ?
Instalações e equipamentos estão disponíveis para suportar os testes do modelo de engenharia em ambiente relevante ?
O modelo de engenharia ou protótipo que considera questões críticas de escala foi fabricado ?
O Modelo de engenharia ou protótipo que considera questões críticas de escala foi testado em ambiente relevante ?
A análise dos resultados de teste verificou as previsões de desempenho para ambiente relevante ?
Os testes de desempenho demonstrando a conformidade com as previsões de desempenho foram documentados ?

TRL7

Foi criado o baseline do hardware de vôo ?

O design considera todas as questões críticas de escala ?

Foram usados recursos de modelagem e simulação para prever o desempenho em ambiente operacional ?

Instalações e equipamentos de teste estão disponíveis para suportar testes de protótipo e de qualificação de demonstração de vôo ?

O modelo de engenharia ou unidade de protótipo em escala, totalmente integrado, que considera todas as questões críticas de escala e interfaces externas foi construído ?

Testes de qualificação para o demonstrador de vôo foram concluídos ?

Todas as especificações de desempenho foram verificadas por testes ou análises ?

Unidade de protótipo totalmente integrada foi demonstrada com sucesso em ambiente operacional ?

Todos os planos/procedimentos/critérios de aceitação final de testes tiveram seu baseline criado ?

A demonstração bem sucedida de vôo foi documentada ?

TRL8

O design de todos os subsistemas de hardware de vôo foram completados ?

Todas as interfaces do hardware de vôo foram definidas ?

O design do sistema de vôo está completo ?

O baseline dos planos de vôo e de terra está criado ?

Todos os testes de qualificação estão concluídos ?

Todas as especificações de desempenho foram verificadas por meio de testes ou análises ?

Os testes de aceitação de todos os componentes/subsistemas/sistema do hardware de vôo foram concluídos ?

Todo o hardware de vôo foi entregue para integração ?

A integração do sistema final foi concluída ?

A prontidão do sistema para lançamento/operação está documentada ?

TRL9

O sistema de vôo foi inserido no ambiente operacional ?

O sistema de vôo operou em ambiente operacional ?

O desempenho do sistema de vôo foi analisado ?

O desempenho do sistema de vôo foi verificado conforme os requisitos operacionais ?

A verificação da performance do sistema de vôo conforme os requisitos operacionais foi documentada ?

APÊNDICE B – QUESTÕES RELATIVAS ÀS PRÁTICAS ESPECÍFICAS DAS ÁREAS DE PROCESSO DO GRUPO DE ENGENHARIA DO CMMI-DEV®

DESENVOLVIMENTO DE REQUISITOS (RD)
SG.1-Desenvolver requisitos de stakeholders
1.1-Elicitar necessidades
Utiliza métodos de elicitación de necessidades, expectativas, restrições e interfaces externas para envolver stakeholders relevantes?
1.2-Desenvolver os requisitos de stakeholder
Traduz as necessidades, expectativas, restrições e interfaces em um documento de requisitos do stakeholder?
Define restrições para verificação e validação?
SG.2-Desenvolver requisitos de produto
2.1-Estabelecer requisitos de produto e componentes de produto
Desenvolve requisitos em termos técnicos necessários para o produto e design de componente de produto?
Deriva requisitos que resultam de decisões de design?
Estabelece e mantém relacionamentos entre requisitos para serem considerados durante a gestão das modificações e alocação de requisitos?
2.2-Alocar requisitos de componente de produto
Aloca requisitos a funções?
Aloca requisitos a componentes de produto?
Aloca restrições de design a componentes de produto?
Documenta relacionamentos entre requisitos alocados?
2.3-Identificar requisitos de interface
Identifica interfaces tanto externas ao produto, quanto internas?
Desenvolve os requisitos para as interfaces identificadas?
SG.3-Analisar e validar requisitos
3.1-Estabelecer conceitos operacionais e cenários
Desenvolve conceitos operacionais e cenários que incluem funcionalidade, performance, manutenção, suporte e descarte apropriado?
Define o ambiente no qual o produto ou o componente de produto irá operar, incluindo condições de contorno e restrições?
Revisa conceitos operacionais e cenários para refinar e descobrir novos requisitos?
Desenvolve um conceito operacional detalhado, com o produto e componentes de produto selecionados, que define a interação do produto com usuário final e o ambiente, satisfazendo as necessidades de operação, manutenção, suporte e descarte ?
3.2-Estabelecer uma definição da funcionalidade requerida
Analisa e quantifica a funcionalidade requerida pelo usuário final ?
Analisa requisitos para identificar partições lógicas e funcionais, como por exemplo, subfunções?
Particiona requisitos em grupos, baseados em critérios estabelecidos como por exemplo: funcionalidade similar, desempenho ou acoplamento, para facilitar e focar a análise dos requisitos?

