

Dissertação apresentada à Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa do Instituto Tecnológico de Aeronáutica, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências no Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologias Espaciais, Área de Gestão Tecnológica.

Marcílio Antonio Fernandes de Andrade

**ADAPTAÇÃO DA METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DA
MATURIDADE DE FABRICAÇÃO DA INDÚSTRIA
ESPACIAL BRASILEIRA**

Dissertação aprovada em sua versão final pelos abaixo assinados:



Prof. Dr. Francisco Cristóvão Lourenço de Melo
Orientador

Prof. Dr. Antonio Ramalho de Souza Carvalho
Coorientador

Prof. Dr. Pedro Teixeira Lacava
Pró-Reitor de Pós-Graduação e Pesquisa

Campo Montenegro
São José dos Campos, SP – Brasil
2018

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Divisão de Informação e Documentação

Andrade, Marcílio Antonio Fernandes de
Adaptação da metodologia para avaliação da maturidade de fabricação da indústria espacial brasileira / Marcílio Antonio Fernandes de Andrade.
São José dos Campos, 2018.
123f. Número de Folhas

Dissertação de mestrado – Curso Ciências e Tecnologias Espaciais, Área de Gestão Tecnológica – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, ano. Orientador: Prof. Dr. Francisco Cristóvão Lourenço de Melo.

1. Gestão Tecnológica. 2. Maturidade de Fabricação. 3. Maturidade Tecnológica. 4. MRL. 5. Gestão de Riscos. I. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. II. Análise da industrialização do VSB-30 por meio da avaliação da maturidade de fabricação

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ANDRADE, Marcílio Antonio Fernandes de. **Adaptação da metodologia para avaliação da maturidade de fabricação da indústria espacial brasileira**. 2018. 123f. Total de folhas. Dissertação (mestrado em Sistemas Espaciais, Ensaios e Lançamentos) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Marcílio Antonio Fernandes de Andrade
TÍTULO DO TRABALHO: Adaptação da metodologia para avaliação da maturidade de fabricação da indústria espacial brasileira
TIPO DO TRABALHO/ANO: Dissertação / 2018

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

Marcílio Antonio Fernandes de Andrade
Av. Cassiano Ricardo, 101, apto 114-A
CEP: 12246-870, São José dos Campos - SP

**ADAPTAÇÃO DA METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DA
MATURIDADE DE FABRICAÇÃO DA INDÚSTRIA
ESPACIAL BRASILEIRA**

Marcílio Antonio Fernandes de Andrade

Composição da Banca Examinadora:

Profa. Dra.	Mischel Carmen Neyra Belderrain	Presidente	- ITA
Prof. Dr.	Francisco Cristóvão Lourenço de Melo	Orientador	- ITA
Prof. Dr.	Antonio Ramalho de Souza Carvalho	Coorientador	- DCTA
Prof. Dr.	Fernando Teixeira Mendes Abrahão	Membro Interno	- ITA
Prof. Dr.	Carlos Cezar Mascarenhas	Membro Externo	- ETEP

ITA

Dedico este trabalho à minha filha Mariana fonte de energia na busca de meus objetivos,
À minha esposa Mylena pelo amor e companheirismo dedicados,
Aos meus pais D. Cleuza e Sr. Enézio (in memoriam) pelo apoio incondicional em todos
os momentos de minha vida,
Aos meus irmãos Ângelo e Gregório pelos ensinamentos de vida,
Aos meus sogros D. Rozário e Sr. Valdovino pela amizade e suporte.

Agradecimentos

Ao meu orientador, Prof. Dr. Francisco Cristóvão Lourenço de Melo, os meus mais sinceros agradecimentos. Pela paciência e altruísmo na transmissão dos conhecimentos e por ter acreditado em mim ao longo dessa jornada.

Ao meu coorientador e amigo, Dr. Antonio Ramalho de Souza Carvalho, pelo suporte dado desde o início do trabalho e ao longo de todas as suas etapas.

Ao meu colega e amigo, Engenheiro Mauro Dolinsky, um especial agradecimento pela paciência, companheirismo e por compartilhar parte de sua larga experiência na área espacial.

Ao Engenheiro Eduardo Dore Roda, pela abertura e franqueza. Sem dúvida, foram fatores fundamentais para a qualidade do estudo.

Ao Brigadeiro Engenheiro César Demétrio dos Santos e ao Brigadeiro Engenheiro da reserva Carlos Antônio de Magalhães Kasemodel pelos relatos importantíssimos na conclusão do trabalho.

Aos dirigentes do Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial, em especial ao Coronel Aviador Eduardo Viegas Valle Lucca e Tenente Brigadeiro do Ar Carlos Augusto Amaral de Oliveira por terem permitido o desenvolvimento do trabalho.

Aos Professores Tessaleno Devezas e Lígia Soto Urbina pelas valiosas aulas da pós-graduação.

Ao meu colega e amigo Major Aviador Clóvis Martins de Souza pela relevante ajuda no processo de revisão.

Aos meus colegas da pós-graduação pela amizade e convivência.

E por último, agradeço à minha família. Minha esposa Mylena e minha filha Mariana que são a fonte de motivação para nossas conquistas.

*"...it matters not how strait the gate,
How charged with punishments the scroll,
I am the master of my fate:
I am the captain of my soul."*
(William Ernest Henley)

Resumo

A indústria espacial é caracterizada por fabricar produtos intensivos em capital e que operam em ambiente agressivo. Por esse motivo é fundamental que a estrutura de fabricação garanta a confiabilidade dos produtos espaciais e que o processo de industrialização seja bem conduzido, antecipando questões relativas à fabricação ainda na etapa de desenvolvimento do produto, auxiliando na redução dos tempos e dos custos relacionados aos programas espaciais. Identificou-se que não existe um modelo para avaliação da maturidade de fabricação aplicado à realidade da indústria espacial brasileira de forma a tornar mais eficaz o processo de industrialização de um dado produto espacial. Dentro deste contexto, o objetivo do trabalho é validar a adaptação de um modelo para avaliação do nível de maturidade de fabricação aplicado à realidade da indústria espacial brasileira. Utilizou-se como ponto de partida o modelo desenvolvido pelo Departamento de Defesa norte americano denominado MRL (*manufacturing readiness level*), ou nível de maturidade de fabricação. A validação do modelo adaptado deu-se na aplicação da metodologia em duas organizações da indústria espacial brasileira na fabricação do veículo espacial VSB-30. O resultado mostrou que ambas organizações alcançaram nível 4 de maturidade de fabricação, abaixo do nível 9 desejado. Tal situação explicitou 21 riscos que, caso não tratados, podem impactar negativamente o processo de industrialização do VSB-30 em 8 áreas de conhecimento de fabricação. A efetividade do modelo adaptado foi confirmada pelo alcance do objetivo de forma satisfatória. Como contribuição adicional, foi desenvolvida uma ferramenta para avaliar a maturidade de fabricação, denominada Calculadora MRL DCTA/ITA-2018-1, de modo a padronizar a avaliação e torná-la mais ágil.

Palavras-chaves: 1. Gestão Tecnológica. 2. Maturidade de Fabricação. 3. Maturidade Tecnológica. 4. MRL. 5. Gestão de Riscos.

Abstract

Space industry is characterized by manufacturing capital intensive products which operate in an aggressive environment. For this reason, it is fundamental that the manufacturing structure ensures the reliability of space products. Also, industrialization process need to be well conducted, anticipating manufacturing issues yet in the product development stage, helping to reduce time and costs related to the space programs. It was identified that there is no model to assess the manufacturing maturity applied to the reality of the Brazilian space industry in order to make the industrialization process of a given space product more efficient. So, the objective of this work is to validate a adaptation of a model for manufacturing readiness level assessment applied to the reality of the Brazilian space industry. The model developed by the US Department of Defense called MRL (manufacturing readiness level) was used as a starting point. The validation of the adapted model occurred by application of the methodology in two Brazilian space industry organizations in the manufacture of the VSB-30 space vehicle. The result showed that both organizations reached level 4 of manufacturing readiness, below the desired level 9. This situation presented 21 risks that, if untreated, could negatively impact the VSB-30 industrialization process in 8 manufacturing areas. The effectiveness of the adapted model was confirmed by the objective achievement satisfactorily. As an additional contribution, the research developed a tool to assess manufacturing readiness, called the MRL DCTA/ITA-2018-1 Calculator, in order to standardize assessment and make it more agile

Keywords: 1. Technological Management. 2. Manufacturing Readiness. 3. Technology Readiness. 4. MRL. 5. Risk Management.

Lista de Figuras

Figura 1-1 Ciclo Público-Privado do Setor Espacial proposto por Carvalho (2011).....	20
Figura 2-1 Ciclo de vida dos sistemas de defesa do DoD com destaque para a transição do desenvolvimento para a fabricação (Adaptado de DoD, 2017a).....	25
Figura 2-2 Evolução da indústria espacial brasileira de 2009 a 2013 (MATOS, 2016).....	28
Figura 2-3 Modelo de Hélice Tríplice proposto por Etzkowitz (2003).....	31
Figura 2-4 Histórico de artigos publicados nos temas maturidade tecnológica e de fabricação	35
Figura 2-5 Qtd de artigos publicados nos temas maturidade tecnológica e de fabricação na mesma base de tempo	35
Figura 2-6 Base para estudo da maturidade de fabricação dos 50 artigos analisados	39
Figura 2-7 Organizações que fazem uso do MRL (MORGAN, 2008)	50
Figura 3-1 Página inicial da Calculadora MRL DCTA/ITA-2018-1	60
Figura 3-2 Tela com descrição dos níveis do MRL.....	60
Figura 3-3 Tela com descrição das áreas de conhecimento do MRL.....	61
Figura 3-4 Tela de entrada de dados da avaliação.....	61
Figura 3-5 Tela inicial de avaliação do MRL.....	62
Figura 3-6 Tela de continuação de avaliação do MRL.....	63
Figura 3-7 Tela do relatório final dado pela Calculadora MRL DCTA/ITA-2018-1.....	67
Figura 3-8 Tela do relatório final detalhado dado pela Calculadora MRL DCTA/ITA-2018-1	68
Figura 4-1 Veículos espaciais do IAE atuais (STAMMINGER <i>et al</i> , 2013)	69
Figura 4-2 Desdobramento do produto VSB-30 (IAE - Depto Mecânica).....	72
Figura 4-3 Macroprocesso de fabricação do VSB-30 (IAE - Depto Mecânica)	73
Figura 4-4 Avaliações realizadas para validar modelo MRL adaptado	75

Figura 5-1 Resultado MRL do VSB-30 no Potencial Receptor	78
Figura 5-2 Resultado MRL do VSB-30 no IAE	79
Figura 5-3 MRL VSB-30 para A - Base Industrial e Tecnologia de Fabricação	81
Figura 5-4 MRL VSB-30 para B - <i>Design</i>	83
Figura 5-5 MRL VSB-30 para C - Custos e Recursos Financeiros	84
Figura 5-6 MRL VSB-30 para D - Materiais	87
Figura 5-7 MRL VSB-30 para E – Capabilidade e Controle do Processo	89
Figura 5-8 MRL VSB-30 para F – Gestão da Qualidade	90
Figura 5-9 MRL VSB-30 para F – Gestão da Qualidade	93
Figura 5-10 MRL VSB-30 para H - Instalações	94
Figura 5-11 MRL VSB-30 para I – Gestão da Fabricação	95
Figura 6-1 Paralelo entre ciclos de vida Inst 5000.02 e DCA 400-6 (Adap. de DoD, 2017a; BRASIL, 2007).....	100

Lista de Tabelas

Tabela 2-1 Agregação de valor de produtos de diversos setores da economia (BARTELS, 2011)	27
Tabela 2-2 Artigos pesquisados (1/2).....	37
Tabela 2-3 Artigos pesquisados (2/2).....	38
Tabela 2-4 Análise do Portfólio de Programas do DoD (Adaptado de UNITED STATES, 2010)	41
Tabela 3-1 Resumo da adaptação do questionário MRL para a pesquisa	65
Tabela 3-2 Quantidade de questões do MRL adaptado por nível o por área de conhecimento	66
Tabela 4-1 Checklist para validação da escolha do objeto da avaliação	73
Tabela 5-1 Quantidade de riscos identificados na avaliação da maturidade de fabricação.....	80
Tabela 5-2 Detalhamento dos riscos identificados	97
Tabela A-1 Questões da avaliação de MRL – níveis 1 a 3.....	116
Tabela A-2 Questões da avaliação de MRL – nível 4	117
Tabela A-3 Questões da avaliação de MRL – nível 5	118
Tabela A-4 Questões da avaliação de MRL – nível 6	119
Tabela A-5 Questões da avaliação de MRL – nível 7	120
Tabela A-6 Questões da avaliação de MRL – nível 8	121
Tabela A-7 Questões da avaliação de MRL – nível 9	122
Tabela A-8 Questões da avaliação de MRL – nível 10	123

Lista de Abreviaturas e Siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AEB	Agência Espacial Brasileira
AFRL	Laboratório de Pesquisa da Força Aérea Norte Americana (<i>Air Force Research Laboratory</i>)
CNM	Confederação Nacional dos Metalúrgicos
COMAER	Comando da Aeronáutica
DCA	Diretriz do Comando da Aeronáutica
DCTA	Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial
DIEESE	Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos
DLR	Centro Espacial Alemão (<i>Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt</i>)
DoD	Departamento de Defesa Norte Americano (<i>U. S. Department of Defense</i>)
ECSS	Cooperação Europeia para Normalização Espacial (<i>European Cooperation for Space Standardization</i>)
END	Estratégia Nacional de Defesa
ESA	Agência Espacial Europeia (<i>European Space Agency</i>)
GAO	Escritório de Contabilidade do Governo Norte Americano (<i>Government Accountability Office</i>)
IAE	Instituto de Aeronáutica e Espaço
ICT	Instituição de Ciência e Tecnologia
INCOSE	Conselho Internacional de Engenharia de Sistemas (<i>International Council on Systems Engineering</i>)
ISO	Organização Internacional de Normalização (<i>International Organization for Standardization</i>)

MD	Ministério da Defesa
MRL	Nível de Maturidade de Fabricação (<i>Manufacturing Readiness Level</i>)
NASA	Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço Norte Americana (<i>National Aeronautics and Space Administration</i>)
NREL	Laboratório Nacional de Energia Renovável Norte Americano (<i>National Renewable Energy Laboratory</i>)
PEMAER	Plano Estratégico Militar da Aeronáutica
PNAE	Programa Nacional de Atividades Espaciais
SIA	Associação das Indústrias de Satélites (<i>Satellite Industry Association</i>)
TRL	Nível de Maturidade Tecnológica (<i>Technology Readiness Level</i>)

Sumário

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Motivação do Trabalho	17
1.2	Problema de Pesquisa.....	18
1.3	Objetivo do Trabalho	19
1.4	Delimitação do Trabalho	19
1.5	Classificação Metodológica da Pesquisa.....	21
1.6	Estrutura do Trabalho	22
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	23
2.1	Sistemas Espaciais	23
2.2	Ciclo de Vida de Sistemas Espaciais	24
2.3	A Indústria Espacial Brasileira	26
2.4	Modelos de Avaliação da Maturidade de Fabricação	33
2.5	MRL (<i>Manufacturing Readiness Level</i>)	40
2.5.1	Definição dos Níveis do MRL.....	41
2.5.2	Definição das Áreas de Conhecimento do MRL e seus Desdobramentos	45
2.5.3	Relação entre MRL e TRL	47
2.5.4	Abordagem do AFRL para o MRL.....	48
2.5.5	Aplicações do MRL.....	49
2.5.6	Benefícios do Uso do MRL.....	50
2.5.7	Limitações do MRL.....	52
3	METODOLOGIA.....	54
3.1	Etapa 1 - Definição de Objetos de Avaliação	55
3.2	Etapa 2 - Definição da Meta	56
3.3	Etapa 3 - Orientação aos Avaliados	57
3.4	Etapa 4 - Definição de Agenda de Avaliação	58
3.5	Etapa 5 - Condução da Avaliação	58
3.5.1	A Adaptação do Questionário MRL.....	63
3.6	Etapa 6 - Preparação do Relatório.....	66
4	APLICAÇÃO DO MRL ADAPTADO	69
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	78
5.1	Resultados Consolidados.....	78
5.2	Resultados Estratificados.....	81

5.2.1	A - Base Industrial e Tecnologia de Fabricação.....	81
5.2.2	B - <i>Design</i>	83
5.2.3	C – Custos e Recursos Financeiros.....	84
5.2.4	D – Materiais	87
5.2.5	E – Capabilidade e Controle do Processo.....	89
5.2.6	F – Gestão da Qualidade.....	90
5.2.7	G – Pessoas.....	92
5.2.8	H – Instalações	93
5.2.9	I – Gestão da Fabricação	95
5.3	Riscos Identificados	96
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	99
7	CONCLUSÃO.....	102
7.1	Sugestões para Próximos Estudos.....	105
	REFERÊNCIAS	107
	APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO MRL ADAPTADO.....	116

1 Introdução

A presente pesquisa tem o intuito de agregar no entendimento do domínio brasileiro das tecnologias espaciais as quais trazem benefícios tanto estratégicos como econômicos para o país. Estrategicamente, o domínio de tais tecnologias pelo Brasil traz autonomia em relação aos sistemas de comunicações, monitoramento de fronteiras, monitoramento da Amazônia e uma série de outras atividades conforme descritas no Programa Nacional de Atividades Espaciais (AEB, 2012). Atualmente, o Brasil executa essas atividades utilizando de tecnologias estrangeiras, situação que expõe certa vulnerabilidade.

Além do benefício estratégico tem-se também o benefício econômico. A indústria espacial é considerada uma indústria de alto valor agregado (BARTELS, 2011). Seus produtos carregam uma carga enorme de conhecimentos e tecnologias que são muito valorizadas pelos clientes e parceiros. Há estudos que relacionam de forma direta o desenvolvimento da indústria de alto valor agregado e a melhoria de indicadores socioeconômicos de uma nação (CARVALHO, 2011; CHADE, 2010).

A política brasileira também reconhece a importância do setor espacial. Está claro em documentos públicos de vários níveis hierárquicos que o setor espacial é estratégico para o país e deve ser incentivado. Como por exemplo, na Estratégia Nacional de Defesa (END), no Programa Nacional de Atividades Espaciais (PNAE), e no Plano Estratégico Militar da Aeronáutica (PEMAER). Entretanto, restrições orçamentárias e a falhas na gestão do planejamento estratégico do setor prejudicam a implantação de tais políticas (BRASIL, 2016).

Enfim, os fatos mostram a importância do domínio brasileiro das tecnologias espaciais e a indústria é a principal força motriz que dá a dinâmica adequada ao setor. Entende-se que é necessário fortalecer a indústria espacial brasileira, porém deve-se mapear sua capacidade de absorção das tecnologias para otimizar os recursos a serem utilizados na execução dessa estratégia.

O desenvolvimento da indústria espacial brasileira deve-se apoiar em um eficaz processo de gestão do ciclo de vida de sistemas espaciais desde o surgimento de uma necessidade operacional até a definição do descarte do produto no final de sua vida útil. A transição de uma nova tecnologia desenvolvida em ambiente laboratorial para o início de produção seriada é considerada uma etapa crucial do ciclo de vida de sistemas espaciais. É a chamada etapa de industrialização, que segundo definição do Comando da Aeronáutica é o conjunto de atividades destinadas a preparar a indústria para a produção de um dado sistema ou

material (BRASIL, 2007). Ao se realizar tal transição, deve-se observar questões comuns relativas ao universo da fabricação, tais como: fornecedores com capacidade de entregar matéria-prima, aquisição ou ajuste de máquinas, *layouts* e processos ótimos, definição de especificações de qualidade, pessoas capacitadas e em quantidade adequada para desempenho da função, etc. Implica um aumento significativo de partes interessadas e, conseqüentemente, na complexidade do desenvolvimento do ciclo de vida. Dá-se o nome de maturidade de fabricação o apronto dos fatores envolvidos na etapa de industrialização.

Normalmente, tais questões não fazem parte na rotina das equipes responsáveis pelo desenvolvimento tecnológico no âmbito laboratorial as quais focam seus esforços em fazer determinado sistema funcionar de acordo com as expectativas das partes interessadas. Mas como é possível deduzir, uma transição industrial bem conduzida, antecipando questões relativas a fabricação já nas etapas de desenvolvimento do produto, auxilia na redução do tempo e dos custos dos programas espaciais (DoD, 2017a).

1.1 Motivação do Trabalho

O setor espacial é caracterizado por fornecer produtos de alto valor agregado, gerar empregos altamente qualificados e possuir um importante potencial de fortalecimento de outras cadeias produtivas pelo seu caráter multiplicador de formação de mão de obra e desenvolvedor de tecnologias de ponta (DIEESE, 2011). Além disso, é uma indústria que movimentou 335 bilhões de dólares em 2016, e vem experimentando crescimentos constantes desde 2006 (SIA, 2017). Ou seja, o setor espacial além de representar uma parcela nobre da estrutura produtiva de um país, em termos de capacitação de recursos humanos e de desenvolvimento de tecnologias críticas, também se apresenta como um importante negócio em termos econômicos, dado seu perfil robusto de crescimento.

Entretanto, segundo Carvalho (2011), a viabilidade de entrada nesse mercado depende primordialmente do nível de tecnologia disponível e da capacidade do setor industrial de absorção das tecnologias espaciais.

Bartels (2011) argumenta que as instituições de ciência e tecnologia (ICT) têm se responsabilizado pela atividade de engenharia de sistemas e respectiva integração, em substituição a indústria, o que contraria o PNAE. Em decorrência dessa situação, verifica-se historicamente, uma dificuldade da indústria brasileira em aproveitar as possíveis oportunidades comerciais geradas no mercado espacial global.

O paradigma colocado por Bartels (2011) pode ser observado no nicho de veículos espaciais. Atualmente, a fabricação dos mesmos é realizada por ICT, as quais apesar de muito bem servidas de conhecimento e recursos físicos para atividades de pesquisa e desenvolvimento, não está estruturada para uma atuação dinâmica no mercado de veículos espaciais. É necessário o trabalho em parceria com a indústria para o alcance pleno do objetivo estratégico de desenvolver a área em questão.

No setor aeronáutico tem-se um bom exemplo da dinâmica de transferência do protagonismo em relação ao desenvolvimento da indústria. Em um dado momento da história a então ICT denominada Centro Técnico de Aeronáutica (atual Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial) transferiu a responsabilidade pela fabricação e comercialização de aeronaves para a indústria, no caso, a Embraer. Depois de um certo período o setor aeronáutico começa a tomar corpo a caminhar com as próprias pernas. Atualmente, a indústria aeronáutica brasileira é um agente importante no mercado global, gerando renda e empregos qualificados no Brasil, tendo como maior responsável a Embraer.

1.2 Problema de Pesquisa

Diante da situação apresentada identificou-se que não existe um modelo para avaliação da maturidade de fabricação aplicado à realidade da indústria espacial brasileira de forma a tornar mais eficaz o processo de industrialização de um dado produto espacial.

A identificação do problema leva aos seguintes questionamentos.

- Existem modelos de avaliação da maturidade de fabricação válidos para outras aplicações?
- Como adaptar um modelo de avaliação da maturidade de fabricação às características da indústria espacial brasileira?
- Como identificar os riscos do processo de industrialização em função da avaliação de maturidade de fabricação?
- Como validar a eficácia do modelo adaptado de avaliação da maturidade de fabricação?

1.3 Objetivo do Trabalho

A fim de propor solução para o problema de pesquisa, o objetivo principal do trabalho é validar a adaptação de um modelo para avaliação do nível de maturidade de fabricação aplicado à realidade da indústria espacial brasileira.

Os objetivos específicos foram estabelecidos de modo a buscar respostas para os questionamentos do problema:

- Existem modelos de avaliação da maturidade de fabricação válidos para outras aplicações?
 - Pesquisar na bibliografia os modelos de avaliação da maturidade de fabricação existentes bem como suas aplicações.
- Como adaptar um modelo de avaliação da maturidade de fabricação às características da indústria espacial brasileira?
 - Pesquisar as características da indústria espacial brasileira; e
 - Realizar uma análise crítica do uso de avaliações da maturidade de fabricação destacando seus benefícios e limitações.
- Como identificar os riscos do processo de industrialização em função da avaliação de maturidade de fabricação?
 - Pesquisar modos de identificação de riscos do processo de industrialização por meio da avaliação da maturidade de fabricação.
- Como validar a eficácia do modelo adaptado de avaliação da maturidade de fabricação?
 - Validar o modelo adaptado por meio de avaliação do nível de maturidade de fabricação do veículo suborbital VSB-30 na situação atual fabricação bem como em indústrias potenciais receptoras de tal tecnologia de fabricação; e
 - Elencar os riscos do processo de industrialização do VSB-30.

1.4 Delimitação do Trabalho

O trabalho se propõe a pesquisar a etapa de industrialização do ciclo de vida de sistemas espaciais aplicados à indústria espacial brasileira. De acordo com a Diretriz do Comando da Aeronáutica 400-6 que discorre sobre o ciclo de vida de sistemas e materiais da Aeronáutica, industrialização é definida como o conjunto de atividades destinadas a preparar a indústria para

a produção de um dado sistema ou material (BRASIL, 2007). Considera-se, portanto, que a industrialização se refere à transição de um produto desenvolvido em ambiente laboratorial para a fabricação na indústria.

Para esclarecer a definição do aspecto a ser estudado por essa pesquisa se faz necessário introduzir o Ciclo Público-Privado do Setor Espacial proposto por Carvalho (2011) e disposto na Figura 1-1. Segundo o mesmo, as atividades espaciais em países desenvolvidos seguiram fases idênticas. Os objetivos estratégicos se desdobram em projetos de P&D Espacial os quais são implementados basicamente pelo poder público (na figura das ICT). A indústria começa a tomar maior importância no desenvolvimento e fabricação, sendo responsável por desenvolver produtos e processos, apropriando-se do conhecimento obtido pelas ICT. A partir daí a indústria fica integralmente responsável pela comercialização dos produtos desenvolvidos.

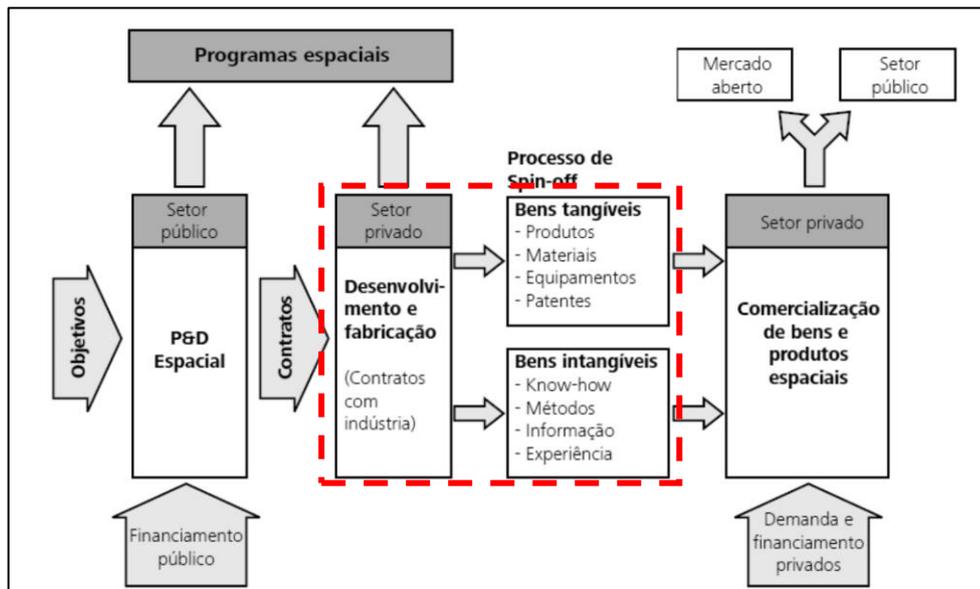


Figura 1-1 Ciclo Público-Privado do Setor Espacial proposto por Carvalho (2011)

Destaque para o escopo da pesquisa

Nota-se que o ciclo prevê como responsabilidade da indústria a etapa de desenvolvimento e a fabricação. Porém essa realidade não é observada nos programas e projetos da área espacial brasileira. Neste caso, a transferência de tecnologia é feita parcialmente, ficando a cargo da ICT atividades de fabricação, conforme é exposto por Bartels (2011). A fim de entender esse fenômeno, a pesquisa se propõe a pesquisar formas de se avaliar a capacidade da indústria espacial brasileira em receber plenamente as tecnologias para a fabricação de um dado produto.

Portanto, o foco da pesquisa está localizado nas atividades de desenvolvimento e fabricação. Conforme proposto por Carvalho (2011) para o funcionamento pleno do Ciclo Público-Privado, é necessária a existência de programas espaciais alinhados com os objetivos políticos do governo, financiamento público na quantidade e prazos requeridos, mercado com demanda suficiente e comercialização dos produtos com viabilidade econômico-financeira. Apesar de haver o entendimento que esses fatores são igualmente importantes, a pesquisa se manterá restrita à avaliação da capacidade técnica da indústria em fabricar um dado produto espacial.

1.5 Classificação Metodológica da Pesquisa

A pesquisa foi classificada quanto à natureza, aos objetivos, à abordagem do problema e aos procedimentos técnicos, conforme Silva e Menezes (2005):

- quanto à natureza, classifica-se como pesquisa de natureza aplicada, que gera conhecimentos para aplicação prática dirigida à solução de problemas específicos;
- quanto aos objetivos, trata-se de uma pesquisa exploratória. Foram pesquisados modelos existentes de avaliação de maturidade de fabricação, as características da indústria espacial brasileira e modos de identificação de riscos no processo de industrialização;
- quanto à forma de abordar o problema: é qualitativa, pois não requer o uso de métodos e técnicas estatísticas. O ambiente natural é a fonte direta para coleta de dados e o pesquisador é o instrumento-chave; e
- quanto aos procedimentos técnicos, utilizou-se a pesquisa bibliográfica e documental elaborada a partir de material publicado em periódicos, livros científicos e documentos oficiais. O estudo de caso também foi utilizado para verificar se foi satisfatório o resultado da adaptação proposta no objetivo.

1.6 Estrutura do Trabalho

A dissertação tem sua estrutura delineada em 7 capítulos. A introdução, aqui descrita, apresenta a motivação para a realização da pesquisa, o problema, objetivo geral, objetivos específicos bem como a delimitação do estudo.

O segundo capítulo apresenta a fundamentação teórica da pesquisa, abordando conceitos de sistemas espaciais, ciclos de vida de sistemas espaciais, cenário atual da indústria espacial no Brasil e modelos de avaliação de maturidade de fabricação.

No terceiro capítulo a metodologia usada no trabalho é abordada.

O quarto capítulo trata da aplicação da metodologia exposta a fim de validar o modelo.

Os resultados da pesquisa e a discussão dos mesmos são abordados no quinto capítulo.

O sexto capítulo traz considerações finais a respeito do estudo. É uma visão do autor sobre particularidades do desenvolvimento da pesquisa.

O sétimo capítulo traz as conclusões do trabalho e sugestões para próximos estudos.

2 Fundamentação Teórica

A fim de embasar cientificamente a pesquisa, buscou-se na bibliografia os assuntos referentes a conceitos de sistemas espaciais, processos de ciclo de vida aplicados a sistemas espaciais, a indústria espacial brasileira e modelos de avaliação da maturidade de fabricação aplicados aos sistemas espaciais.

2.1 Sistemas Espaciais

Segundo definição do Conselho Internacional de Engenharia de Sistemas, um sistema é a união de diferentes componentes que juntos produzem resultados não alcançáveis pelos componentes isolados (INCOSE, 2018). Um sistema espacial segue tal definição.

De acordo com a definição da Cooperação Europeia para Normalização Espacial (ECSS, 2009), um sistema espacial geralmente compreende um segmento espacial, relativo às cargas úteis normalmente encontradas na forma de satélites, experimentos científicos, sondas espaciais e outras aplicações; e um segmento terrestre, composto por centro de controle de missão e sistemas de comunicação. Apesar de não fazer parte da operação do sistema espacial em si, o segmento de lançamento do sistema ao espaço, envolvendo o veículo e a estrutura de lançamento são também peças fundamentais para a viabilidade do sistema.

Palmério (2016), considera que um sistema espacial é composto por três segmentos fundamentais. São eles o segmento relativo a veículos espaciais composto basicamente por lançadores de satélites e foguetes suborbitais; o segmento relativo a cargas úteis englobando satélites, experimentos e outros; e o segmento relativo ao campo de lançamento.

Sistemas espaciais são equipamentos que operam em um ambiente agressivo, praticamente no vácuo, expostos a radiação intensa e ciclos térmicos de grande amplitude. Durante a fase de lançamento, são submetidos a vibrações e acelerações elevadas bem como expostos à níveis críticos de temperatura (YASSUDA, 2013). Além da robustez necessária para sobreviver a condições ambientais adversas, os sistemas espaciais apresentam alta complexidade, a qual tem crescido em decorrência de missões e aplicações cada vez mais arrojadas.

Soma-se a complexidade, os riscos relativos a acidentes e perdas de equipamentos com seus respectivos impactos na segurança e na imagem de organizações e nações envolvidas, e os riscos relativos ao retorno do investimento visto que se tratam de sistemas intensivos em capital (YASSUDA, 2013).

Portanto, para que um sistema espacial tenha êxito no desdobramento de suas funções é necessária uma boa gestão do ciclo de vida do sistema o qual inclui atividades de concepção, especificação, projeto, fabricação, integração e testes, verificação, operação e descarte.

2.2 Ciclo de Vida de Sistemas Espaciais

Existem várias normas relativas à gestão do ciclo de vida de sistemas espaciais. Cada uma das principais organizações mundiais de exploração do espaço definiu a melhor forma de executar seus programas espaciais.

Em seu manual de engenharia de sistemas, a NASA define que a gestão de programas e projetos tem duas grandes áreas de ênfase de igual peso e importância. A engenharia de sistemas e a gestão de projetos. Portanto, a NASA (2007) estabeleceu 2 normas: uma mais voltada para a gestão do projeto e outra com foco em engenharia de sistemas apesar de reconhecer que as duas áreas de conhecimento se sobrepõem em alguns aspectos. São elas a NPR 7120.5 NASA Programa de Vôo Espacial e Requisitos de Gerenciamento de Projetos, de 2012; e a NPR 7123.1 Processos e Requisitos de Engenharia de Sistemas da NASA, de 2013.

Outro importante agente no mercado espacial, a ESA (Agência Espacial Europeia), adota as normas estabelecidas pela ECSS (Cooperação Europeia para Normalização Espacial). A ECSS é uma iniciativa criada para desenvolver um conjunto coerente e único de padrões para uso em todas as atividades espaciais europeias. A ECSS estabelece a norma ECSS-E-ST-10C Rev.1 – Requisitos Gerais de Engenharia de Sistemas, de 2017, para tratar de assuntos referentes a parte técnica da engenharia de sistemas; e a ECSS-M-ST-10C Rev.1 – Planejamento e Implementação de Projetos, de 2009, cujo foco é a gestão do programa espacial. Da mesma forma que as normas da NASA, há sobreposição de assuntos entre gestão de projetos e engenharia de sistemas.

No Brasil destaca-se a norma ABNT NBR ISO 14300-1:2015 Sistemas Espaciais – Gestão do Programa – Parte 1: Estruturação de um projeto. Essa norma foi elaborada pelo Comitê Técnico de Aeronaves e Veículos Espaciais, da ISO (Organização Internacional de Normalização). Tem o intuito de ser usada como referência no estabelecimento e negociação dos requisitos de projetos com clientes e um guia para o relacionamento com fornecedores (ABNT, 2015).

No âmbito do Comando da Aeronáutica, responsável por fomentar a área espacial brasileira, existe ainda a DCA 400-6 – Ciclo de Vida de Sistemas e Materiais da Aeronáutica. Tem por finalidade ordenar o planejamento e a execução das fases e principais eventos do Ciclo

de Vida de Sistemas e Materiais da Aeronáutica, bem como regular tecnicamente a atuação, a interação e a responsabilidade dos Órgãos e Sistemas do COMAER que intervêm no processo (BRASIL, 2007).

Por último, destacam-se as diretrizes e instruções emitidas pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos (DoD). O processo de aquisição de sistemas de defesa (incluindo sistemas espaciais) de seus órgãos subordinados seguem a Instrução 5000.01 e a Instrução 5000.02. A Instrução 5000.01 – Sistema de Aquisição de Defesa provê princípios de gestão além de políticas e procedimentos mandatórios para a execução de todos os programas de aquisição do DoD (DoD, 2003). A Instrução 5000.02 – Operação do Sistema de Aquisição de Defesa tem o propósito de prover os procedimentos detalhados necessários para gerir a operação do sistema de aquisição (DoD, 2015). É importante salientar que o sistema de aquisição estabelecido pelo Departamento de Defesa norte americano deve ser interpretado como processo de gestão conforme explana a própria Instrução 5000.01. A função desses processos é regular a aquisição de sistemas de defesa e estão embasados em conceitos da gestão de projetos e da engenharia de sistemas tais quais os já mencionados.

Observa-se que a instrução 5000.02 do DoD é o único ciclo de vida estudado que faz referência a um modelo de avaliação dedicado especificamente à industrialização conforme se busca na presente pesquisa. Trata-se do MRL (*manufacturing readiness level*), ou nível de maturidade de fabricação, criado em 2005 pelo próprio DoD.

A Figura 2-1 mostra uma adaptação da representação do ciclo de vida dos sistemas de defesa definida pela instrução 5000.02 do DoD, bem como mostra a área onde ocorre a industrialização, ou seja, a transição do desenvolvimento para o início da fabricação.

