



Ministério da
**Ciência, Tecnologia
e Inovação**



sid.inpe.br/mtc-m19/2012/02.27.20.38-TDI

**PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA O
TRATAMENTO DE PROCESSOS NA FABRICAÇÃO DE
PLATAFORMAS ORBITAIS NO ÂMBITO DO
PROGRAMA ESPACIAL BRASILEIRO**

Suely Mitsuko Hirakawa Gondo

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais/ Gerenciamento de Sistemas Espaciais, orientada pelo Dr. Leonel Fernando Perondi aprovada em 28 de fevereiro de 2012.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3BEC925>>

INPE
São José dos Campos
2012

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

Fax: (012) 3208-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELLECTUAL DO INPE (RE/DIR-204):**Presidente:**

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

Membros:

Dr. Antonio Fernando Bertachini de Almeida Prado - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)

Dr^a Inez Staciarini Batista - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

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

Dr. Germano de Souza Kienbaum - Centro de Tecnologias Especiais (CTE)

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

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

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

BIBLIOTECA DIGITAL:

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

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

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

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

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Vivéca Sant´Ana Lemos - Serviço de Informação e Documentação (SID)



Ministério da
**Ciência, Tecnologia
e Inovação**



sid.inpe.br/mtc-m19/2012/02.27.20.38-TDI

**PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA O
TRATAMENTO DE PROCESSOS NA FABRICAÇÃO DE
PLATAFORMAS ORBITAIS NO ÂMBITO DO
PROGRAMA ESPACIAL BRASILEIRO**

Suely Mitsuko Hirakawa Gondo

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais/ Gerenciamento de Sistemas Espaciais, orientada pelo Dr. Leonel Fernando Perondi aprovada em 28 de fevereiro de 2012.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3BEC925>>

INPE
São José dos Campos
2012

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Gondo, Suely Mitsuko Hirakawa.

G587p Proposta de metodologia para o tratamento de processos na fabricação de plataformas orbitais no âmbito do programa espacial brasileiro / Suely Mitsuko Hirakawa Gondo. – São José dos Campos : INPE, 2012.

xxvi + 154 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m19/2012/02.27.20.38-TDI)

Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia Espaciais/ Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2012.

Orientador : Dr. Leonel Fernando Perondi.

1. controle de processos de fabricação. 2. qualificação de processos de fabricação. 3. plataforma orbital. I.Título.

CDU 629.7.021

Copyright © 2012 do MCT/INPE. Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida, armazenada em um sistema de recuperação, ou transmitida sob qualquer forma ou por qualquer meio, eletrônico, mecânico, fotográfico, reprográfico, de microfilmagem ou outros, sem a permissão escrita do INPE, com exceção de qualquer material fornecido especificamente com o propósito de ser entrado e executado num sistema computacional, para o uso exclusivo do leitor da obra.

Copyright © 2012 by MCT/INPE. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, microfilming, or otherwise, without written permission from INPE, with the exception of any material supplied specifically for the purpose of being entered and executed on a computer system, for exclusive use of the reader of the work.

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

Engenharia e Tecnologia
Espaciais/Gerenciamento de Sistemas
Espaciais

Dr. Mauricio Gonçalves Vieira Ferreira



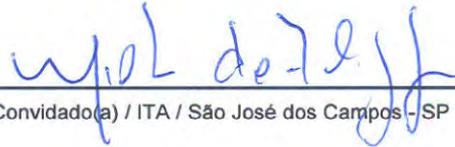
Presidente / INPE / SJCampos - SP

Dr. Leonel Fernando Perondi



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

Dr. Milton de Freitas Chagas Junior



Convidado(a) / ITA / São José dos Campos - SP

Este trabalho foi aprovado por:

maioria simples

unanimidade

Aluno (a): Suely Mitsuko Hirakawa Gondo

São José dos Campos, 28 de fevereiro de 2012

“Somente quando o homem atinge um nível onde não sente mais o desejo de fazer o mal, onde não são as leis e regulamentos que o impedem, quando realmente encontrou a alegria de fazer o bem, é que ele desperta para a sua verdadeira natureza”

Meishu Sama

Dedico este trabalho a meu marido Carlos e a meus filhos Caio e Raphael, que abdicam da minha presença, para permitir me empenhar na busca do conhecimento, agradeço a meus pais Katsumi e Kiyo Hirakawa (in memoriam) sem os quais nada disso sequer poderia ser vislumbrado e por fim presto homenagem aos meus filhos Yuri e Renée (in memoriam).