Considerar o sequenciamento de funções de tempo-crítico tanto inicialmente quanto posteriormente durante o desenvolvimento de componentes de produto?
Aloca requisitos de stakeholder para partições funcionais, objetos, pessoas ou elementos de suporte para suportar a síntese das soluções?
Aloca requisitos funcionais e de performance para funções e subfunções?
3.3-Analisar requisitos
Analisa necessidades, expectativas, restrições e interfaces para remover conflitos e organizá-los em seus assuntos relativos?
Analisa requisitos para determinar se eles satisfazem aos objetivos de requisitos de níveis superiores?
Analisa requisitos para assegurar que eles sejam completos, factíveis, realizáveis e verificáveis?
Identifica requisitos chave que tem forte influência nos custos, prazos, funcionalidade, riscos ou desempenho?
Identifica medidas técnicas de desempenho que serão perseguidas durante o esforço de desenvolvimento?
Analisa os conceitos operacionais e cenários para refinar as necessidades dos stakeholders, restrições e interfaces para descobrir novos requisitos?
3.4-Analisar requisitos para atingir o balanceamento
Usa modelos provados, simulações e prototipagem para analisar o balanço das necessidades dos stakeholders e restrições?
Executar uma avaliação de risco sobre os requisitos e arquitetura funcional?
Examinar os conceitos de ciclo de vida do produto para impactos dos requisitos nos riscos?
3.5-Validar requisitos
Analisa os requisitos para determinar o risco que o produto não execute suas funções adequadamente no ambiente de uso?
Explora a adequação e abrangência das necessidades, desenvolvendo representações de produtos por exemplo, protótipos, simulações, modelos, cenários e storyboards e pela obtenção de feedback sobre eles a partir de partes interessadas relevantes?
Avalia o design à medida que amadurece no contexto do ambiente de validação dos requisitos para identificar problemas de validação e expor as necessidades e exigências dos stakeholders não declaradas?
SOLUÇÃO TÉCNICA (TS)
SG.1-Selecionar soluções de componente de produto
1.1-Desenvolver soluções alternativas e critérios de seleção
São identificados critérios para selecionar um conjunto de soluções alternativas?
São identificadas tecnologias em uso atualmente e novas tecnologias de produtos para obter vantagem competitiva?
São identificados produtos COTS (produtos de prateleira) candidatos que satisfaçam os requisitos?
São geradas soluções alternativas?
São feitas alocações de requisitos para cada alternativa?
São desenvolvidos critérios para a escolha da melhor solução alternativa?
1.2-Selecionar soluções de componente de produto
Cada alternativa é avaliada contra os critérios de seleção estabelecidos no contexto dos conceitos operacionais e cenários?
Os critérios de avaliação das alternativas têm sua adequação avaliada e atualizada, se necessário?
Os problemas são identificados e resolvidos com as soluções e requisitos alternativo?

É escolhido o melhor conjunto de soluções alternativas que satisfaçam os critérios de seleção estabelecidos?
São estabelecidos os requisitos associados com o conjunto selecionado de alternativas, tais como o conjunto de requisitos alocados aos componentes do produto?
São identificadas as soluções de componentes do produto a serem reutilizadas ou adquiridas?
Estabelece e mantém a documentação das soluções, avaliações e justificativas?
SG.2-Desenvolver o design
2.1-Projetar o produto ou componente de produto
Estabelece e mantém critérios pelos quais o design pode ser avaliado?
Identifica, desenvolve ou adquire os métodos de design adequados para o produto?
Assegurar que o design adere aos padrões aplicáveis?
Assegura que o design adere aos requisitos alocados?
Documenta o design?
2.2-Estabelecer pacote de dados técnicos
Determina o número de níveis de projeto e do nível apropriado de documentação para cada nível de design?
Documenta o design no pacote de dados técnicos?
Documenta a justificativa para as decisões chave (custo, cronograma ou desempenho técnico) tomadas ou definidas?
Revisa o pacote de dados técnicos, conforme necessário?
2.3-Projetar interfaces usando critérios
Define critérios de interface?
Identifica as interfaces associadas a outros componentes do produto?
Identifica as interfaces associadas a itens externos?
Identifica interfaces entre componentes do produto e processos de ciclo de vida de produtos relacionados?
Aplica os critérios para as alternativas de design de interface?
Documenta os designs de interface selecionados e o critério para a seleção?
2.4-Executar análise de fazer, comprar ou reutilizar
Desenvolve critérios para reutilizar designs de componentes de produtos?
Analisa projetos para determinar se os componentes do produto devem ser desenvolvidos, reutilizados ou comprados?
Analisa as implicações para a manutenção quando se considera itens adquiridos ou não desenvolvíveis (do governo, da prateleira, e reutilização)
SG.3-Implementar o design de produto
3.1-Implementar o design
Usa métodos eficazes para implementar os componentes do produto?
Adere as às normas e critérios aplicáveis?
Conduz avaliações por pares dos componentes de produtos selecionados?
Realiza testes unitários de componente do produto, conforme apropriado?
Revisa o componente do produto, conforme necessário?
3.2-Desenvolver documentação de suporte do produto