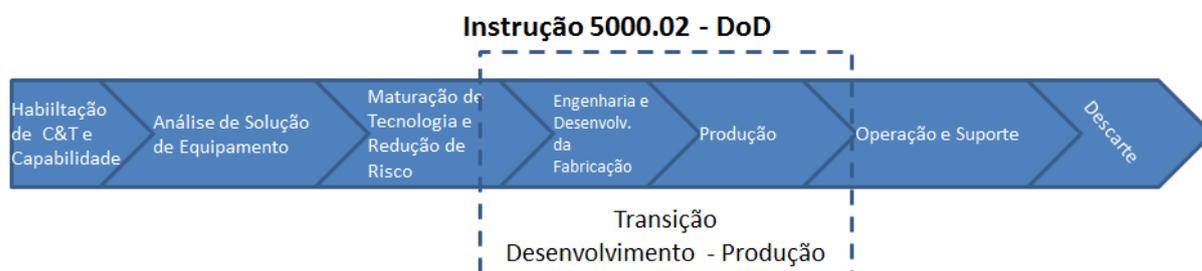


Figura 2-1 Ciclo de vida dos sistemas de defesa do DoD com destaque para a transição do desenvolvimento para a fabricação (Adaptado de DoD, 2017a)

2.3 A Indústria Espacial Brasileira

A atividade espacial suscita admiração e curiosidade além de ser aceita como digna nos países líderes em ciência e tecnologia (PALMÉRIO, 2016). Entretanto, no Brasil, esse mercado é ainda incipiente apesar do Programa Espacial Brasileiro existir desde 1961. Para elucidar a questão toma-se como exemplo o Satélite Geoestacionário de Defesa e Comunicações Estratégicas, o SGDC. No dia 04 de maio de 2017 o Brasil lançou seu primeiro satélite geoestacionário, o SGDC, sob responsabilidade da Força Aérea Brasileira (MASSALI, 2017). Apesar da operação e monitoramento do satélite serem atividades exclusivamente brasileiras, o que se configura um avanço, a construção do satélite foi feita por uma empresa francesa, Thales Alenia Space, o qual foi lançado por um veículo lançador de satélites também francês, o Ariane 5 ECA da empresa Arianespace, do Centro Espacial de Kourou, na Guiana Francesa. Ou seja, o Brasil é um usuário dos produtos e serviços espaciais disponíveis no mundo. Ele é dono e opera o referido satélite, entretanto o mesmo foi totalmente adquirido de empresas fora do país, apesar de haver acordos de compensação tecnológica com participação da indústria espacial brasileira. Outros exemplos de situações semelhantes que ocorrem no Brasil estão disponíveis na literatura específica.

O setor espacial é caracterizado por fornecer produtos de alto valor agregado, geração de empregos altamente qualificados e um alto potencial de fortalecimento de outras cadeias produtivas pelo seu caráter multiplicador de formação de mão de obra e desenvolvedor de tecnologias de ponta (DIEESE, 2011). Bartels (2011), em seu artigo publicado no livro “Desafio do Programa Espacial Brasileiro” da Secretaria de Assuntos Estratégicos do Governo Federal, mensura a agregação de valor à fabricação de produtos de diversos setores da economia pela relação entre seu preço e seu peso, conceito aplicado pelo setor aeroespacial desde 1998 (Tabela 2-1).

Tabela 2-1 Agregação de valor de produtos de diversos setores da economia (BARTELS, 2011)

Agregação de Valor	
Segmento	US\$/Kg
Mineração (ferro)	0,08
Agrícola	0,50
Aço/Celulose etc	0,50 - 1,00
Automotivo	15,00
Vestuário e acessórios	20,00
Eletrônico (áudio e vídeo)	200,00
Defesa (foguetes)	200,00
Aeronáutico (aviões comerciais)	1.200,00
Defesa (mísseis)/tel celulares	3.000,00
Nuclear (urânio 3,5%)	1.800,00
Aeronáutico (aviões militares)	2.000,00 - 8.000,00
Espaço (satélites)	50.000,00

Um foguete suborbital, categoria do objeto de avaliado na pesquisa, tem a relação aproximada de US\$ 5.000 por kg, de acordo com Jurist (2009). Fica evidente que a agregação de valor dos produtos espaciais é muito maior que outros setores fortes da economia nacional.

No setor espacial, em geral, as oportunidades encontram-se no fornecimento de informações e serviços, plataformas espaciais, equipamentos para satélites, estações terrenas, centros de controle, satélites completos, equipamentos para mercado de consumo (receptores GPS, TV e rádio digital, etc.) e serviços de lançamento.

O relatório sobre o estado do setor de satélites divulgado pela Associação das Indústrias de Satélite (SIA) mostra que a indústria espacial global, que inclui serviços satelitais, fabricação de satélites, equipamentos de solo, serviços de lançamento e outros serviços não satelitais como foguetes suborbitais e voos espaciais tripulados, movimentou em 2016 cerca de 344 bilhões de dólares e que de 2015 a 2016 apresentou um crescimento de 1% (SIA, 2017). Relatórios prévios divulgados pela mesma organização mostram que pelo menos desde 2006 a indústria espacial global apresenta crescimentos anuais constantes. Ou seja, o setor espacial além de representar uma parcela nobre da estrutura produtiva de um país em termos de agregação de valor, também se apresenta como um importante negócio em termos de econômicos dado seu perfil robusto de crescimento.

O Brasil tem uma participação pequena na indústria espacial mundial. Segundo dados fornecidos por Matos (2016), de 2009 a 2013, o país movimentou em média cerca de 31 milhões de dólares anuais no mercado espacial (Figura 2-2). Para fins de comparação, no mesmo período

apenas a indústria de lançamentos e a fabricação de satélites movimentou globalmente 21 bilhões de dólares aproximadamente (SIA, 2014). Portanto, a participação brasileira nesse mercado representa 0,15%.

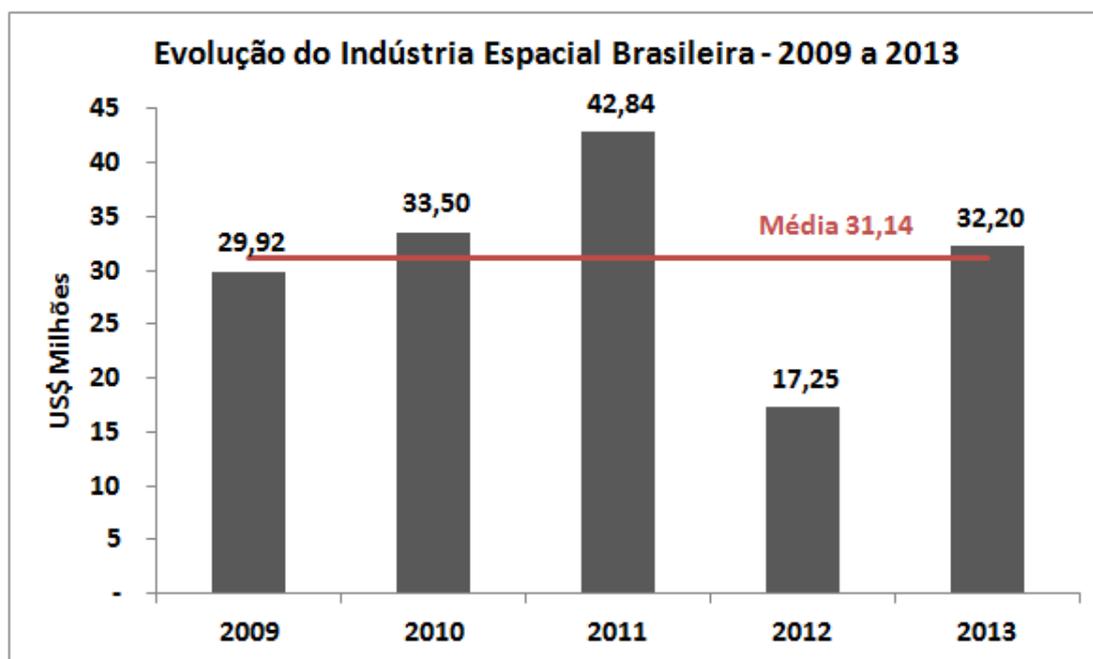


Figura 2-2 Evolução da indústria espacial brasileira de 2009 a 2013 (MATOS, 2016)

O mercado espacial interno está ocupado por grande variedade de empresas de telecomunicações e de processamento de imagens de sensoriamento remoto. Mais de 40 satélites geoestacionários de telecomunicações, todos estrangeiros, operam no país. Empresas brasileiras fornecem apenas equipamentos de solo e antenas para estações de controle e serviços móveis de TV (AEB, 2012). Ou seja, a atuação brasileira atual nesse mercado é basicamente de usuário das estruturas espaciais. É necessário aproveitar melhor a previsão de crescimento da demanda global de produtos e serviços espaciais. Deve-se ampliar a perspectiva de atuação nesse mercado passando da situação de usuários para provedores de produtos e serviços espaciais.

A comercialização de produtos e serviços espaciais contribui para maior dinamismo e para o fortalecimento e sustentabilidade da base industrial espacial. Segundo Carvalho (2011), a viabilidade de entrada nesse mercado depende primordialmente do nível de tecnologia disponível e da capacidade do setor industrial de absorção dessa tecnologia. Verifica-se que nos países detentores de tecnologias espaciais o papel do governo é essencial no direcionamento dos esforços de P&D espacial, no estabelecimento de políticas de compras, e no desenvolvimento inicial de produtos que serão posteriormente transferidos à indústria.

A indústria, portanto, se apropria do conhecimento obtido e busca a comercialização tanto dos produtos espaciais como de seus possíveis e prováveis *spin-offs*, termo utilizado para designar aquilo que foi derivado de algo já desenvolvido ou pesquisado anteriormente. Em tecnologia, ocorre *spin-off* quando uma tecnologia resulta no desdobramento de outras já existentes. Como exemplos de *spin-offs* bem-sucedidos derivados de tecnologias espaciais pode-se citar para o setor automobilístico os *airbags*, os freios com ligas de carbono, amortecedores e sistemas de refrigeração. Sistemas de purificação de ar e água, e tecidos antialérgicos, resistentes ao calor e bactericidas, são também outros exemplos de tecnologias de origem espacial levadas aos setores de saúde e têxtil. No setor extrativista mineral tem-se radares de penetração no solo para detectar rachaduras em minas e túneis (CARVALHO, 2011). Ou seja, o poder multiplicador do desenvolvimento econômico do setor espacial é considerável. Além das oportunidades de fornecimento de serviços e produtos específicos para o mercado global espacial em si, o desenvolvimento do setor pode prover serviços e produtos em diversas outras áreas e segmentos econômicos.

Isto posto, enumeram-se 2 fatores que justificam o investimento nacional para o domínio interno das tecnologias espaciais.

O primeiro é o fortalecimento do desempenho econômico nacional. Países que possuem um percentual elevado de indústrias de produtos de alto valor agregado têm a tendência de apresentarem um desempenho econômico melhor em comparação com países que possuem um percentual mais alto de indústrias extrativistas e intensivas em mão de obra (LALL, 2005).

Bartels (2011) reforça tal argumento por meio de uma análise realizada em 2005, sobre o período anterior de 25 anos, cujo resultado mostrou que o PIB do Brasil cresceu apenas 89%, enquanto o da Índia cresceu 400%; o da Coreia do Sul, 500%; e o da China, 1000%. Esses países têm enfaticamente focado no desenvolvimento e na produção de itens cuja intensidade tecnológica é elevada.

Chade (2010) na edição do dia 20 de fevereiro de 2010 do Jornal Estado de São Paulo publicou um artigo em que se destaca os resultados de estudo realizado por Joseph Stiglitz, ganhador do prêmio Nobel de Economia:

“Alta tecnologia e não agricultura ou recursos naturais. Essa é a sugestão para o desenvolvimento econômico do Brasil apresentada em uma nova iniciativa do prêmio Nobel de economia Joseph Stiglitz e alguns dos maiores economistas do mundo. O alerta é claro o Brasil e outros países emergentes não podem basear

seu desenvolvimento e estratégias de redução de pobreza no setor agrícola, em recursos naturais ou no comércio de commodities.

O estudo ... indica que o desenvolvimento industrial de economias como a do Brasil precisará contar com uma estratégia de estado nos próximos anos para permitir que setores possam ganhar competitividade internacional.

... Segundo o estudo o Brasil precisa de mais Embraers... a dificuldade que o Brasil tem hoje para acompanhar o crescimento da China e Índia seria compensada com uma política destinada a promover setores de alta tecnologia.”

Esses estudos comprovam que o caminho para o desenvolvimento de nações passa pelo fortalecimento da indústria de elevado valor agregado, caso da indústria espacial. Essa afirmativa é balizada por Carvalho (2011) que postula que a comercialização de produtos e serviços espaciais certamente contribui para maior dinamismo e para o fortalecimento e a sustentabilidade da base industrial espacial. Uma indústria espacial reconhecidamente competente pode atuar globalmente auxiliando a balança comercial.

O segundo fator que justifica o investimento no domínio das tecnologias espaciais está relacionado às estratégias nacionais. A exploração no espaço traz benefícios estratégicos para quem a domina. No caso do Brasil, essa situação ainda se faz mais necessária. Com mais de 8,5 milhões de km² de extensão territorial, deve cuidar ao todo, de 13 milhões de km², incluídos os 4,5 milhões de km² de território marítimo. É um patrimônio rico em recursos naturais de toda ordem, que precisa ser cada vez mais conhecido, estudado, controlado, administrado, explorado e vigiado da melhor forma possível. A ciência e a tecnologia espaciais são vitais para isso (AEB, 2012). A demanda crescente por telecomunicações autônomas, o monitoramento de fronteiras e costas marítimas, a obtenção de dados meteorológicos para prevenção de desastres ambientais e auxílio às safras, o monitoramento de áreas ambientais sob proteção e reservas minerais, e auxílio na geolocalização são exemplos do que pode ser executado de maneira autônoma com o domínio das tecnologias espaciais.

A questão estratégica é bastante importante no meio militar. Os satélites que hoje utilizamos para comunicações, tanto civis como militares, são fabricados no exterior. Com exceção do Satélite Geostacionário Brasileiro de Defesa e Comunicações Estratégicas que foi lançado em maio de 2017, todos os outros satélites em operação por organizações brasileiras são controlados por companhias estrangeiras (MASSALI, 2017). Essa situação traz em si um risco de segurança militar. Num caso de extrema necessidade o fato de ficar dependente de

outro país para conseguir informações e até mesmo se comunicar pode se tornar uma vulnerabilidade.

Futron *Corporation* (2012) resume as principais motivações atuais de Estado para se investir na atividade espacial, como a geração de vantagens competitivas, o desenvolvimento científico e tecnológico, o monitoramento do meio ambiente, o prestígio global e a segurança, por meio do poder estratégico oferecido pelo espaço.

Portanto, é importante buscar o domínio das tecnologias espaciais indispensáveis ao avanço industrial e à conquista da necessária autonomia militar nacional. Esse domínio só se alcança com intensa e efetiva participação sinérgica do governo, centros de pesquisa, universidades e indústrias (PNAE, 2012).

Por outro lado, a indústria aeroespacial nacional convive em um mercado complexo, onde os artefatos desenvolvidos e comercializados requerem altos investimentos em pesquisa, desenvolvimento e inovação tecnológica (CARVALHO et al, 2012). A complexidade apresentada requer ainda um elevado nível de abrangência de conhecimentos e de capacitações (CARVALHO, 2014). Por esse motivo o arranjo típico do setor espacial é o interorganizacional por intermédio de redes de organizações com uma forte complementaridade entre elas. A heterogeneidade de competências age como um catalisador no processo de inovação tecnológica. O modelo de inovação proposto por Etzkowitz (2003), Figura 2-3, caracteriza as relações entre o governo, a academia (definida como universidades e centros de pesquisa e desenvolvimento) e a empresa. A intersecção entre essas esferas mostra que o complemento de competências deve ser perseguido para estabelecer uma relação realmente produtiva no processo de inovação.

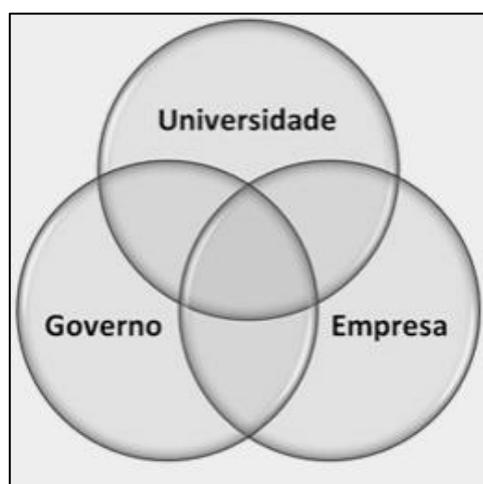


Figura 2-3 Modelo de Hélice Tríplice proposto por Etzkowitz (2003)

Além da complexidade do negócio espacial, outro fator que dificulta seu desenvolvimento interno está relacionado ao bloqueio que certas nações impõem ao Brasil no fornecimento de componentes. Constantemente o setor espacial é alvo de cerceamento tecnológico, situação em que tecnologias e processos são negados para aquisição devido a fatores estratégicos, uma vez que tecnologias espaciais podem ter aplicação dual no meio militar. Essa relação fica clara no Relatório de Atividade do IAE de 2012 (BRASIL, 2013):

“No segmento espacial, a situação se repete com o desafio de fornecer ao país o acesso ao espaço por meios próprios. Tais desenvolvimentos devem ser viabilizados em um cenário no qual, no plano internacional, embargo tecnológico é a regra”

Esse contexto mostra que o país que deseja desenvolver a sua área espacial e se beneficiar de suas vantagens deve necessariamente desenvolver seus próprios fornecedores com suas próprias soluções com pouco ou nenhum subsídio de países detentores desses conhecimentos.

Outra vertente que prejudica o domínio brasileiro do espaço é referente à relação entre as atribuições dos entes definidos no modelo da Tripla Hélice. O Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE) é uma ICT brasileira subordinada do Departamento de Ciência e Tecnologia Espacial (DCTA) que tem como uma de suas missões o desenvolvimento de veículos espaciais. É a principal organização brasileira com tal função. Em linha com as diretrizes do Programa Nacional de Atividades Espaciais de 2012, tem-se como um dos objetivos estratégicos do IAE habilitar o país no desenvolvimento e construção de engenhos aeroespaciais e de defesa (BRASIL, 2016). Entretanto, o IAE que é muito bem servido de recursos físicos e humanos para atividades de pesquisa e desenvolvimento, não está estruturado para a produção seriada dos veículos. É necessário o trabalho em parceria com a indústria para o alcance pleno do objetivo de industrialização.

Bartels (2011) argumenta que os institutos de pesquisa têm se responsabilizado pela atividade de engenharia de sistemas e respectiva integração, em substituição a indústria, o que contraria o PNAE. Em decorrência dessa situação, verifica-se historicamente, que o Brasil tem dificuldade em aproveitar as possíveis oportunidades comerciais geradas na área espacial. Isso decorre do fato de os domínios tecnológicos dos veículos espaciais, como um todo, serem dos institutos de pesquisa.

Entretanto, Carvalho (2014), argumenta que algumas tecnologias somente deverão ser transferidas para empresas que possuam capital nacional e compromisso firmado de continuidade da geração do conhecimento ou tecnologia transferida. Outro fator importante a ser considerado é a capacidade de absorção da tecnologia pela indústria.

Quanto a maturidade da indústria espacial brasileira na absorção das tecnologias, tem-se um quadro apresentado por Albuquerque (2009), ao coordenar a elaboração de documento referente aos estudos das perspectivas de investimento no Brasil:

“o setor de defesa está subdimensionado e desestruturado para atender as necessidades estratégicas do Brasil, tanto no domínio de tecnologias sensíveis, quanto em prover um poder de dissuasão adequado à posição ocupada pelo país no atual contexto mundial”

O setor de defesa, ao qual o Albuquerque (2009) se refere está intimamente ligado ao setor espacial.

Entende-se que é necessário fortalecer a indústria espacial brasileira, porém deve-se mapear sua capacidade de absorção das técnicas e conhecimentos para otimizar os recursos a serem utilizados na execução dessa estratégia. Estabelecer um modelo de avaliação da industrialização auxilia a capacitação de absorção das práticas de fabricação de produtos espaciais.

2.4 Modelos de Avaliação da Maturidade de Fabricação

Para avaliar o quão bem uma determinada organização realiza o processo de industrialização, é necessário pesquisar modelos de avaliação da maturidade de fabricação disponível na literatura.

A escolha do melhor modelo de avaliação da maturidade de fabricação veio após análise bibliométrica e bibliográfica na base de artigos acadêmicos da Scopus.

O tema maturidade tecnológica é bem difundido na comunidade envolvida com ciência e tecnologia. A métrica de avaliação da maturidade tecnológica mais conhecida é o TRL (*Technology Readiness Level*), ou nível de maturidade tecnológica. O TRL foi criado em 1974 por Stan Sadin, pesquisador da NASA (BANKE, 2017). Mede a maturidade de uma tecnologia em função dos testes a que a mesma foi submetida. Uma tecnologia madura significa que foi

testada em condições reais de operação com resultados satisfatórios. Porém uma tecnologia madura não significa que está apta para produção em escala industrial. Devem ser tratadas questões específicas do ambiente de fabricação, como por exemplo, se os fornecedores tem capacidade de entregar os materiais definidos, quais máquinas devem ser adquiridas ou ajustadas, qual o *layout* e quais os processos de fabricação, se existe quantidade de pessoas suficiente para o início de produção e se as mesmas devem ser treinadas, e quais as especificações de qualidade definidas. É grande a quantidade de públicos diferentes a serem consultados para realizar a industrialização, implicando um aumento considerável da complexidade da gestão do ciclo de vida. Nesse sentido, a avaliação da maturidade de fabricação completa uma análise mais ampla da qualidade da gestão do ciclo de vida de determinado sistema espacial.

Portanto, como se tratam de assuntos correlatos, inicialmente analisou-se a relevância do tema maturidade tecnológica. A consulta bibliométrica na base Scopus retornou 2.097 artigos desde 1965 até 2017 referentes ao tema “maturidade tecnológica”. Pela Figura 2-4, observa-se que do ano 2000 em diante o assunto tomou uma importância maior dado o aumento da quantidade de artigos publicados com o termo “maturidade tecnológica”.

Usando-se os mesmos parâmetros da consulta anterior e apenas mudando-se a expressão “maturidade tecnológica” por “maturidade de fabricação” e assemelhados, obteve-se um retorno de 226 artigos de 1986 até 2017. Apesar da tendência de alta na quantidade de artigos publicados, o tema maturidade de fabricação ainda é menos discutido que o tema maturidade tecnológica. Assume-se que a causa desse fenômeno vem da criação do nível de maturidade tecnológica (TRL) em 1974 enquanto o primeiro modelo representativo e estruturado para se avaliar o nível de maturidade de fabricação (MRL – *manufacturing readiness level*), surgiu apenas em 2005, conforme indica a Figura 2-4.

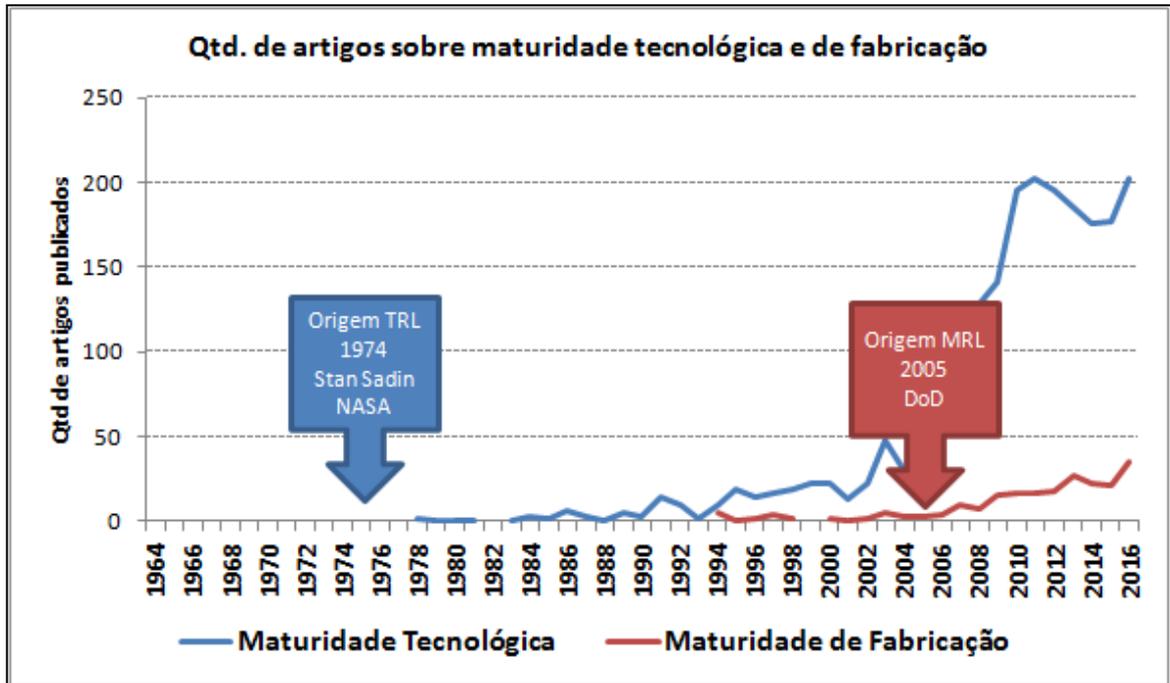


Figura 2-4 Histórico de artigos publicados nos temas maturidade tecnológica e de fabricação

Equiparando-se as curvas de evolução dos temas maturidade tecnológica e de fabricação de modo a considerar ambas iniciando desde suas respectivas criações (Figura 2-5), verifica-se, grosso modo, que o tema maturidade de fabricação tende a seguir a mesma evolução do tema maturidade tecnológica. Infere-se pela Figura 2-5 um potencial de relevância significativa do tema maturidade de fabricação para os próximos anos.

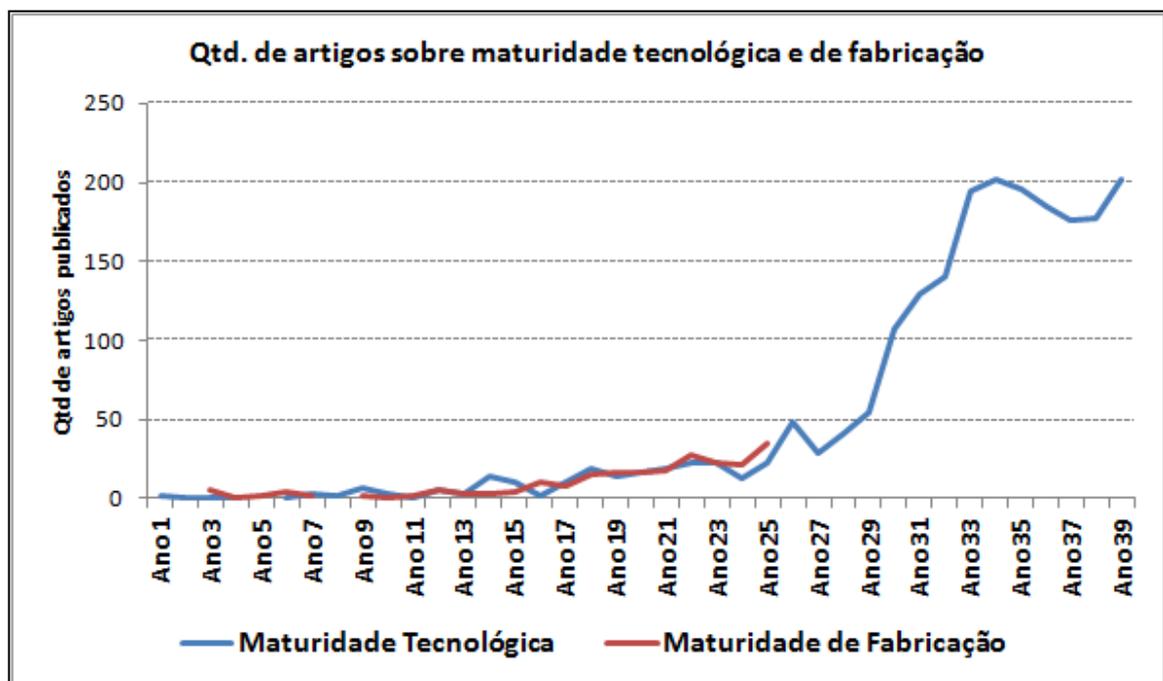


Figura 2-5 Qtd de artigos publicados nos temas maturidade tecnológica e de fabricação na mesma base de tempo

Para se definir o melhor modelo de maturidade de fabricação a ser usado pela pesquisa é necessário analisar os modelos de maturidade discutidos em tais artigos levantados.

Dos 226 artigos encontrados no tema maturidade de fabricação, analisou-se 50 com base nos mais recentes e nos mais citados. Os mesmos se encontram listados nas Tabelas 2-2 e Tabela 2-3 bem como nas Referências.

Tabela 2-2 Artigos pesquisados (1/2)

Artigos pesquisados 1/2			
Autores	Título	Ano	Modelo Usado
Ratnasingam J., MacPherson T.H., Ioras F.	An assessment of Malaysian wooden furniture manufacturers' readiness to embrace chain of custody (COC) certification [Untersuchung der Bereitschaft der Malaysischen Holzmöbelindustrie zu einer Chain-of-Custody-Zertifizierung]	2008	Critérios Próprios
Paden L.A., Bangs J.W., Emerson R.M., Olshove R.M., Norton E.M., Garnett D.A., Smith E., Garvine K.A., Peterson J.M., Reddy M.	Achieving manufacturing readiness for 6-inch HgCdTe on silicon	2010	MRL - DoD
Tang V., Otto K.N.	Multifunctional enterprise readiness: Beyond the policy of build-test-fix cyclic rework	2010	MRL - DoD
Chan Y.D., Rastegar A., Yun H., Putna E.S., Wurm S.	EUV mask defect inspection and defect review strategies for EUV pilot line and high volume manufacturing	2010	Critérios Próprios
Tucker B., Paxton J.	SCRL-model for human space flight operations enterprise supply chain	2010	MRL - DoD
Iyer G., Li W., Gopalakrishnan L.	Design, reliability and manufacturing readiness for MEMS microphone	2011	Critérios Próprios
Lindsay D., Bangs J.W., Vampola J., Jaworski F., Mears L., Wyles R., Asbrock J., Norton E., Reddy M., Rybnicek K., Levy A., Malone N.R.	Large format high operability low cost infrared focal plane array performance and capabilities	2011	Critérios Próprios
Mazul I.V., Belyakov V.A., Giniatulin R.N., Gervash A.A., Kuznetsov V.E., Makhankov A.N., Sizenev V.S.	Preparation to manufacturing of ITER plasma facing components in Russia	2011	Critérios Próprios
Hummeler K., Smith L., Caramto R., Edgeworth R., Olson S., Pascual D., Qureshi J., Rudack A., Quon R., Arkalud S.	On the technology and ecosystem of 3D / TSV manufacturing	2011	Critérios Próprios
Dietrich D.M., Cudney E.A.	Methods and considerations for the development of emerging manufacturing technologies into a global aerospace supply chain	2011	MRL - DoD
Rahman A., Shi H., Li Z., Ibbotson D., Ramaswami S.	Design and manufacturing enablement for three-dimensional (3D) integrated circuits (ICs)	2012	Critérios Próprios
Du G., Huang Q., Sun L.	Research of synergy product maturity based on maturity cycle	2012	MRL - DoD
Jones W.M.	An application of Manufacturing Readiness Levels to a satellite program	2012	MRL - DoD
Somervell M., Gronheid R., Hooge J., Nafus K., Delgadillo P.R., Thode C., Younkin T., Matsunaga K., Rathsack B., Scheer S., Nealey P.	Comparison of directed self-assembly integrations	2012	Critérios Próprios
Lambert J.M., de Montigny M., Perron C.	CAM-Based Planning, Programming and Execution of Large-Scale Machining Operations by a Robot-Mounted Gantry System	2012	MRL - DoD
Himes G., Maunder D., Kopp B.	Recent defense production act title III investments in compound semiconductor manufacturing readiness	2013	MRL - DoD
Smolko J., Whelan C.S., Macdonald C., Krause J., Mikesell B., Benedek M.	Raytheon title III gallium nitride (GaN) production program	2013	MRL - DoD
Della-Morrow C., Lee C., Salzman K., Coffie R., Li V., Drandova G., Nagle T., Morgan D., Horng P., Hillyard S., Ruan J.	Achieve manufacturing readiness level 8 of high-power, high efficiency 0.25 μ m GaN on SiC HEMT process	2013	MRL - DoD
Fury R., Sheppard S.T., Barner J.B., Pribble B., Fisher J., Gajewski D.A., Radulescu F., Hagleitner H., Namishia D., Ring Z., Gao J., Lee S., Fetzter B., Mcfarland R., Milligan J., Palmour J.	GaN-on-SiC mmic production for S-band and EW-band applications	2013	MRL - DoD
Deshpande A.	An empirical study to evaluate machine tool production readiness and performance	2013	Critérios Próprios
Pahud O., Hoste D.	A Novel Approach for Technology Development: A Success Story	2013	MRL - DoD
Atwater B., Uzdinski J.	Wholistic Sustainment Maturity: The Extension of System Readiness Methodology across all Phases of the lifecycle of a complex system	2014	MRL - DoD
Hungyang L., Boonkar Y., Yong T.C., Khan N., Ibrahim M.R., Tan L.C.	Manufacturability readiness of insulated Cu wire bonding process in PBGA package	2014	Critérios Próprios
An J., Qu N., Peng S.X., Wang X., Ren J.C., Li T.J.	Evaluation on manufacturing readiness level for a certain type equipment based on BP neural network	2014	MRL - DoD
Wheeler D.J., Ulsh M.	Manufacturing readiness and cost impacts for PEM stack and balance of plant	2014	MRL - DoD

Tabela 2-3 Artigos pesquisados (2/2)

Artigos pesquisados 2/2			
Autores	Título	Ano	Modelo Usado
Gallagher E., Wagner A., Lawliss M., McIntyre G., Seki K., Isogawa T., Nash S.	Learning from native defects on EUV mask blanks	2014	Critérios Próprios
Attia U.M., Marson S., Alcock J.R.	Design and fabrication of a three-dimensional microfluidic device for blood separation using micro-injection moulding	2014	Critérios Próprios
Alvanos T., Garant J., Iijima Y., Indyk R., Rosenthal C., Sato O., Sugase N., Takizawa H., Wei F.	A novel methodology for wafer-specific feed-forward management of backside silicon removal by wafer grinding for optimized through silicon via reveal	2014	Critérios Próprios
Madison J.C., Hayes J.C., Keller D.T., Lombardo N.J.	Combining systems engineering with Technology and Manufacturing Readiness Levels to advance research and development	2015	MRL - DoD
Chauvet E.	Industrialization Value, Market Maturity and Ethics	2015	MRL - DoD
Gavankar S., Suh S., Keller A.A.	The Role of Scale and Technology Maturity in Life Cycle Assessment of Emerging Technologies: A Case Study on Carbon Nanotubes	2015	MRL - DoD
Peters, S.	A readiness level model for new manufacturing technologies	2015	MRL - DoD
Karr D.	In defense, a new focus on project management process	2015	MRL - DoD
Miao X., Zhang Q., Wang L., Jiang H., Qi H.	Application of riblets on turbine blade endwall secondary flow control	2015	Critérios Próprios
Jung K., Kulvatunyou B., Choi S., Brundage M.P.	An overview of a smart manufacturing system readiness assessment	2016	MTS - MESA
Chowdhury S., Wu Y., Shen L., Smith K., Smith P., Kikkawa T., Gritters J., McCarthy L., Lal R., Barr R., Wang Z., Mishra U., Parikh P.	650 v Highly Reliable GaN HEMTs on Si Substrates over Multiple Generations: Matching Silicon CMOS Manufacturing Metrics and Process Control	2016	Critérios Próprios
Wei F., Smet V., Shahane N., Lu H., Sundaram V., Tummala R.	Ultra-Precise Low-Cost Surface Planarization Process for Advanced Packaging Fabrications and Die Assembly: A Survey of Recent Investigations on Unit Process Applications and Integrations	2016	Critérios Próprios
Dye E., Sturgess A., Maheshwari G., May K., Ruegger C., Ramesh U., Tan H., Cockerill K., Groskoph J., Lacana E., Lee S., Miksinski S.P.	Examining Manufacturing Readiness for Breakthrough Drug Development	2016	Critérios Próprios
Kuehn I., Cordier J.-J., Baylard C., Kotamaki M., Patisson L., Reich J., Ring W.	Management of the ITER buildings configuration for the construction and installation phase	2016	Critérios Próprios
Wiratmadja I.I., Mufid A.	The Development of Model for Measuring Railway Wheels Manufacturing Readiness Level	2016	MRL - DoD
Biesek F.L., Ferreira C.V.	A model for advanced manufacturing engineering in R&D technology projects through DFMA and MRL integration	2016	MRL - DoD
Ma K., Wang K.	A generalized technology readiness level model for space program	2016	MRL - DoD
Matha D., Morán G.P., Muller K., Lemmer F.	Comparative analysis of industrial design methodologies for fixed-bottom and floating wind turbines	2016	Critérios Próprios
Weng M.H., Clark D.T., Wright S.N., Gordon D.L., Duncan M.A., Kirkham S.J., Idris M.I., Chan H.K., Young R.A.R., Ramsay E.P., Wright N.G., Horsfall A.B.	Recent advance in high manufacturing readiness level and high temperature CMOS mixed-signal integrated circuits on silicon carbide	2017	Critérios Próprios
Ma K., Wang K.	Generalized technology readiness level model	2017	MRL - DoD
Haimerl J.A., Hudson B., Fonder G.P., Lee D.K.	Overview of the large digital arrays of the space fence radar	2017	MRL - DoD
Choi S., Jung K., Lee J.Y.	Development of an assessment system based on manufacturing readiness level for smart manufacturing and supplier selection	2017	MRL - DoD
Montgomery W., McClelland A., Ure D., Roth J., Robinson A.P.G.	Irresistible Materials multi-trigger resist: The journey towards high volume manufacturing readiness	2017	Critérios Próprios
Loubychev D., Fastenau J.M., Kattner M., Frey P., Liu A.W.K., Furlong M.J.	Large-format multi-wafer production of 5" GaSb-based photodetectors by molecular beam epitaxy	2017	Critérios Próprios
Darmstadt P.R., Hendrickson A., Moore J., Barbato K., Vitlip R., Hu Z.	Thick-walled composite cylinder fabrication to support composite rotor shaft development for CH-47 chinook	2017	MRL - DoD

A Figura 2-6 mostra que dos 50 artigos analisados, 27 deles usam de alguma forma em suas pesquisas o nível de maturidade de fabricação definido pelo DoD. Enquanto que 22 usam critérios próprios diversos para avaliar a maturidade de fabricação, muito em função da confiabilidade na estabilidade das funções da tecnologia avaliada. Apenas 1 artigo usou o modelo MTS (*Manufacturing Transformation Strategy*), ou Estratégia de Transformação de Fabricação, da entidade MESA (*Manufacturing Enterprise Solutions Association*) ou Associação de Empresas de Soluções de Fabricação.