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pela minha vida e as condições que recebi para realizar este trabalho.

Ao Prof. Dr. Leonel Fernando Perondi, que é uma pessoa que muito admiro. Ele não orienta apenas, mas cuida do crescimento dos seus orientados através da sua amizade, apoio e incentivo.

Às Coordenadoras Dra. Maria do Carmo Nono e Dra. Ana Maria Ambrósio que sempre incentivaram meus estudos.

Aos professores da Pós-graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais pelo conhecimento compartilhado.

Aos professores e profissionais que contribuíram para criação da Área de Concentração de Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais, tão importante para o crescimento dos profissionais desta área.

À Edenilse Orlandi que sempre me incentivou e apoiou para a execução deste trabalho.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, pela oportunidade que recebi para estudar e aprofundar meus conhecimentos.

À Coordenação de Engenharia e Tecnologias Espaciais e às minhas chefias pela oportunidade de estudos.

Aos meus amigos e companheiros de curso que tive oportunidade de conhecer, conviver e estudar juntos. Em especial agradeço aos colegas: Hadler Egydio da Silva, Inaldo Soares de Albuquerque e Irineu Yassuda.

RESUMO

Sistemas espaciais são produtos muito especiais, pois são utilizadas em condições singulares. Desde o momento de seu lançamento, durante o seu uso e até o seu descarte, passam por condições de operação não comuns aos equipamentos que operam exclusivamente no ambiente terrestre, como por exemplo, rápidas e extremas variações de temperatura, níveis altos de radiação e condições de vácuo. Desta forma, durante a produção de plataformas orbitais e suas cargas úteis, requisitos especiais para estas condições particulares devem ser observados, pois a ocorrência de falha em um dos componentes de uma plataforma ou carga útil pode determinar o fracasso completo de uma missão. Grande parte desses requisitos especiais pode ser expressa como requisitos para processos de fabricação. Assim, quanto mais controlados forem os processos utilizados para a fabricação de produtos espaciais, menor será o risco de ocorrência de tais falhas. Com esta visão em perspectiva, o presente trabalho objetiva desenvolver um estudo abrangente dos processos técnicos utilizados na fabricação de sistemas de voo para programas espaciais. Com base no estudo do tratamento dedicado a processos por diversas agências espaciais, serão propostos aprimoramentos na forma como processos são tratados no âmbito do programa espacial brasileiro, especificamente na área de plataformas orbitais e cargas úteis. Adicionalmente, com base em experiência de outros programas, será proposta uma metodologia para a utilização de processos na avaliação de risco nas contratações industriais do programa espacial brasileiro.

PROPOSED METHODOLOGY FOR THE TREATMENT OF PROCESSES IN ORBITAL PLATFORMS MANUFACTURE WITHIN THE BRAZILIAN SPACE PROGRAM

ABSTRACT

Space flight systems are very special products because they are used in peculiar conditions. Since their deployment, through their operation, up to their discard, such equipments are subject to environmental conditions not usual for systems which operate exclusively in the terrestrial environment, such as rapid and extreme temperature variations, high levels of radiation and vacuum conditions. Thus, during the production of orbital platforms and their payloads, special requirements associated to these peculiar conditions must be observed, because the occurrence of failure in one component of a platform or payload can determine the complete failure of a mission. Most of these special requirements can be expressed as requirements for manufacturing processes. Thus, the greater the control exerted on the processes used in the spacecraft manufacturing, the lower is the risk of occurrence of such faults. With this vision in mind, this dissertation aims at developing a comprehensive study of the technical processes used in the manufacturing of space flight systems. By studying the way different space agencies approach manufacturing processes, an attempt will be made at suggesting several improvements in the way manufacturing processes are dealt with in the Brazilian space program, especially as regards orbital platforms and payloads. Additionally, based on similar experience, a risk assessment methodology for industrial contracts based on manufacturing processes will be proposed, with view to application to industrial contracts in the scope of the Brazilian space program.