Revê os requisitos, design, produto e resultados de teste para garantir que as questões que afetam a instalação, operação, manutenção e documentação são identificados e resolvidos?
Usa métodos eficazes para desenvolver a documentação de instalação, operação e manutenção
Adere aos padrões de documentação aplicáveis?
Desenvolve versões preliminares da instalação, operação, manutenção e documentação nas fases iniciais do ciclo de vida do projeto de revisão pelos stakeholders relevantes?
Conduz avaliações por pares da documentação de instalação, operação e manutenção?
Revê a documentação de instalação, operação e manutenção conforme necessário?
INTEGRAÇÃO DE PRODUTO (PI)
SG.1-Preparar para integração de produto
1.1-Determinar sequência de integração
Identifica os componentes a serem integrados?
Identifica as verificações a serem feitas durante a integração dos componentes do produto?
Identifica as alternativas de sequência de integração de componentes?
Seleciona a melhor alternativa?
Revisa periodicamente a sequência selecionada, conforme a necessidade?
Registra e referencia as justificativas (rationale)?
1.2-Estabelecer ambiente de integração de produto
Identifica os requisitos do ambiente de integração?
Identifica os procedimentos e critérios de verificação para o ambiente de integração?
Estabelece se é necessário comprar ou construir o ambiente de integração?
O ambiente de integração é desenvolvido se não puder ser adquirido?
O ambiente é mantido ao longo do projeto?
Partes do ambiente de integração que não serão mais úteis são devidamente descartadas?
1.3-Estabelecer critérios e procedimentos de integração de produto
São estabelecidos e mantidos procedimentos de integração de produto para componentes de produto?
São estabelecidos e mantidos critérios para integração de componentes de produto e avaliação?
São estabelecidos e mantidos critérios para validação e entrega do produto integrado?
SG.2-Assegurar compatibilidade de interfaces
2.1-Revisar descrições de interface para completude
Os dados de interface para assegurar a completa cobertura de todas as interfaces são revistos?
É assegurado que os componentes de produtos e suas interfaces são marcados para assegurar fácil e correta conexão dos componentes do produto?
A adequação das descrições de interface é periodicamente revista?
2.2-Gerenciar interfaces
A compatibilidade das interfaces ao longo do ciclo de vida do produto é assegurada?
Questões sobre conflitos, não conformidades e modificações são resolvidas?
É mantido um repositório de dados de interface para todos os participantes do projeto?
SG.3-Montar componentes de produto e entregar o produto
3.1-Confirmar se os componentes de produto estão prontos para integração
Rastrear o status de todos os componentes de produto assim que eles estejam disponíveis para integração?

É assegurado que os componentes de produto são entregues no ambiente de integração de acordo com a sequência de integração e procedimentos?
Os componentes são recebidos e identificados adequadamente?
Cada componente recebido tem sua descrição?
O status da configuração é checado contra a configuração esperada?
São executados procedimentos de pré-chechagem (exemplo: inspeção visual e medições básicas de verificação) dos componentes físicos do produto antes de conectá-los?
3.2-Montar componentes de produto
É assegurado que o ambiente de integração está pronto para o início da integração?
É assegurado que a sequência de montagem foi executada corretamente?
A sequência de integração e os procedimentos disponíveis são revistos apropriadamente?
3.3-Avaliar montagem de componentes de produto
É conduzida a avaliação dos componentes montados seguindo a sequência de integração de produto e os procedimentos disponíveis?
Os resultados da avaliação são registrados?
3.4-Embalar e entregar o produto ou componente de produto
A revisão dos requisitos, design, produto, resultados de verificação e documentação asseguram que as questões que afetam o condicionamento e entrega do produto são identificados e resolvidos?
Existem métodos efetivos para condicionar e entregar o produto montado?
Os requisitos aplicáveis e normas de embalagem e entrega do produto são satisfeitos?
O ambiente operacional é preparado para a instalação do produto?
Entrega o produto com a documentação relacionada e confirma recebimento?
Instala o produto no ambiente operacional e confirma a correta operação?
VERIFICAÇÃO (VER)
SG.1-Preparar para verificação
1.1-Selecionar produtos de trabalho para verificação
Identifica os produtos de trabalho para verificação?
Identifica os requisitos a serem satisfeitos para cada produto de trabalho selecionado?
Identifica os métodos de verificação disponíveis para uso?
Define os métodos de verificação a serem usados para cada produto de trabalho selecionado?
Submete as atividades de integração com plano de projeto para identificar produtos de trabalho a serem verificados, os requisitos a serem satisfeitos e os métodos a serem utilizados?
1.2-Estabelecer ambiente de verificação
Identifica requisitos do ambiente de verificação?
Identifica os recursos que estão disponíveis para reuso e modificação?
Identifica equipamentos e ferramentas de verificação?
Obtém equipamentos e ambiente de suporte para verificação, tais como equipamentos de teste e software?
1.3-Estabelecer critérios e procedimentos de verificação
Gera um conjunto amplo de procedimentos de verificação integrada para qualquer produto de trabalho ou de prateleira (COTS) conforme o necessário?