Figura 2-6 Base para estudo da maturidade de fabricação dos 50 artigos analisados

Enfim, o modelo mais usado pela base de artigos analisados é o MRL desenvolvido pelo DoD.

Na revisão bibliográfica foi também identificado que o AFRL (Laboratório de Pesquisas da Força Aérea norte americana), adota outra abordagem de MRL diferente da adotada pelo DoD. Os motivos que levaram a essa ser desconsiderada são expostos no item 2.5.4 Abordagem do AFRL para o MRL.

2.5 MRL (*Manufacturing Readiness Level*)

O MRL, desenvolvido pelo DoD, é uma métrica estruturada concebida para avaliar e auxiliar o processo de industrialização de um dado sistema de defesa. É composto por 10 níveis e 9 áreas de conhecimento da fabricação. Foi elaborado em 2005 por um grupo de trabalho composto por representantes especialistas do DoD, academia e indústria. A intenção era criar uma escala para medir a maturidade de fabricação da mesma forma que o TRL mede a maturidade tecnológica, ou seja, fornecendo uma métrica e um vocabulário comuns para avaliar e discutir a maturidade e risco de fabricação. O MRL foi então estabelecido com um sistema de graduação para ser aproximadamente congruente com níveis de TRL a fim de dar sinergia e facilidade de compreensão (DoD, 2017a).

Segundo o DoD (2017b), o objetivo principal do MRL é melhorar a capacidade dos tomadores de decisão de entender e mitigar os riscos de fabricação nos esforços de desenvolvimento de tecnologias até advento do produto final. A capacidade de transição de tecnologia de forma suave e eficiente desde o conceito de laboratório para o chão de fábrica é essencial para melhorar a eficiência e para reduzir os tempos em um programa de desenvolvimento de soluções tecnológicas.

A concepção do modelo surgiu pela observação do GAO (Escritório de Contabilidade do Governo norte americano), órgão similar à Controladoria Geral da União do Brasil, de que avaliações de riscos de fabricação não usaram, num determinado período, uma métrica uniforme para medir e comunicar o risco e maturidade de fabricação, e também não eram conduzidas nas fases iniciais do processo desenvolvimento de tecnologia. Além disso, a frequência destes tipos de revisões diminuiu acentuadamente desde a década de 1990 (DoD, 2017a).

Paralelamente a este declínio, os impactos relacionados com a fabricação nos custos, cronograma e desempenho cresceram. Um estudo do GAO mostra, por meio dos indicadores do portfólio (Tabela 2-4), que os custos de aquisição aumentaram em 2007 e 2008 em relação aos de 2003, tanto percentualmente como em valores absolutos. Mostra também, que no mesmo período, a média de atraso na entrega das funcionalidades iniciais também aumentou. O GAO cita no estudo a falta de conhecimento de fabricação em pontos chave de decisão como uma das principais causas do crescimento do custo e deslizos de cronograma nos principais programas de aquisição do DoD (UNITED STATES, 2010).

Tabela 2-4 Análise do Portfólio de Programas do DoD (Adaptado de UNITED STATES, 2010)

Análise dos principais programas de aquisição de defesa do DoD			
Dólares do ano fiscal de 2009			
Tamanho do portfólio	Ano Fiscal		
	2003	2007	2008
Número de Programas	77	95	96
Compromissos planejados	US\$ 1,2 Trilhões	US\$ 1,6 Trilhões	US\$ 1,6 Trilhões
Compromissos pendentes	US\$ 724,2 Bilhões	US\$ 975,2 Bilhões	US\$ 796,3 Bilhões
Indicadores do Portfólio			
Aumento percentual dos custos de Pesquisa e Desenvolvimento previstos	37%	40%	42%
Aumento percentual do custo total de aquisição previsto	19%	26%	25%
Total de crescimento absoluto do custo de aquisição	US\$ 183 Bilhões	US\$ 301,3 Bilhões	US\$ 296,4 Bilhões
Participação de programas de aquisição com pelo menos 25% de aumento de custo	41%	44%	42%
Média de atraso na entrega das funcionalidades iniciais	18 meses	21 meses	22 meses

Segundo Morgan (2008), o GAO caracteriza um programa como bem-sucedido quando possui tecnologias maduras, *design* estável e processos de produção sob controle.

2.5.1 Definição dos Níveis do MRL

O MRL é composto por 10 níveis:

MRL 1: Implicações básicas de fabricação identificadas.

Este é o nível mais baixo de preparação para a fabricação. Pesquisas básicas começam sob a forma de estudos.

MRL 2: Conceitos de fabricação identificados.

Este nível caracteriza-se por descrever a aplicação de novos conceitos de fabricação. A pesquisa básica evolui para a pesquisa aplicada. Normalmente, esse nível de maturidade inclui,

estudos teóricos e análise de abordagens de materiais e processos. Existe uma compreensão da viabilidade e risco de fabricação.

MRL 3: Demonstração de conceito de fabricação desenvolvida.

Este nível inicia a validação dos conceitos de fabricação através de experimentos analíticos ou laboratoriais. Nível típico das tecnologias trabalhadas em pesquisa aplicada. Materiais e processos foram caracterizados para fabricação, mas avaliações e demonstrações adicionais são ainda necessárias. Modelos experimentais de *hardware* foram desenvolvidos em um ambiente de laboratório que pode possuir funcionalidades limitadas.

MRL 4: Capacidade de produzir a tecnologia em um ambiente de laboratório.

Este nível indica que as tecnologias estão prontas para passar a fase de desenvolvimento. As tecnologias devem ter amadurecido para pelo menos TRL 4. Neste ponto, os investimentos necessários, como o desenvolvimento de tecnologia de fabricação, foram identificados. Processos para garantir a fabricação, produtividade e qualidade estão em vigor e são suficientes para produzir demonstradores de tecnologia. Os riscos de fabricação foram identificados para a construção de protótipos e os planos de mitigação estão em vigor. Os objetivos de custo foram estabelecidos e os fatores direcionadores de custos de fabricação foram identificados. As avaliações de produtividade dos conceitos de *design* foram concluídas. Os principais parâmetros de desempenho do projeto foram identificados, bem como instalações, manipulação de material e habilidades de pessoal.

MRL 5: Capacidade de produzir componentes de protótipo em ambiente de fabricação relevante.

Esse nível de maturidade é típico do ponto médio na fase de desenvolvimento da tecnologia. As tecnologias devem ter amadurecido para pelo menos TRL 5. A base industrial foi avaliada para identificar potenciais fontes. Uma estratégia de fabricação foi refinada e integrada ao plano de gerenciamento de risco. A identificação de tecnologias e componentes críticos está completa. Materiais de protótipo, ferramentas e equipamentos de teste, bem como habilidades de pessoal foram demonstradas em componentes em um ambiente relevante para a produção, mas muitos processos e procedimentos de fabricação ainda estão em desenvolvimento. Os esforços de desenvolvimento de tecnologia de fabricação foram iniciados ou estão em andamento. As avaliações de produtividade de tecnologias e componentes chave

estão em andamento. Um modelo de custo foi construído para avaliar o custo de fabricação projetado.

MRL 6: Capacidade de produzir sistemas ou subsistemas do protótipo em ambiente de fabricação relevante.

As tecnologias devem ter amadurecido para pelo menos TRL 6. Normalmente é visto como o nível de preparação para a fabricação. Uma abordagem de fabricação inicial foi desenvolvida. A maioria dos processos de fabricação foram definidos e caracterizados, mas pode ainda haver mudanças significativas de engenharia ou *design* no próprio sistema. No entanto, o desenho preliminar foi concluído e as avaliações de produção e os estudos de integração de tecnologias estão completos. Os processos e tecnologias de fabricação de protótipos, materiais, ferramentas, equipamentos de teste e habilidades de pessoal foram demonstrados em sistemas ou subsistemas em um ambiente relevante para a produção. As análises de custo e rendimento foram realizadas para avaliar como os dados do protótipo se comparam aos objetivos definidos. As considerações de produtividade moldaram os planos de desenvolvimento do sistema. A avaliação das capacidades industriais foi concluída. Os elementos chave da cadeia de suprimento foram identificados.

MRL 7: Capacidade de produzir sistemas, subsistemas ou componentes em ambiente de fabricação representativo.

Este nível de maturidade de fabricação é típico do início da industrialização. As tecnologias devem estar em um caminho para alcançar o TRL 7. A atividade de *design* detalhado do sistema está quase concluída. As especificações dos materiais foram aprovadas e os materiais estão disponíveis para atender ao cronograma planejado da implantação da linha piloto. Os processos e procedimentos de fabricação foram demonstrados em um ambiente representativo da produção. Estudos detalhados de produtividade foram concluídos e os aprimoramentos de produtividade e avaliações de risco estão em andamento. O modelo de custo foi atualizado com *designs* detalhados, integrados ao nível do sistema e rastreados em relação aos objetivos definidos. Os esforços de redução de custos foram priorizados e estão em andamento. As análises de rendimento foram atualizadas com os dados representativos da produção. A garantia da qualidade da cadeia de suprimentos foi avaliada e os planos de aquisição de longo prazo estão em vigor. Foram desenvolvidos planos de produção e metas de qualidade. A instalação de equipamentos e ferramentas de teste estão em andamento e os planos de validação para tais equipamentos estão completos.

MRL 8: Capacidade de linha piloto demonstrada. Pronto para início de produção.

Esse nível está associado com o início da produção. As tecnologias devem ter amadurecido para, pelo menos, TRL 7 ou 8. O *design* detalhado do sistema é completo e suficientemente estável para dar início a produção. Todos os materiais, mão de obra, ferramentas, equipamentos de teste e instalações foram comprovados na linha piloto e estão disponíveis para atender ao cronograma planejado de início de produção. Os equipamentos de inspeção e teste foram validados por meio da linha piloto. Os processos e procedimentos de fabricação e qualidade foram comprovados em uma linha piloto, estão sob controle e prontos para início de produção. Os riscos de produtividade conhecidos não representam desafios significativos para início de produção. O modelo de custo e as análises de rendimento foram atualizados com os resultados da linha piloto. O teste de qualificação do fornecedor foi concluído. A cadeia de suprimentos está estabelecida para suportar o início de produção.

MRL 9: Produção inicial demonstrada. Pronto para iniciar a produção em regime.

Neste nível, o sistema conseguiu com sucesso uma produção inicial. As tecnologias devem ter amadurecido para TRL 8 ou 9. Este nível de maturidade é normalmente associado ao início da produção em regime. Todos os requisitos de engenharia de sistemas devem ter sido cumpridos, de modo que existam mudanças mínimas do sistema. O projeto do sistema é estável e posto a prova em teste e avaliação. Materiais, peças, mão de obra, ferramentas, equipamentos de teste e instalações estão disponíveis para atender aos horários de produção planejados. Validação de equipamentos de inspeção e teste mantida e revalidada conforme necessário. A capacidade do processo de fabricação em um ambiente de produção inicial está em um nível de qualidade apropriado para atender às tolerâncias das características chave do *design*. O monitoramento do risco de produção está em andamento. Os objetivos de custo de produção de baixa escala foram atendidos e as curvas de aprendizado são analisadas com dados reais. O modelo de custo foi desenvolvido para a produção em regime e reflete o impacto da melhoria contínua.

MRL 10: Produção em regime demonstrada e práticas de produção aprimoradas.

Este é o mais alto nível de maturidade de fabricação. As tecnologias devem ter amadurecido para o TRL 9. As mudanças de *design* do sistema são poucas e geralmente limitadas a melhorias de qualidade e custos. O sistema está em pleno regime de produção e atende a todos os requisitos de engenharia, desempenho, qualidade e confiabilidade. A capacidade do processo de fabricação está no nível de qualidade apropriado. Todos os

materiais, ferramentas, equipamentos de teste e inspeção, instalações e mão de obra estão em vigor e atendem aos requisitos de produção em regime. Os equipamentos de teste e inspeção são revalidados periodicamente. Os custos da unidade de produção atendem metas e os recursos financeiros são suficientes para a produção às taxas exigidas. As melhorias contínuas dos processos estão em andamento.

2.5.2 Definição das Áreas de Conhecimento do MRL e seus Desdobramentos

As áreas de conhecimento do MRL foram definidas para organizar os distintos assuntos relativos à fabricação. São 9 áreas de conhecimento desdobradas da seguinte forma (DoD, 2017a):

A – Base Industrial e Tecnologia de Fabricação

A.1 Base Industrial – referente à capacidade da base industrial em apoiar o *design*, desenvolvimento, produção, operação, suporte de manutenção e eventual descarte com impactos ambientais associados.

A.2 Tecnologia de Fabricação - referente ao nível de maturidade da tecnologia de fabricação em uso e avaliação da adequação dessas tecnologias no cenário atual.

B – *Design*

B.1 Produtibilidade – é definida como atributos de *design* que permitem a fabricação e montagem de equipamento repetidamente de forma a satisfazer os objetivos funcionais e fornecer uma excelente relação de custo e dentro de programação de produção. Em outras palavras, a produtividade é relativa às características do *design* que facilitam a sua produção de forma alcançar os objetivos de engenharia, qualidade e custo.

B.2 Maturidade do *design* – basicamente avalia a estabilidade do *design* em relação aos testes operacionais e as necessidades eventuais de mudanças

C – Custos e Recursos Financeiros

C.1 Conhecimento do custo de produção - é relacionado à apuração dos custos. Serve para subsidiar a administração na formação do preço de venda dos seus produtos e serviços, atender a legislação fiscal vigente, e fornecer informações gerenciais que auxiliem o processo de tomada de decisões.

C.2 Análise de custo – avalia o quão bem a organização analisa seus custos com o intuito de buscar otimização.

C.3 Orçamento e investimento para fabricação – relativo ao orçamento e investimento disponível para produção.

D – Materiais

D.1 Maturidade dos materiais - relativo a estabilidade das especificações das matérias-primas e insumos recebidos e utilizados no processo de fabricação.

D.2 Disponibilidade – avalia o risco relativo a eventuais faltas de matérias-primas, obsolescência de materiais e problemas de embargos.

D.3 Gestão da cadeia de suprimentos – se refere a adequação da cadeia de suprimentos aos requisitos da produção por meio da gestão dos principais fornecedores.

D.4 Manuseio especial – avalia a forma com que produtos perigosos ou nocivos ao ambiente são manuseados e armazenados.

E – Capabilidade e Controle do Processo

E.1 Modelamento e simulação – relativo a existência de modelos de produção e se os mesmos são usados para melhorar os processos e inferir se os requisitos da produção podem ser atendidos.

E.2 Maturidade do processo de fabricação – avalia se os processos de fabricação são estáveis, adequadamente controlados, capazes e alcançam os objetivos definidos.

F – Gestão da Qualidade

F.1 Sistema de gestão de qualidade – avalia a formalização dos processos da organização e como esses processos podem melhorar a qualidade dos produtos e serviços frente às demandas dos clientes.

F.2 Qualidade do produto – avalia a forma como são controladas as características críticas dos produtos fabricados.

F.3 Gestão da qualidade do fornecedor – é referente às práticas de gestão da qualidade dos fornecedores e como a organização audita essas práticas.

G – Pessoas

Única área de conhecimento que não é desdobrada. Se refere às habilidades, disponibilidade e número de pessoas necessárias para apoiar diretamente o processo de fabricação.

H – Instalações

H.1 Equipamentos e ferramentas – avalia como os equipamentos e ferramentas necessários para a fabricação do produto são gerenciados e conservados.

H.2 Infraestrutura – relativo à estrutura física de produção.

I – Gestão da Fabricação

I.1 Planejamento e programação da fabricação – avalia a capacidade da empresa de gerenciar a sua produção por meio de planejamentos, programações e instruções de trabalho.

I.2 Planejamento de materiais – avalia a forma de gestão do planejamento dos materiais a serem usados na linha de produção.

2.5.3 Relação entre MRL e TRL

O TRL fornece um sistema de medição sistemático para avaliar a maturidade de uma determinada tecnologia. O TRL permite uma comparação consistente da maturidade entre diferentes tipos de tecnologia. A abordagem TRL tem sido usada por vários anos na NASA e DoD. O TRL é usado principalmente como uma ferramenta para auxiliar no rastreamento de tecnologias no desenvolvimento e sua transição para a produção. Os nove níveis do TRL são definidos da seguinte forma conforme o DoD:

- TRL 1: princípios básicos observados e relatados;
- TRL 2: conceito de tecnologia ou aplicação formulada;
- TRL 3: prova de conceito experimental e analítica das funções e características críticas;
- TRL 4: validação de componentes em um ambiente de laboratório;
- TRL 5: validação de componentes em um ambiente relevante;
- TRL 6: modelo ou protótipo do sistema ou do subsistema demonstrado em um ambiente relevante;
- TRL 7: demonstração do protótipo do sistema em um ambiente operacional;
- TRL 8: sistema real concluído e qualificado através de teste e demonstração; e
- TRL 9: sistema real testado através de operações de missão bem-sucedidas.

A maturidade de fabricação e a maturidade tecnológica caminham juntas. O MRL, em conjunto com TRL, são medidas-chave que definem o risco quando uma tecnologia ou processo é amadurecido e transferido para um sistema. Segundo Stanley (2010) o MRL foi elaborado para complementar o TRL. Maturidade de uma tecnologia significa prontidão funcional, mas não a prontidão de fabricação (GAVANKAR *et al*, 2014).

No âmbito da comunidade aeroespacial, Dietrich e Cudney (2011) argumentam que o TRL e MRL são usados em conjunto para determinar a capacidade da tecnologia emergente proposta e sua avaliação geral do risco.

Segundo Santos *et al* (2013) a maturidade tecnológica progride em conjunto com a maturidade de fabricação, sendo muito comum o nível de maturidade de fabricação ser inferior ao nível da maturidade tecnológica, já que os processos de manufatura só tornam-se maduros e qualificados quando uma determinada tecnologia atinge sua estabilidade.

É bastante comum que a maturidade de fabricação seja estimulada pela maturidade tecnológica. Os processos de fabricação não poderão amadurecer até que a tecnologia do produto e o *design* dos produtos sejam estáveis. Por esses motivos, o mapeamento da maturidade tecnológica é necessário para o correto estabelecimento do nível nominal de maturidade de fabricação (DoD, 2017a).

2.5.4 Abordagem do AFRL para o MRL

Durante a busca de modelos de avaliação de maturidade de fabricação foi encontrado o modelo criado pelo AFRL.

Conceito desenvolvido dentro do próprio AFRL e difere do conceito de MRL desenvolvido pelo DoD. Como semelhança está o fato de se avaliar a maturidade de fabricação desde etapas prévias do ciclo de vida de sistemas.

As diferenças básicas em relação ao MRL do DoD são as seguintes:

- não há uma avaliação isolada do MRL. Só é possível avaliar o MRL dentro da avaliação do TRL. Ou seja, se avalia apenas o resultado do TRL que pode ou não incluir questões de MRL;
- não existe divisão clara das questões de MRL em relação às áreas de conhecimento de fabricação, apenas na dimensão do nível de maturidade tecnológica; e
- apresenta 65 questões específicas de fabricação desdobradas nos vários níveis de TRL contra 417 questões definidas no modelo MRL disponibilizado pelo DoD.

Por esses motivos, escolheu-se trabalhar com o modelo desenvolvido pelo DoD por conseguir entregar um nível de análise do resultado mais robusto comparado com a ferramenta desenvolvida pelo AFRL. Ou seja, o modelo do DoD consegue entregar uma análise exclusiva da maturidade de fabricação, característica que o modelo AFRL não é capaz de fornecer. Desdobra o resultado por áreas de conhecimento de forma a possibilitar o endereçamento dos riscos apontados para os corretos responsáveis. Além de possuir uma quantidade de questões maior que o modelo AFRL o que permite uma identificação de riscos mais específica e, por sua vez, mais eficaz.

2.5.5 Aplicações do MRL

A avaliação do MRL é uma prática recomendada da indústria segundo o DoD (2017a). Vários fornecedores de sistemas de armas do DoD integraram a avaliação sistemática do MRL em seus processos de transição de tecnologia para ajudar a decidir quando uma tecnologia é madura o suficiente para ser fabricada sistematicamente.

Gavankar *et al* (2014), em seu estudo de caso sobre o papel da escala de produção e da maturidade tecnológica na avaliação do ciclo de vida de tecnologias emergentes, fez uso da ferramenta de avaliação do MRL desenvolvida pelo DoD para correlacionar a quantidade de energia necessária para produzir certos componentes tecnológicos em função do nível de maturidade de fabricação. Demonstrou-se um ganho de escala, em termos de eficiência do uso energia, com níveis avançados de maturidade de fabricação.

Ross (2016), fez uso do MRL para criar um novo indicador de maturidade de sistemas levando em consideração tanto a maturidade tecnologia (TRL), a maturidade de integração (IRL) e a maturidade de fabricação (MRL).

No Brasil, a aplicação da ferramenta MRL do DoD também foi verificada no estudo que correlaciona os atrasos dos contratos industriais dos programas CBERS e Amazônia com os graus de maturidade tecnológica e de fabricação apurados (SANTOS *et al*, 2013).

O Laboratório de Energia Renovável dos EUA (*NREL – National Renewable Energy Laboratory*) adaptou o uso MRL com sucesso ao avaliar a maturidade de fabricação de sistemas de células de combustível para aplicações no mercado de reserva de energia e equipamentos de movimentação e armazenagem de materiais (WEELER, 2010). O investimento no desenvolvimento da capacidade de fabricação de tecnologias de células de combustível é alto. O objetivo da aplicação era conhecer e enfrentar os riscos econômicos e institucionais associados a uma aceleração da produção de células de combustível. Assim, o NREL adaptou

a ferramenta do MRL desenvolvida pelo DoD para se adequar a situação descrita e o resultado trouxe as áreas de risco associadas com o aumento de produção das células de combustível bem como respectivas recomendações para mitigar tais riscos a ponto de se proceder o início de produção de forma mais segura.

Enfim, a Figura 2-7, mostra algumas das organizações que usam o MRL em seus processos de desenvolvimento de soluções tecnológicas, segundo Morgan (2008):



Figura 2-7 Organizações que fazem uso do MRL (MORGAN, 2008)

A presente pesquisa adapta da ferramenta MRL elaborada pelo DoD, de forma semelhante ao que foi realizado pelo NREL uma vez que os objetivos das aplicações também são semelhantes.

2.5.6 Benefícios do Uso do MRL

O MRL é utilizado para avaliar a maturidade da fabricação do sistema e também elencar riscos no que tange as tecnologias da produção, capacitação dos recursos humanos, ferramental e processos envolvidos (SANTOS *et al*, 2013).

De acordo com Fernandez (2010), os projetos governamentais de aquisição e desenvolvimento enfrentaram dificuldades associadas à tecnologia insuficientemente madura, falta de maturidade de fabricação e mudança de projetos devido, em grande medida, à mudança de requisitos.

Conforme identificado por Foden e Berends (2010), menos atenção é dada ao gerenciamento de tecnologias de fabricação, embora muitas organizações compitam com base em suas capacidades de fabricação.

O uso do MRL reconhecidamente fornece uma linguagem e padrões comuns para avaliar a maturidade de fabricação de uma tecnologia ou produto para seu futuro desenvolvimento, e entender o nível de risco de fabricação. O MRL tem o propósito de melhorar a forma em que os riscos e a maturidade de fabricação são identificados (FERNANDEZ, 2010).

Stanley (2010) considera o MRL uma excelente ferramenta de gestão tecnológica por disciplinar o processo de desenvolvimento de sistemas tecnológicos pelo viés dos paradigmas da fabricação, por melhorar as comunicações e o alinhamento de esforços entre os principais envolvidos e por trazer as discussões com base em fatos e dados levantados.

Sauser *et al* (2006) argumenta que o uso das avaliações do MRL permite uma rápida e acessível transição do desenvolvimento das tecnologias para o âmbito da fabricação.

O uso de critérios do MRL em conjunto com suas avaliações é uma prática recomendada da indústria. Vários fornecedores de sistemas de armas do DoD integraram MRL em seus processos de transição de tecnologia para ajudar a decidir quando uma tecnologia é madura o suficiente para ser fabricada sistematicamente. Como resultado, essas empresas estão tomando melhores decisões sobre quais tecnologias incluir nos projetos de produtos, resultando em custos e cronogramas reduzidos e melhor desempenho no controle de riscos (DoD, 2017a). Alguns dos benefícios mais importantes, segundo o DoD (2017a), incluem:

- fornecer um roteiro das etapas necessárias para abordar e implementar um processo de fabricação maduro que aumentará significativamente a probabilidade de produzir um produto que atenda aos objetivos de custo, cronograma e desempenho de cada programa;
- identificar onde a maturidade de fabricação não está progredindo de acordo com o cronograma e fornecer uma avaliação do risco da situação e as ações corretivas apropriadas;
- envolver os especialistas em matéria de fabricação no início do processo de concepção e desenvolvimento de acordo com as melhores práticas da indústria comercial; e
- permitir comunicações eficazes entre os contratantes e contratados e seus fornecedores.

O objetivo básico de todos os programas de desenvolvimento de soluções tecnológicas é colocar a capacidade requerida no campo em tempo hábil com adequado suporte e dentro do

orçamento. Para ser bem-sucedido, as duas principais áreas de risco relacionadas a imaturidade tecnológica e de fabricação devem ser gerenciadas de forma eficaz (DoD, 2017a). As métricas de maturidade de fabricação em combinação com métricas de maturidade tecnológica podem ajudar os gerentes de programas a lidar com esses riscos. Compreendê-los e mitigá-los aumentará consideravelmente a probabilidade de inserção tecnológica e em última análise, ajudará os programas em melhorar o desempenho (DoD, 2017a).

2.5.7 Limitações do MRL

Embora a implementação das avaliações do MRL tenha potencial para obter economias e eficiências, ela não foi amplamente adotada no DoD e seu uso encontra certa resistência, semelhante ao que foi verificado quando as avaliações de TRL foram primeiramente introduzidas (FERNANDEZ, 2010).

Outra limitação descrita pelo DoD (2017b), é que normalmente os projetos financiados pela comunidade de ciência e tecnologia geralmente não vão além do esforço do desenvolvimento do protótipo. Isso coloca a comunidade de C&T em um dilema quando seu objetivo é atingir a maturidade de fabricação mais altas no momento da transição do protótipo para o produto final.

Morgan (2008) argumenta que para se conseguir um resultado robusto do MRL é desejável um especialista em cada segmento a ser avaliado. Entretanto, recursos com tais competências não são simples de se reunir em todas as situações.

De acordo com o DoD (2017a), o valor global do MRL apurado é o primeiro nível, do menor para o maior, cujos critérios foram integralmente cumpridos. Ou seja, consiste no menor valor encontrado na avaliação. Porém, o próprio DoD (2017a) faz críticas a essa definição formal:

“Avaliações de MRL não são simples gates de go/no-go. Portanto, atribuir um simples MRL para uma tecnologia completa ou a um sistema inteiro muitas vezes tem pouco valor. Mesmo com um caso relativamente simples, quando uma avaliação está sendo realizada em uma única tecnologia com cerca de meia dúzia de componentes de hardware, é provável que o MRL vá variar muito de componente a componente e talvez até mesmo de processo a processo de fabricação de um componente específico. Alguns componentes podem ser de prateleira, podem ser hardware padrão, ou feito com materiais e processos de

fornecedores de confiança bem estabelecidos, assim, tendo talvez um valor de MRL na faixa 8 a 10. Outros componentes podem incorporar novos elementos que estão bem aquém de serem considerados recursos comprovados de um processo de fabricação chave. Talvez estejam à MRL 4.

Usando a base "menor valor", uma tecnologia ou sistema teria que receber um MRL geral que reflète o elemento que obteve o menor nível de maturidade, neste caso, MRL 4. Em muitos casos, essa abordagem pode ser enganosa e dar a impressão de um nível global de risco maior do que a situação real. Para avaliações de mais subsistemas e sistemas complexos, esta simplificação se tornar ainda menos útil". (Tradução do autor).

Sugere-se, portanto, que os resultados das avaliações sejam estratificados em componentes ou por área de conhecimento da fabricação sempre que possível, permitindo aos tomadores de decisão, assim, uma análise mais robusta.

Outra limitação importante se refere à aplicação do modelo. Adaptar o MRL efetivamente no ambiente de ciência e tecnologia é provavelmente a mais desafiadora de todas as várias situações (DoD, 2017b).

Os critérios de MRL elaborados pelo DoD, contêm linguagem de aquisição que pode não ser relevante para os esforços de C&T, uma vez que a linguagem de aquisição é muito baseada em estimativas de orçamento, capacidade de processo e rendimentos para linha de produção. No entanto, critérios que lidam com qualidade, *design*, materiais, instalações e força de trabalho, são muito valiosos levando-se em consideração as circunstâncias da pesquisa. É recomendável que todos os critérios de MRL sejam interpretados para aproveitar ao máximo os benefícios da redução de risco, sem que o sistema seja penalizado por referências que não se aplicam. Em alguns casos, a interpretação pode ser de que os critérios que contêm a linguagem de aquisição não são aplicáveis à situação, pois não representam nenhum risco de fabricação (DoD, 2017b).

Portanto, o próprio DoD reconhece que adaptações ao modelo são desejáveis dependendo da aplicação. Sugere, inclusive, noções de adaptação para o ambiente de C&T, para atividades de manutenção e logística, para sistemas únicos ou volumes limitados, e para uso genérico na indústria.

3 Metodologia

Para atingir o objetivo do trabalho, que é validar a adaptação de um modelo para avaliação do nível de maturidade de fabricação aplicado à realidade da indústria espacial brasileira, primeiramente, pesquisou-se na bibliografia e documentos oficiais, assuntos referentes a sistemas espaciais bem como os ciclos de vida associados, as características da indústria espacial brasileira, modelos de avaliação da maturidade de fabricação e modos de identificação de riscos de fabricação por meio de tais modelos.

Após realização da pesquisa exploratória em tais assuntos, foi feita uma análise crítica do uso das avaliações de maturidade de fabricação existentes, buscando pontos fortes, pontos fracos e demais direcionamentos para realizar a adaptação proposta de forma mais eficaz.

A adaptação do modelo foi feita em seguida em função da análise crítica realizada.

Por fim, para validar o modelo adaptado, foram realizadas duas avaliações da maturidade de fabricação do veículo espacial VSB-30, na situação atual de fabricação e também em um potencial receptor da sua tecnologia de fabricação. Tanto a organização responsável pelo atual pela fabricação do veículo quanto o potencial receptor são pertencentes ao contexto da indústria espacial brasileira.

A indústria espacial é caracterizada por baixos volumes de produção e por níveis altos de controle de qualidade em função da intensidade de capital envolvido. A plataforma de avaliação da maturidade de fabricação proposta a seguir deve se adequar à tal situação e endereçar aspectos da análise crítica do uso do MRL elaborado pelo DoD.

O processo de avaliação proposto é baseado no que o DoD define como condução da avaliação da maturidade de fabricação, disposta no Guia do Nível de Maturidade de Fabricação do próprio DoD, versão de 2017. Segue as etapas:

1. Definição dos objetos da avaliação;
2. Definição da meta;
3. Definição de agenda de visitas;
4. Orientação aos avaliados;
5. Condução da avaliação; e
6. Preparação do relatório.

3.1 Etapa 1 - Definição de Objetos de Avaliação

Consiste em definir o responsável pela avaliação, o que será avaliado e onde a avaliação será conduzida.

O responsável pela avaliação, deve determinar de forma antecipada os possíveis desdobramentos do objeto a ser avaliado. O desdobramento pode ser obtido pela visão do produto, ou seja, nível de sistema, subsistema ou componente, ou pela visão dos processos de fabricação, com atenção aos procedimentos de montagem e testes associados.

As seguintes questões foram desenvolvidas para auxiliar na determinação dos objetos a serem avaliados. Todas tecnologias críticas e outras áreas significativas da estrutura analítica do projeto ou lista de materiais devem estar sujeitos às seguintes questões de filtragem. Qualquer resposta “sim” implica que uma avaliação da maturidade de fabricação pode ser necessária para aquele objeto.

- Materiais – existem materiais que não foram demonstrados em produtos similares ou processos de fabricação?
- Custo – é um objeto que afeta significativamente o custo? A tecnologia é nova, com alta incerteza de custo?
- *Design* – é um *design* novo? Contém arranjos fora do padrão?
- Processos de fabricação – será necessário uso de novos processos de fabricação os quais ainda não foram verificados e validados?
- Qualidade – o objeto apresenta histórico de problemas de qualidade?
- Tempo – o objeto apresenta alto tempo de provisionamento com impacto significativo na programação da produção?
- Instalações – o objeto requer novas instalações fabris ou melhorias significativas nas existentes?
- Cadeia de suprimentos – o objeto apresenta histórico de problemas com fornecedores (custo, qualidade e entrega)?
- Base industrial – O objeto apresenta base industrial com deficiências críticas ou é objeto crítico fabricado por uma fonte única ou estrangeira?

Com relação ao local de avaliação, raramente é possível visitar todos os locais de fabricação para examinar o status de seus principais processos. Alguns elementos devem ser avaliados no local e outros podem utilizar abordagens alternativas. O tipo e a profundidade da

avaliação são determinados pelo nível de risco do objeto. As avaliações *in loco* são normalmente reservadas para os locais em que um ou mais dos seguintes se aplicam:

- a maior porcentagem de custo de fabricação é incorrida;
- a montagem final e o teste são realizados;
- as tarefas de fabricação mais sensíveis são realizadas;
- os materiais ou componentes que são os menos tecnologicamente maduros são produzidos ou existem problemas de disponibilidade; e
- problemas significativos conhecidos existem (baixo rendimento, custos elevados, processos de fabricação imaturos, etc.).

Sugere-se que seja analisada a aplicabilidade da avaliação do objeto nos desdobramentos propostos em função da relevância dos resultados e da força de trabalho disponível para realizar a avaliação, de modo a cancelar a escolha.

3.2 Etapa 2 - Definição da Meta

Conforme exposto anteriormente, o MRL é composto por níveis de maturidade de fabricação. A determinação da meta de MRL serve tanto para o avaliador como para o avaliado identificar adequadamente o nível de risco encontrado no processo de transição da tecnologia em laboratório para o chão de fábrica. Ou seja, a meta MRL vai variar em função da fase do ciclo de vida e requisitos específicos do programa.

A singularidade de cada programa também é reconhecida e, conseqüentemente, pode não ser viável economicamente atingir a meta do MRL. No entanto, é essencial que a singularidade da situação seja avaliada e acordada entre os principais decisores, e que os riscos sejam bem compreendidos antes de prosseguir na próxima etapa do processo. Alguns exemplos que demonstram como a meta de MRL pode alterar o escopo de recomendações são explicados a seguir.

Durante as fases iniciais do ciclo de vida do projeto, uma avaliação pode ser conduzida para um determinado protótipo conceitual. Considerações prévias de produtividade e viabilidade de um determinado conceito permite ajustes no *design* antes dos testes dispendiosos, ou antes de que alterações para alcance do desempenho requerido sejam irreversíveis. Além disso, ajuda a identificar as tecnologias de fabricação ou capacidades que precisam ser desenvolvidas na próxima fase. A meta mais adequada a essa situação seria MRL 4.

Em uma etapa de fabricação de determinado protótipo, durante a fase de desenvolvimento, a avaliação pode ajudar a elucidar o progresso da preparação para a

fabricação, o risco de se proceder à próxima fase, bem como garantir que o protótipo foi produzido em um ambiente de produção relevante. A utilização dos critérios associados com MRL 6 podem ajudar na determinação do risco adequado à essa situação.

Quando um subsistema ou componente é produzido, os processos de montagem e de teste devem ser examinados de forma integrada. Todos os níveis da estrutura analítica do projeto devem ser considerados para medir efetivamente a capacidade de cumprir os objetivos do sistema. Os critérios associados a MRL 7 refletem um nível de maturidade consistente com os requisitos desse tipo de situação, se aproximando de uma decisão para o início da produção.

Se a avaliação está sendo realizada em uma linha de produção piloto, será dada ênfase no entendimento de que a capacidade e a capacidade de produção são suficientes para atender os objetivos do programa. Dessa forma, antecipar se haverá qualquer problema com os processos de produção em regime. Os critérios associados ao MRL 8 reflete um nível de maturidade de um programa enquanto se move em direção à produção em regime.

A correta colocação da meta de MRL dadas as circunstâncias da situação é fundamental para um robusto processo de identificação dos riscos a que se propõe a presente pesquisa. Uma meta mal colocada pode levar a não identificação de riscos importantes caso esta seja inferior ao nível adequado, ou a identificações de riscos inexistentes caso a meta seja colocada num nível superior ao nível adequado àquela situação.

3.3 Etapa 3 - Orientação aos Avaliados

Inicialmente é necessário definir os avaliados. É um passo importante, pois os mesmos devem ter conhecimento amplo na fabricação do objeto em questão, ter visão holística da fabricação e utilizar equipe técnica especializada e outros recursos caso seja necessário o aprofundamento maior em alguma questão.

Antes de se realizar a avaliação, o responsável pela avaliação deve orientar os avaliados com relação à:

- descrição do MRL com respectivos níveis e áreas de conhecimento;
- necessidade de preparo de evidências para comprovação da situação (ex: mapas de processo, plano de fabricação, dados de capacidade do processo, dados de eficiência, planos de desenvolvimento de tecnologia, planos de tratamento de riscos, etc)
- áreas do chão de fábrica onde visitas serão desejáveis;

- expectativa de tempo para conclusão completa da avaliação.