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1 – Cuidados no corte de terminais eletrônicos	8
Figura 2.1 – Representação de processo técnico	18
Figura 2.2 – Grupos de processos distribuídos nas categorias Gestão, Qualidade e Engenharia ECSS	26
Figura 2.3 – Grupos dos Tópicos da Academia de Qualidade Aeroespacial da NASA	41
Figura 2.4 – Relação entre validação, verificação e qualificação de processos	46
Figura 4.1 - Fluxograma para aprovação e uso de processos	65
Figura 4.1 - Fluxograma para aprovação e uso de processos (continuação)...	66
Figura 4.2 – Ciclo de Vida de um Projeto Espacial – NASA.....	87
Figura 5.1 – Fluxograma para qualificação de processos atualmente empregado pelo INPE	99
Figura 6.1 – Fluxograma proposto para o Tratamento de processos.....	110
Figura 6.1 – Fluxograma proposto para o Tratamento de processos (continuação).....	111
Figura 6.2 – Proposta de classificação de processos unitários de fabricação	120
Figura 6.3 – Classificação de processos unitários de fabricação relativo ao ramo “Desbaste mecânico (1111)”, apresentado na Figura 6.2	122
Figura 6.4 – Exemplo de possível esquema para identificação de processos.	123
Figura 7.1 – Gerenciamento de Risco por Processo Crítico	136
Figura 7.2 – Guia para Análise de Risco de Processos Críticos	139

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
Tabela 1.1 - Tipos de Sistemas de Produção e suas Características	2
Tabela 2.1 – Princípios e Fundamentos da Norma NBR ISO 9000.....	21
Tabela 2.2 – Classificação de Processos em Famílias	22
Tabela 2.3 – Processos de gerenciamento de projeto	23
Tabela 2.4 – Passos a serem realizados para obtenção da aprovação de materiais, partes mecânicas e processos	30
Tabela 2.5 – resumo das definições de validação, verificação e qualificação..	44
Tabela 3.1 – Processos Operacionais - APQC	54
Tabela 3.2 – Serviços de gerenciamento e suporte - APQC.....	54
Tabela 3.3 – Comparação do número de processos em termos de Processos Operacionais	57
Tabela 3.4 - Comparação do número de processos em termos de Serviços de Gerenciamento e Suporte	58
Tabela 4.1– Passos para a aprovação de processos críticos (ECSS, 2009d) .	64
Tabela 4.2 – Estados de aprovação de processos (ECSS, 2009d).....	67
Tabela 6.1 – Estados de aprovação de processos.....	115
Tabela 6.2 – Proposta de classificação de <i>processos técnicos</i> na área espacial.	119
Tabela 6.3 – Principais elementos para caracterização e definição de um processo.....	124
Tabela 7.1 – Classificação das <i>Consequências</i> da Variação dos Processos	138
Tabela 7.2 – Comparação das abordagens	141