Desenvolve e refina critérios de verificação, quando necessário?
Identifica os resultados esperados, qualquer tolerância permitida em observações e outros critérios que satisfaçam os requisitos?
Identifica qualquer equipamento e componente ambiental necessário para suportar a verificação?
SG.2-Executar revisão por pares
2.1-Preparar-se para revisão por pares
Determina qual tipo de revisão por pares será realizada?
Define os requisitos de coleta de dados durante a revisão por pares?
Estabelece e mantém critérios de entrada e saída para a revisão por pares?
Estabelece e mantém critérios para requerer outra revisão por pares?
Estabelece e mantém listas de verificação (checklists) para assegurar que todos os produtos de trabalho são revisados consistentemente?
Desenvolve um detalhado plano de revisão por pares, incluindo as datas para treinamento e quando o material para revisão por pares estará disponível?
Assegura que os produtos de trabalho satisfazem os critérios de entrada da revisão por pares de priorização para distribuição?
Distribui o produto de trabalho a ser revisado e as informações relacionadas para os participantes com antecedência suficiente para prepará-los adequadamente para a revisão por pares?
Atribui de forma apropriada os papéis para a revisão por pares?
Prepara para revisão por pares, revendo o produto de trabalho antes de conduzir a revisão por pares?
2.2-Conduzir revisão por pares
Executa a revisão por pares conforme os papéis atribuídos?
Identifica e documenta defeitos e outras questões do produto de trabalho?
Registra os resultados da revisão por pares, incluindo itens de ação?
Coleta os dados da revisão por pares?
Identifica itens de ação e comunica as questões aos stakeholders relevantes?
Conduz uma revisão por pares adicional se os critérios definidos indicam a necessidade?
Assegura que os critérios de saída para a revisão por pares são satisfeitos?
2.3-Analisar dados da revisão por pares
Registra os dados relacionados com a preparação, realização e resultados da avaliação por pares?
Armazena os dados para futuras referências e análises?
Protege os dados da revisão por pares para que não sejam usados de forma inadequada?
Analisa os dados da revisão por pares?
SG.3-Verificar produtos de trabalho selecionados
3.1-Executar verificação
Executa a verificação dos produtos de trabalho selecionados contra seus requisitos?
Registra os resultados das atividades de verificação?
Identifica itens de ação resultantes da verificação dos produtos de trabalho?
Documentar o método de verificação "as-run" e os desvios dos métodos e procedimentos disponíveis descobertos durante o seu desempenho?
3.2-Analisar resultados da verificação
Compara resultados reais com os resultados esperados?

Baseado nos critérios de verificação estabelecidos, identifica produtos que não atingiram seus requisitos ou identifica problemas com métodos, procedimentos, critérios e ambiente de verificação?
Analisa os dados de verificação em defeitos?
Registra todos os resultados das análises em um relatório?
Usa os resultados da verificação para comparar medidas e desempenho reais para os parâmetros de desempenho técnico?
Fornecer informações de como os problemas podem ser resolvidos (incluindo métodos de verificação, critérios e ambiente de verificação) e inicia ações corretivas?
VALIDAÇÃO (VAL)
SG.1-Preparar validação
1.1-Selecionar produtos para validação
Identifica princípios chave, características e fases para validação de produto ou componentes de produto ao longo do ciclo de vida do projeto?
Determina quais categorias de necessidades de usuário (operacional, manutenção, treinamento ou suporte) serão validadas?
Seleciona o produto ou componentes de produto a ser validado?
Seleciona os métodos de avaliação para validação produto ou componente de produto?
Revisa a seleção de validação, restrições e métodos com stakeholders relevantes?
1.2-Estabelecer ambiente de validação
Identifica os requisitos do ambiente de validação?
Identifica produtos fornecidos pelo stakeholder?
Identifica equipamentos de teste e ferramentas?
Identifica recursos de validação disponíveis para reuso e modificação?
Planeja a disponibilidade de recursos em detalhes?
1.3-Estabelecer critérios e procedimentos de validação
Revisa os requisitos de produto para assegurar que as questões que afetam a validação do produto ou componente de produto estão identificadas e resolvidas?
Documenta o ambiente, cenário operacional, procedimentos, entradas, saídas e critérios para validação do produto ou componente de produto selecionado?
Avaliar o design à medida que amadurece no contexto do ambiente de validação para identificar problemas de validação?
SG.2-Validar produto ou componente de produto
2.1-Executar validação
Cria relatórios de validação?
Registra resultados de validação?
Usa matriz de referência cruzada de validação?
Registra log de execução de procedimento?
Realiza demonstrações operacionais?
2.2-Analisar resultados da validação
Compara resultados reais com os resultados esperados?
Baseado nos critérios de validação estabelecidos, identifica produtos ou componentes de produto que não funcionaram adequadamente em seus ambientes operacionais pretendidos?