3.4 Etapa 4 - Definição de Agenda de Avaliação

O responsável pela avaliação deve então, definir a agenda das visitas *in loco*. Visitas *in loco* destinam-se a fornecer uma compreensão mais detalhada do que pode ser obtida a partir de documentos. As avaliações da maturidade de fabricação devem ser estruturadas de modo a aproveitar ao máximo as discussões com os especialistas e as observações das atividades do chão de fábrica. Um equilíbrio deve ser alcançado entre o tempo gasto fora e dentro das instalações do avaliado.

Uma agenda típica pode conter os seguintes elementos:

- revisão da agenda de avaliação;
- apresentação do responsável pela avaliação e avaliados;
- descrição dos objetivos e expectativas;
- visitas a áreas chave do chão de fábrica;
- discussões individuais ou em grupos entre o avaliador e os especialistas no assunto;
- encerramento da avaliação com toda equipe envolvida.

3.5 Etapa 5 - Condução da Avaliação

É a coleta de dados da pesquisa propriamente dita utilizando os instrumentos adequados. As habilidades do entrevistador devem ser consideradas, a partir dos seguintes fatores (YIN, 2001): ter capacidade de interpretar as respostas; ser um bom ouvinte e não trazer nenhum tipo de preconceito; estar muito bem embasado (teoricamente) no tema sendo investigado; ser receptivo e sensível a possíveis evidências contraditórias; ser adaptável e flexível às situações novas ou não previstas, considerando-as como oportunidades e não ameaças.

Deve-se, também, tentar limitar os efeitos do próprio avaliador, que deve sempre ter em mente que ele é um elemento estranho no contexto analisado. Em termos de efeitos do avaliador no caso, deve-se cuidar para que o mesmo não influencie os respondentes (SOUZA, 2005). O inverso também é verdadeiro, ou seja, deve-se cuidar para que o caso não influencie o avaliador, pois este pode ser induzido a concordar com a situação e fazer inferências que, não necessariamente, são decorrentes nas evidências.

A fim de dar consistência aos dados coletados, é importante reunir todas as evidências que suportam as respostas dadas pelo avaliado, o que inclui regulamentos, planilhas, planos de ação, relatórios, padrões de procedimentos, etc.

Após a coleta, o avaliador deve manter um canal aberto com o avaliado a fim de sanar eventuais dúvidas que ainda persistam.

O processo de avaliação do MRL ocorre, portanto, em 3 passos:

Passo 1 – Acesso às informações sobre o MRL: o primeiro passo consiste em uniformizar o conhecimento e as definições do MRL.

Passo 2 – Entrada dos dados da avaliação: o segundo passo consiste nos dados que caracterizam a avaliação.

Passo 3 – Avaliação MRL: a avaliação consiste no questionário a ser respondido.

Como contribuição para a presente pesquisa, foi desenvolvida uma ferramenta denominada Calculadora MRL DCTA/ITA-2018-1 no *software* Microsoft Excel. A ferramenta, cujo *layout* é baseado na Calculadora TRL IAE/ITA-2016-1 desenvolvida por Rocha (2016), viabiliza a aplicação da metodologia. Essa ferramenta de gestão serve para auxiliar os gestores e tomadores de decisão. Oferece uma linguagem comum aos gestores, técnicos, pesquisadores e enfim, aos participantes da avaliação. Facilita a avaliação deixando-a mais dinâmica, padronizada e agiliza a obtenção do resultado, tornando-o imediato.

Na página inicial da ferramenta Calculadora MRL DCTA/ITA-2018-1, tem-se o conceito do MRL conforme demonstrado na Figura 3-1.



Figura 3-1 Página inicial da Calculadora MRL DCTA/ITA-2018-1

A descrição dos passos, juntamente com a demonstração da contribuição da ferramenta desenvolvida são descritas a seguir:

Passo 1 – Acesso às informações sobre o MRL

Na página inicial encontra-se a possibilidade da consulta à definição dos níveis e das áreas de conhecimento do MRL, conforme documentado na Figura 3-2 e Figura 3-3.

Nível de Maturidade Tecnológica	Descrição
MRL 1: Implicações básicas de fabricação identificadas.	Nível mais baixo de preparação para a fabricação. Pesquisas básicas começam sob a forma de estudos.
MRL 2: Conceitos de fabricação identificados.	Caracteriza-se por descrever a aplicação de novos conceitos de fabricação. A pesquisa básica evolui para a pesquisa aplicada. Normalmente, esse nível de maturidade inclui, estudos teóricos e análise de abordagens de materiais e processos. Existe uma compreensão da viabilidade e risco de fabricação.
MRL 3: Demonstração de conceito de fabricação desenvolvida.	Inicia a validação dos conceitos de fabricação através de experimentos analíticos ou laboratoriais. Esse nível de maturidade é típico das tecnologias trabalhadas em pesquisa aplicada. Materiais e processos foram caracterizados para fabricação, mas avaliações e demonstrações adicionais são ainda necessárias. Modelos experimentais de hardware foram desenvolvidos em um ambiente de laboratório que pode possuir funcionalidades limitadas.

Figura 3-2 Tela com descrição dos níveis do MRL

MRL		Descrição das Áreas de Conhecimento	
Nível de Maturidade Tecnológica	Descrição		
A - Base Industrial e Tecnologia de Fabricação	A.1 - Base Industrial	Referente à capacidade da base industrial em apoiar o design, desenvolvimento, produção, operação, suporte de manutenção e eventual descarte com impactos ambientais associados.	
	A.2 - Tecnologia de Fabricação	Referente ao nível de maturidade da tecnologia de fabricação em uso e avaliação da adequação dessas tecnologias no cenário atual.	
B - Design	B.1 - Produtibilidade	É definida como atributos de design que permitem a fabricação e montagem de equipamento repetidamente de forma a satisfazer os objetivos funcionais e fornecer uma excelente relação de custo e dentro de programação de produção. Em outras palavras, a produtividade é relativa às características do design que facilitam a sua produção de forma alcançar os objetivos de engenharia, qualidade e custo.	
	B.2 - Maturidade do Design	Avalia a estabilidade do design em relação aos testes operacionais e as necessidades eventuais de mudanças	

Figura 3-3 Tela com descrição das áreas de conhecimento do MRL

Passo 2 – Entrada dos dados da avaliação

Ao clicar no botão “Iniciar”, na tela principal, a ferramenta direciona para a página da caracterização da avaliação. Deve-se preencher, portanto, os dados que caracterizam a avaliação, ou seja, o objeto a ser avaliado, a organização a ser avaliada, a meta de MRL definida, a equipe a participar da avaliação, o responsável pela avaliação e a data.

Tais dados são importantes para identificar a avaliação na geração do relatório final.

A Figura 3-4 mostra a tela de entrada de dados da avaliação.

CALCULADORA DE MRL DCTA/ITA-2018-1	
Dados da avaliação:	
Preencher os dados da avaliação:	
1) Nome do sistema, subsistema ou componente a ser avaliado	
2) Organização avaliada	
3) Meta de MRL	
3) Dados da equipe que participa da avaliação	
4) Responsável pela avaliação	
5) Data	
Sistema / Subsistema / Componente	
Organização	
META	
Equipe avaliada	
Responsável pela avaliação	
Data	
INICIAR AVALIAÇÃO	

Figura 3-4 Tela de entrada de dados da avaliação

Passo 3 – Avaliação MRL

Ao se clicar em “Iniciar Avaliação” o passo 3, então, se inicia.

São trazidas as questões referentes a meta de MRL definida para todas as áreas de conhecimento e seus desdobramentos. Para cada questão, a coluna “Resposta” deve ser preenchida, então, de forma padronizada com “sim” ou “não”.

A fim de dar consistência aos dados coletados, é importante reunir todas as evidências que suportam as respostas dadas pelo avaliado, o que inclui regulamentos, planilhas, planos de ação, relatórios, padrões de procedimentos, etc. Portanto, no campo “Evidências”, deve-se expor tais evidências.

A Figura 3-5 mostra um exemplo de uma avaliação cuja meta de MRL é 6 na área de conhecimento “Materiais”, já com o campo “Resposta” preenchido de forma aleatória.

CALCULADORA MRL DCTA/ITA-2018-1

NÍVEL MRL 6 **Continuar** **Voltar**

MRL	Áreas de Conhecimento	Desdobramento Área de Conhecimento	Questão MRL	Resposta	Evidências
6	D - Materiais	D.1 - Maturidade dos Materiais	A maturidade dos materiais foi verificada com artigos de demonstração tecnológica?	Sim	
6	D - Materiais	D.1 - Maturidade dos Materiais	As especificações preliminares de materiais foram definidas?	Sim	
6	D - Materiais	D.1 - Maturidade dos Materiais	As propriedades dos materiais foram adequadamente caracterizadas?	Sim	
6	D - Materiais	D.2 - Disponibilidade	Foram avaliados riscos futuros em relação a diminuição de fornecedores de componentes e falta de materiais para componentes?	Não	
6	D - Materiais	D.2 - Disponibilidade	Os itens de longo prazo para componentes críticos foram identificados?	Sim	
6	D - Materiais	D.2 - Disponibilidade	Os problemas potenciais de obsolescência foram identificados?	Não	
6	D - Materiais	D.3 - Gestão da Cadeia de Suprimentos	Os requisitos da cadeia de suprimentos e a lista de fornecedores críticos estão atualizados?	Sim	
6	D - Materiais	D.4 - Manuseio Especial	Procedimentos de manipulação especial foram aplicados num ambiente relevante de produção?	Sim	
6	D - Materiais	D.4 - Manuseio Especial	Os planos para tratamento das lacunas de requisitos de manipulação especial foram concluídos?	Sim	

Figura 3-5 Tela inicial de avaliação do MRL

Após o preenchimento total das respostas referentes ao nível inicial, ou seja, referentes à meta, clica-se em “continuar”. Caso haja áreas de conhecimento sem o cumprimento total dos requisitos, uma nova rodada de perguntas são trazidas referente ao nível inferior ao nível inicial, somente para aquelas áreas onde as questões não foram plenamente preenchidas com “sim”. A Figura 3-6 mostra para o dado exemplo as perguntas referentes ao nível 5 (imediatamente inferior ao nível meta 6 do exemplo) somente para a área de conhecimento “Disponibilidade”, a qual apresentou respostas “não” para o nível 6.

CALCULADORA MRL DCTA/ITA-2018-1

NÍVEL MRL 5 **Continuar** **Voltar**

MRL	Áreas de Conhecimento	Desdobramento Área de Conhecimento	Questão MRL	Resposta	Evidências
5	D - Materiais	D.2 - Disponibilidade	Os problemas de disponibilidade de material foram abordados para a construção do protótipo?	Sim	
5	D - Materiais	D.2 - Disponibilidade	Os principais riscos de fornecimento de materiais foram identificados para todos os materiais?	Sim	

Figura 3-6 Tela de continuação de avaliação do MRL

Finalizado o preenchimento das respostas para o nível inferior, clica-se novamente em “Continuar”. O ciclo é retomado novamente até que não se tenha respostas “não” remanescentes. A partir desse ponto, a avaliação é finalizada e é gerado um relatório da mesma.

3.5.1 A Adaptação do Questionário MRL

Como exposto no item 2.5.7 Limitações do MRL, o próprio DoD sugere que adaptações sejam feitas no seu modelo de avaliação do MRL para refletir melhor o resultado da maturidade de fabricação dada as particularidades da aplicação. O presente trabalho, cujo objetivo principal é validar a adaptação de um modelo para avaliação do nível de maturidade de fabricação aplicado à realidade da indústria espacial brasileira, tem uma aplicação diferente daquela prevista pelo DoD, portanto, adaptar o modelo original se faz necessário.

Seguindo as recomendações do DoD para adaptações ao modelo os seguintes direcionadores foram adotados:

1) Adaptação para produtos com baixo volume de produção.

As avaliações de maturidade de fabricação usando os critérios de MRL podem ser adaptadas para a aquisição de um único sistema ou sistemas de produção limitados (DoD, 2017a). Um sistema de produção único ou limitado é definido como um sistema em que a primeira unidade pode se tornar a primeira unidade operacional, por exemplo, um radar de grande escala, uma classe de navios, ou uma única ou pequena família de satélites, ou como no caso produtos da indústria espacial.

Outra particularidade que vale para sistemas espaciais está no fato de que a substituição ou reparo de *hardware* não é possível, portanto, a qualidade e confiabilidade são de suma

importância (DoD, 2017a). As unidades iniciais fabricadas são necessárias para atender a todos os requisitos operacionais da missão. A qualidade e a confiabilidade devem ser enfatizadas ao realizar avaliações de maturidade de fabricação de veículos espaciais.

Porém, certos critérios de MRL não são totalmente úteis quando se trata da fabricação de sistemas únicos ou limitados. Como exemplo, demonstrar e verificar os processos de fabricação pode ser difícil, assim como a coleta e o cálculo da capacidade do processo ao produzir um único sistema. Portanto, a verificação de procedimentos e processos de fabricação comprovados e capazes devem ser utilizados tanto quanto possível.

2) Adaptação para uso genérico na indústria.

Especificamente no caso da avaliação MRL ser usada na indústria, o DoD (2017a) dá algumas recomendações. A indústria pode adaptar e potencializar os critérios do MRL aos processos da empresa. Os critérios podem fluir facilmente entre aplicações militares e comerciais.

Um simples passo para adaptar a ferramenta começa com a inclusão do vocabulário de negócios nos critérios de forma a melhorar a compreensão e aceitação do processo de avaliação. Por exemplo, usando o vocabulário da empresa em vez dos termos do DoD.

A adaptação do uso do MRL para uso genérico na indústria deve ser vista como um elemento necessário de introdução de novos produtos da empresa. A implementação de tais avaliações de modo a gerenciar os riscos de fabricação melhora as operações da empresa, levando a uma melhoria da qualidade, tempos de ciclo reduzidos, custos reduzidos e impacto geral positivo.

Portanto, para seguir o direcionador 1, sobre as características do baixo volume de produção, foram excluídas questões relativas a rendimento e ritmo de processo as quais não são críticas para a presente aplicação por se tratar de um paradigma de indústrias com altos volumes de produção.

Para seguir o direcionador 2, a respeito do uso genérico na indústria, foram alteradas ou excluídas questões que fazem referência a procedimentos e documentos específicos do processo de aquisição de defesa do DoD, de forma a trazer para a realidade genérica da indústria espacial brasileira.

A Tabela 3-1, mostra o resumo das modificações feitas a fim de adaptar o modelo para a presente situação. O modelo original de avaliação do MRL proposto pelo DoD possui 417 questões. Foram excluídas 25 questões para seguir o Direcionador 1, foram alteradas 93

questões para seguir o Direcionador 2, e foram excluídas mais 57 questões para seguir também o Direcionador 2. Outras 242 questões não apresentaram modificações, sendo realizada apenas a tradução das mesmas para o português. No total o modelo adaptado tem 335 questões.

Tabela 3-1 Resumo da adaptação do questionário MRL para a pesquisa

Resumo da adaptação			
Modificação	Motivo	MRL DoD	MRL Adaptado
Exclusão	Baixa escala - Direcionador 1	25	
Alteração	Uso genérico - Direcionador 2	93	93
Exclusão	Uso genérico - Direcionador 2	57	
Tradução		242	242
TOTAL		417	335

A Tabela 3-2 mostra a quantidade de questões por nível de MRL e por área de conhecimento após as modificações.

Tabela 3-2 Quantidade de questões do MRL adaptado por nível o por área de conhecimento

MRL ADAPTADO											
Áreas de Conhecimento	Níveis										TOTAL
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
A - Base Industrial e Tecnologia de Fabricação		1	2	2	4	4	4	3	3	3	26
A.1 - Base Industrial			1	1	3	3	3	2	2	2	17
A.2 - Tecnologia de Fabricação		1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
B - Design	1	2	4	6	7	8	5	6	6	4	49
B.1 - Produtibilidade			1	3	2	3	1	2	2	2	16
B.2 - Maturidade do Design	1	2	3	3	5	5	4	4	4	2	33
C - Custo e Recursos Financeiros	2	3	4	6	4	4	5	5	4	4	41
C.1 - Conhecimento do Custo de Produção		1	2	2	1	1	1	1	1	1	11
C.2 - Análise de Custo	1	1	1	1	2	2	3	2	2	2	17
C.3 - Orçamento e Investimento para Fabricação	1	1	1	3	1	1	1	2	1	1	13
D - Materiais	1	3	6	8	9	9	8	11	8	4	67
D.1 - Maturidade dos Materiais	1	1	1	1	2	3	2	2	2	1	16
D.2 - Disponibilidade		1	1	2	2	3	3	2	2	1	17
D.3 - Gestão da Cadeia de Suprimentos			1	1	2	1	1	3	2	1	12
D.4 - Manuseio Especial		1	3	4	3	2	2	4	2	1	22
E - Capabilidade e Controle do Processo		2	3	2	3	3	3	5	3	3	27
E.1 - Modelamento e Simulação		1	1	1	1	1	1	2	2	2	12
E.2 - Maturidade do Processo de Fabricação		1	2	1	2	2	2	3	1	1	15
F - Gestão da Qualidade				3	4	6	8	8	7	4	40
F.1 - Sistema de Festão de Qualidade				1	1	2	2	2	3	1	12
F.2 - Qualidade do Produto				1	2	3	3	3	1	2	15
F.3 - Gestão da Qualidade do Fornecedor				1	1	1	3	3	3	1	13
G - Pessoas			2	3	3	3	4	4	2	2	23
H - Instalações			1	2	4	4	4	7	5	3	30
H.1 -Equipamentos e Ferramentas				1	2	2	2	3	3	2	15
H.2 - Infraestrutura			1	1	2	2	2	4	2	1	15
I - Gestão da Fabricação				3	5	5	6	6	5	2	32
I.1 - Planejamento e Programação da Fabricação				2	2	3	4	4	3	1	19
I.2 - Planejamento de Materiais				1	3	2	2	2	2	1	13
TOTAL	4	11	22	35	43	46	47	55	43	29	335

Dessa forma, considera-se que a estrutura de avaliação se encaixa melhor às aplicações da indústria espacial e similares.

O questionário do MRL adaptado se encontra no Apêndice A.

3.6 Etapa 6 - Preparação do Relatório

Finalizada a avaliação, a Calculadora MRL DCTA/ITA-2018-1 gera o relatório com as seguintes informações:

- Dados da avaliação;
- Meta de MRL definida e MRL alcançado; e
- MRL alcançado desdobrado por áreas de conhecimento.

A Figura 3-7, mostra a disposição de tais informações na ferramenta com exemplos nos campos da meta e do resultado desdobrado.



Figura 3-7 Tela do relatório final dado pela Calculadora MRL DCTA/ITA-2018-1

A fim de evitar a análise simples apenas pelo valor final do MRL, conforme o DoD recomenda, é possível desdobrar ainda mais o resultado, com mostra a Figura 3-8 considerando o mesmo exemplo.

MRL										
Áreas de Conhecimento	Níveis									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A - Base Industrial e Tecnologia de Fabricação						✓				
A.1 - Base Industrial						✓				
A.2 - Tecnologia de Fabricação						✓				
B - Design					✓	✗				
B.1 - Produtibilidade						✓				
B.2 - Maturidade do Design					✓	✗				
C - Custo e Recursos Financeiros				✓	✗	✗				
C.1 - Conhecimento do Custo de Produção						✓				
C.2 - Análise de Custo					✓	✗				
C.3 - Orçamento e Investimento para Fabricação				✓	✗	✗				
D - Materiais					✓	✗				
D.1 - Maturidade dos Materiais						✓				
D.2 - Disponibilidade					✓	✗				
D.3 - Gestão da Cadeia de Suprimentos						✓				
D.4 - Manuseio Especial						✓				
E - Capabilidade e Controle do Processo						✓				
E.1 - Modelamento e Simulação						✓				
E.2 - Maturidade do Processo de Fabricação						✓				
F - Gestão da Qualidade					✓	✗				
F.1 - Sistema de Gestão de Qualidade					✓	✗				
F.2 - Qualidade do Produto						✓				
F.3 - Gestão da Qualidade do Fornecedor					✓	✗				
G - Pessoas						✓				
H - Instalações					✓	✗				
H.1 - Equipamentos e Ferramentas					✓	✗				
H.2 - Infraestrutura						✓				
I - Gestão da Fabricação						✓				
I.1 - Planejamento e Programação da Fabricação						✓				
I.2 - Planejamento de Materiais						✓				

Figura 3-8 Tela do relatório final detalhado dado pela Calculadora MRL DCTA/ITA-2018-1

Além dos resultados, todas as respostas dadas são salvas pela ferramenta. Como o MRL é também uma ferramenta de identificação de riscos de fabricação, sugere-se que para todas as questões respondidas negativamente sejam identificados os respectivos riscos para eventual tratamento posterior conforme política da organização avaliada.

4 Aplicação do MRL Adaptado

A fim de cumprir o objetivo do trabalho, deve-se aplicar em casos reais o modelo de MRL adaptado para verificar se o mesmo resolve o problema de pesquisa estabelecido. O estudo de caso seguinte é descrito conforme a plataforma proposta de avaliação do MRL adaptado.

Etapa 1 – Definição de Objetos de Avaliação

Nessa etapa deve-se definir o responsável pela avaliação, o objeto a ser avaliado e onde as avaliações serão realizadas.

O responsável pela avaliação, no caso, foi o próprio autor assessorado pelo orientador.

Com relação ao objeto a ser avaliado, levou-se em consideração a relevância do objeto em relação a motivação da pesquisa.

As diretrizes do setor espacial brasileiro estão sob a responsabilidade do Comando da Aeronáutica conforme é descrito na Estratégia Nacional de Defesa (BRASIL, 2012). Assim sendo, se buscou um produto espacial desenvolvido pelo IAE, órgão subordinado ao DCTA, que é o braço do Comando da Aeronáutica responsável por desenvolver os veículos a serem usados nas aplicações espaciais.

O IAE possui atualmente em seu portfólio de projetos espaciais 4 produtos já desenvolvidos e testados em ambiente real e 1 produto em fase de desenvolvimento conforme mostra a Figura 4-1.

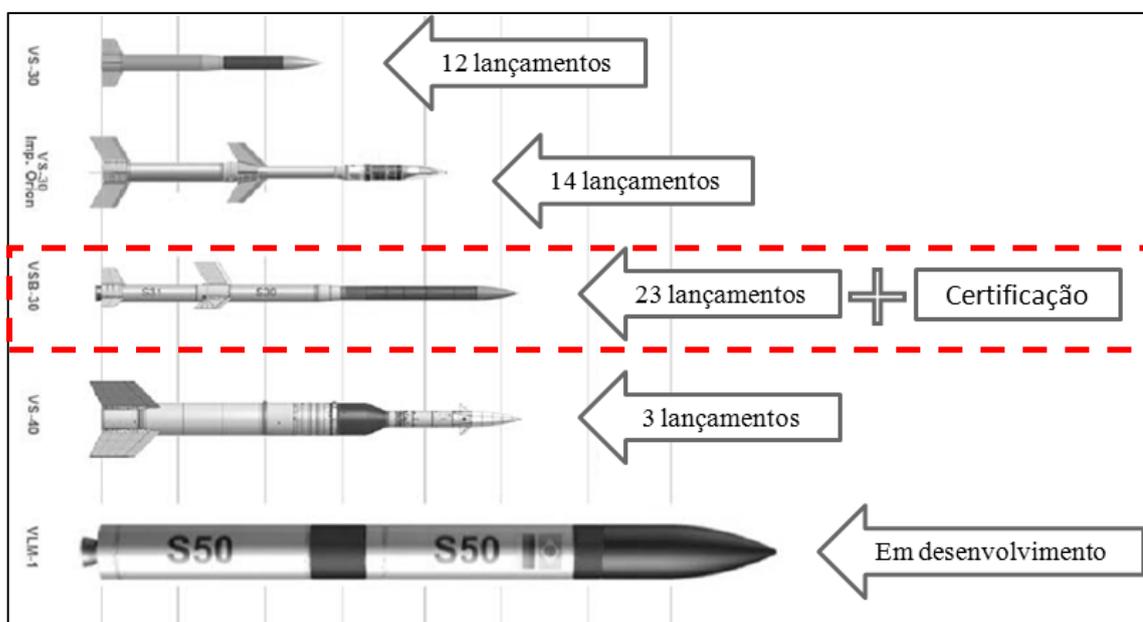


Figura 4-1 Veículos espaciais do IAE atuais (STAMMINGER *et al*, 2013)

Os 4 produtos espaciais testados em ambiente real são: o VS-30 com 12 lançamentos, o VS-30 Orion com 14 lançamentos, o VSB-30 com 23 lançamentos, o VS-40 com 3 lançamentos e um veículo lançador de microssatélites ainda em fase de desenvolvimento, o VLM-1.

Como a motivação da pesquisa é sobre a etapa de industrialização, o primeiro critério para escolha do veículo a ser estudado seria possuir elevada maturidade tecnológica e estar em processo de transferência para a indústria. Esse critério excluiu o VLM-1 por estar em fase de desenvolvimento.

Seguindo a mesma linha de raciocínio, o segundo critério de escolha é quantidade de lançamentos já realizados por cada veículo. O VSB-30 tem 23 lançamentos até então, o qualificando como veículo a ser estudado pela pesquisa. Além no número de lançamentos, o VSB-30 é o único veículo do IAE certificado pela Agência Espacial Europeia (ESA).

O VSB-30 é fruto de um esforço conjunto entre o IAE e o DLR (Agência Espacial Alemã) que precisava de um veículo que pudesse dar continuidade ao programa de microgravidade europeu e substituir o Skylark 7, de origem britânica que havia sido descontinuado (PALMÉRIO, 2016). Após várias reuniões para definir os requisitos do veículo se chegou então na configuração do VSB-30 atual.

O VSB-30 é um veículo suborbital com dois estágios a propulsão sólida com capacidade de transportar cargas úteis científicas e tecnológicas, de 400 kg, para experimentos na faixa de 270 km de altitude. Para experimentos em ambiente de microgravidade, o VSB-30 permite, como especificado, que a carga útil permaneça cerca de seis minutos acima da altitude de 110 km (IAE, 2018).

As características físicas principais do veículo são:

- Comprimento, 12.639,6 mm;
- Diâmetro dos estágios, 577 mm;
- Massa total na decolagem, 2.579 kg;
- Primeiro estágio, 670 kg;
- Segundo estágio, 874 kg;
- Massa prevista de carga útil. 400 kg.

As características de voo para uma carga útil de 400 kg são:

- Velocidade máxima, 2.000 m/s;
- Aceleração máxima, 11 g;
- Mach máximo, 6,9;
- Apogeu, 276 km (elevação: 87,3°); e
- Tempo de microgravidade: 350 s.

O voo de qualificação ocorreu em outubro de 2004, no CLA, e sua primeira missão operacional ocorreu em novembro de 2005, quando o VSB-30 V02 decolou de Esrange (Suécia), levando a carga TEXUS EML 1. Desde então foram realizados 23 lançamentos levando cargas úteis do programa de microgravidade europeu e também do programa de microgravidade brasileiro tendo como centros de lançamento o CLA, o centro de Esrange na Suécia e Andoia na Noruega.

Tratou-se de um desenvolvimento feito dentro dos laboratórios do IAE, onde as empresas participantes tinham um caráter maior de prestadores de serviços especializados, não possuindo, na sua maioria, corresponsabilidade no desenvolvimento do produto, mas sim, suprir a demanda solicitada pelo IAE (CARVALHO, 2014).

Conforme exposto, um dos principais diferenciais do VSB-30 é ser um produto certificado pelos devidos órgãos europeus e brasileiros. Em maio de 2005, após o cumprimento de uma série de exigências documentais e comprobatórias de desempenho e segurança, o VSB-30 foi aprovado pela ESA a realizar voos na Europa, transportando cargas úteis científicas (KASEMODEL, 2010). Em 2009, o Comando da Aeronáutica (COMAER) e o Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DCTA) anunciaram a certificação do VSB-30, tornando-o apto para produção em série, sendo o primeiro foguete brasileiro a conseguir a certificação (CARVALHO *et al*, 2012). A Certificação do VSB-30 é considerada uma importante etapa do seu ciclo de vida, sendo que após isso, ele deixa de ser um projeto de desenvolvimento para tornar-se de uso operacional, cuja produção deve ser totalmente transferida para a indústria aeroespacial brasileira.

O certificado foi oficialmente entregue em 16 de outubro de 2009 em cerimônia realizada no DCTA, contando com participação de diversas autoridades militares e civis. Alguns meses antes o VSB-30 havia sido qualificado pela Suécia, e passou a integrar a carteira de produtos e serviços daquela agência espacial. Tal qualificação busca atestar que atende as especificações pré-estabelecidas, podendo ser utilizado como veículo lançador de pequeno porte em missões suborbitais de exploração do espaço (SILVEIRA, 2009).

A fim de esclarecer o escopo do objeto da avaliação, são detalhados a seguir o desdobramento do produto bem como o macroprocesso de fabricação do VSB-30. A Figura 4-2 demonstra o desdobramento do produto VSB-30 realizado em conjunto com o Departamento de Mecânica do IAE.

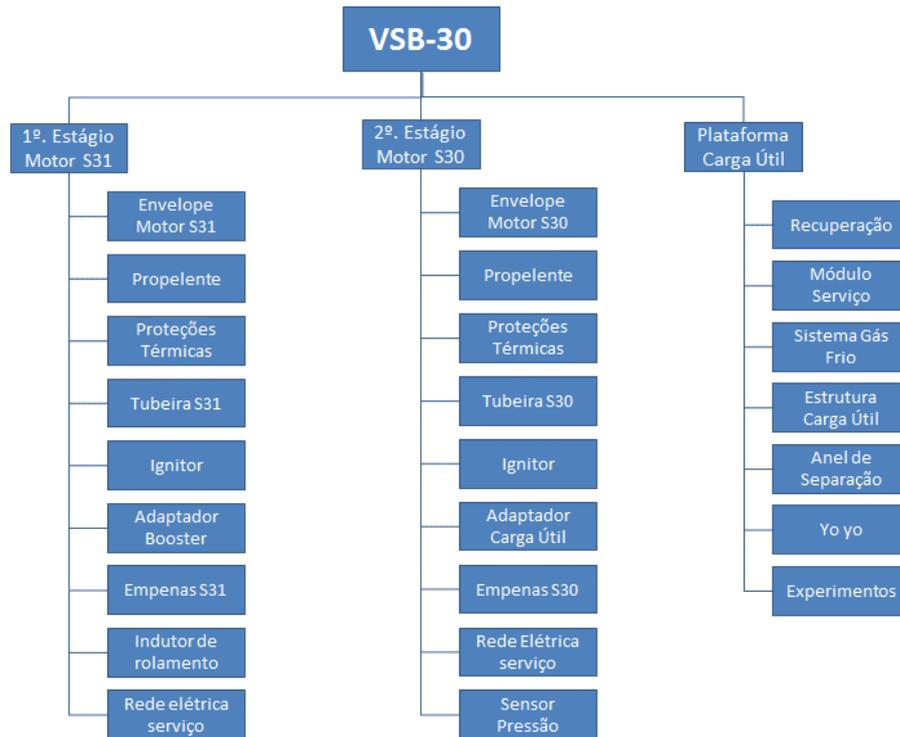


Figura 4-2 Desdobramento do produto VSB-30 (IAE - Depto Mecânica)

Basicamente, o VSB-30 pode ser quebrado em 3 subsistemas: 1º. estágio, 2º. estágio e plataforma de carga útil. Os propulsores do 1º. e do 2º. estágios são compostos por motores responsáveis por gerar a energia necessária para submeter os experimentos em ambiente de microgravidade bem como demais componentes necessários para o voo. O 1º. estágio possui um motor S31 e após a sua queima em voo, o módulo inteiro é descartado. Entra em seguida o 2º. estágio composto por um motor S30. Da mesma forma, após sua queima o módulo completo é descartado. A essa altura, a plataforma da carga útil, que é composta de equipamentos para estabilização além dos próprios experimentos científicos, se encontra em ambiente de microgravidade. O IAE é responsável pela integração de todos os subsistemas. Fazendo-se um paralelo com a indústria automobilística o IAE funciona como uma montadora que integra vários componentes e subsistemas para criar um sistema único, no caso o automóvel, garantindo seu funcionamento por completo independente de sua cadeia de fornecedores.

A Figura 4-3, mostra a divisão das atividades pela visão do processo de fabricação. Conforme pode ser observado, os componentes do veículo são fornecidos pela indústria local e pelo DLR. Os experimentos são de responsabilidade das organizações que pretendem submetê-los ao ambiente de microgravidade. O objeto da avaliação consiste no conjunto de atividades desenvolvidas pelo IAE, as quais potencialmente podem ser também transferidas para a indústria local.

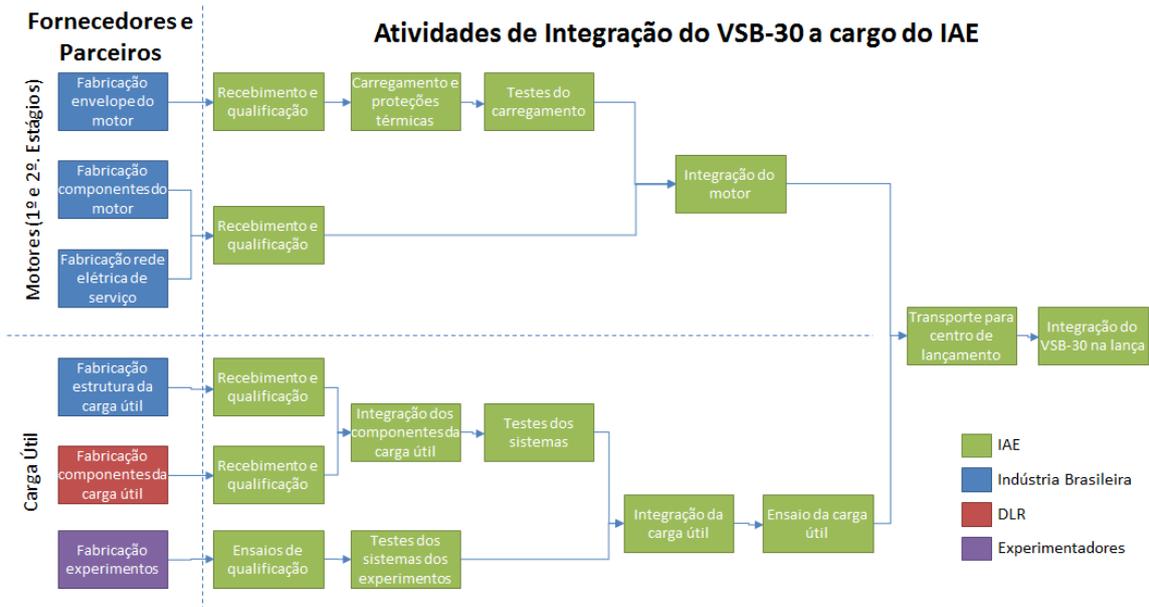


Figura 4-3 Macroprocesso de fabricação do VSB-30 (IAE - Depto Mecânica)

Enfim, o alvo da avaliação da maturidade de fabricação é o conjunto de atividades de integração do VSB-30. A fim de validar a escolha, a lista de verificação fornecida para auxiliar a escolha do objeto, foi preenchida com auxílio de especialistas do setor espacial. A Tabela 4-1 mostra o resultado com as respectivas justificativas em caso afirmativo.

Tabela 4-1 Checklist para validação da escolha do objeto da avaliação

Integração do VSB-30		
Perguntas para check do objeto	Respostas	Justificativas em caso afirmativo
· Materiais – existem materiais que não foram demonstrados em produtos similares ou processos de fabricação?	não	
· Custo – é um objeto que afeta significativamente o custo? A tecnologia é nova, com alta incerteza de custo?	não	
· Design – é um design novo? Contém arranjos fora do padrão?	não	
· Processos de fabricação – será necessário uso de novos processos de fabricação os quais ainda não foram verificados e validados?	não	
· Qualidade – o objeto apresenta histórico de problemas de qualidade?	não	
· Tempo – o objeto apresenta alto tempo de provisionamento com impacto significativo na programação da produção?	não	
· Instalações – o objeto requer novas instalações fabris ou melhorias significativas nas existentes?	sim	Existe a possibilidade do objeto ser fabricado em novas instalações
· Cadeia de suprimentos – o objeto apresenta histórico de problemas com fornecedores (custo, qualidade e entrega)?	sim	Identificados problemas de abastecimento de matéria-prima importante
· Base industrial – O objeto apresenta base industrial com deficiências críticas ou é objeto crítico fabricado por uma fonte única ou estrangeira?	sim	Base industrial ainda incipiente

Com relação ao local das avaliações se julgou adequado a avaliação *in loco* para auxílio na verificação das respostas dadas.

Etapa 2 – Definição da Meta

No caso da presente pesquisa, a meta de MRL mais adequada a situação é 9, ou seja, o sistema componente teve a produção inicial demonstrada e deve estar pronto para iniciar a produção em regime. A colocação da meta no nível 9 se justifica por ser o VSB-30 um produto já fabricado em baixa escala.

Para se enquadrar no nível de MRL 9 é desejável que o produto a ser avaliado tenha o nível de maturidade tecnológica alto, conforme esclarecido no item 2.5.1 Definição dos Níveis de MRL. Rocha (2016) avaliou o TRL do VSB-30 segundo as normas da NBR ISO e segundo adaptações feitas levando em consideração a realidade brasileira em relação questões técnicas, econômicas, político-legais e documentais. A conclusão foi que o VSB-30 obteve o cumprimento total dos requisitos, alcançando o TRL 9, último nível da escala TRL. Portanto, sua maturidade tecnológica é alta, viabilizando a colocação da meta no nível 9.