Analisa dados de validação para defeitos?
Registra os resultados das análises e identifica problemas?
Usa os resultados da validação para comparar medidas e desempenho reais com o uso pretendido em ambiente operacional?

APÊNDICE C - QUESTÕES BASEADAS NO NÍVEL EXECUTIVO DA FERRAMENTA MRL ASSIST

Abaixo, estão listadas as questões utilizadas no levantamento dos aspectos de *Manufacturing Readiness Levels* do trabalho, baseadas nas questões de nível executivo da ferramenta MRL Assist, O acrônimo “MAN” foi criado nos mesmos moldes das áreas de processo do CMMI e tem apenas a finalidade de padronizar a representação das informações vindas de origens distintas.

Manufatura (MAN)
<p><u>1-Custos e Recursos</u> Aspectos considerados: Envolvimento prévio da manufatura no desenvolvimento e seleção da tecnologia; Estabelecimento de Design to cost (DTC) e metas de custo de manufatura; Atividades de redução de custos; Progresso ao longo das metas; Disponibilidade de fundos necessários; Planos de mitigação de custos;</p>
1.1-Foi estabelecido um programa de Design to Production Cost (DPTC)?
1.2-Foram estabelecidos direcionadores de custo?
1.3-Os direcionadores de custos estão sendo monitorados?
1.4-Foram identificados os custos de produção?
1.5-Foi desenvolvido um plano de redução de custos?
1.6-Existem recursos disponíveis para a condução dos esforços de manufatura?
<p><u>2-Materiais</u> Aspectos considerados: Entendimento das propriedades básicas do material; Disponibilidade; Considerações ambientais; Desafios de escala; Caracterização no ambiente de manufatura; Custos; Lead times; Restrições de capacidade; Fontes de suprimento(nacionais, estrangeiras, única, múltipla, diminuindo); Plano de fazer/comprar; Uso de produtos de prateleira (COTS); Grau de competição; Armazenagem e manuseio; Controle de peças;</p>
2.1-Os materiais foram caracterizados?
2.2-A disponibilidade dos materiais atende às necessidades?

2.3-A adequação das fontes de suprimentos foi avaliada e atende às necessidades?
2.4-O sistema de gestão da cadeia de suprimentos do contratado foi validado?
2.5-Aspectos de manuseio especial de materiais foram identificados e estão sendo gerenciados?
2.6-Os materiais foram validados em linha piloto?
2.7-Os materiais foram validados em linha de produção de pequena escala?
<u>3-Controle e capacidade do processo</u> Aspectos considerados: Caracterização do processo; Níveis sigma; Redução da variação e variabilidade; Identificação de características chave e de indicadores de capacidade do processo;
3.1-Os métodos requeridos de montagem foram identificados?
3.2-O estado da arte da manufatura foi definido?
3.3-Os processos de fabricação foram simulados/modelados?
3.4-Os requisitos de processo foram identificados?
3.5-Os processos críticos foram definidos?
3.6-Existe um plano para a redução da variação e da variabilidade?
<u>4-Gestão da Qualidade</u> Aspectos considerados: Planejamento para a qualidade; Existência de uma estratégia da qualidade da organização; Desenvolvimento de plano de qualidade para <i>Prime contractors</i> ; Criação de estruturas chave para gestão da qualidade da cadeia de fornecedores; Entendimento do modelo de qualidade do contratado; Desdobramentos de riscos dentro da linguagem contratual;
4.1-Foi desenvolvido um plano e estratégia da qualidade?
4.2-O modelo da qualidade a ser usado foi analisado?
4.3-O modelo da qualidade do subcontratado foi analisado?
4.3-Foram identificadas as estruturas chave da gestão da cadeia de suprimentos?
4.5-Foram integradas as estruturas chave da gestão da cadeia de suprimentos?
<u>5-Desenvolver Mão de obra:</u> Aspectos considerados: Envolvimento com programas de Ciência e Tecnologia e tecnologia de manufatura; Envolvimento da manufatura nos processos de engenharia de sistemas; Identificação de responsáveis pelo planejamento, programação e controle de pessoal; Identificação de ferramentas e engenheiros industriais; Processo de Treinamento de operadores (incluindo planos de treinamento e certificações requeridas)
5.1-Foi avaliada a necessidade de processos e habilidades especiais?
5.2-Foi estabelecido um plano para implementar habilidades necessárias?
5.3-Existem ações planejadas para minimizar os requisitos de habilidades especiais?
5.4-Foi estabelecido um plano de educação e treinamento?
5.5-Foi realizado treinamento/certificação para as habilidades necessárias?
5.6-As habilidades necessárias e especiais foram verificadas em linha piloto?
5.7-As habilidades necessárias e especiais foram validadas em linha de produção de pequena escala?

<p><u>6-Estabelecer Infraestrutura/Instalações:</u> Aspectos considerados: Localização (doméstica ou estrangeira); Linhas de fabricação novas ou já existentes; Dedicada ou compartilhada; De propriedade/operada pelo governo ou contratado (orgânica, comercial ou núcleo); Legislação ambientais local; Sindicatos; Capacidade de utilização; Uso de centros/linhas piloto de desenvolvimento de manufatura;</p>
6.1-Foram avaliados os efeitos do design nos processos e infraestrutura disponíveis?
6.2-Foram estabelecidos requisitos de infraestrutura (incluindo laboratórios e instalações de teste)?
6.3-Foram estabelecidas e validadas instalações específicas?
6.4-Foi definido o fluxo de produção?
<p><u>7-Gerenciar manufatura:</u> Aspectos considerados: Adequação da estratégia de manufatura; Integração com a estratégia de aquisição; Plano de maturidade da manufatura; Integração com um plano de gestão de riscos; Programação de ferramental; Principais instalações de equipamentos e de manutenção; Pessoal; Entregáveis (gestão de materiais, por exemplo); Fluxo de produto e equipamentos de teste; Gestão da cadeia de suprimentos;</p>
7.1-Foi avaliada a aplicabilidade dos elementos críticos de tecnologia?
7.2-Foram identificados os requisitos de tecnologia de manufatura?
7.3-Foi desenvolvida uma estratégia de manufatura?
7.4-Foi desenvolvido um plano inicial de manufatura?
7.5-O plano de manufatura está sendo gerenciado?

APÊNCIDE D – SUGESTÃO DE CRIAÇÃO E USO DE INDICADORES BASEADOS NA ABORDAGEM PROPOSTA

Como sugestão para o *modus operandi* da utilização dos indicadores propostos neste trabalho, foi utilizada a técnica 5W2H (*What, Why, When, Where, Who, How, How Much*), que consiste num *check list* que permite estruturar e responder de forma clara e sucinta determinadas questões consideradas essenciais para execução de uma atividade.

Indicador	IG (Indicador Geral de Melhoria)	IT (Indicador de Tecnologia)
What	Indicador Geral de melhoria baseado em três sub-indicadores: IT, ID e IM. Seu cálculo é feito com base no produto de IT pela média geométrica de ID e IM. A proposta dessa forma de cálculo é verificar a garantir o equilíbrio os três indicadores, evitando distorções na interpretação do IG que um único sub-indicador (ID ou IM), com nível elevado de avaliação, possa causar pelo uso de média aritmética simples.	Indicador de tecnologia: baseado nos elementos de avaliação presentes no TRL Calculator. É obtido preliminarmente pela razão entre a expectativa de um nível TRL para um <i>milestone</i> pré-estabelecido no projeto e o nível TRL máximo esperado no final do projeto. Após o início do projeto, a obtenção dos níveis TRL são obtidos para cada <i>milestone</i>
Why	Estabelecer de forma sistemática os critérios e expectativas de melhoria a serem obtidas durante o projeto; Auxiliar no acompanhamento tanto de alto nível, quanto detalhado das melhorias a serem implementadas ou em implementação;	Estabelecer de forma sistemática os critérios e expectativas de melhoria a serem obtidas durante o projeto; Auxiliar no acompanhamento tanto de alto nível, quanto detalhado das melhorias a serem implementadas ou em implementação;
When	É obtido a partir das expectativas iniciais de um projeto que venha envolver fornecedores de pequeno e médio porte; Seu monitoramento é feito periodicamente durante o projeto para identificar o quanto as expectativas estão sendo atingidas ou não	É obtido a partir das expectativas iniciais de um projeto que venha envolver fornecedores de pequeno e médio porte; Seu monitoramento é feito periodicamente durante o projeto para identificar o quanto as expectativas estão sendo atingidas ou não
Where	A curva inicial de referência com as expectativas de melhoria do início ao fim do projeto, em cada <i>milestone</i> , é feita inicialmente pelos agentes de fomento e de compra governamentais e explanadas aos pequenos e médios fornecedores participantes do programa; Com início das atividades de projeto, as atividades complementares de monitoramento com coleta e compilação de dados é feita nos diferentes fornecedores participantes do projeto.	A curva inicial de referência com as expectativas de melhoria do início ao fim do projeto é feita inicialmente pelos agentes de fomento e de compra governamentais e explanadas aos fornecedores participantes do programa de desenvolvimento de pequenos e médios fornecedores para os quais se aplica a avaliação dos elementos TRL; Com início das atividades de projeto, as atividades complementares de monitoramento com coleta e compilação de dados é feita nos diferentes fornecedores participante do programa, nos quais tal avaliação seja aplicável.
Who	Uma equipe multidisciplinar, mobilizada em caráter permanente ou sob demanda que reúna diferentes especialistas nos diferentes elementos abordados	Equipe formada por especialistas na tecnologia sob avaliação, mobilizada em caráter permanente ou sob demanda que reúna diferentes especialistas nos diferentes elementos abordados. É importante também o envolvimento de membros da equipe responsáveis pelas avaliações de processos de desenvolvimento e de fabricação/manufatura