O nível 10 diz respeito a produção em regime e técnicas de produção aprimoradas. Para se alcançar o nível 10, entende-se que o produto deve ser fabricado numa cadência contínua para que as práticas de fabricação sejam aprimoradas. Foram produzidas apenas 23 unidades do VSB-30 desde 2004 até o momento da coleta de dados, ainda assim, de forma inconstante ao longo desse período. Não há uma previsibilidade de fabricação para as próximas unidades. Existe uma curva de aprendizado, responsável pelo aumento da eficiência de fabricação, a qual também se aplica a indústrias de baixo volume de produção. Entretanto, para se alcançar o nível 10 é necessária a cadência contínua de fabricação com um mínimo de planejamento de médio e longo prazos. Considera-se, portanto, que o VSB-30 não se encaixa em tal categoria, reforçando a colocação na meta em MRL 9.

Etapa 3 – Orientação aos Avaliados

O primeiro passo dessa etapa é definir os avaliados. É necessário selecionar organizações que realmente tem experiência na fabricação de foguetes suborbitais.

A AIAB, Associação das Indústrias Aeroespaciais do Brasil, lista 38 empresas da indústria aeroespacial as quais atuam no ramo aeronáutico, de defesa e espacial. A pesquisa realizada por Matos (2016) identifica 20 empresas que atuam no segmento espacial, entretanto, dessas 20 empresas apenas 5 declararam que atuam no segmento de foguetes suborbitais as quais teoricamente poderiam assumir a produção do VSB-30.

O único critério de seleção das organizações é que as mesmas devem estar aptas a assumir plenamente todas as atividades de VSB-30.

Após levantamento junto a 4 especialistas representativos na área espacial, definiu-se que das 5 empresas inicialmente listadas apenas uma atende ao critério definido. Por razões de sigilo industrial essa pesquisa reservará o nome de tal empresa para evitar exposição de dados estratégicos no mercado aeroespacial.

A fim de caracterizar a situação atual da industrialização do VSB-30, além da referida empresa, a avaliação foi também realizada no IAE que apesar de não ser formalmente caracterizada por uma indústria é a atual responsável pela fabricação do VSB-30. Ou seja, mesmo que IAE produza o foguete de forma bem-sucedida, conforme verificado na ampla maioria das operações de lançamento com o foguete até então, riscos inerentes à fabricação ainda podem ser identificados e endereçados.

Resumindo, a avaliação da maturidade de fabricação do VSB-30 foi realizada numa indústria espacial brasileira conforme critérios expostos, bem como no IAE atual detentor da tecnologia de fabricação do foguete, conforme Figura 4-4.

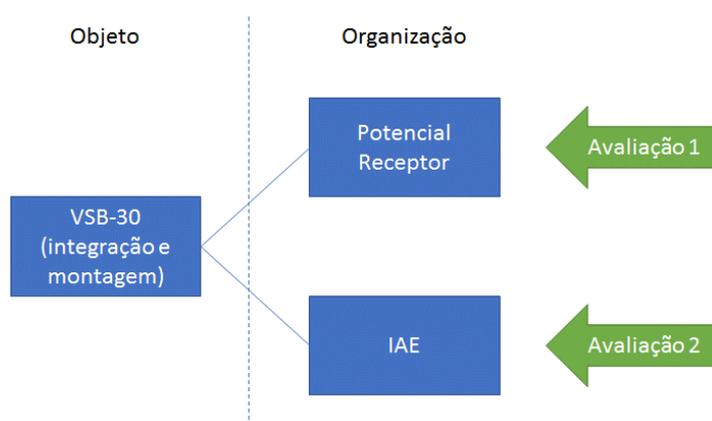


Figura 4-4 Avaliações realizadas para validar modelo MRL adaptado

Definidas as organizações a serem avaliadas, é necessário, portanto, definir as pessoas que vão responder ao questionário de forma que as mesmas tenham conhecimento amplo na fabricação do objeto em questão, ter visão holística da fabricação e utilizar equipe técnica especializada e outros recursos caso seja necessário o aprofundamento maior em alguma questão, conforme exposto na metodologia.

No caso do IAE, a pesquisa foi centralizada no Gerente do Projeto VSB-30, tecnologista sênior responsável pela fabricação do foguete no IAE. O Gerente do Projeto VSB-30 trabalha no projeto desde a sua concepção, no início da década de 2000 até os dias atuais. Tem amplo

conhecimento do produto. Além de sua disponibilidade para responder ao questionário, foi colocada a disposição toda sua equipe de fabricação para auxiliá-lo nas respostas sempre que necessário.

No caso da empresa da indústria espacial selecionada, a pesquisa foi centralizada no Diretor de Novos Negócios cuja experiência envolve cargos de diretoria no próprio IAE num passado recente. Possui visão holística da fabricação dos produtos espaciais e, da mesma forma do que foi verificado no IAE, mobilizou equipe especializada para responder questões específicas.

Dessa forma, cumpriu-se os requisitos para se iniciar a avaliação.

Antes de se iniciar o questionário e a coleta de dados, foi apresentado aos participantes o objetivo do trabalho, as principais definições teóricas dos assuntos a serem abordados e os potenciais benefícios do uso da ferramenta para a organização a ser avaliada, as necessidades de preparo de evidências para comprovação de situações e a necessidade de visita ao chão de fábrica caso seja interessante tirar alguma dúvida. Esse passo é importante, pois dá transparência ao trabalho e quebra possíveis barreiras existentes entre entrevistado e entrevistador.

Etapa 4 – Definição de Agenda de Avaliação

Foi fechada, portanto, uma agenda de avaliação nas duas organizações de forma a dedicar 2 dias para avaliação de cada organização. A agenda foi estabelecida da seguinte forma, junto aos avaliados: revisão da agenda de avaliação, apresentação do responsável pela avaliação e avaliados, descrição dos objetivos e expectativas, visitas a áreas chave do chão de fábrica, discussões individuais ou em grupos entre o avaliador e os especialistas no assunto, encerramento da avaliação com toda equipe envolvida.

Etapa 5 – Condução da Avaliação

A coleta de dados se deu em agosto de 2017 e os resultados da pesquisa refletem a realidade do caso nesse período.

A aplicação da metodologia seguiu os passos supracitados na proposta metodológica.

Passo 1. Acesso às informações sobre o MRL. Foi realizado através da explicação de cada nível de MRL e de cada área de conhecimento de fabricação. Ou seja, o que se espera de cada área de conhecimento para cada nível de MRL.

Passo 2. Entrada dos dados da avaliação. Foram registrados dos dados do escopo de avaliação do VSB-30, dos avaliados, e demais informações recomendadas na metodologia. A meta de MRL foi apresentada e acordada com os avaliados.

Passo 3. Avaliação MRL. Conduzida junto aos avaliados com apoio de equipe especializada sempre que necessário. O questionário foi respondido de forma discreta com “sim” ou “não” para cada pergunta. Inicialmente para o nível 9, referente a meta, e partir daí, para as áreas de conhecimento cujas questões não foram plenamente respondidas com “sim” novas rodadas de perguntas foram realizadas no nível imediatamente inferior, até que todas as áreas de conhecimento tenham sido respondidas plenamente com “sim”.

Etapa 6 – Preparação do Relatório

Consiste na apresentação dos resultados e na identificação dos riscos inerentes a fabricação. A aplicação da metodologia demonstra o estado em que o produto se encontra em relação ao seu processo de industrialização. Cabe ao gestor responsável realizar análises mais profundas a respeito dos resultados obtidos.

5 Resultados e Discussões

O presente item é subdividido em resultados consolidados, onde é exposto o nível de maturidade de fabricação do VSB-30 nas duas organizações pesquisadas, resultados estratificados em que são discutidas as avaliações realizadas por área de conhecimento, e riscos identificados onde os mesmos são elencados e discutidos.

5.1 Resultados Consolidados

A Figura 5-1 mostra a tela do relatório dado pela ferramenta Calculador MRL DCTA/ITA-2018-1 para a avaliação realizada no Potencial Receptor. No cabeçalho se encontra os dados da avaliação, como, por exemplo, equipe avaliada e período de avaliação. A meta de MRL definida é 9 dadas as características do VSB-30. O Potencial Receptor alcançou o nível 4 em função do menor valor apurado por área de conhecimento.

Relatório da Avaliação										
Sistema / Subsistema / Componente	VSB-30 (integração e montagem)									
Organização	Potencial Receptor									
Equipe avaliada	Diretor Novos Negócios + equipe especializada									
Responsável pela avaliação	Marcílio Andrade									
Data	14 e 15 de agosto de 2017									
MRL META	9									
MRL ALCANÇADO	4									
MRL										
Áreas de Conhecimento	Níveis									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A - Base Industrial e Tecnologia de Fabricação							✓	✗	✗	
B - Design										✓
C - Custo e Recursos Financeiros				✓	✗	✗	✗	✗	✗	
D - Materiais							✓	✗	✗	
E - Capabilidade e Controle do Processo								✓	✗	
F - Gestão da Qualidade							✓	✗	✗	
G - Pessoas							✓	✗	✗	
H - Instalações								✓	✗	
I - Gestão da Fabricação						✓	✗	✗	✗	

Figura 5-1 Resultado MRL do VSB-30 no Potencial Receptor

Em relação às áreas de conhecimento, apenas “*design*” alcançou a meta satisfatoriamente. “Capabilidade e controle do processo” e “instalações” receberam o nível 8. “Base industrial e tecnologia de fabricação”, “materiais”, “gestão da qualidade” e “pessoas” receberam o nível 7. “Gestão da fabricação” recebeu o nível 6. A área de conhecimento “custos e recursos financeiros” recebeu o nível 4. Foi responsável, portanto, em estabelecer o nível de maturidade de fabricação do VSB-30 alcançado pelo Potencial Receptor.

O IAE também recebeu o nível 4 em maturidade de fabricação do VSB-30, conforme a Figura 5-2. Entretanto, o perfil de avaliação por área de conhecimento apresentou diferenças em relação a avaliação do Potencial Receptor.



Figura 5-2 Resultado MRL do VSB-30 no IAE

As áreas de conhecimento “*design*”, “capabilidade e controle do processo” e “instalações” alcançaram a meta 9 de MRL. “Pessoas” e “gestão da fabricação” receberam o nível 7. “Base industrial e tecnologia de fabricação”, “materiais” e “gestão da qualidade”

recebem o nível 6. Da mesma forma que no Potencial Receptor, “custos e recursos financeiros” recebeu o nível 4, também responsável, em estabelecer o nível de maturidade de fabricação do VSB-30 alcançado pelo IAE.

Os resultados desdobrados são discutidos com mais profundidade no item 5.2 Resultados Estratificados.

O fato de tanto o Potencial Receptor como o IAE apresentarem níveis de maturidade de fabricação do VSB-30 abaixo da meta indica que riscos foram identificados no processo de industrialização. Ao todo, foram identificados 21 riscos.

A Tabela 5-1 mostra a quantidade de riscos identificados por área de conhecimento. Antes de se analisar os riscos é conveniente classificá-los em 3 grupos: riscos referentes a ao potencial receptor da tecnologia de fabricação do VSB-30, riscos referentes ao atual responsável pela fabricação do VSB-30, ou seja, o IAE, e os riscos comuns às duas organizações.

Tabela 5-1 Quantidade de riscos identificados na avaliação da maturidade de fabricação

Quantidade de Riscos Identificados				
	Potencial Receptor	Situação Atual	Comuns	Total
Área de Conhecimento da Fabricação				
A - Base Industrial e Tecnologia de Fabricação		1	3	4
B - Design				0
C - Custo e Recursos Financeiros	1	1	1	3
D - Materiais			1	1
E - Capabilidade e Controle do Processo	2			2
F - Gestão da Qualidade	2	1		3
G - Pessoas	1	1		2
H - Instalações	2			2
I - Gestão da Fabricação	3	1		4
TOTAL	11	5	5	21

Não faz parte do escopo da pesquisa a qualificação dos riscos identificados em função de impacto e probabilidade. Entretanto, os riscos comuns às duas situações podem indicar potenciais problemas crônicos da indústria espacial brasileira. Os riscos identificados são discutidos com mais profundidade no item 5.3 Riscos Identificados.

5.2 Resultados Estratificados

Dada a variabilidade dos resultados por área de conhecimento, faz-se necessária uma análise estratificada dos resultados do MRL obtidos das duas organizações avaliadas em suas 9 áreas de conhecimento e respectivos desdobramentos.

5.2.1 A - Base Industrial e Tecnologia de Fabricação

A primeira área analisada é “base industrial e tecnologia de fabricação”. “Base industrial” é referente à capacidade da base industrial em apoiar o *design*, desenvolvimento, produção, operação, suporte de manutenção e eventual descarte com impactos ambientais associados; e “tecnologia de fabricação” que é referente ao nível de maturidade da tecnologia de fabricação em uso e avaliação da adequação dessas tecnologias no cenário atual.

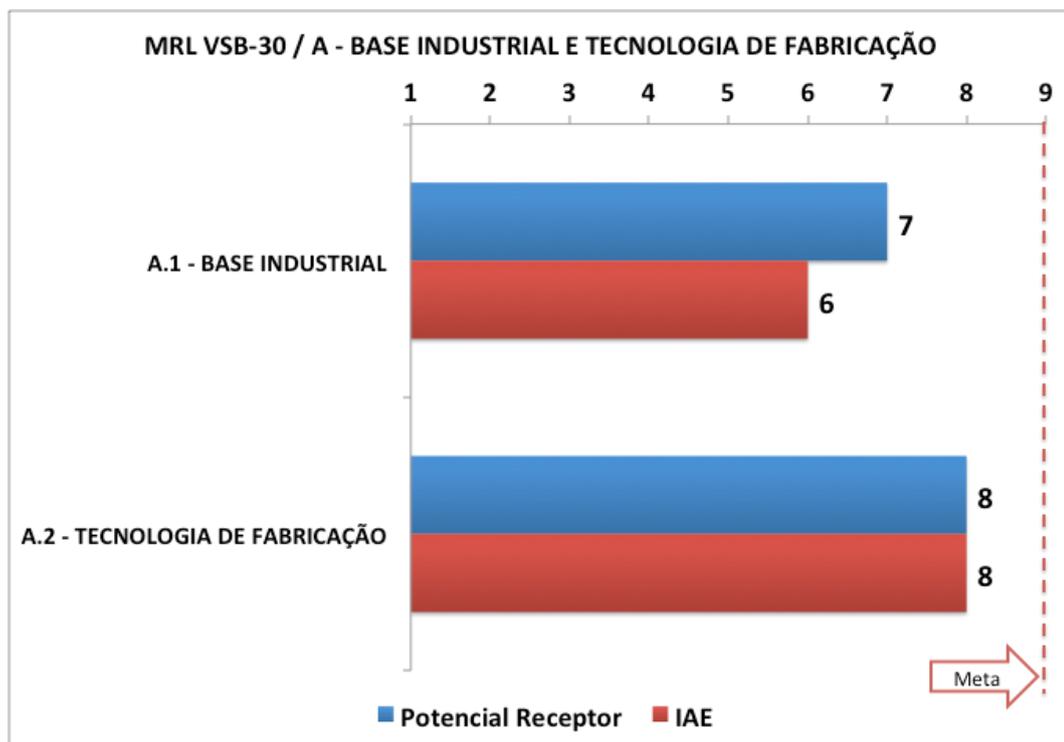


Figura 5-3 MRL VSB-30 para A - Base Industrial e Tecnologia de Fabricação

No caso do potencial receptor, o que se percebe, pela Figura 5-3, é que a base industrial ficou abaixo da meta, alcançando o nível 7 na escala do MRL. O nível 7 indica que, de acordo com as respostas fornecidas, a indústria monitora e avalia frequentemente os fornecedores únicos ou estrangeiros, bem como estabelece planos para mitigar esses riscos. Problemas de

obsolescência e embargos de insumos também são monitorados e existem planos de contingência elaborados. As capacidades e habilidades da indústria espacial brasileira são adequadas às necessidades da fabricação do VSB-30, porém para se alcançar o MRL 9 é necessário que os planos de contingência para fornecedores únicos ou estrangeiros estejam estabelecidos e que sejam desenvolvidos outros fornecedores nacionais de componentes críticos. Foi identificado que para uma determinada matéria-prima importante na construção do VSB-30, cujo fornecedor é estrangeiro, o plano de contingência em vigor depende de uma construção de uma nova planta de fabricação, a qual ainda se encontra da fase de projeto sem definição de fonte de recursos para início da construção. Portanto, caso haja no presente algum problema com o fornecedor estrangeiro a empresa não terá condições imediatas de solucionar a falta de tal matéria-prima.

No IAE, a avaliação mostrou resultados semelhantes. Inclusive apontou mais componentes com fornecedores únicos ou estrangeiros em relação ao apontado pelo potencial receptor. Também reconheceu que é necessário desenvolver fornecedores locais para componentes críticos. O nível apurado, nesse caso, foi 6. Menor que o nível 7 apurado no potencial receptor. Deve-se ao fato do IAE não possuir planos de contingência formais para tratar os riscos referentes aos fornecedores únicos ou estrangeiros, diferentemente do que acontece no potencial receptor que possui um plano de contingência, mesmo que ainda paralisado conforme explicado.

Em relação à tecnologia de fabricação, o potencial receptor alcançou nível 8. Ou seja, as requeridas soluções de desenvolvimento de tecnologias de fabricação foram validadas numa linha de produção similar ao que é necessário para a fabricação do VSB-30. Além disso, existe um sistema de melhoria contínua das tecnologias de fabricação em uso, a fim de reduzir tempo de montagem, reduzir custo e aumentar segurança. O potencial receptor considera que trabalha, em grande parte, com tecnologias adequadas para a produção de produtos espaciais. No entanto, reconhece que existem tecnologias de fabricação que podem melhorar o desempenho de fabricação, como o uso de tubo estirado e fibra de carbono na composição do envelope motor.

O IAE se encontra na mesma situação com o nível 8 de MRL no segmento. Acrescenta-se à análise o uso de impressão 3D na fabricação de componentes, que pode reduzir consideravelmente os custos de produção. Entretanto, o IAE não considera que seja o momento para buscar novas tecnologias de fabricação em função do custo de implantação ainda estar elevado.

Algumas dessas tecnologias de fabricação estão sendo desenvolvidas pelas organizações avaliadas, mas ainda sem prazo para início efetivo de utilização. Por esse motivo não se chegou ao nível 9 requerido.

5.2.2 B - Design

A área de conhecimento *design* está relacionada a estabilidade e maturidade do sistema em desenvolvimento. É subdividida em “produtibilidade” e “maturidade do *design*”. A produtibilidade é relativa às características do *design* que facilitam a sua produção de forma alcançar os objetivos de engenharia, qualidade e custo. A “maturidade do *design*” basicamente avalia a estabilidade do *design* em relação aos testes operacionais e as necessidades eventuais de mudanças (Figura 5-4).

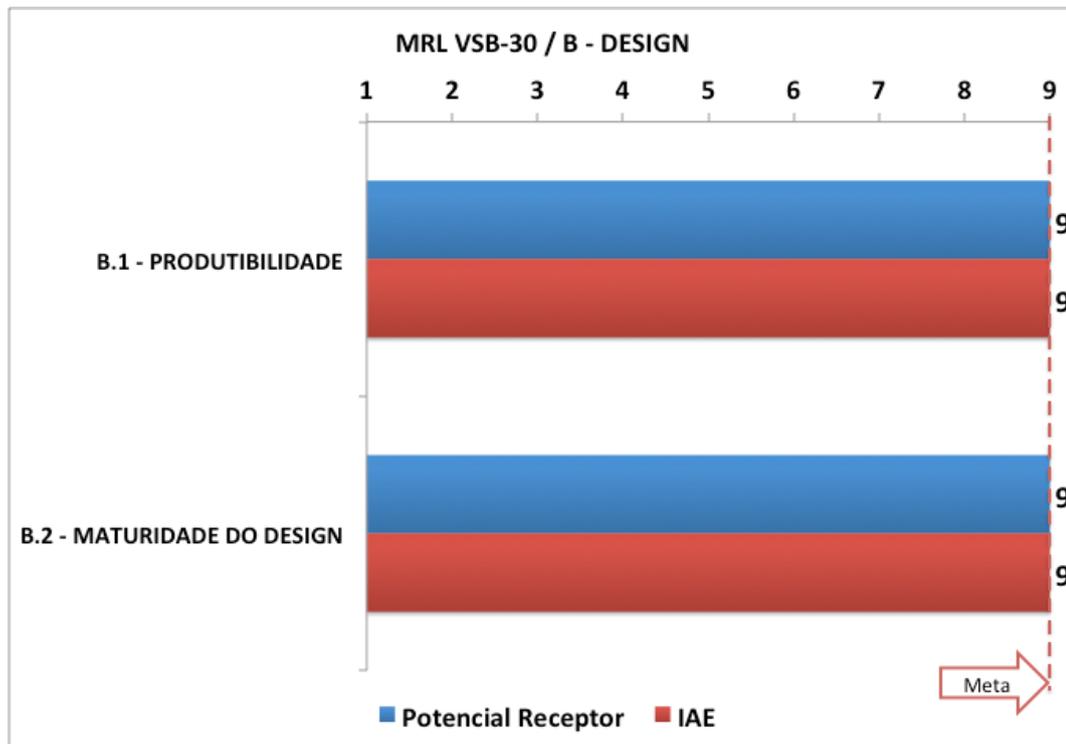


Figura 5-4 MRL VSB-30 para B - Design

É possível verificar que tanto em “produtibilidade” quanto em “maturidade do *design*” a meta de MRL 9 foram alcançadas para ambas as organizações. Em relação a “produtibilidade” o resultado significa que as melhorias de produtibilidade foram analisadas quanto à eficácia durante a produção e todos os problemas de produtibilidade foram descobertos e tratados. Em relação a “maturidade do *design*” o nível de MRL atingido significa que o *design* do sistema foi validado através de testes operacionais, a maior parte das características e configurações do

design do produto estão estáveis e mudanças de *design* estão limitadas a pequenas mudanças de configuração.

O *design* do VSB-30 está estável, uma vez que já foram realizadas 23 operações com sucesso. Além disso, é um produto certificado no Brasil e comunidade europeia. Sem dúvida, tais fatos contribuíram para o alcance do nível desejado de MRL na referida área de conhecimento.

5.2.3 C – Custos e Recursos Financeiros

“Custos e recursos financeiros” é a área de conhecimento que requer uma análise da adequação do financiamento de recursos para alcançar os níveis de maturidade propostos além de examinar os riscos associados com o alcance dos custos previstos. É dividido em “conhecimento do custo de produção”, “análise de custo” e “orçamento e investimento para fabricação”. Esta é a área de conhecimento que apresentou o menor nível de maturidade de fabricação (Figura 5-5).

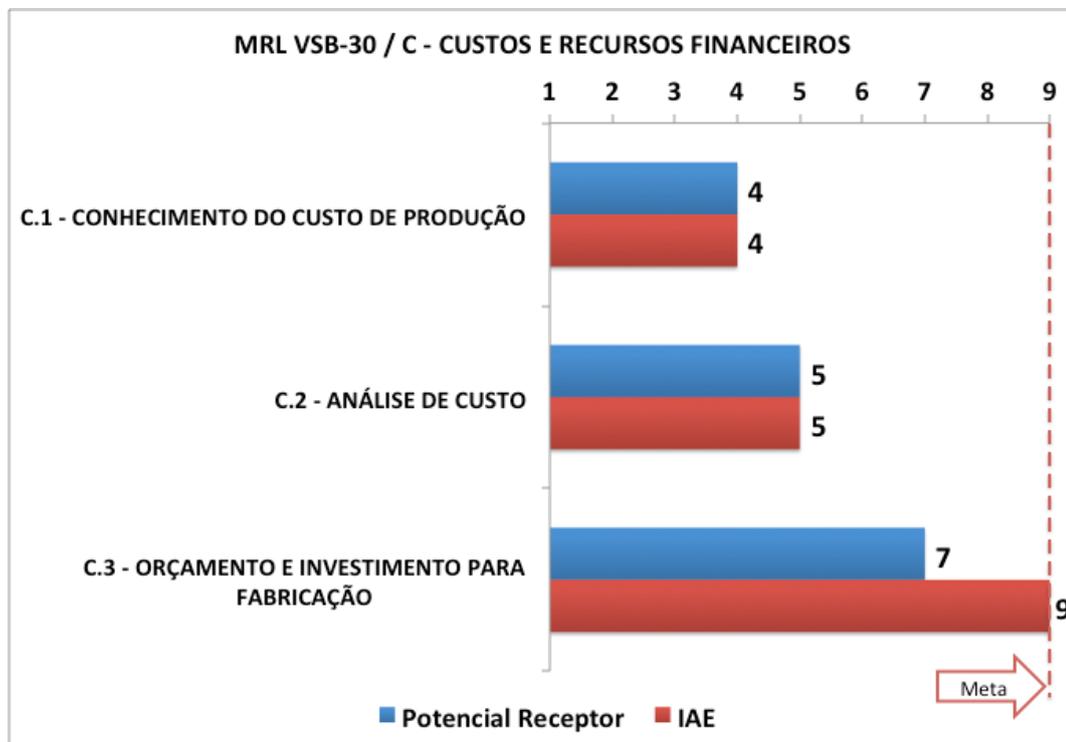


Figura 5-5 MRL VSB-30 para C - Custos e Recursos Financeiros

“Conhecimento do custo de produção” é relacionado à apuração dos custos. Um tema altamente relevante para subsidiar a administração na formação do preço de venda dos seus

produtos e serviços, atender a legislação fiscal vigente, e fornecer informações gerenciais que auxiliem o processo de tomada de decisões. A apuração correta dos custos é essencial para controlar e dar sustentação às operações industriais. Foi avaliado em nível 4 em ambas as organizações, para esse segmento, significando que foram identificados os principais fatores direcionadores de custos de fabricação, material e requisitos especializados, e que foi desenvolvido modelo de custo com base em variáveis de processo. No entanto, o nível 5 do MRL requer que exista já um modelo de custo realista que inclua todos os parâmetros de produção (materiais, mão de obra, equipamentos, ferramentas, testes, *setup*, rendimento, etc).

No caso do potencial receptor, a organização possui um modelo de custo robusto já sendo executado para outros produtos de sua carteira. Mas como o VSB-30 é um produto que não está na sua carteira atualmente, o modelo de custo é apenas estimado. É necessário avançar mais no processo de industrialização para se conseguir estimativas mais realistas de custos.

No caso do IAE, apesar de possuir um conhecimento profundo dos custos de materiais e contratações de serviços, o mesmo não pode se dizer sobre os custos envolvendo energia, mão de obra, e uso de laboratórios, por exemplo. Essa situação distorce a visão da gestão de custos podendo comprometer futuras tomadas de decisões. Configura-se num risco significativo quando se trata do processo de industrialização.

Em “análise de custo”, que avalia quão bem a empresa analisa e trabalha para reduzir seus custos, o nível apurado foi 5 em ambas organizações.

O potencial receptor tem suas decisões sobre escolhas de *design* e *make or buy* (ato de escolher entre produzir um componente internamente ou comprá-lo de fornecedor) influenciadas pelos modelos de custo. Muitos dos componentes do VSB-30 são utilizados pela empresa em outros produtos, habilitando-se, dessa forma, a atingir o nível 5. Entretanto, como os custos não são analisados usando protótipos reais do VSB-30, não se alcançou o nível 6 para esse segmento, apesar de estar em curso dentro da empresa estratégias sistemáticas para redução de custo dos produtos de sua carteira. Por exemplo, faz parte da rotina da empresa a elaboração de estudos detalhados de alteração de *design* e pedidos de mudança de engenharia sustentados por estimativas de custos. Além disso, como existe um padrão mundial de preço para produtos de defesa e espaciais, a análise de custos de fabricação é fundamental para apoiar as mudanças propostas em requisitos ou configurações. Mas como o critério estabelecido para a definição do MRL é conseguir atingir 100% os requisitos em determinado nível, o maior nível em que a organização conseguiu tal feito no nível 5.

O IAE, no entanto, possui uma realidade diferente. Foram identificadas iniciativas de redução de custo de fabricação do VSB-30, mas não de forma sistemática. Não há metas de custos para a fabricação do produto. Até porque há falhas da apuração do custo do VSB-30.

O último desdobramento da área de conhecimento “custo e recursos financeiros” é “orçamento e investimento para produção” que se refere ao conhecimento e disponibilidade dos recursos para investimento do sistema avaliado.

O potencial receptor atingiu o nível 7, ou seja, a organização tem uma estimativa orçamentária confiável para implantar a linha de produção piloto do VSB-30, e tem disponível investimento necessário para início da produção através de outras fontes de capitalização. Entretanto, a estimativa orçamentária da organização não é totalmente confiável, pois é referenciada em produtos similares ao VSB-30. É necessário um aprofundamento nessa questão por meio de dados reais de produção do VSB-30 propriamente dito. O ponto positivo para a organização é que ela conta com boa parte dos recursos necessários para dar início à produção além dos recursos financeiros como, por exemplo, mão de obra, equipamentos, adaptações, etc.

No caso de situação atual de fabricação do VSB-30 este desdobramento não é crítico uma vez que o produto já é fabricado nas instalações do IAE. Todos os recursos financeiros necessários a implantação da produção, já foram alocados, motivo do alcance da meta. A dificuldade no IAE está na manutenção de tais instalações, o que foge da análise desse específico segmento de “custos e recursos financeiros”.

Valem algumas observações a respeito da presente área de conhecimento. O nível 4 foi atribuído a ambas organizações avaliadas, indicando que tanto o IAE quanto a potencial indústria receptora não possuem conhecimentos plenos dos custos de produção do VSB-30. O IAE recebeu essa avaliação por não ter mapeado detalhadamente os custos do veículo, e a potencial indústria receptora recebeu por não ter acesso aos dados de custo que dependem do próprio IAE. O fato do IAE ser uma ICT sem fins lucrativos, cuja missão é realizar pesquisa e desenvolvimento na área aeroespacial, contribui para a falha no conhecimento dos custos de produção do VSB-30. Ou seja, a vocação do IAE está voltada para o desenvolvimento técnico de soluções. Diferentemente do que acontece numa organização de capital privado que obrigatoriamente deve gerar lucro. Por esse motivo os custos de produção são sempre monitorados minuciosamente a fim de garantir a própria sobrevivência. Entretanto, essa situação se configura num risco significativo quando se trata do processo de industrialização. Conhecer os custos de produção e estabelecer estratégias para sua redução sistemática é fundamental para a competitividade do produto no mercado em que se insere.

5.2.4 D – Materiais

A área de conhecimento “materiais” requer uma análise dos riscos associados a matérias-primas e insumos, incluindo materiais básicos, componentes, partes semi-acabadas, e montagens. É dividido em: “maturidade dos materiais”, “disponibilidade”, “gestão da cadeia de suprimentos” e “manuseio especial”. Os resultados são demonstrados na Figura 5-6.

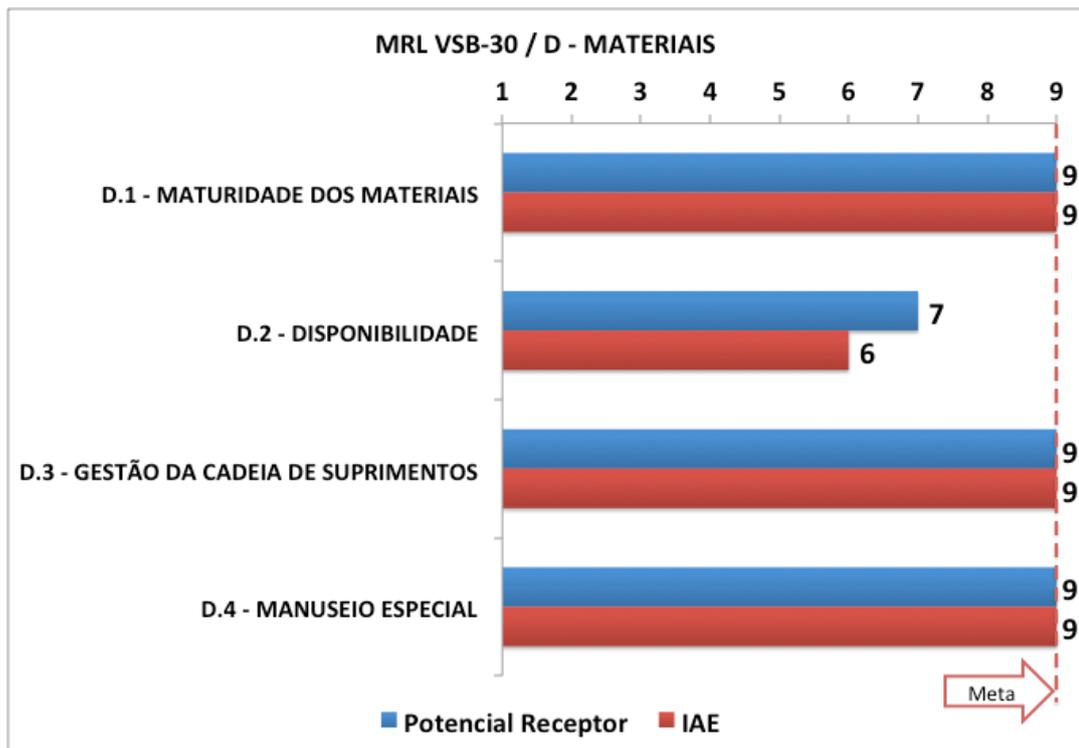


Figura 5-6 MRL VSB-30 para D - Materiais

“Maturidade dos materiais” é relacionada a estabilidade das especificações das matérias-primas e insumos recebidos e utilizados no processo de fabricação. As duas organizações receberam satisfatoriamente o nível 9 nesse quesito em função da estabilidade dos fornecedores atuais do VSB-30. Significa também que todos os materiais necessários foram testados e controlados de acordo com as especificações da produção. Além disso, tanto o IAE quanto o potencial receptor possuem um rigoroso controle de qualidade dos materiais e insumos recebidos para fabricação de produtos.

A “disponibilidade” avalia o risco relativo a eventuais faltas de matérias-primas, obsolescência de materiais e problemas de embargos. O potencial receptor foi avaliado com nível 7. De modo geral, ele gerencia bem essa questão. Estabelece uma política de múltiplos fornecedores para componentes críticos como forma de mitigar riscos de falta de material ou

embargo, prática comum na área de defesa. Todas as aquisições de longo prazo são controladas. Porém, para alcançar o nível de MRL desejado é necessário que todos os riscos de disponibilidade de materiais estejam minimizados para o início da produção. No entanto, há 1 matéria-prima importada, crítica na construção do VSB-30, que não possui fornecedores nacionais. Qualquer embargo em relação a essa matéria-prima inviabilizaria a produção do VSB-30. Ou seja, o risco ainda existe e não foi mitigado. A estratégia de mitigação, ou eliminação, desse risco está na construção de uma nova planta para produção da referida matéria-prima. Mas esse projeto se encontra paralisado ainda na busca de financiamento para dar sua continuidade.

Situação parecida com o IAE, porém este não possui estabelecidas estratégias para tratamento do risco citado. Por esse motivo recebeu o nível 6.

O próximo desdobramento é “gestão da cadeia de suprimentos” que avalia a adequação à cadeia de suprimentos aos requisitos da produção por meio da gestão dos principais fornecedores. As duas organizações receberam o nível 9 na escala do MRL por existir um processo robusto, disciplinado e em vigor de qualificação de fornecedores. Existem métricas de gestão de fornecedores e são usadas para gerenciar os riscos. Acordos de longo prazo estão em vigor e controlados sistematicamente. Outra vantagem é que boa parte dos fornecedores da indústria espacial também são fornecedores da Embraer, grande empresa aeronáutica brasileira exportadora, com rigorosos padrões de qualidade, o que acaba fortalecendo a cadeia de suprimentos da organização. No caso do potencial receptor, por considerar que os atuais fornecedores de componentes do VSB-30 vão, em grande parte, permanecer os mesmos caso haja a transferência de tecnologia, utilizou-se a atual gestão de fornecedores da organização mesmo sem que essa tenha produzido um protótipo do VSB-30.

O último segmento é o “manuseio especial” que avalia a forma com que produtos perigosos ou nocivos ao ambiente são manuseados e armazenados. Nesse quesito ambas as organizações também receberam o nível 9, essencialmente por já existir um rigoroso controle de práticas de segurança do trabalho. Deve-se ao atual manuseio de produtos extremamente perigosos, inflamáveis e tóxicos. Atinge, portanto, o requisito máximo de possuir procedimentos de manuseio especial aplicados em sua totalidade no ambiente de produção.

5.2.5 E – Capabilidade e Controle do Processo

Basicamente avalia os riscos relacionados ao processo de fabricação na produção de determinado item. É dividido em “modelamento e simulação” e “maturidade do processo de fabricação”. Os resultados são mostrados na Figura 5-7.