Indicador	IG (Indicador Geral de Melhoria)	IT (Indicador de Tecnologia)
How	<p>Estabelecer todos os objetivos do trabalho e organizar encontros com os fornecedores envolvidos no programa para:</p> <p>Explicar como o trabalho de monitoramento será feito;</p> <p>Definir como será a atuação dos órgãos de fomento e compra sobre as oportunidades de melhoria;</p> <p>Apresentar a curva de expectativas de melhoria, comparando-a com a curva de monitoramento;</p> <p>Apresentar os resultados de cada avaliação aos fornecedores;</p> <p>Apresentar os resultados de cada avaliação aos órgãos de fomento e compra;</p>	<p>Estabelecer todos os objetivos do trabalho e organizar encontros com os fornecedores envolvidos no programa para:</p> <p>Explicar como o trabalho de monitoramento será feito;</p> <p>Definir como será a atuação dos órgãos de fomento e compra sobre as oportunidades de melhoria;</p> <p>Apresentar a curva de expectativas de melhoria, comparando-a com a curva de monitoramento;</p> <p>Apresentar os resultados de cada avaliação aos fornecedores;</p> <p>Apresentar os resultados de cada avaliação aos órgãos de fomento e compra;</p>
How Much	<p>Recursos de HH investidos na equipe de monitoramento, incluindo recursos de suporte operacional, especialmente nos levantamentos de campo;</p> <p>Recursos financeiros, econômicos e técnicos a serem disponibilizados a partir da priorização das ações de melhoria inicialmente identificadas, cujos prazos de implementação podem ultrapassar o cronograma de projeto.</p>	<p>Recursos de HH investidos na equipe de monitoramento, incluindo recursos de suporte operacional, especialmente nos levantamentos de campo;</p> <p>Recursos financeiros, econômicos e técnicos a serem disponibilizados a partir da priorização das ações de melhoria inicialmente identificadas, cujos prazos de implementação podem ultrapassar o cronograma de projeto.</p>