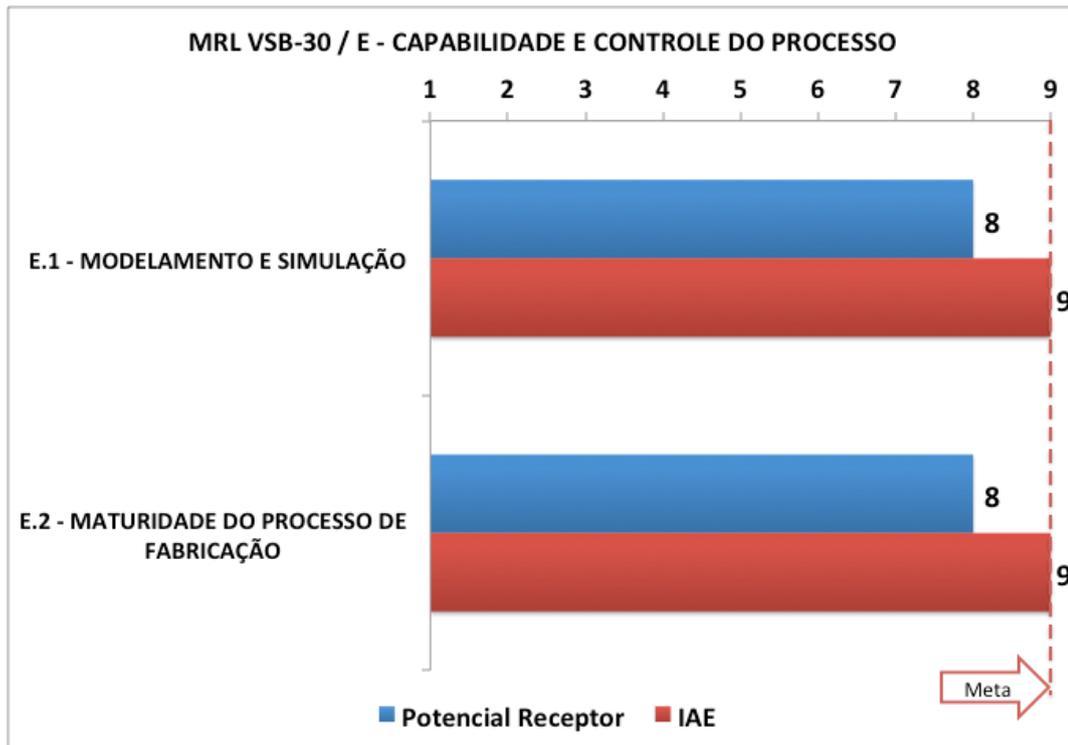


Figura 5-7 MRL VSB-30 para E – Capabilidade e Controle do Processo

Em “modelamento e simulação” o potencial receptor alcançou o MRL 8. Isso significa que existem modelos de produção e os mesmos são usados para melhorar os processos e determinar se os requisitos da produção inicial do VSB-30 podem ser atendidos. Entretanto, os mesmos não podem ser verificados por não haver ainda produção do VSB-30 *in loco*. Situação diferente é encontrada no IAE, por possuir tais modelos, e os mesmos serem verificados na produção do VSB-30.

Em “maturidade do processo de fabricação” o potencial receptor foi classificado no nível 8. Esse segmento avalia se os processos de fabricação são estáveis, adequadamente controlados, capazes e alcançam os objetivos definidos. No caso, os dados de capacidade do ambiente de produção similar ao VSB-30 foram utilizados para a avaliação do segmento. Por exemplo, existe um rigor no controle de massa e centro de gravidade dos produtos similares ao VSB-30 sendo fabricados atualmente, no intuito de melhorar o desempenho dos veículos e

reduzir o ponto de dispersão, requisito importante para a situação. Porém, da mesma forma que aconteceu em “modelamento e simulação”, para o potencial receptor conseguir avançar ao nível 9 seria necessária a verificação de tais controles de processo na fabricação do VSB-30, propriamente dito, ao invés de produtos similares.

O IAE foi avaliado com o nível 9, alcançando a meta satisfatoriamente.

5.2.6 F – Gestão da Qualidade

Área de conhecimento muito importante na indústria espacial cuja característica é de baixa escala de produção e alto custo unitário dos produtos. Por esse motivo é necessário um controle de qualidade rigoroso para garantir o desempenho esperado. Requer análise dos riscos e esforços de gestão para controlar a qualidade e incentivar a melhoria contínua. É dividido em “sistema de gestão da qualidade”, “qualidade do produto” e “gestão da qualidade do fornecedor” (Figura 5-8).

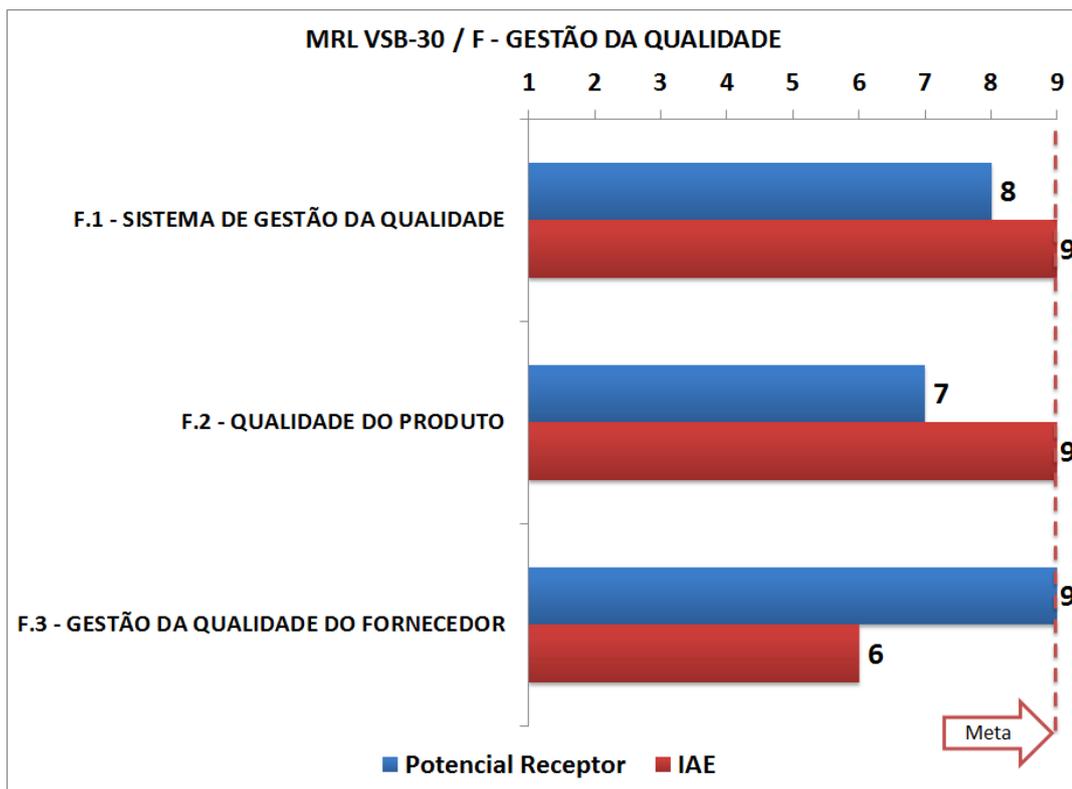


Figura 5-8 MRL VSB-30 para F – Gestão da Qualidade

Sobre “sistema de gestão da qualidade”, cujo objetivo é verificar todos os processos da empresa e como esses processos podem melhorar a qualidade dos produtos e serviços frente às demandas dos clientes, o potencial receptor foi graduado no nível 8. Quer dizer que está

estabelecido um plano de qualidade do programa bem como o respectivo Gerente de Qualidade. Além disso, as metas de qualidade foram alcançadas na linha de produção de produtos similares e essas metas conduzem à melhoria contínua da qualidade. Os processos de melhoria contínua de qualidade estão em vigor e a revisão de metas de qualidade é conduzida regularmente com a ação apropriada sendo tomada. Porém, para se alcançar o nível desejado de maturidade de fabricação é necessário que as metas de qualidade sejam verificadas no ambiente de produção real do VSB-30, situação ainda não definida. Em resumo, a organização, com relação à gestão de qualidade, está num nível muito próximo ao satisfatório para a produção do VSB-30. Muito em função dos certificados de gestão da qualidade que a mesma possui e mantém. Atualmente a organização possui a certificação AS 9100 que é um sistema de gestão da qualidade amplamente adotado e padronizado pela indústria aeroespacial. Tal certificação foi elaborada pela Sociedade de Engenheiros Automotivos (SAE) e pela Associação Européia de Indústrias Aeroespaciais (AECMA). Além da certificação AS9100, a empresa também possui o certificado NATO AQAP (Publicação de Garantia de Qualidade Aliada) das empresas que atuam no setor de defesa. Esta certificação visa a assegurar que as empresas da indústria de defesa incluem os procedimentos AQAP nos processos do seu sistema de gestão. Porém, para alcançar o nível 9 desejado é necessário que a produção do VSB-30 seja iniciada em suas instalações.

O IAE recebeu o nível 9 nesse quesito, pois apesar do IAE não possuir certificação em sistemas de gestão da qualidade, há um plano de qualidade com seu respectivo gerente estabelecidos, os processos de melhoria contínua de qualidade estão em vigor, a revisão de metas de qualidade é conduzida regularmente com a ação apropriada sendo tomada e tais metas foram verificadas no ambiente de produção real.

“Qualidade do produto” avalia a forma como são controladas as características críticas dos produtos fabricados. O potencial receptor alcançou nível 7 na escala MRL significando que as características críticas dos produtos similares ao VSB-30 são gerenciadas com procedimentos de medição e controle, e os dados de produção atendem aos requisitos de capacidade para todas as características-chave propostas. Entretanto, não foram verificados planos de teste e inspeção concluídos e validados para a fabricação do VSB-30 em si, fato que impediu o avanço para níveis superiores da escala do MRL.

O IAE por sua vez, alcançou satisfatoriamente o nível 9 no segmento “qualidade do produto”. A própria certificação do VSB-30 corrobora a avaliação.

O desdobramento “gestão da qualidade do fornecedor” é referente às práticas de gestão da qualidade dos fornecedores e como a organização audita essas práticas. O potencial receptor

recebeu nível 9 requerido, ou seja, existe em vigor um plano para auditorias de processos de subcontratados, os produtos dos fornecedores são submetidos aos testes de qualificação, a gestão da qualidade dos processos críticos de fabricação do fornecedor demonstram capacidade e controle necessárias para início da produção do VSB-30 e as auditorias de qualidade do subcontratado são realizadas sempre que necessário para garantir a conformidade da especificação. A indústria espacial e de defesa exigem um nível de controle de qualidade acima do praticado no mercado. Esse rigor demandado acaba pressionando os fornecedores da referida indústria a seguir normas de gestão qualidade adequadamente. Por esse motivo a organização audita frequentemente os processos dos seus fornecedores.

Nesse caso, o IAE foi avaliado no nível 6, em função de não haver planos de auditoria de qualidade nos subcontratados.

5.2.7 G – Pessoas

A área de conhecimento “pessoas” requer uma avaliação das habilidades, disponibilidade, e número de pessoas necessárias para apoiar o processo de fabricação. Esse segmento não é desdobrado conforme os anteriores. O resultado alcançado pelo potencial receptor foi 7 na escala do MRL, conforme Figura 5-9. Ou seja, os requisitos da força de trabalho de fabricação do VSB-30 foram identificados e o pessoal da produção foi treinado no ambiente de produção similar ao do VSB-30. Entretanto, a empresa não alcançou o nível 9 de MRL requerido porque não foram desenvolvidos ainda planos para alcançar os requisitos de ambiente de produção real do VSB-30. Enfim, grande parte da mão de obra de fabricação está qualificada para iniciar a produção do VSB-30, na visão do executivo da organização. Qualificação obtida por meio da experiência em se produzir veículos similares ao VSB-30. Porém, o cenário para instalação de um ambiente de produção real do VSB30 ainda não foi definido, prejudicando a plenitude dos requisitos para alcance do nível 9.

No caso do IAE, que também foi avaliado em 7, o risco identificado foi diferente. Está relacionado à perda de mão de obra em função principalmente de aposentadorias sem que haja planos para substituição.

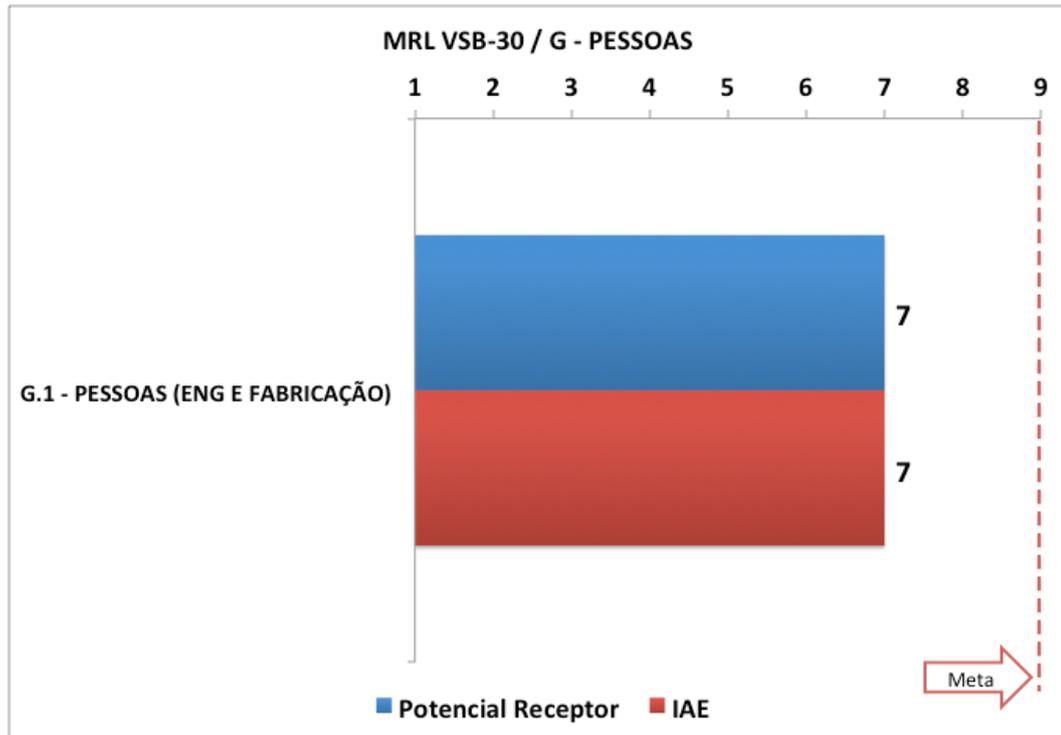


Figura 5-9 MRL VSB-30 para F – Gestão da Qualidade

5.2.8 H – Instalações

“Instalações” é a área de conhecimento relativa a capacidade das principais instalações da produção, sejam elas próprias, de subcontratadas, de fornecedores ou de manutenção. É desdobrada em “equipamentos e ferramentas” e de “infraestrutura”. Os resultados estão disponíveis na Figura 5-10:

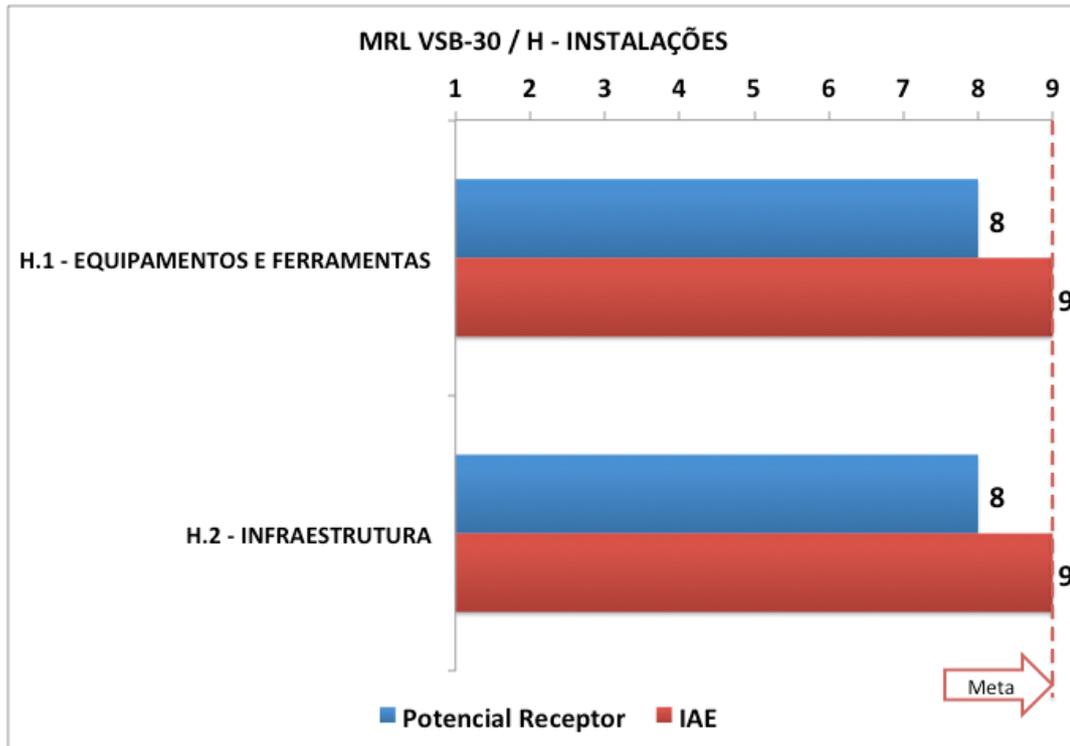


Figura 5-10 MRL VSB-30 para H - Instalações

O segmento “equipamentos e ferramentas” avalia como os equipamentos e ferramentas necessários para a fabricação do VSB-30 são gerenciados e conservados. O potencial receptor, recebeu o nível 8. Isto devido aos testes de todos os equipamentos e ferramentas no ambiente de produção similar ao do VSB-30 e demonstração do cronograma de manutenção preventiva dos equipamentos de fabricação. Para atingir o nível 9 é necessário o teste dos equipamentos e ferramentas em ambiente de produção real. Fato, obviamente, não verificado na situação atual de fabricação do VSB-30. Por esse motivo o IAE foi avaliado com o nível 9 nesse desdobramento.

“Infraestrutura”, que avalia a estrutura física de produção, o potencial receptor também alcançou nível 8, mostrando-se próximo ao desafio proposto. Isto significa que a segurança do local de trabalho é adequada e que as instalações de produção são adequadas para o início da produção do VSB-30. Entretanto, da mesma forma que o segmento “equipamentos e ferramentas”, é necessário o teste das instalações em ambiente real de produção. Situação que não foi observada no IAE, que também possui a infraestrutura adequada, no entanto, comprovada por meio da fabricação de vários exemplares do VSB-30. Por esse motivo, somente o IAE alcança a meta.

Em resumo, já existe no potencial receptor, uma estrutura bem robusta para a produção do VSB-30, porém ainda não testada em condições reais. Tal situação se configura em um risco e impede o alcance do nível MRL 9 pretendido.

5.2.9 I – Gestão da Fabricação

A área de conhecimento “gestão da fabricação” requer análise da gestão de todos os elementos necessários para transformar o *design* em um produto final atendendo metas organizacionais. É dividido em “planejamento e programação da fabricação” e “planejamento de materiais”. Os resultados são mostrados a seguir (Figura 5-11):

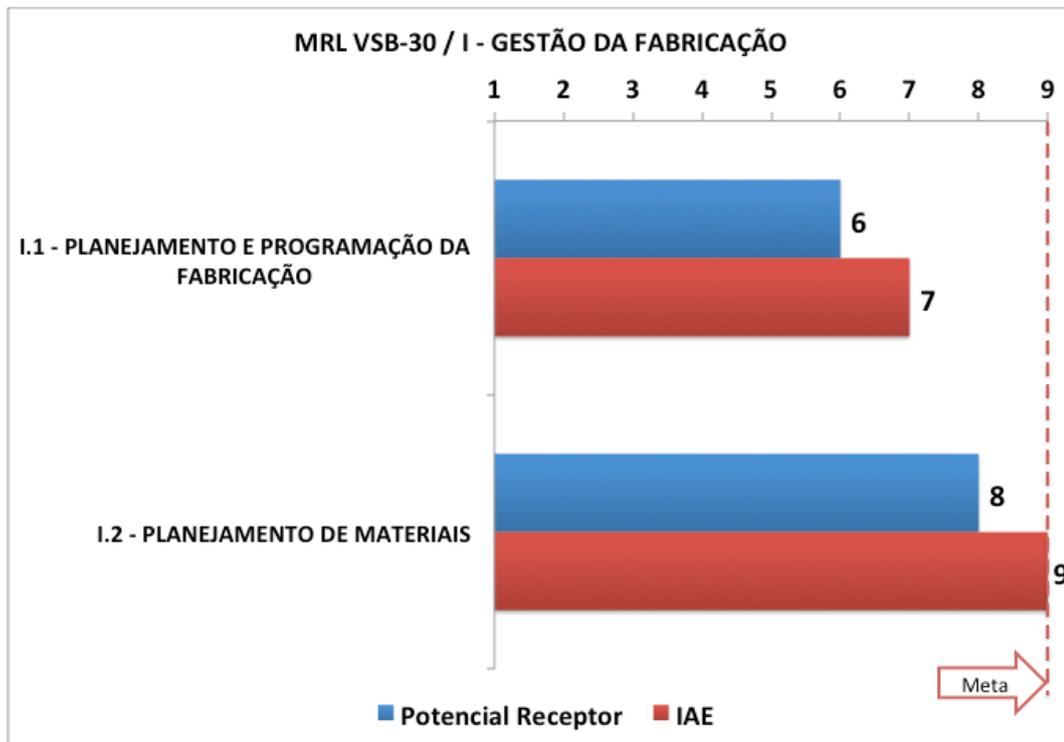


Figura 5-11 MRL VSB-30 para I – Gestão da Fabricação

O segmento “planejamento e programação da fabricação” avalia a capacidade da organização em gerenciar a sua produção por meio de planejamentos, programações e instruções de trabalho. No potencial receptor, esse segmento alcançou nível 6 na escala do MRL, abaixo do previsto. Indica alguns riscos nessa área específica da fabricação. Atingir o nível 6 em “planejamento e programação da fabricação” significa que foi definida uma abordagem de mitigação dos riscos de fabricação para o ambiente de produção similar ao VSB-30, bem como foram definidos todos os eventos de fabricação do veículo. Entretanto, a empresa não alcançou um melhor resultado por não possuir plano inicial de fabricação do VSB-30, e

não possuir ainda os riscos de fabricação do VSB-30 integrados nos seus planos de mitigação. Apesar de já estar em desenvolvimento instruções de trabalho para a situação de fabricação do VSB-30, para se alcançar o nível 9 desejado é necessário ainda que a empresa finalize as instruções de trabalho, atualize o plano de fabricação para o início de produção do VSB-30, e ter todos os principais riscos de fabricação identificados, avaliados e tratados em planos de mitigação aprovados.

O IAE recebeu o nível 7 nesse segmento por já possuir plano de fabricação desenvolvido, diferentemente do potencial receptor. Entretanto, assim como o potencial receptor, o IAE não possui em execução todos os planos de mitigação de riscos identificados.

O segmento “planejamento de materiais” avalia a forma de gestão do planejamento dos materiais a serem usados na linha de produção do VSB-30. O potencial receptor apresentou nível 8, ou seja, as decisões de *make or buy* e estrutura de produtos estão concluídas para suportar o início de produção do VSB-30 e os sistemas de planejamento de materiais foram testados no ambiente de produção similar. Entretanto, para alcance do nível 9 é necessário teste e aprovação da gestão de materiais em ambiente de produção real.

O IAE está no nível 9 em relação a esse segmento.

5.3 Riscos Identificados

Os riscos apontados surgiram das respostas negativas dadas nas diversas áreas de conhecimento ao longo da avaliação. Os mesmos estão dispostos na Tabela 5-2. Tais riscos foram classificados da mesma forma que traz a Tabela 5-1. Ou seja, riscos referentes ao potencial receptor da tecnologia de fabricação do VSB-30, riscos referentes ao atual responsável pela fabricação do VSB-30 e os riscos comuns às duas organizações.

Tabela 5-2 Detalhamento dos riscos identificados

Detalhamento dos Riscos Identificados				
Área de Conhecimento	MRL	Potencial Receptor	Situação Atual	Comuns
A - Base Industrial e Tecnologia de Fabricação	6 a 7		- Falta de plano de desenvolvimento de fornecedores para componentes críticos.	- Fornecedores exclusivos estrangeiros ou nacionais únicos no fornecimento de materiais fundamentais na fabricação do VSB-30; - Não desenvolvimento de fornecedores nacionais de componentes críticos; - Não desenvolvimento nacional de tecnologias de ponta na fabricação de componentes espaciais (impressão 3D, fibra de carbono, etc).
B - Design	9			
C - Custo e Recursos Financeiros	4	- Necessário aperfeiçoamento das estimativas de investimento na indústria.	- Iniciativas de redução de custo não sistemáticas e sem objetivos claros de redução de custos de fabricação.	- Não se tem uma apuração total dos custos de produção do VSB-30 como por exemplo, mão de obra, energia e uso de laboratórios.
D - Materiais	6 a 7			- Necessário desenvolvimento interno de componente crítico cujos fornecedores são exclusivamente estrangeiros.
E - Capabilidade e Controle do Processo	8 a 9	- Necessária conclusão do processo de industrialização do VSB-30 para confirmar na indústria os dados da simulação. * - Necessária conclusão do processo de industrialização do VSB-30 para verificar na indústria o alcance dos objetivos do programa de produção. *		
F - Gestão da Qualidade	6 a 7	- Necessária conclusão do processo de industrialização do VSB-30 para verificação das metas de qualidade em outros ambientes de produção. * - Necessária conclusão do processo de industrialização do VSB-30 para execução na indústria dos seus planos de inspeção e teste. *	- Não realização de auditorias de qualidade nas dependências dos fornecedores para o produto VSB-30.	
G - Pessoas	7	- Não implementados na indústria planos para alcance de requisitos de pessoal no ambiente de produção real do VSB-30.	- Risco de perda de mão de obra especializada em função de aposentadorias sem que haja um plano para substituição;	
H - Instalações	8 a 9	- Necessária conclusão do processo de industrialização do VSB-30 para testar equipamentos e ferramentas em ambiente de produção real na indústria. * - Necessária conclusão do processo de industrialização do VSB-30 para testar instalações da indústria. *		
I - Gestão da Fabricação	6 a 7	- Falta de plano de fabricação inicial na indústria; - Falta de instruções de trabalho específicas na indústria. - Necessária conclusão do processo de industrialização do VSB-30 para execução de testes e aprovação do sistema de gestão de materiais em ambiente de produção real na indústria. *	- Não identificado plano de prevenção de riscos de fabricação;	

É importante salientar que dos 11 riscos identificados referentes ao potencial receptor, 7 são devidos a não fabricação do VSB-30 em suas instalações, mesmo que de forma piloto. De fato, essa situação justifica o número maior de riscos identificados em relação à situação atual.

Não faz parte do escopo da pesquisa a qualificação dos riscos identificados em função de impacto e probabilidade. Entretanto, os riscos comuns às duas situações podem indicar potenciais problemas crônicos da indústria.

Foram identificados 5 riscos comuns. Em “Base Industrial e Tecnologia de Fabricação” a falta de planos de desenvolvimento de fornecedores locais para componentes críticos e a falta de planos para desenvolvimento de novas tecnologias de fabricação foram os principais responsáveis pelos riscos identificados.

Em “Custos e Recursos Financeiros”, área que atribuiu o nível 4 de maturidade de fabricação para o VSB-30, foi apurado um risco comum. Apesar das organizações industriais possuírem um conhecimento profundo dos custos de materiais e contratações de serviços, o mesmo não pode se dizer sobre os custos envolvendo energia, mão de obra, e uso de laboratórios, por exemplo. Essa situação distorce a visão da gestão de custos podendo comprometer futuras tomadas de decisões. Se configura num risco significativo quando se trata do processo de industrialização. Conhecer os custos de produção e estabelecer estratégias para sua redução sistemática é fundamental para a competitividade do produto no mercado em que se insere.

No caso de “Materiais” o risco se concentrou na possibilidade de indisponibilidade de um componente fundamental para a fabricação do VSB-30 sem que haja planos de contingência para resolver tal situação da forma adequada.

Por fim, sugere-se que todos os riscos identificados no potencial receptor sejam tratados para que assim se consiga níveis maiores de maturidade de fabricação, auxiliando o processo de industrialização do VSB-30 a alcançar com uma maior confiabilidade seus objetivos estratégicos dentro dos parâmetros de custo, prazo e desempenho.

No caso do IAE, o tratamento dos riscos vai, sem dúvida, melhorar a gestão da fabricação do VSB-30. Da mesma forma que o potencial receptor, sugere-se o estabelecimento de planos de tratamento dos riscos identificados a fim de preservar e fortalecer a capacidade de produção do VSB-30 pelo IAE.

6 Considerações Finais

A pesquisa surgiu de uma necessidade de se auxiliar o processo de industrialização de produtos espaciais em desenvolvimento de forma a torna-lo mais ágil e menos dispendioso. O modelo de MRL adaptado contribui nesse sentido, de modo a identificar claramente o nível de maturidade fabricação de um novo produto a ser inserido no mercado e possibilitar a identificação dos riscos no seu processo de industrialização. A adaptação teve o intuito de tornar o modelo mais genérico de forma a ser utilizado pela indústria espacial bem como por organizações de outras indústrias com características similares. Considera-se que a adaptação tornou o modelo mais amigável para o uso de forma a trazer questões relevantes e termos conhecidos da atividade espacial.

Várias empresas da indústria de defesa norte americana já utilizam adaptações do MRL proposto pelo DoD para auxiliar seus processos internos da gestão da inovação (MORGAN, 2008). Entretanto, no Brasil esse assunto ainda é incipiente dado o nível de desconhecimento sobre o assunto encontrado durante a realização da pesquisa.

O MRL proposto pelo DoD apoia o ciclo de vida de sistemas de defesa norte americano (Instrução 5000.02). No Brasil, a diretriz do Comando da Aeronáutica DCA 400-6 Ciclo de Vida de Sistemas e Materiais da Aeronáutica é que regulamenta o assunto. No caso americano, as avaliações de MRL já fazem parte das rotinas definidas na Instrução 5000.02. Um caminho para se difundir o uso do MRL de modo a auxiliar o processo de industrialização do desenvolvimento de produtos da Aeronáutica, seria tornar sistemáticas as avaliações durante a execução da DCA 400-6. A Figura 6-1 traça um paralelo entre os dois processos. Seguindo-se o que é realizado pelo DoD, sugere-se a inclusão de avaliações sistemáticas ao longo do processo definido na DCA 400-6 na forma esboçada na Figura 6-1.

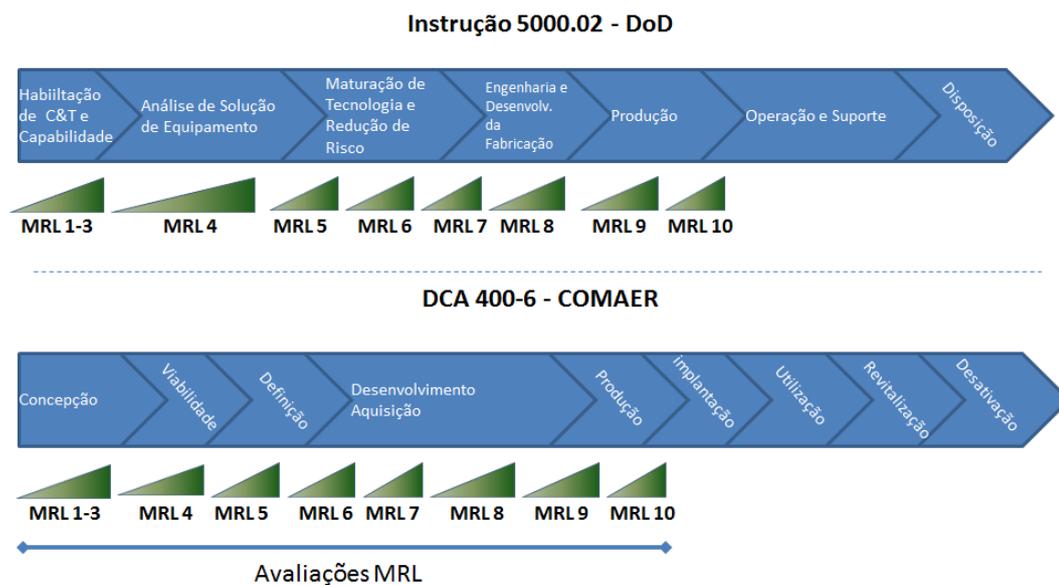


Figura 6-1 Paralelo entre ciclos de vida Inst 5000.02 e DCA 400-6 (Adap. de DoD, 2017a; BRASIL, 2007)

Destaque para sugestão de inclusão de avaliações sistemáticas do MRL na DCA 400-6

Evidentemente, é necessário evoluir na sugestão de modo a se definir exatamente os marcos de avaliação durante do desenvolvimento do processo. Entretanto, não faz parte do escopo da presente pesquisa tal estudo.

Durante a execução da pesquisa foi constatado que é necessário que o avaliador seja uma pessoa com conhecimentos robustos em fabricação ou que se utilize de especialistas nas áreas de conhecimento para auxílio da avaliação, dado o nível de profundidade das questões em cada área de conhecimento. Tal conhecimento é fundamental para se buscar as evidências corretas das questões levantadas.

Especialistas são necessários também para responder ao questionário. Por mais que o ponto focal da avaliação seja uma pessoa com profundos conhecimentos na fabricação do objeto, pelos mesmos motivos já expostos, é necessário o auxílio de especialistas das diversas áreas para responder de forma correta cada questão. No caso da pesquisa o uso de especialistas foi negociado junto aos pontos focais da avaliação.

O processo de avaliação do MRL determina critérios para se selecionar o objeto a ser avaliado. Entretanto, uma dúvida constante é se o objeto deve ser avaliado como um sistema ou se é necessário desdobrar em subsistemas e componentes e realizar a avaliação para cada um deles. Nesse sentido, Olechowski *et al* (2015) levanta em seu trabalho duas formas de abordar a avaliação TRL, as quais se aplicam ao MRL: i) a estrutura total do produto, que consiste em avaliar todos os elementos inclusive os mínimos em um projeto, o que torna a avaliação extensa e exaustiva uma vez que seria preciso avaliar cada parafuso utilizado em um

projeto; e ii) o elemento crítico tecnológico, que avalia somente os elementos que apresentam maior risco. Embora seja mais prático esse método de avaliação, ele pode deixar falhas uma vez que tecnologias ou componentes não são avaliados e os mesmos podem apresentar problemas futuros. Essa questão não é fechada. A NASA define que uma avaliação completa precisa avaliar todos os itens, por mais exaustivos e impraticáveis que sejam (NASA, 2007). Já o DoD recomenda que se faça a avaliação de maturidade em todos os elementos considerados críticos identificados no projeto e não em todos os elementos que o compõem (ROCHA, 2016). A escolha deve ser feita em função do nível de assertividade que se deseja na avaliação e também da mão-de-obra disponível para realizar a avaliação.

O uso da ferramenta Calculadora MRL DCTA/ITA-2018-1 facilitou consideravelmente a avaliação uma vez que traz apenas as questões que são relevantes em função da meta estipulada. O MRL possui 335 questões e cada uma delas traz discussões aprofundadas. Essa característica da ferramenta de filtrar as questões relevantes é fundamental para dar agilidade ao avaliador e otimizar o tempo da avaliação.

7 Conclusão

O problema de pesquisa indentificado é que não existe um modelo para avaliação da maturidade de fabricação aplicado à realidade da indústria espacial brasileira de forma a tornar mais eficaz o processo de industrialização de um dado produto espacial. Para solucionar tal problema, o objetivo principal do trabalho estabelecido foi validar a adaptação de um modelo para avaliação do nível de maturidade de fabricação aplicado à realidade da indústria espacial brasileira.

Alcança-se o objetivo principal por meio da elaboração do modelo MRL adaptado e da aplicação do modelo em um estudo de caso envolvendo a fabricação do veículo espacial VSB-30. A avaliação mostrou o nível de maturidade de fabricação do VSB-30 em duas organizações e elencou os riscos envolvidos no seu processo de industrialização. Portanto, o modelo cumpre o objetivo proposto de forma satisfatória.

Os objetivos específicos, foram estabelecidos para buscar respostas aos seguintes questionamentos do problema.

- Existem modelos de avaliação da maturidade de fabricação válidos para outras aplicações?

Foi realizada uma análise bibliográfica e bibliométrica da literatura disponível na base da Scopus. Nota-se que o tema maturidade de fabricação ainda é pouco difundido na comunidade científica se comparado ao tema maturidade tecnológica. Porém, o número de artigos científicos considerando a maturidade de fabricação tem aumentado consistentemente principalmente depois da elaboração do MRL pelo DoD. A pesquisa bibliográfica no tema maturidade de fabricação retornou 226 artigos, de 1986 até 2017. Dos 226 artigos, foram analisados os 50 mais novos ou mais citados. Foram encontrados dois modelos de avaliação da maturidade de fabricação, um elaborado pelo DoD, chamado MRL, com 27 ocorrências, e outro elaborado pela MESA, chamado de MTS, com apenas 1 ocorrência. Observou-se que 22 pesquisas utilizaram métodos próprios de avaliação da maturidade de fabricação, baseadas principalmente em critérios de confiabilidade das funções da tecnologia posta em fabricação. Resolveu-se, portanto, usar no presente trabalho, como ponto de partida, o MRL desenvolvido pelo DoD em função de sua representatividade na referida amostra. Trata-se de uma métrica estruturada concebida para avaliar a etapa de industrialização do processo de aquisição de sistemas de defesa pelo governo norte americano. É composta por 10 níveis e 9 áreas de

conhecimento da fabricação. Mede a maturidade de fabricação da mesma forma que o TRL mede a maturidade tecnológica, ou seja, fornecendo uma métrica e um vocabulário comuns para avaliar e discutir a maturidade e risco de fabricação.

- Como adaptar um modelo de avaliação da maturidade de fabricação às características da indústria espacial brasileira?

Foi realizada uma pesquisa bibliográfica e documental para estudar as características da indústria espacial brasileira. É uma indústria de alto valor agregado e que deve ser fortalecida tanto por motivos estratégicos nacionais quanto por motivos econômicos. Se caracteriza por ser uma indústria que produz sistemas complexos com baixo volume de produção e intensiva em capital.

O modelo MRL desenvolvido pelo DoD se aplica especificamente ao processo de aquisição de sistemas de defesa dos Estados Unidos dificultando o uso em aplicações distintas, como no caso. Portanto, adaptações foram feitas no modelo de avaliação utilizando-se dois direcionadores propostos pelo DoD: 1) adaptação para produtos com baixo volume de produção e 2) adaptação para uso genérico na indústria. Do total de 417 questões no modelo original, foram excluídas 25 questões para satisfazer o direcionador 1, foram alteradas 93 questões para satisfazer o direcionador 2 e foram excluídas mais 57 questões para satisfazer o direcionador 2. Conseqüentemente, o modelo MRL adaptado possui 335 questões e se adequa a situação proposta da indústria espacial brasileira. O questionário final do modelo adaptado está disponível no Apêndice A.

- Como identificar os riscos do processo de industrialização em função da avaliação de maturidade de fabricação?