Indicador	ID (Indicador de Desenvolvimento)	IM (Indicador de Manufatura)
What	<p>Indicador de desenvolvimento: baseado nos elementos de avaliação das práticas específicas do grupo de áreas de processo de Engenharia presentes no modelo de maturidade/capacidade CMMI-DEV[®]. É obtido preliminarmente pela expectativa, em termos percentuais, de quanto cada prática específica aplicável tenha sua equivalente no fornecedor sendo executada e implementada nas diferentes áreas de processo de Engenharia no final do projeto .</p> <p>Após o início do projeto, o indicador IDES é obtido pela avaliação do nível de implementação das práticas específicas para cada <i>milestone</i>.</p> <p>Seu valor corresponde à média aritmética dos percentuais de implementação das práticas específicas de cada área de processo aplicável</p>	<p>Indicador de manufatura: É baseado na estrutura de avaliação do modelo de maturidade MRL. Diferentemente da forma de obtenção do IT, que se baseia na relação entre o TRL esperado e o TRL máximo esperado no final do projeto, o cálculo do IM não escabece um MRL máximo de referência. O cálculo baseia-se apenas em 7 tópicos ao invés dos 9 originais, pois os tópicos "Base industrial" e "Design" apresentam redundâncias na avaliação em relação aos outros dois indicadores.</p> <p>Dessa forma, o indicador é estabelecido por uma expectativa de implementação dos tópicos durante o projeto e são medidos juntamente com os outros dois indicadores.</p> <p>As questões utilizadas nesta sugestão de avaliação baseiam-se nas questões de nível Executivo da ferramenta MRL <i>Assist Tool</i>.</p> <p>Sua obtenção é feita pela média aritmética dos percentuais atingidos em cada tópico</p>
Why	<p>Estabelecer de forma sistemática os critérios e expectativas de melhoria a serem obtidas durante o projeto;</p> <p>Auxiliar no acompanhamento tanto de alto nível, quanto detalhado das melhorias a serem implementadas ou em implementação;</p>	<p>Estabelecer de forma sistemática os critérios e expectativas de melhoria a serem obtidas durante o projeto;</p> <p>Auxiliar no acompanhamento tanto de alto nível, quanto detalhado das melhorias a serem implementadas ou em implementação;</p>
When	<p>É obtido a partir das expectativas iniciais de um projeto que venha envolver fornecedores de pequeno e médio porte;</p> <p>Seu monitoramento é feito periodicamente durante o projeto para identificar o quanto as expectativas estão sendo atingidas ou não</p>	<p>É obtido a partir das expectativas iniciais de um projeto que venha envolver fornecedores de pequeno e médio porte;</p> <p>Seu monitoramento é feito periodicamente durante o projeto para identificar o quanto as expectativas estão sendo atingidas ou não</p>

Indicador	ID (Indicador de Desenvolvimento)	IM (Indicador de Manufatura)
Where	A curva inicial de referência com as expectativas de melhoria do início ao fim do projeto é feita inicialmente pelos agentes de fomento e de compra governamentais e explanadas aos fornecedores participantes do programa de desenvolvimento de pequenos e médios fornecedores para os quais se aplica a avaliação dos elementos TRL; Com início das atividades de projeto, as atividades complementares de monitoramento com coleta e compilação de dados é feita nos diferentes fornecedores participante do programa, nos quais tal avaliação seja aplicável.	A curva inicial de referência com as expectativas de melhoria do início ao fim do projeto é feita inicialmente pelos agentes de fomento e de compra governamentais e explanadas aos fornecedores participantes do programa de desenvolvimento de pequenos e médios fornecedores para os quais se aplica a avaliação dos elementos TRL; Com início das atividades de projeto, as atividades complementares de monitoramento com coleta e compilação de dados é feita nos diferentes fornecedores participante do programa, nos quais tal avaliação seja aplicável.
Who	Equipe formada por especialistas na tecnologia sob avaliação, mobilizada em caráter permanente ou sob demanda que reúna diferentes especialistas nos diferentes elementos abordados. É importante também o envolvimento de membros da equipe responsáveis pelas avaliações de processos de fabricação/manufatura	Equipe formada por especialistas na tecnologia sob avaliação, mobilizada em caráter permanente ou sob demanda que reúna diferentes especialistas nos diferentes elementos abordados. É importante também o envolvimento de membros da equipe responsáveis pelas avaliações de processos de desenvolvimento.
How	Estabelecer todos os objetivos do trabalho e organizar encontros com os fornecedores envolvidos no programa para: Explicar como o trabalho de monitoramento será feito; Definir como será a atuação dos órgãos de fomento e compra sobre as oportunidades de melhoria; Apresentar a curva de expectativas de melhoria, comparando-a com a curva de monitoramento; Apresentar os resultados de cada avaliação aos fornecedores; Apresentar os resultados de cada avaliação aos órgãos de fomento e compra;	Estabelecer todos os objetivos do trabalho e organizar encontros com os fornecedores envolvidos no programa para: Explicar como o trabalho de monitoramento será feito; Definir como será a atuação dos órgãos de fomento e compra sobre as oportunidades de melhoria; Apresentar a curva de expectativas de melhoria, comparando-a com a curva de monitoramento; Apresentar os resultados de cada avaliação aos fornecedores; Apresentar os resultados de cada avaliação aos órgãos de fomento e compra;
HowMuch	Recursos de HH investidos na equipe de monitoramento, incluindo recursos de suporte operacional, especialmente nos levantamentos de campo; Recursos financeiros, econômicos e técnicos a serem disponibilizados a partir da priorização das ações de melhoria inicialmente identificadas, cujos prazos de implementação podem ultrapassar o cronograma de projeto.	Recursos de HH investidos na equipe de monitoramento, incluindo recursos de suporte operacional, especialmente nos levantamentos de campo; Recursos financeiros, econômicos e técnicos a serem disponibilizados a partir da priorização das ações de melhoria inicialmente identificadas, cujos prazos de implementação podem ultrapassar o cronograma de projeto.