O modelo MRL desenvolvido pelo DoD, além de estabelecer o nível de maturidade de fabricação, também é uma ferramenta de identificação de riscos do processo de industrialização. Quando há uma diferença entre a meta de MRL definida e o MRL apurado em uma dada avaliação, riscos são identificados. Mais especificamente, tais riscos surgem das respostas negativas do questionário de avaliação do MRL.

- Como validar a eficácia do modelo adaptado de avaliação da maturidade de fabricação?

A fim de validar o modelo adaptado, o nível de maturidade na fabricação do produto espacial VSB-30 foi avaliado em duas organizações distintas. Uma atual detentora da

tecnologia de fabricação do produto e outra que potencialmente tem condições de receber tal tecnologia de fabricação.

Foram avaliadas tais organizações, usando-se uma metodologia baseada no processo de avaliação do MRL utilizada pelo DoD. A meta de MRL estipulada para ambas foi 9, ou seja, produção inicial demonstrada e prontas para iniciar a produção em regime. Entretanto, o nível de maturidade de fabricação de ambas foi avaliado em 4. A área de conhecimento responsável pela atribuição do nível 4 às duas organizações foi “custos e recursos financeiros”, devido a falhas no conhecimento do custo de produção. Porém, por motivos distintos conforme discutido no item 5.2.3 C – Custos e Recursos Financeiros.

O fato do nível de maturidade de fabricação do VSB-30 ficar abaixo da meta, mostra que foram identificados riscos no processo de industrialização do veículo. Ao todo, foram identificados 21 riscos os quais foram classificados da seguinte forma:

- 11 riscos relativos ao potencial receptor da tecnologia de fabricação do VSB-30;
- 5 riscos relativos à situação atual de fabricação do VSB-30; e
- 5 riscos comuns às duas situações.

Observa-se que o uso do MRL para avaliação do nível de maturidade de fabricação complementa a avaliação da maturidade tecnológica dada pela ferramenta TRL criada pela NASA. O TRL avalia o quão madura está determinada tecnologia e o MRL avalia o quão madura está a indústria em fabricar tal tecnologia regularmente com confiabilidade e dentro dos parâmetros estratégicos organizacionais. No caso, o VSB-30 que tem uma maturidade tecnológica elevada, não apresenta a mesma desenvoltura quando o assunto é maturidade de fabricação, o que acaba impactando negativamente o processo de industrialização do produto. Para competir globalmente dentro do setor espacial não basta possuir um produto tecnologicamente confiável. É necessário também ter uma indústria forte capaz de penetrar mercados. O caminho para se chegar lá passa pela mitigação dos riscos de fabricação levantados e consequente elevação do nível de maturidade de fabricação.

Enfim, entende-se que a avaliação sistemática do MRL durante o desenvolvimento de sistemas contribui para um processo de industrialização mais ágil e menos dispendioso, pois identifica claramente o nível de maturidade fabricação de um novo produto a ser inserido no mercado e possibilita a identificação dos riscos no processo de industrialização de tal produto. A adaptação teve o intuito de tornar o modelo mais adequado ao uso pela indústria espacial bem como por organizações de outras indústrias com características similares.

Como subproduto da pesquisa, foi criada uma ferramenta de avaliação do MRL para auxiliar novos pesquisadores no uso do modelo. A Calculadora MRL DCTA/ITA-2018-1 fica à disposição para futuras avaliações de maturidade de fabricação.

7.1 Sugestões para Próximos Estudos

A pesquisa adaptou o modelo de avaliação da maturidade de fabricação para a indústria espacial ou indústrias com características similares. Refere-se exclusivamente a questões técnicas de fabricação no processo de transferência da tecnologia para a indústria espacial brasileira.

Como foi exposto, o escopo da pesquisa não incluiu o estudo de questões também importantes no processo de transferência de tecnologia, tais como programas espaciais alinhados com os objetivos políticos do governo, financiamento público na quantidade e prazos requeridos, mercado com demanda suficiente e comercialização dos produtos com viabilidade econômico-financeira. Todos esses fatores podem impactar o processo de transferência de tecnologia para a indústria da forma análoga à preparação técnica do parque industrial. Portanto, sugere-se o aprofundamento de tais questões a fim de contribuir para o esclarecimento do assunto do domínio brasileiro das tecnologias espaciais.

Com relação ao modelo de avaliação do MRL, durante o desenvolvimento dessa pesquisa, verificou-se a necessidade de estabelecer pesos distintos para os critérios visto que alguns são mais importantes que outros.

Além disso, em algumas áreas de conhecimento, percebe-se que não se explorou ao máximo as teorias de fabricação existentes como em gestão da fabricação, processos e pessoas.

Verifica-se, também, que há a necessidade de se criar uma avaliação brasileira de maturidade de fabricação levando em considerações particulares nacionais tais como questões política, de legislação, econômicas, documentais, por exemplo.

No âmbito do Comando da Aeronáutica, conforme exposto no capítulo 6 Considerações Finais, é necessário estabelecer os marcos específicos com as respectivas metas de MRL durante o desenvolvimento do Ciclo de Vida de Sistemas e Materiais da Aeronáutica, de modo a sistematizar o uso das avaliações de MRL e assim melhorar o desempenho da transição do produto em ambiente laboratório para o chão de fábrica.

O modelo também pode e deve incorporar os conceitos dos novos desafios impostos pelo campo de conhecimento denominado “indústria 4.0”. Dessa forma, a ferramenta de avaliação da maturidade de fabricação se tornaria mais aderente a realidade atual brasileira frente aos desafios da indústria 4.0.

Referências

AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA. **Programa Nacional de Atividades Espaciais: PNAE: 2012 - 2021**. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2012.

ALBUQUERQUE, E. **Projeto PIB: perspectivas de investimento em ciência**. Rio de Janeiro, RJ: UFRJ, 2009. Relatório final do estudo indústrias baseadas em ciência, integrante da pesquisa “Perspectivas do investimento no Brasil”, realizada por Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro e Instituto de Economia da Universidade Estadual de Campinas.

ALVANOS, T.; GARANT, J.; IJIMA, Y.; INDYK, R.; ROSENTHAL, C.; SATO, O.; SUGASE, N.; TAKIZAWA, H.; WEI, F. A novel methodology for wafer-specific feed-forward management of backside silicon removal by wafer grinding for optimized through silicon via reveal. In: **ELECTRONIC COMPONENTS AND TECHNOLOGY CONFERENCE, 64.**, 2014, Orlando, FL. **Proceedings...** Santa Clara, CA: Disco Hi Tec America, 2014. p.452-458.

AN J.; QU N.; PENG S.X.; WANG X.; REN J.C.; LI T.J. Evaluation on manufacturing readiness level for a certain type equipment based on BP neural network. **Applied Mechanics and Materials**, v.488, p.1375-1378, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14300-1:2015: Sistemas Espaciais – Gestão do Programa – Parte 1: Estruturação de um projeto**. Rio de Janeiro, RJ, 2015. 37 p.

ATTIA, U.M.; MARSON, S.; ALCOCK, J.R. Design and fabrication of a three-dimensional microfluidic device for blood separation using micro-injection moulding. **Journal of Engineering Manufacture**, v.228, n.6, p.941-949, 2014.

ATWATER, B.; UZDZINSKI, J. Wholistic Sustainment Maturity: The Extension of System Readiness Methodology across all Phases of the lifecycle of a complex system. **Procedia Computer Science**, v.24, p.601-609, 2014

BANKE, J. **Technology Readiness Levels Demystified**. Washington, DC: NASA, 2017. Disponível em < https://www.nasa.gov/topics/aeronautics/features/trl_demystified.html >. Acesso em: 19 abr. 2018.

BARTELS, W. A Atividade Espacial e o Poder de uma Nação. In: BRASIL. Presidência da República. Secretaria de Assuntos Estratégicos. **Desafios do Programa Espacial Brasileiro**. Brasília, DF: SAE, 2011. p. 59-80.

BIESEK, F.L.; FERREIRA, C.V. A model for advanced manufacturing engineering in R&D technology projects through DFMA and MRL integration. **Advances in Transdisciplinary Engineering**, v.4, p.705-714, 2016.

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. **DCA 400-6: ciclo de vida de sistemas e materiais da Aeronáutica**. Brasília, DF: COMAER, 2007.

BRASIL. Ministério da Defesa. **Estratégia Nacional da Defesa**. Brasília, DF, 2012.

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Instituto de Aeronáutica e Espaço. **Relatório de Atividades 2015**. São José dos Campos, SP: IAE, 2016.

CARVALHO, H. C. Alternativas de Financiamento e Parcerias Internacionais Estratégicas no Setor Espacial. In: BRASIL. Presidência da República. Secretaria de Assuntos Estratégicos. **Desafios do Programa Espacial Brasileiro**. Brasília, DF: SAE, 2011. p. 17-40.

CARVALHO, A. R. S.; DAMIANI, J. H.; FOLLADOR, A. O. N.; GUIMARÃES, M. G. O. A Overview of the Certification of VSB-30 with Emphasis on Technological Innovation. **JATM – Journal of Aerospace and Technology Management**. São José dos Campos/SP: Vol 4, Nº1, pp. 105-115, Jan-Mar., 2012.

CARVALHO, A. R. S. **Ciclo de gestão de P&D estratégicos: um modelo conceitual para ambiente multi-institucional, científico e tecnológico aeroespacial**. 2014. 212f. Tese (Doutorado em Engenharia Aeronáutica e Mecânica – Área de Produção). ITA – Instituto Tecnológico da Aeronáutica. São José dos Campos/SP, 2014

CHADE, J. Para Crescer o Brasil precisa de “mais Embraers”. In: **Estado de São Paulo**. Pág 28. São Paulo: 20 fev. 2010.

CHAN, Y.D.; RASTEGAR, A.; YUN, H.; PUTNA, E.S.; WURM, S. EUV mask defect inspection and defect review strategies for EUV pilot line and high volume manufacturing. In: SPIE ADVANCED LITHOGRAPHY, 2010, San Jose, CA. **Proceedings...** Albany, NY: SEMATECH, 2010. v. 7636.

CHAUVET, E. Industrialization Value, Market Maturity and Ethics. **Journal of Business Ethics**, v.128, n.1, p.183-195, 2015.

CHOI, S.; JUNG, K.; LEE, J.Y. Development of an assessment system based on manufacturing readiness level for smart manufacturing and supplier selection. **International Journal of Computer Applications in Technology**, v.561, p.87-98, 2017.

CHOWDHURY, S.; WU, Y.; SHEN, L.; SMITH, K.; SMITH, P.; KIKKAWA, T.; GRITTERS, J.; MCCARTHY, L.; LAL, R.; BARR, R.; WANG, Z.; MISHRA, U.; PARIKH, P. 650 v Highly Reliable GaN HEMTs on Si Substrates over Multiple Generations: Matching Silicon CMOS Manufacturing Metrics and Process Control. In: IEEE COMPOUND SEMICONDUCTOR INTEGRATED CIRCUIT SYMPOSIUM, CSICS, 2016, Austin, TX. **Proceedings...** Goleta, CA: Transphorm, Inc., 2016.

DARMSTADT, P.R.; HENDRICKSON, A.; MOORE, J.; BARBATO, K.; VITLIP, R.; HU, Z. Thick-walled composite cylinder fabrication to support composite rotor shaft development for CH-47 chinook. In: AMERICAN HELICOPTER SOCIETY INTERNATIONAL ANNUAL FORUM AND TECHNOLOGY DISPLAY, 73., 2017, Fort Worth, TX. **Proceedings...** Philadelphia, PA: The Boeing Co., 2017. p.1760-1769.

DEPARTMENT OF DEFENSE. **Manufacturing Readiness Level (MRL) Deskbook**. Version 2017. Washington, DC, 2017a.

DEPARTMENT OF DEFENSE. **Directive n° 5000.01**: the Defense acquisition system. Washington, DC, 2003.

DEPARTMENT OF DEFENSE. **Instruction n° 5000.02**: operation of defense acquisition system. Washington, DC, 2015.

DEPARTMENT OF DEFENSE. **Effective use of MRLs in an S&T Environment**: white paper. Washington, DC, [200-?]. Disponível em: <<http://www.dodmrl.com/White%20Paper-%20Effective%20use%20of%20MRLs%20in%20SandT.pdf>>. Acesso em: 12 set. 2017b.

DEPARTAMENTO INTERSINDICAL DE ESTATÍSTICA E ESTUDOS ECONÔMICOS. **Panorama do setor aeroespacial brasileiro**. São Bernardo do Campo: Confederação Nacional dos Metalúrgicos, 2011. Disponível em: <www.cnmcut.org.br/conteudo/aeroespacial-1>. Acesso em: 05 maio 2018.

DELLA-MORROW C., LEE C., SALZMAN K., COFFIE R., LI V., DRANDOVA G., NAGLE T., MORGAN D., HORNG P., HILLYARD S., RUAN J. Achieve manufacturing readiness level 8 of high-power, high efficiency 0.25m GaN on SiC HEMT process. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPOUND SEMICONDUCTOR MANUFACTURING TECHNOLOGY, CS MANTECH, 28., 2013, New Orleans, LA. **Proceedings...** Richardson, TX: TriQuint Semiconductor, Inc., p.91-94.

DESHPANDE A. An empirical study to evaluate machine tool production readiness and performance. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v.64, p.1285-1296, dec 2013.

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

DU, G.; HUANG, Q.; SUN, L. Research of synergy product maturity based on maturity cycle. **Advanced Materials Research**, v.538-541, p.2813-2821, 2012.

DYE, E.; STURGESS, A.; MAHESHWARI, G.; MAY, K.; RUEGGER, C.; RAMESH, U.; TAN, H.; COCKERILL, K.; GROSKOPH, J.; LACANA, E.; LEE, S.; MIKSINSKI, S.P. Examining Manufacturing Readiness for Breakthrough Drug Development. **AAPS PharmSciTech**, v.17, n.3, p.529-538, 2016.

ETZKOWITZ, H. Innovation in innovation: the triple helix of university – industry government relations. **Social Science Information**, v. 42, n. 3, p. 293-337, 2003.

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION. **ECSS-M-ST-10C:2009**: Space project management: project planning and implementation. Rev. 1. Noordwijk, 2009

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION. **ECSS-E-ST-10C:2017**: System engineering general requirements. Rev.1. Noordwijk, 2017.

FERNANDEZ, A. F. **Contextual role of TRLs and MRLs in technology management**. Albuquerque, NM: Sandia National Laboratories, 2010.

FODEN, J.; BERENDS, H. Technology management at Rolls-Royce. **Research-Technology Management**, v. 53, n. 2, p. 33-42, 2010.

FURY R.; SHEPPARD S.T.; BARNER J.B.; PRIBBLE B.; FISHER J.; GAJEWSKI D.A.; RADULESCU F.; HAGLEITNER H.; NAMISHIA D.; RING Z.; GAO J.; LEE S.; FETZER B.; MCFARLAND R.; MILLIGAN J.; PALMOUR J. GaN-on-SiC mmic production for S-band and EW-band applications. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPOUND SEMICONDUCTOR MANUFACTURING TECHNOLOGY, CS MANTECH, 28., 2013, New Orleans, LA. **Proceedings...** Durham, NC: Cree Inc., 2013. p.95-98.

FUTRON CORPORATION. **Futron's 2012 Space competitiveness index: a comparative analysis off how countries invest in and benefit from space industry**. Bethesda, MA: Futron Corporation, 2012.

GALLAGHER E.; WAGNER A.; LAWLISS M.; MCINTYRE G.; SEKI K.; ISOGAWA T.; NASH S. Learning from native defects on EUV mask blanks. In: SPIE PHOTOMASK JAPAN, 2014, Yokohama. **Proceedings...** Essex Junction, VT: IBM Microelectronics Div., 2014. v.9256.

GAVANKAR, S. SUH, S. KELLER, A. The role of scale and technology maturity in life cycle assessment of emerging technologies - a case study on carbon nanotubes. **Journal of Industrial Ecology**, v.19, n.1, p.51-60, 2014.

HAIMERL, J.A.; HUDSON, B.; FONDER, G.P.; LEE, D.K. Overview of the large digital arrays of the space fence radar. In: IEEE International Symposium on Phased Array Systems and Technology, PAST, 2016, Waltham, MA. **Proceedings...** Moorestown, NJ: Lockheed Martin Corporation, 2017.

HIMES G., MAUNDER D., KOPP B. Recent defense production act title III investments in compound semiconductor manufacturing readiness. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPOUND SEMICONDUCTOR MANUFACTURING TECHNOLOGY, CS MANTECH, 28., 2013, New Orleans, LA. **Proceedings...**, Wright-Patterson AFB, OH: Air Force Research Laboratory, AFRL, 2013. p.83-86.

HUMMLER K., SMITH L., CARAMTO R., EDGEWORTH R., OLSON S., PASCUAL D., QURESHI J., RUDACK A., QUON R., ARKALGUD S. On the technology and ecosystem of 3D / TSV manufacturing. In: ANNUAL IEEE/SEMI ADVANCED SEMICONDUCTOR MANUFACTURING CONFERENCE, ASMC, 22., 2011, Saratoga Springs, NY. **Proceedings...** Albany, NY: SEMATECH, 2011.

HUNGYANG L., BOONKAR Y., YONG T.C., KHAN N., IBRAHIM M.R., TAN L.C. Manufacturability readiness of insulated Cu wire bonding process in PBGA package. In: IEEE Electronics Packaging Technology Conference, EPTC, 16., Singapore. **Proceedings...** Kajang: Universiti Tenaga Nasional, 2014. p.215-219.

INSTITUTO DE AERONÁUTICA E ESPAÇO. **Projetos Espaço - VSB-30**. São José dos Campos, SP, 2018. Disponível em: <<http://www.iae.cta.br/index.php/espaco/vsb-30>>. Acesso em: 09 maio 2018.

INTERNATIONAL COUNCIL ON SYSTEMS ENGINEERING. **What is system engineering**. San Diego, CA, 2018. Disponível em: <<https://www.incose.org/AboutSE/WhatIsSE>>. Acesso em: 05 maio 2018.

IYER G., LI W., GOPALAKRISHNAN L. Design, reliability and manufacturing readiness for MEMS microphone. In: ASME PACIFIC RIM TECHNICAL CONFERENCE AND EXHIBITION ON PACKAGING AND INTEGRATION OF ELECTRONIC AND PHOTONIC SYSTEMS, INTERPACK, 2011, Portland, OR. **Proceedings...** San Jose, CA: Cisco Systems Inc., 2011. v.1, p.369-374.

JONES W.M. An application of Manufacturing Readiness Levels to a satellite program. In: SAMPE INTERNATIONAL SYMPOSIUM AND EXHIBITION - EMERGING OPPORTUNITIES: MATERIALS AND PROCESS SOLUTIONS, 2012, Baltimore, MD. **Proceedings...** Newtown, PA: Lockheed Martin Corporation, 2012. p.11.

JUNG, K.; KULVATUNYOU, B.; CHOI, S.; BRUNDAGE, M.P. An overview of a smart manufacturing system readiness assessment. In: IFIP WG 5.7 INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCES IN PRODUCTION MANAGEMENT SYSTEMS, APMS, 2016, Iguassu Falls. **Proceedings...** Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology (NIST), 2016. v.488, p.705-712.

JURIST, J. Commercial suborbital sounding rocket market: a role for reusable launch vehicles. **Astropolitics: The International Journal of Space Politics & Policy**, v. 7, n. 1, p. 32-49, mar. 2009.

KARR, D. In defense, a new focus on project management process. **Manufacturing Engineering**, v.154, n.9, p.115-117, 2015.

KASEMODEL, C. A. VSB-30: o primeiro foguete brasileiro certificado. **Revista Associação Aeroespacial Brasileira**, n. 3, indicar p. 5, jan-mar 2010.

KUEHN, I.; CORDIER, J.; BAYLARD, C.; KOTAMAKI, M.; PATISSON, L.; REICH, J.; RING, W. Management of the ITER buildings configuration for the construction and installation phase. In: IEEE Symposium on Fusion Engineering, SOFE, 26., 2015, Austin, TX. **Proceedings...** Paul-lez-Durance Cedex: ITER Organization, may 2016.

LALL, Sanjaya. A mudança tecnológica e industrialização nas economias de industrialização recente da Ásia: conquistas e desafios. In: KIM, L; NELSON, R. R. **Tecnologia, aprendizado e inovação: as experiências das economias de industrialização recente**. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2005. cap. 2, p. 29.

LAMBERT, J.M.; DE MONTIGNY, M.; PERRON, C. CAM-Based Planning, Programming and Execution of Large-Scale Machining Operations by a Robot-Mounted Gantry System. **SAE International Journal of Materials and Manufacturing**, v.5, n.1, p.30-40, 2012.

LINDSAY, D.; BANGS, J.W.; VAMPOLA, J.; JAWORSKI, F.; MEARS, L.; WYLES, R.; ASBROCK, J.; NORTON, E.; REDDY, M.; RYBNICEK, K.; LEVY, A.; MALONE, N.R. Large format high operability low cost infrared focal plane array performance and capabilities. In: SPIE INFRARED REMOTE SENSING AND INSTRUMENTATION, 2011, San Diego, CA. **Proceedings...** Goleta, CA: Raytheon Vision Systems, 2011. v.8154.

LOUBYCHEV, D.; FASTENAU, J.M.; KATTNER, M.; FREY, P.; LIU, A.W.K.; FURLONG, M.J. Large-format multi-wafer production of 5" GaSb-based photodetectors by molecular beam epitaxy. In: SPIE Infrared Technology and Applications, 2017, Anaheim. **Proceedings...** Bethlehem, PA: IQE IR, 2017. v.10177.

MA, K.; WANG, K. A generalized technology readiness level model for space program. In: INTERNATIONAL ASTRONAUTICAL CONGRESS, 67., 2016, Guadalajara. **Proceedings...** Beijing: China Academy of Aerospace Systems Science and Engineering, 2016.

MA, K.; WANG, K. Generalized technology readiness level model. **Xitong Gongcheng Lilun yu Shijian/System Engineering Theory and Practice**, v.37, n.3, p.735-741, 2017.

MADISON, J.C.; HAYES, J.C.; KELLER, D.T.; LOMBARDO, N.J. Combining systems engineering with Technology and Manufacturing Readiness Levels to advance research and development. In: IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SYSTEMS ENGINEERING, 1., 2015, Rome. **Proceedings...** Richland, WA: Pacific Northwest National Laboratory, 2015. p.481-488.

MASSALI, F. Primeiro satélite brasileiro inicia operações e fica sob responsabilidade da FAB. **Agência Brasil**. Brasília, 2017, disponível em <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2017-07/primeiro-satelite-brasileiro-inicia-operacoes-e-fica-sob-responsabilidade-da>>, acessado em 12 de setembro, 2017

MATOS, P. O. Sistemas espaciais voltados para a Defesa. In: AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL (Org.). **Mapeamento da base industrial de Defesa**. Brasília, DF: IPEA, 2016. cap. 7, p. 509-595.

MAZUL I.V., BELYAKOV V.A., GINIATULIN R.N., GERVASH A.A., KUZNETSOV V.E., MAKHANKOV A.N., SIZENEV V.S. Preparation to manufacturing of ITER plasma facing components in Russia. **Fusion Engineering and Design**, v.86, n. 6-8, p.576-579, 2011.

MIAO, X.; ZHANG, Q.; WANG, L.; JIANG, H.; QI, H. Application of riblets on turbine blade endwall secondary flow control. **Journal of Propulsion and Power**, v.31, n.6, p.1578-1585, 2015.

MONTGOMERY, W.; McCLELLAND, A.; URE, D.; ROTH, J.; ROBINSON, A.P.G. Irresistible Materials multi-trigger resist: The journey towards high volume manufacturing readiness. In: SPIE EXTREME ULTRAVIOLET (EUV) LITHOGRAPHY, 2017, San Jose. **Proceedings...** Swansea: Irresistible Materials Ltd, 2017. v.10143.

MORGAN, J. **Manufacturing Readiness Levels (MRLs) and Manufacturing Readiness Assessments (MRAs)**. Wright Patterson AFB, OH: AFRL/RXMT, 2008.

NASA. **NASA Space Flight Program and project management requirements**. Washington, DC, 2012. (NPR 7120.5).

NASA. **NASA Systems engineering processes and requirements**. Washington, DC, 2013. (NPR 7123.1).

NASA. **NASA Systems Engineering Handbook**. Washington, DC, 2007.

OLECHOWSKI, A.; EPPINGER, S. D.; JOGLEKAR, N. Technology Readiness Levels at 40: a study of state-of-the-art use challenges, and opportunities. In: Portland International Conference on Management of Engineering and Technology Conference, 2015, Portland. **Proceedings...** Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology, 2015.

ORTEGA, N.; PLAZA, S.; CELAYA, A.; DE LACALLE, L.N.L.; SÁNCHEZ, J.A.; LAMIKIZ, A. Aeronautics advanced manufacturing center, the bet to surpass the valley of death between university and company. In: MATERIALS SCIENCE FORUM, 2016, Cadiz. **Proceedings...** Bilbao: Faculty of Engineering of Bilbao, 2017. p.56-62.

PADEN L.A., BANGS J.W., EMERSON R.M., OLSHOVE R.M., NORTON E.M., GARNETT D.A., SMITH E., GARVINE K.A., PETERSON J.M., REDDY M. Achieving manufacturing readiness for 6-inch HgCdTe on silicon. **Journal of Electronic Materials**, v.39, n.7, p.1007-1014, 2010.

PAHUD O., HOSTE D. A Novel Approach for Technology Development: A Success Story. **SAE International Journal of Aerospace**, v.6, n.1, p.335-341, 2013.

PALMÉRIO, A. F. **Introdução à tecnologia de foguetes**. São José dos Campos, SP: SindCT, 2016. 304p.

PETERS, S. A readiness level model for new manufacturing technologies. **Production Engineering**, v.9, n.5-6, p.647-654, Dec 2015.

RAHMAN A., SHI H., LI Z., IBBOTSON D., RAMASWAMI S. Design and manufacturing enablement for three-dimensional (3D) integrated circuits (ICs). In: ANNUAL CUSTOM INTEGRATED CIRCUITS CONFERENCE, 34., 2012, San Jose, CA. **Proceedings...** San Jose, CA: Altera Corporation, 2012.

RATNASINGAM J., MACPHERSON T.H., IORAS F. An assessment of Malaysian wooden furniture manufacturers' readiness to embrace chain of custody (COC) certification. **Holz als Roh - und Werkstoff**, v.66, n.5, p.339-343, 2008.

ROCHA, D. **Uma adaptação da norma NBR ISSO 16290:2015 aplicada em projetos do Setor Aeroespacial**. 2016. 120 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologias Espaciais, área de Sistemas Espaciais, Ensaios e Lançamentos) – Instituto Tecnológico da Aeronáutica, São José dos Campos, SP.

ROSS, S. Application of System and Integration Readiness Levels to Department of Defense Research and Development. **Defense ARJ**, v. 23, n. 3, p. 248–273, July 2016.

SANTOS, B. V.; MARSHALL, P. M.; DARUIZ, V. T. Avaliação dos atrasos dos contratos industriais dos Programas CBERS e Amazônia e o Grau de Maturidade Tecnológica (TRL) e de Fabricação (MRL). In: WORKSHOP EM ENGENHARIA E TECNOLOGIA ESPACIAIS, 4., 2013, São José dos Campos, SP. **Anais...** São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2013.

SAUSER, B.; RAMIREZ-MARQUES, J.; VERMA, D.; GOVE, R. From TRL to SRL: the concept of Systems Readiness Levels. In: CONFERENCE ON SYSTEMS ENGINEERING RESEARCH, 2006, Los Angeles, CA. **Proceedings...** Hoboken, NJ: Stevens Institute of Technology, 2006.

SATELLITE INDUSTRY ASSOCIATION. **State of the satellite industry report**. Washington, DC, 2017.

SATELLITE INDUSTRY ASSOCIATION. **State of the satellite industry report**. Washington, DC, 2014.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**. 4a ed. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2005. 138p.

SILVEIRA, V. Foguete brasileiro recebe certificação. **Jornal Valor Econômico**, São Paulo, 27 jul. 2009.

SMOLKO J., WHELAN C.S., MACDONALD C., KRAUSE J., MIKESSELL B., BENEDEK M. Raytheon title III gallium nitride (GaN) production program. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPOUND SEMICONDUCTOR MANUFACTURING TECHNOLOGY, CS MANTECH, 28., 2013, New Orleans, LA. **Proceedings...**, Waltham, MA: Raytheon Company, 2013. p.87-90.

SOMERVELL M., GRONHEID R., HOOGE J., NAFUS K., DELGADILLO P.R., THODE C., YOUNKIN T., MATSUNAGA K., RATHSACK B., SCHEER S., NEALEY P. Comparison of directed self-assembly integrations. In: SPIE ADVANCES IN RESIST MATERIALS AND PROCESSING TECHNOLOGY, 2012, San Jose, CA. **Proceedings...** Austin, TX: Tokyo Electron America, 2012. v.8325.

STAMMINGER, A.; ALTENBUCHNER, L.; ETTL, J.; HORSCHGEN-EGGERS, M.; JUNG, W.; TURNER, P. DLR's Mobile Rocket Base: flight tickets for your microgravity experiments. In: INTERNATIONAL ASTRONAUTICAL CONGRESS, 64., 2013. Beijing, China. **Proceedings...** Oberpfaffenhofen: DLR, 2013.

STANLEY, G. **Manufacturing Readiness Levels**. Wright Patterson AFB, OH: AFRL/RXMT, 2010.

TANG V.; OTTO K.N. Multifunctional enterprise readiness: Beyond the policy of build-test-fix cyclic rework. In: ASME INTERNATIONAL DESIGN ENGINEERING TECHNICAL CONFERENCES AND COMPUTERS AND INFORMATION IN ENGINEERING CONFERENCE, 2009, San Diego, CA. **Proceedings...** Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology, 2010. v.8, part b, p.1187-1195.

TUCKER B.; PAXTON J. SCRL-model for human space flight operations enterprise supply chain. In: IEEE AEROSPACE CONFERENCE, 2010, Big Sky, MT. **Proceedings...** Huntsville, AL: University of Alabama, 2010.

UNITED STATES. Government Accountability Office. **10-436 Best Practices: DoD Can Achieve Better Outcomes by Standardizing the Way Manufacturing Risks Are Managed**. Washington DC. Abril, 2010

WEELER, D.; ULSH, M. **Manufacturing readiness assessment for fuel cell stacks and systems for the back-up power and material handling equipment emerging markets.** Colorado: NREL National Renewable Energy Laboratory, 2010.

WEELER, D.; ULSH, M. Manufacturing readiness and cost impacts for PEM stack and balance of plant. **ECS Transactions**, v.64, n.3, p.897-908, 2014.

WEI, F.; SMET, V.; SHAHANE, N.; LU, H.; SUNDARAM, V.; TUMMALA, R. Ultra-Precise Low-Cost Surface Planarization Process for Advanced Packaging Fabrications and Die Assembly: A Survey of Recent Investigations on Unit Process Applications and Integrations. In: IEEE ELECTRONIC COMPONENTS AND TECHNOLOGY CONFERENCE, 66., 2016, Las Vegas. **Proceedings...** Tokyo: DISCO Corporation, 2016. p.1740-1745.

WENG, M.H.; CLARK, D.T.; WRIGHT, S.N.; GORDON, D.L.; DUNCAN, M.A.; KIRKHAM, S.J.; IDRIS, M.I.; CHAN, H.K.; YOUNG, R.A.R.; RAMSAY, E.P.; WRIGHT, N.G.; HORSFALL, A.B. Recent advance in high manufacturing readiness level and high temperature CMOS mixed-signal integrated circuits on silicon carbide. **Semiconductor Science and Technology**, v.32, n.5, art n.54003, 2017.

WIRATMADJA, I.I.; MUFID, A. The Development of Model for Measuring Railway Wheels Manufacturing Readiness Level. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2016, Kuala Lumpur. **Proceedings...** Bandung: Bandung Institute of Technology, 2016. v.114, n.1, 2016.

YASSUDA, I. S. **Artefatos de Categorização de Projetos Espaciais e Seleção de Metodologias de Gestão.** 2013. 122f. Tese (Doutorado em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Gerenciamento de Sistemas Espaciais) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2013.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e método.** 2. ed. São Paulo: Bookman, 2001.

Apêndice A – Questionário MRL adaptado

Tabela A-1 Questões da avaliação de MRL – níveis 1 a 3

MRL	Áreas de Conhecimento	Desdobramento Área de Conhecimento	Questão
1	B - Design	B.2 - Maturidade do Design	As oportunidades de pesquisa de fabricação foram identificadas?
	C - Custo e Recursos Financeiros	C.2 - Análise de Custo	As implicações de custo de fabricação foram identificadas?
		C.3 - Orçamento e Investimento para Fabricação	As possíveis fontes de investimento foram identificadas?
	D - Materiais	D.1 - Maturidade dos Materiais	As propriedades de materiais foram identificadas para pesquisas?
2	A - Base Industrial e Tecnologia de Fabricação	A.2 - Tecnologia de Fabricação	Novos conceitos de fabricação e potenciais soluções foram identificadas?
	B - Design	B.2 - Maturidade do Design	Aplicações foram definidas?
			Grandes objetivos de desempenho foram identificados de forma a gerar as opções de fabricação?
	C - Custo e Recursos Financeiros	C.1 - Conhecimento do Custo de Produção	A abordagem do modelo de custo foi definida?
		C.2 - Análise de Custo	Os elementos de custo foram identificados?
		C.3 - Orçamento e Investimento para Fabricação	O programa/projeto tem estimativas orçamentárias razoáveis obtidas através experimentos?
	D - Materiais	D.1 - Maturidade dos Materiais	As propriedades e características dos materiais foram estimadas?
		D.2 - Disponibilidade	A disponibilidade de material foi avaliada?
	E - Capabilidade e Controle do Processo	E.1 - Modelamento e Simulação	Uma avaliação inicial dos potenciais requisitos regulamentares e preocupações especiais de manipulação foi concluída?
			Os modelos iniciais foram desenvolvidos, se aplicável?
		E.2 - Maturidade do Processo de Fabricação	Foram identificadas abordagens de materiais e/ou processos?
	A - Base Industrial e Tecnologia de Fabricação	A.1 - Base Industrial	Foram identificadas as fontes de fabricação das tecnologias necessárias? (conhece o "estado da arte")
A.2 - Tecnologia de Fabricação		As tecnologias de fabricação foram identificadas por meio de experimentos ou modelos?	
B.1 - Produtibilidade		Os materiais/processos relevantes foram avaliados para a habilidade de fabricação usando experimentos ou modelos?	
		Os requisitos de ciclo de vida do produto e requisitos técnicos estão sendo avaliados?	
B - Design	B.2 - Maturidade do Design	Os requisitos de desempenho de nível superior foram definidos?	
		Os trade offs nas opções de design foram avaliados com base em experimentos?	
C - Custo e Recursos Financeiros	C.1 - Conhecimento do Custo de Produção	Foi desenvolvido modelo de custo inicial com base em experimentos?	
		Os objetivos custo foram identificados?	
	C.2 - Análise de Custo	Foi realizada uma análise de sensibilidade dos drivers de custo para definir a estratégia de desenvolvimento de produção?	
	C.3 - Orçamento e Investimento para Fabricação	O programa/projeto tem estimativas orçamentárias razoáveis para iniciar a revisão de requisitos do sistema (SRR)?	
D - Materiais	D.1 - Maturidade dos Materiais	As propriedades dos materiais foram validadas e avaliadas quanto à fabricação básica usando experimentos?	
	D.2 - Disponibilidade	Foram identificados problemas de ampliação de escala dos materiais?	
	D.3 - Gestão da Cadeia de Suprimentos	Foi concluída uma avaliação inicial da potencial capacidade da cadeia de suprimentos?	
	Alguns possíveis tratamentos especiais aplicados no laboratório?		
E - Capabilidade e Controle do Processo	E.1 - Modelamento e Simulação	Foram avaliadas preocupações de manipulação especial?	
		Uma avaliação inicial dos potenciais requisitos regulamentares e preocupações especiais de manipulação foi concluída?	
E.2 - Maturidade do Processo de Fabricação	Os conceitos de fabricação propostos ou as necessidades de produtividade foram identificadas com base em modelos de processo de alto nível?		
	Os processos de fabricação críticos foram identificados por meio de experimentação?		
G - Pessoas	G.1 - Mão-de-obra de fabricação	Os processos de fabricação de alto nível foram documentados?	
		As novas habilidades de fabricação foram identificadas?	
H - Instalações	H.2 - Infraestrutura	Foram avaliadas as habilidades de fabricação necessárias para produzir, testar e apoiar os conceitos propostos?	
		Foram identificados requisitos/necessidades de instalações especializadas?	

Tabela A-2 Questões da avaliação de MRL – nível 4

MRL	Áreas de Conhecimento	Desdobramento Área de Conhecimento	Questão	
4	A - Base Industrial e Tecnologia de Fabricação	A.1 - Base Industrial	Foram identificadas a capacidade da base industrial, lacunas e riscos para os componentes e/ou processos chave?	
		A.2 - Tecnologia de Fabricação	A ciência de fabricação pertinente e avançadas tecnologias de fabricação foram identificadas?	
	B - Design	B.1 - Produtibilidade	As avaliações iniciais de produtividade e de fabricação dos conceitos de sistemas preferidos foram concluídas?	
			Os resultados da avaliação da produtividade e de fabricação estão sendo refletidos nos principais componentes/tecnologias do produto?	
		B.2 - Maturidade do Design	Os resultados da avaliação de produtividade e de fabricação estão sendo considerados na seleção dos conceitos de design preferidos?	
			As características de sistema e medidas para suportar as capacidades necessárias foram identificadas?	
	C - Custo e Recursos Financeiros	C.1 - Conhecimento do Custo de Produção	Foi desenvolvido modelo de custo com base em variáveis de processo? Foram identificados os principais drivers de custos de fabricação, material e requisitos especializados?	
		C.2 - Análise de Custo	Os riscos do custo do produto ficar acima do mercado foram avaliados?	
		C.3 - Orçamento e Investimento para Fabricação	A estimativa de custo inclui o investimento de capital para equipamentos de produção em ambiente relevante?	
			As iniciativas de tecnologia de fabricação foram identificadas para reduzir custos?	
		D - Materiais	D.1 - Maturidade dos Materiais	O programa tem uma estimativa orçamentária razoável para se iniciar a revisão preliminar do projeto (PDR)? Os materiais projetados foram produzidos em um ambiente de laboratório?
			D.2 - Disponibilidade	As quantidades de materiais e os prazos de entrega foram estimados? Os lead times projetados foram identificados para todos os materiais difíceis de obter, difíceis de processar ou perigosos?
	D.3 - Gestão da Cadeia de Suprimentos			Foi concluída uma pesquisa para identificar potenciais fontes da cadeia de suprimentos?
	D.4 - Manuseio Especial		As preocupações de manipulação especial foram avaliadas?	
		Os procedimentos de manipulação especial foram aplicados no laboratório?		
		Requisito de manipulação especial foram identificados? Uma lista de materiais perigosos foi atualizada?		
	E - Capabilidade e Controle do Processo	E.1 - Modelamento e Simulação	O modelamento da produção e as abordagens de simulação para processo ou produto foram identificadas?	
		E.2 - Maturidade do Processo de Fabricação	Foi realizada uma pesquisa para determinar o estado atual dos processos críticos?	
	F - Gestão da Qualidade	F.1 - Sistema de Gestão de Qualidade	Foi identificada uma estratégia de qualidade?	
		F.2 - Qualidade do Produto	Foi identificada estratégias de inspeção de produtos e testes de aceitação?	
F.3 - Gestão da Qualidade do Fornecedor		Os riscos e a capacidade de qualidade da base de fornecedores potencial estão identificados (incluir a gestão de qualidade dos fornecedores dos níveis inferiores)? Foi determinada a disponibilidade de mão-de-obra de desenvolvimento de processo para a fase de maturação tecnológica e redução de risco?		
G - Pessoas	G.1 - Mão-de-obra de fabricação	Os conjuntos de habilidades de fabricação foram identificados? Os requisitos da força de trabalho de produção (técnica e operacional) foram avaliados como parte da fase de análise de alternativas?		
H - Instalações	H.1 - Equipamentos e Ferramentas	Os requisitos de equipamentos, ferramentas e equipamentos especiais de teste e de inspeção são considerados como parte da fase de análise de alternativas?		
	H.2 - Infraestrutura	A disponibilidade de instalações de fabricação para desenvolvimento e produção de protótipos foi avaliada como parte da fase de Análise de Alternativas?		
I - Gestão da Fabricação	I.1 - Planejamento e Programação da Fabricação	A estratégia de fabricação foi desenvolvida e integrada com uma estratégia de aquisição?		
		Os esforços de mitigação do risco do cronograma do protótipo foram incorporados na Estratégia de Aquisição?		
	I.2 - Planejamento de Materiais	A lista de materiais de componentes do desenvolvimento de tecnologia foi desenvolvida com estimativas de lead time associadas?		

Tabela A-3 Questões da avaliação de MRL – nível 5

MRL	Áreas de Conhecimento	Desdobramento Área de Conhecimento	Questão
5	A - Base Industrial e Tecnologia de Fabricação	A.1 - Base Industrial	Foi iniciada a avaliação da capacidade da base industrial para identificar potenciais fornecedores para entregar a capacidade requerida?
			Foram identificados fornecedores de tecnologias únicas ou estrangeiros com potenciais problemas de obsolescência?
			Foram iniciados planos para minimizar riscos associados a fornecedores únicos/estrangeiros?
		A.2 - Tecnologia de Fabricação	Os esforços para desenvolvimento da tecnologia de fabricação requerida foram iniciados conforme o caso?
			As avaliações de produtividade e de fabricação dos componentes/tecnologias principais foram iniciadas conforme apropriado?
	B - Design	B.1 - Produtibilidade	As eventuais alterações de design em andamento consideram processos de fabricação e restrições de capacidade da base industrial?
			A avaliação das características-chave de design foi iniciada?
			As tecnologias e componentes habilitadores/críticos consideram o ciclo de vida do produto?
		B.2 - Maturidade do Design	Os dados do produto necessários para a fabricação de componentes do protótipo foram disponibilizados?
			Os requisitos de desempenho de nível inferior são suficientes para proceder ao projeto preliminar?
			Todos os tecnologias e componentes habilitadores/críticos são identificados?
	C - Custo e Recursos Financeiros	C.1 - Conhecimento do Custo de Produção	Existe um modelo de custo realista que inclua materiais, mão-de-obra, equipamentos, ferramentas, equipamentos de teste especiais, setup, rendimento, sucata, retrabalho e restrições de capacidade e capacidade?
			As decisões sobre escolhas de design ou make/buy são influenciadas pelos modelos de custo?
			Os custos são analisados usando componentes reais do protótipo para garantir que os objetivos de custos sejam realizáveis?
		C.2 - Análise de Custo	O programa tem uma estimativa orçamentária atualizada para se iniciar a revisão preliminar do projeto (PDR)?
			Os esforços de maturação estão em vigor para abordar novos riscos de fornecimento de materiais para a demonstração de tecnologia?
			Todos os materiais foram fabricados ou produzidos em um ambiente de protótipo (pode ser numa aplicação/programa similar)?
	D - Materiais	D.1 - Maturidade dos Materiais	Os principais riscos de fornecimento de materiais foram identificados para todos os materiais?
			Os problemas de disponibilidade de material foram abordados para a construção do protótipo?
			As potenciais fontes da cadeia de suprimentos foram identificadas e avaliadas como capazes de suportar a construção do protótipo?
	D.2 - Disponibilidade	Foi concluída uma pesquisa para identificar potenciais fontes da cadeia de suprimentos?	
		Novos processos de manipulação especial foram demonstrados em ambiente de laboratório?	
		Os procedimentos de manipulação especial foram aplicados no ambiente de produção relevante?	
	D.3 - Gestão da Cadeia de Suprimentos	Todos os requisitos de manipulação especial foram identificados?	
		Os modelos de simulação iniciais (produto ou processo) foram desenvolvidos no nível de componente e usados para determinar restrições?	
		A maturidade do processo foi avaliada em linhas de produção similares?	
E - Capacidade e Controle do Processo	E.1 - Modelamento e Simulação	Os requisitos de capacidade de processo foram identificados para o ambiente de produção?	
		E.2 - Maturidade do Processo de Fabricação	Os requisitos de capacidade de processo foram identificados para o ambiente de produção?
		F.1 - Sistema de Festão de Qualidade	A estratégia de qualidade foi atualizada para refletir as atividades de identificação de características chave?
F - Gestão da Qualidade	F.2 - Qualidade do Produto	Foram identificados controles estatísticos de processo para unidades de protótipos?	
		Foram identificados papéis e responsabilidades para procedimentos de teste de aceitação e inspeções de processo e finais?	
		F.3 - Gestão da Qualidade do Fornecedor	Os riscos e a capacidade de qualidade da base de fornecedores potencial estão identificados (incluindo a gestão de qualidade dos fornecedores dos níveis inferiores)?
G - Pessoas	G.1 - Mão-de-obra de fabricação	As habilidades necessárias para a força de trabalho foram identificados para atender às necessidades de produção de protótipos?	
		Os planos para as habilidades identificadas foram desenvolvidos para atender às necessidades de produção de protótipo?	
		Os requisitos de certificação de habilidades especiais e treinamento foram estabelecidos?	
H - Instalações	H.1 - Equipamentos e Ferramentas	A justificativa de apoio e um cronograma foram fornecidos para os requisitos de equipamentos, ferramentas e equipamentos especiais de teste e de inspeção?	
		Os requisitos de equipamentos, ferramentas e equipamentos especiais de teste e de inspeção foram identificados?	
		H.2 - Infraestrutura	As instalações de fabricação foram identificadas para produção de protótipos?
I - Gestão da Fabricação	I.1 - Planejamento e Programação da Fabricação	Os planos para as instalações de fabricação identificadas foram desenvolvidos para produzir protótipos?	
		I.2 - Planejamento de Materiais	A estratégia de fabricação foi refinada com base no conceito preferido?
		Os esforços de mitigação de risco do cronograma do protótipo foram iniciados?	
			A lista de materiais do desenvolvimento de tecnologia está atualizada?
			As avaliações de make or buy levam em consideração as necessidades da linha de produção piloto, produção inicial de baixa escala e produção de escala total?
			Avaliações de make or buy iniciaram?

Tabela A-4 Questões da avaliação de MRL – nível 6

MRL	Áreas de Conhecimento	Desdobramento Área de Conhecimento	Questão
6	A - Base Industrial e Tecnologia de Fabricação	A.1 - Base Industrial	A base industrial está a ponto de suportar a fabricação de componentes do produto? Os planos para minimizar as fontes únicas/estrangeiras e os problemas de obsolescência foram concluídos?
		A.2 - Tecnologia de Fabricação	Os potenciais fornecedores alternativos foram identificadas? As requeridas soluções de desenvolvimento das tecnologias de fabricação foram demonstradas num ambiente de produção incipiente?
	B - Design	B.1 - Produtibilidade	As avaliações de produtividade e estudos de balanceamento da produtividade (performance x produtividade) das principais tecnologias/componentes foram concluídos? As escolhas de design preliminares são avaliadas em relação aos processos de fabricação e às restrições da capacidade da base industrial?
			Os esforços de melhoria da produtividade (por exemplo, design para fabricação and design para montagem) foram iniciados?
		B.2 - Maturidade do Design	As características-chave do projeto preliminar foram definidas e os planos de mitigação estão em desenvolvimento? As especificações de desempenho do sistema foram estabelecidas?
			Os dados do produto essenciais para a prototipagem do subsistema / sistema foram disponibilizados? Os requisitos e características do produto estão bem definidos para suportar a revisão preliminar do projeto (PDR)? Todas as tecnologias/componentes habilitadores/críticos foram demonstrados?
	C - Custo e Recursos Financeiros	C.1 - Conhecimento do Custo de Produção	O modelo de custo foi atualizado com requisitos de design, especificações de materiais, tolerâncias, programação integrada, resultados de simulações de sistema/subsistema e demonstrações de protótipo relevantes para produção?
		C.2 - Análise de Custo	Foram desenvolvidas estratégias de redução e prevenção de custos? Os custos são analisados usando protótipos reais do sistema/sub-sistema para garantir que os objetivos de custos sejam alcançáveis?
		C.3 - Orçamento e Investimento para Fabricação	O programa tem uma estimativa orçamentária inicial razoável para implantar linha de produção piloto?
	D - Materiais	D.1 - Maturidade dos Materiais	A maturidade dos materiais foi verificada com artigos de demonstração tecnológica? As especificações preliminares de materiais foram definidas? As propriedades dos materiais foram adequadamente caracterizadas?
		D.2 - Disponibilidade	Foram avaliados riscos futuros em relação a diminuição de fornecedores de componentes e falta de materiais para componentes? Os itens de longo prazo para componentes críticos foram identificados? Os problemas potenciais de obsolescência foram identificados?
		D.3 - Gestão da Cadeia de Suprimentos	Os requisitos da cadeia de suprimentos e a lista de fornecedores críticos estão atualizados?
		D.4 - Manuseio Especial	Os planos para tratamento das lacunas de requisitos de manipulação especial foram concluídos? Procedimentos de manipulação especial foram aplicados num ambiente relevante de produção?
	E - Capabilidade e Controle do Processo	E.1 - Modelamento e Simulação	Os modelos de simulação iniciais foram desenvolvidos no nível de tecnologia de subsistema ou sistema e usados para determinar as restrições do sistema? Foi iniciada a coleta ou estimativa de dados da capacidade do processo da construção do protótipo iniciado e os requisitos de capacidade do processo foram refinados?
		E.2 - Maturidade do Processo de Fabricação	Os processos de fabricação chave foram demonstrados num ambiente de produção relevante?
	F - Gestão da Qualidade	F.1 - Sistema de Gestão de Qualidade	Existe um Plano de Qualidade inicial e um Sistema de Gerenciamento de Qualidade em vigor? Riscos de qualidade e métricas adequadas foram identificadas e planos de melhoria iniciados?
		F.2 - Qualidade do Produto	A abordagem de gestão de características chave foi definida? Os procedimentos de inspeção e aceitação adequados foram identificados para unidades de protótipos? Os requisitos para procedimentos de teste de aceitação e requisitos de inspeção de processo foram definidos?
			F.3 - Gestão da Qualidade do Fornecedor
	G - Pessoas	G.1 - Mão-de-obra de fabricação	As habilidades da mão-de-obra de fabricação estão disponíveis para um ambiente de produção incipiente? Existem planos iniciais para alcançar os requisitos de quantidade e habilidades de recursos para ambiente de produção piloto? Foram identificados recursos (quantidades e habilidades) para atingir os requisitos de ambiente de produção piloto?
	H - Instalações	H.1 - Equipamentos e Ferramentas	Foram definidos os requisitos de equipamentos de produção? O protótipo de equipamentos e ferramentas foram demonstrados num ambiente de produção incipiente?
		H.2 - Infraestrutura	Foram definidas as instalações de fabricação para o ambiente de produção piloto? Foram desenvolvidos os planos para a implantação das instalações de fabricação do ambiente de produção piloto?
	I - Gestão da Fabricação	I.1 - Planejamento e Programação da Fabricação	A abordagem de fabricação inicial foi desenvolvida? Foi definida a abordagem de mitigação do risco de fabricação para o ambiente de produção piloto? Foram definidos todos os eventos de fabricação do produto?
		I.2 - Planejamento de Materiais	Foi iniciada a elaboração da estrutura de produtos? Parte das decisões de make or buy foram tomadas?

Tabela A-5 Questões da avaliação de MRL – nível 7

MRL	Áreas de Conhecimento	Desdobramento Área de Conhecimento	Questão	
7	A - Base Industrial e Tecnologia de Fabricação	A.1 - Base Industrial	A capacidade industrial para apoiar a produção foi analisada? A estabilidade de todos fornecedores únicos ou estrangeiros e os problemas de obsolescência estão sendo avaliados ou monitorados? Existe um plano para desenvolvimento de fornecedores de tecnologias críticas cujas fontes sejam únicas ou estrangeiras?	
		A.2 - Tecnologia de Fabricação	As requeridas soluções de desenvolvimento de tecnologias de fabricação foram demonstradas num ambiente de produção representativo?	
		B.1 - Produtibilidade	Os esforços para melhoria da produtividade (por exemplo, design para fabricação and design para montagem) estão em andamento para um sistema integrado e otimizado? Foram identificados os potenciais riscos das características-chave?	
	B - Design	B.2 - Maturidade do Design	O design e características do produto estão bem definidos para suportar a revisão crítica do projeto (CDR), mesmo que mudanças de design possam ainda ser significativas? Os problemas das características-chave do design preliminar foram definidos e os planos de mitigação estão em desenvolvimento? Todos os dados do produto essenciais para a fabricação de componentes foram disponibilizados?	
			C.1 - Conhecimento do Custo de Produção	O modelo de custo foi atualizado com os resultados dos sistemas/sub-sistemas produzidos em um ambiente representativo de produção, layout e design de planta de produção e soluções de obsolescência? Estão em curso estratégias de redução e prevenção de custos?
	C - Custo e Recursos Financeiros	C.2 - Análise de Custo	Os custos de fabricação foram definidos para o nível do sistema/sub-sistema e foram ajustados de forma a alcançar objetivos de custo? Os estudos detalhados de alteração de design e os pedidos de mudança de engenharia são sustentados pelas estimativas de custos?	
			C.3 - Orçamento e Investimento para Fabricação	O programa tem uma estimativa orçamentária confiável para para implantar linha de produção piloto?
			D.1 - Maturidade dos Materiais	A maturidade dos materiais é suficiente para a implantação de linha de produção piloto? As características dos materiais necessários foram aprovadas? As aquisições de itens de longo prazo foram identificadas/planejadas para a início da produção?
	D - Materiais	D.2 - Disponibilidade	As estratégias de mitigação dos riscos de diminuição de fornecedores de componentes e falta de materiais para componentes estão em vigor? Um plano para mitigação de riscos de obsolescência de componentes está em vigor?	
			D.3 - Gestão da Cadeia de Suprimentos	Existe um processo efetivo e documentado para o gerenciamento de fornecedores usando métricas para rastrear e gerenciar o desempenho do fornecedor? Os procedimentos de manipulação especial foram aplicados num ambiente de produção representativo?
		D.4 - Manuseio Especial	Os procedimentos de manipulação especial foram desenvolvidos e disponibilizados em instruções de trabalho para o ambiente de produção? Os modelos de simulação foram usados para determinar as restrições do sistema e identificar oportunidades de melhoria?	
			E.1 - Modelamento e Simulação	Os processos de fabricação têm sido demonstrados com sucesso em um ambiente de produção representativo? Os requisitos de capacidade do processo foram refinados?
	E - Capabilidade e Controle do Processo	E.2 - Maturidade do Processo de Fabricação	Os requisitos de capacidade do processo foram refinados?	
		F.1 - Sistema de Gestão de Qualidade	As metas de qualidade foram estabelecidas? Está sendo desenvolvido um plano de qualidade para o programa específico? Os dados de qualidade do ambiente de produção representativo foram coletados e analisados e os resultados utilizados para moldar os planos de melhoria? Os planos de controle estão concluídos para gerenciamento de Características-chave? Os planos de teste e inspeção foram desenvolvidos? Existe uma estratégia delineada para auditorias de processos críticos dos fornecedores?	
F.2 - Qualidade do Produto	O sistema de gestão da qualidade dos principais fornecedores atendem aos padrões apropriados da indústria? Os dados de qualidade de unidades representativas de produção do fornecedor foram coletados e analisados?			
	F.3 - Gestão da Qualidade do Fornecedor		A mão-de-obra de fabricação da linha de produção piloto foi treinada num ambiente de produção representativo? Foram desenvolvidos planos para alcançar os requisitos da linha de produção piloto? Os planos foram atualizados para alcançar requisitos de mão-de-obra para o início de produção? Os requisitos de mão-de-obra de fabricação foram identificados para a linha de produção piloto?	
G - Pessoas	G.1 - Mão-de-obra de fabricação	Foram desenvolvidos planos para alcançar os requisitos da linha de produção piloto? Os planos foram atualizados para alcançar requisitos de mão-de-obra para o início de produção? Os requisitos de mão-de-obra de fabricação foram identificados para a linha de produção piloto?		
		H.1 - Equipamentos e Ferramentas	Foi desenvolvida uma estratégia de manutenção dos equipamentos de fabricação? Os esforços para design e desenvolvimento de equipamentos de produção estão em andamento? Foram definidas as instalações de fabricação para o ambiente de início de produção? Foram desenvolvidos os planos para a implantação das instalações de fabricação do ambiente início de produção? Instruções de trabalho iniciais foram desenvolvidas? O plano inicial de fabricação foi desenvolvido?	
H - Instalações	H.2 - Infraestrutura		Os riscos de fabricação foram integrados nos planos de mitigação de risco? Um sistema de controle de produção efetivo está em vigor para apoiar a linha de produção piloto? As decisões de make or buy e estrutura de produtos estão concluídas para o ambiente de produção piloto? Estão implementados sistemas de planejamento de materiais para a construção da linha piloto?	
		I.1 - Planejamento e Programação da Fabricação	As decisões de make or buy e estrutura de produtos estão concluídas para o ambiente de produção piloto? Estão implementados sistemas de planejamento de materiais para a construção da linha piloto?	
I - Gestão da Fabricação	I.2 - Planejamento de Materiais		Estão implementados sistemas de planejamento de materiais para a construção da linha piloto?	

Tabela A-6 Questões da avaliação de MRL – nível 8

MRL	Áreas de Conhecimento	Desdobramento Área de Conhecimento	Questão
A - Base Industrial e Tecnologia de Fabricação	A.1 - Base Industrial		As capacidades e habilidades da base industrial são adequadas para apoiar o início da produção?
			Todas os fornecedores únicos ou estrangeiros para tecnologias críticas foram identificados e existem planos de contingência caso haja indisponibilidade?
B - Design	B.1 - Produtibilidade	A.2 - Tecnologia de Fabricação	As requeridas soluções de desenvolvimento de tecnologias de fabricação foram validadas num linha de produção piloto?
			As melhorias na produtividade foram implementadas no projeto?
B.2 - Maturidade do Design			Os problemas conhecidos de produtividade foram resolvidos de forma a não apresentar risco significativo para o início da produção?
			As atuais mudanças de design tem impacto mínimo na produção inicial?
C - Custo e Recursos Financeiros	C.1 - Conhecimento do Custo de Produção		As características-chave do projeto são alcançáveis de acordo com as demonstrações da linha de produção piloto?
			O design detalhado das características do produto e das interfaces está completo?
			Todos os dados do produto essenciais para a fabricação do sistema foram disponibilizados?
C.2 - Análise de Custo			O modelo de custo foi atualizado com os resultados da linha de produção piloto?
			A análise de custos de fabricação apoia as mudanças propostas em requisitos ou configuração?
			Os custos são analisados usando a linha de produção piloto real para garantir que os objetivos de custos sejam alcançáveis?
D.1 - Maturidade dos Materiais	C.3 - Orçamento e Investimento para Fabricação		Está disponível investimento necessário para início da produção?
			O programa tem uma estimativa orçamentária confiável para dar início à produção?
D.2 - Disponibilidade	D.1 - Maturidade dos Materiais		As especificações dos materiais estão estáveis?
			Os materiais foram testados e validados durante a fase de desenvolvimento para suportar a produção inicial?
D - Materiais	D.2 - Disponibilidade		As aquisições de itens de longo prazo foram iniciadas para o início da produção?
			Todos os riscos de disponibilidade de materiais estão minimizados para o início da produção?
		D.3 - Gestão da Cadeia de Suprimentos	A cadeia de suprimentos é adequada para suportar o início de produção?
			A conformidade do fornecedor com os requisitos do programa foi validada?
D.4 - Manuseio Especial	D.3 - Gestão da Cadeia de Suprimentos		Existe um processo verificação de requisitos robusto, disciplinado e em vigor?
			Os procedimentos de manipulação especial foram aplicados na linha de produção piloto?
E.1 - Modelamento e Simulação	D.4 - Manuseio Especial		Os procedimentos de manipulação especial foram demonstrados na fase de desenvolvimento ou em outros programas?
			Os riscos de manipulação especial foram minimizados para o início da produção?
E - Capabilidade e Controle do Processo	E.1 - Modelamento e Simulação		Todas as instruções de trabalho contém orientações para manipulação especial, quando necessário?
			Os modelos de simulação foram verificados por meio da linha de produção piloto?
E.2 - Maturidade do Processo de Fabricação	E.1 - Modelamento e Simulação		Os resultados da simulação foram usados para melhorar os processos e determinar se os requisitos para início de produção podem ser atendidos?
			Os dados de capacidade do ambiente de produção piloto atingem o objetivo do programa?
F.1 - Sistema de Gestão de Qualidade	E.2 - Maturidade do Processo de Fabricação		Os processos de fabricação para início de produção foram verificados na linha de produção piloto?
			Os requisitos de capacidade do processo para o início da produção foram refinados com base nos dados da linha de produção piloto?
F.2 - Qualidade do Produto	F.1 - Sistema de Gestão de Qualidade		As metas de qualidade foram alcançadas na linha de produção piloto e essas metas conduzem à melhoria contínua da qualidade?
			O plano de qualidade do programa e o Gerente de Qualidade foram estabelecidos?
F.3 - Gestão da Qualidade do Fornecedor	F.2 - Qualidade do Produto		As características-chave do produto são gerenciadas com procedimentos de medição e controles em vigor (por exemplo, CEP, relat análise falhas, auditorias, satisfação do cliente, etc.)?
			Os dados da linha de produção piloto atendem aos requisitos de capacidade para todas as características-chave do produto?
G.1 - Mão-de-obra de fabricação	F.3 - Gestão da Qualidade do Fornecedor		Os planos de teste e inspeção estão concluídos e validados para unidades de produção?
			Está em vigor um plano para auditorias de processos de fornecedores?
H.1 - Equipamentos e Ferramentas	G.1 - Mão-de-obra de fabricação		Os produtos dos fornecedores foram submetidos aos testes de qualificação?
			Os testes de aceitação dos fornecedores são adequados para início da produção?
H.2 - Infraestrutura	H.1 - Equipamentos e Ferramentas		A mão-de-obra de fabricação foi treinada no ambiente de produção piloto?
			Foram desenvolvidos planos para alcançar os requisitos para início da produção?
I.1 - Planejamento e Programação da Fabricação	H.2 - Infraestrutura		Os planos foram atualizados para alcançar requisitos de mão-de-obra para produção em regime?
			Os requisitos de mão-de-obra de fabricação foram identificados para o início da produção?
I.2 - Planejamento de Materiais	I.1 - Planejamento e Programação da Fabricação		A manutenção do equipamento de fabricação foi demonstrada num ambiente de produção piloto?
			Todos os equipamentos e ferramentas foram testados no ambiente de produção piloto?
I.2 - Planejamento de Materiais	I.2 - Planejamento de Materiais		Todos os requisitos de equipamentos e ferramentas foram identificados para o início da produção?
			A segurança do local de trabalho é adequada?
I.2 - Planejamento de Materiais	I.2 - Planejamento de Materiais		As instalações da linha de produção piloto foram demonstradas?
			As instalações de fabricação são adequadas para início da produção?
I.2 - Planejamento de Materiais	I.2 - Planejamento de Materiais		Existem planos em vigor para apoiar a transição para a produção em regime?
			As instruções de trabalho foram finalizadas?
I.2 - Planejamento de Materiais	I.2 - Planejamento de Materiais		O plano de fabricação está atualizado para o início de produção?
			O sistema de controle de produção efetivo está em vigor para suportar o início da produção?
I.2 - Planejamento de Materiais	I.2 - Planejamento de Materiais		Todos os principais riscos de fabricação foram identificados e avaliados e estão em planos de mitigação aprovados?
			As decisões de make or buy e estrutura de produtos estão concluídas para suportar o início de produção?
I.2 - Planejamento de Materiais	I.2 - Planejamento de Materiais		Os sistemas de planejamento de materiais foram testados no ambiente de produção piloto e estão prontos para o início da produção?

Tabela A-7 Questões da avaliação de MRL – nível 9

MRL	Áreas de Conhecimento	Desdobramento Área de Conhecimento	Questão
9	A - Base Industrial e Tecnologia de Fabricação	A.1 - Base Industrial	A base industrial está pronta para suportar a produção em larga escala?
		A.2 - Tecnologia de Fabricação	Existe mais de um fornecedor brasileiro para tecnologias críticas? Existe um sistema de melhoria contínua das tecnologias de fabricação em uso, a fim de reduzir tempo de montagem, reduzir custo ou aumentar segurança?
	B - Design	B.1 - Produtibilidade	As melhorias de produtividade foram analisadas quanto à eficácia durante o início da produção? Os problemas / riscos de produtividade descobertos na produção foram atenuados para produção em larga escala?
		B.2 - Maturidade do Design	As maior parte das características e configurações do design do produto estão estáveis? As mudanças de design estão limitadas a pequenas mudanças de configuração? No início da produção, as características-chave do design estão controladas dentro dos padrões de qualidade definidos? O design do sistema foi validado através de testes operacionais?
	C - Custo e Recursos Financeiros	C.1 - Conhecimento do Custo de Produção	O modelo de custo foi atualizado com dados reais do início da produção?
		C.2 - Análise de Custo	As iniciativas de redução de custo são sistemáticas? Os objetivos de custo de produção foram atendidos no início da produção e a curva de aprendizado foi analisada com base em dados reais?
		C.3 - Orçamento e Investimento para Fabricação	Todos os recursos necessários para dar início à produção já estão disponíveis (mão de obra, equipamentos, adaptações, etc) ?
	D - Materiais	D.1 - Maturidade dos Materiais	Os materiais foram validados de modo a suportar a produção em larga escala? Todos os materiais necessários foram testados e controlados de acordo com as especificações para o início da produção?
		D.2 - Disponibilidade	As aquisições de itens de longo prazo foram iniciadas para a produção em larga escala? Os riscos de disponibilidade estão minimizados para a produção em larga escala?
		D.3 - Gestão da Cadeia de Suprimentos	As métricas de gestão dos principais fornecedores estão em vigor e sendo usadas para gerenciar riscos? Os acordos de longo prazo estão em vigor caso necessário?
		D.4 - Manuseio Especial	Os procedimentos de manipulação especial foram aplicados e demonstrados em sua totalidade no ambiente de início de produção? Os riscos de manipulação especial foram minimizados para início da produção em larga escala?
	E - Capabilidade e Controle do Processo	E.1 - Modelamento e Simulação	Os modelos de simulação foram verificados no início da produção e usados para auxiliar o seu gerenciamento? Os resultados dos modelos de simulação foram usados para determinar se os requisitos da produção em regime podem ser atingidos?
		E.2 - Maturidade do Processo de Fabricação	Os processos de fabricação são estáveis, adequadamente controlados, capazes, e os processos de fabricação alcançaram objetivos do início de produção? A revisão de metas de qualidade é conduzida regularmente com a ação apropriada sendo tomada?
	F - Gestão da Qualidade	F.1 - Sistema de Festão de Qualidade	As metas de qualidade foram verificados no ambiente de início de produção? Os processos de melhoria contínua de qualidade estão em vigor?
		F.2 - Qualidade do Produto	Os dados da produção inicial demonstram que os processos de fabricação críticos para a qualidade são capazes e estão sob controle? A gestão da qualidade dos processos críticos de fabricação do fornecedor demonstram capacidade e controle necessárias para início da produção?
		F.3 - Gestão da Qualidade do Fornecedor	As auditorias de qualidade do fornecedor são realizadas sempre que necessário para garantir a conformidade da especificação do fornecedor? Os testes de aceitação dos fornecedores demonstram controle de qualidade adequados para produção em regime?
	G - Pessoas	G.1 - Mão-de-obra de fabricação	Os planos foram implementados para alcançar requisitos de mão-de-obra para produção em regime? Os requisitos da mão-de-obra de fabricação foram atendidos para início da produção? Foi demonstrado o cronograma de manutenção do equipamento de fabricação?
	H - Instalações	H.1 -Equipamentos e Ferramentas	Requisitos adicionais dos equipamentos e ferramentas para a produção em regime foram identificados? Todos os equipamentos e ferramentas foram demonstrados no ambiente de início de produção?
		H.2 - Infraestrutura	As instalações de fabricação foram demonstradas satisfatoriamente no ambiente de início de produção? Os planos para aumento de capacidade são adequados para a produção em regime? Existe um efetivo sistema de controle de produção em vigor para apoiar a produção em regime?
	I - Gestão da Fabricação	I.1 - Planejamento e Programação da Fabricação	O plano de fabricação foi atualizado para a produção em regime? Todos os riscos de fabricação foram rastreados e mitigados?
I.2 - Planejamento de Materiais		As decisões de make or buy e estrutura de produtos estão concluídas para suportar a produção em regime? O sistema de planejamento de materiais foi testado e aprovado no ambiente início de produção e é suficiente para a produção em regime?	

Tabela A-8 Questões da avaliação de MRL – nível 10

MRL	Áreas de Conhecimento	Desdobramento Área de Conhecimento	Questão
10	A - Base Industrial e Tecnologia de Fabricação	A.1 - Base Industrial	A base industrial suporta plenamente a produção em larga escala?
		A.2 - Tecnologia de Fabricação	As capacidades e habilidades da indústria espacial brasileira são avaliadas para suportar modificações, melhorias, e outros potenciais requisitos de manufatura?
	B - Design	B.1 - Produtibilidade	As melhorias de produtividade do design foram demonstradas na produção em larga escala? O processo de melhoria de produtividade de design está em vigor?
		B.2 - Maturidade do Design	Na produção em larga escala, as características-chave do design estão controladas dentro dos padrões de qualidade definidos? O design do produto está estável?
	C - Custo e Recursos Financeiros	C.1 - Conhecimento do Custo de Produção	O modelo de custo foi validado com dados reais da produção em larga escala?
		C.2 - Análise de Custo	As iniciativas de redução de custo são sistemáticas? Os objetivos de custo de produção foram alcançados na produção em larga escala?
		C.3 - Orçamento e Investimento para Fabricação	O orçamento de produção é suficiente para a fabricação do produto na escala definida?
	D - Materiais	D.1 - Maturidade dos Materiais	Todos os materiais foram aprovados dentro das especificações da produção em larga escala?
		D.2 - Disponibilidade	Todos os riscos significativos de disponibilidade de material foram tratados para a produção em larga escala?
		D.3 - Gestão da Cadeia de Suprimentos	A cadeia de suprimentos é estável e adequada para suportar a produção em larga escala?
		D.4 - Manuseio Especial	Os procedimentos de manipulação especial foram plenamente implementados na produção em larga escala?
	E - Capabilidade e Controle do Processo	E.1 - Modelamento e Simulação	Os modelos de simulação da produção tem sido usados como ferramenta na gestão da produção em larga escala? Os modelos de simulação têm sido verificados da produção em regime?
		E.2 - Maturidade do Processo de Fabricação	Os processos de fabricação são estáveis, adequadamente controlados, capazes, e os processos de fabricação alcançaram objetivos da produção em regime?
	F - Gestão da Qualidade	F.1 - Sistema de Gestão de Qualidade	As metas de qualidade foram verificados no ambiente de produção em regime?
		F.2 - Qualidade do Produto	Os resultados dos dados da qualidade refletem a melhoria contínua? Os resultados dos dados de qualidade alcançam o nível estatístico estipulado em todas as características-chave do design?
		F.3 - Gestão da Qualidade do Fornecedor	Os dados de qualidade do fornecedor demonstram gestão adequada de características-chave de materiais fornecidos e controle de seus processos de fabricação?
	G - Pessoas	G.1 - Mão-de-obra de fabricação	As habilidades da mão-de-obra de fabricação estão sendo mantidas? Os requisitos da mão-de-obra de fabricação foram atendidos para a produção em regime, incluindo certificações necessárias?
	H - Instalações	H.1 - Equipamentos e Ferramentas	O cronograma planejado de manutenção do equipamento de fabricação foi executado a contento? Os equipamentos e ferramentas validados estão prontos para suportar a produção em regime?
		H.2 - Infraestrutura	As capacidades de produção das instalações foram demonstradas de modo a atender os requisitos da produção em regime?
	I - Gestão da Fabricação	I.1 - Planejamento e Programação da Fabricação	Todos os riscos de fabricação foram mitigados?
I.2 - Planejamento de Materiais		O sistema de planejamento de materiais foi validado na produção em regime?	

FOLHA DE REGISTRO DO DOCUMENTO

1. CLASSIFICAÇÃO/TIPO <p style="text-align: center;">DM</p>	2. DATA <p style="text-align: center;">31 de julho de 2018</p>	3. REGISTRO N° <p style="text-align: center;">DCTA/ITA/DM-060/2018</p>	4. N° DE PÁGINAS <p style="text-align: center;">124</p>
5. TÍTULO E SUBTÍTULO: <p>Adaptação da metodologia para avaliação da maturidade de fabricação da indústria espacial brasileira</p>			
6. AUTOR(ES): <p>Marcílio Antonio Fernandes de Andrade</p>			
7. INSTITUIÇÃO(ÕES)/ÓRGÃO(S) INTERNO(S)/DIVISÃO(ÕES): <p>Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA</p>			
8. PALAVRAS-CHAVE SUGERIDAS PELO AUTOR: <p>1. Gestão Tecnológica. 2. Maturidade de Fabricação. 3. Maturidade Tecnológica. 4. MRL. 5. Gestão de Riscos.</p>			
9. PALAVRAS-CHAVE RESULTANTES DE INDEXAÇÃO: <p>Fabricação; Maturidade; Manufaturas; Gerenciamento de riscos; Indústria aeroespacial; Engenharia aeroespacial.</p>			
10. APRESENTAÇÃO: <p style="text-align: right;">X Nacional Internacional</p> <p>ITA, São José dos Campos. Curso de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologias Espaciais. Área de Gestão Tecnológica. Orientador: Francisco Cristóvão Lourenço de Melo; coorientador: Antonio Ramalho de Souza Carvalho. Defesa em 28/06/2018. Publicada em 2018.</p>			
11. RESUMO: <p>A indústria espacial é caracterizada por fabricar produtos intensivos em capital e que operam em ambiente agressivo. Por esse motivo é fundamental que a estrutura de fabricação garanta a confiabilidade dos produtos espaciais e que o processo de industrialização seja bem conduzido, antecipando questões relativas à fabricação ainda na etapa de desenvolvimento do produto, auxiliando na redução dos tempos e dos custos relacionados aos programas espaciais. Identificou-se que não existe um modelo para avaliação da maturidade de fabricação aplicado à realidade da indústria espacial brasileira de forma a tornar mais eficaz o processo de industrialização de um dado produto espacial. Dentro deste contexto, o objetivo do trabalho é validar a adaptação de um modelo para avaliação do nível de maturidade de fabricação aplicado à realidade da indústria espacial brasileira. Utilizou-se como ponto de partida o modelo desenvolvido pelo Departamento de Defesa norte americano denominado MRL (<i>manufacturing readiness level</i>), ou nível de maturidade de fabricação. A validação do modelo adaptado deu-se na aplicação da metodologia em duas organizações da indústria espacial brasileira na fabricação do veículo espacial VSB-30. O resultado mostrou que ambas organizações alcançaram nível 4 de maturidade de fabricação, abaixo do nível 9 desejado. Tal situação explicitou 21 riscos que, caso não tratados, podem impactar negativamente o processo de industrialização do VSB-30 em 8 áreas de conhecimento de fabricação. A efetividade do modelo adaptado foi confirmada pelo alcance do objetivo de forma satisfatória. Como contribuição adicional, foi desenvolvida uma ferramenta para avaliar a maturidade de fabricação, denominada Calculadora MRL DCTA/ITA-2018-1, de modo a padronizar a avaliação e torná-la mais ágil.</p>			
12. GRAU DE SIGILO: <p style="text-align: center;">(X) OSTENSIVO () RESERVADO () SECRETO</p>			