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AAQ	Academy of Aerospace Quality, ou seja, Academia de Qualidade Aeroespacial
AAQG	Americas Aerospace Quality Group, ou seja, Grupo de Qualidade Aeroespacial das Américas
AEB	Agência Espacial Brasileira
A&T	Assembly and Test, ou seja, Integração e Ensaios
APQC	American Productivity & Quality Center, ou seja, Centro Americano de Produtividade e Qualidade
ASTM	American Society for Testing and Materials, ou seja, Sociedade Americana para Materiais e Testes
BMP	Best Manufacturing Practices, ou seja, Melhores Práticas de Manufatura
CBERS	China – Brazil Earth Resources Satellite, ou seja, Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres
CCP	Contamination Control Plan, ou seja, Plano de Controle de Contaminação
CDR	Critical Design Review, ou seja, Revisão Crítica de Projeto
CIRP	College International pour la Recherche em Productique, International Academy for Production Engineer, ou seja, Academia Internacional de Engenharia de Produção
COTS	Commercial off-the-shelf, ou seja, produtos comerciais prontos de prateleira
CP	Conselho para Processos
CVCM	Collected Volatile Condensable Materials, ou seja, Materiais Condensáveis Voláteis Coletados
DPA	Destructive Physical Analysis, ou seja, Análise Física Destrutiva
DML	declared material list, ou seja, lista declarada de materiais
DMPL	declared mechanical parts list, ou seja, lista declarada de partes mecânicas

DoD	Department of Defense, ou seja, Departamento de Defesa dos Estados Unidos
DoN	Department of Navy, ou seja, Departamento da Marinha
DPL	declared process list, ou seja, lista de processos declarados
EAP	Estrutura Analítica de Projeto
ECSS	European Cooperation for Space Standardization, ou seja, Cooperação Europeia para Padronização Espacial
EEE	Elétricos, eletrônicos e eletromecânicos
EM	Engineering Model, ou seja, Modelo de Engenharia
ESA	European Space Agency, ou seja, Agência Espacial Europeia
ESA	European Space Agency, ou seja, Agência Espacial Europeia
FAA	Federal Aviation Administration, ou seja, Administração da Aviação Federal dos Estados Unidos
FDA	Food and Drug Administration, ou seja, Administração de Alimentos e Medicamentos, organização do Departamento de Saúde e Serviços Humanos dos EUA.
FM	Flight Model, ou seja, Modelo de Voo
FOD	Foreign Object Debris, ou seja, substância, detrito ou item que cause prejuízo ao sistema. Também pode ter o significado de Foreign Object Damage, ou seja danos atribuídos a um Foreign Object Debris
GP	Garantia do Produto
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPT	Equipe Integrada do Produto
JAPC	Joint Audit Planning Committee, ou seja, Conselho de Planejamento de Auditoria Conjunta
MAPTIS	Materials and Processes Technical Information System, ou seja, Sistema de Informação Tecnológica de Materiais e Processos
MEMS	micro electrical mechanical systems
M&P	Materiais e Processos
MIP	Mandatory Inspection Point, ou seja, ponto mandatório de inspeção

MIUL	Materials Identification and Usage List, ou seja, Lista de Uso e Identificação de Materiais
MMPDS	Metallic Materials Properties Development and Standardization (MMPDS) Handbook, ou seja, Manual de Padronização e Desenvolvimento de Propriedades de Materiais Metálicos
MUA	Materials Usage Agreements, ou seja, acordo para uso de materiais diferentes dos aprovados pela agência
NADCAP	National Aerospace and Defense Contractor Accreditation Program, ou seja, Programa de Acreditação de Contratantes da Defesa e Setor Aeroespacial Nacional
NASA	National Aeronautics and Space Administration, ou seja, Aeronáutica Nacional e Administração Espacial
NCR	Nonconformance Report, ou seja, Relatório de Não Conformidades
NDE	Nondestructive Evaluation Plan, ou seja, Plano de Avaliação não destrutiva
NRB	Nonconformance review board, ou seja, Comissão para análise de não conformidades
PCF	Process Classification Framework, ou seja, Arcabouço de Classificação de Processos
PCFG	Process Control Focus Group, ou seja, Grupo focado no Controle de Processos
PDR	Preliminary Design Review, ou seja, Revisão Preliminar de Projeto
PEDREP	Product Data Reporting and Evaluation Program, ou seja, Programa de Avaliação e Relatórios de Dados de Produtos
PEM	Plastic encapsulated microcircuit
PMP	Partes, Materiais e Processos
PNAE	Programa Nacional de Atividades Espaciais
QM	Qualification Model, ou seja, Modelo de Qualificação
QR	Qualification Review, ou seja, Revisão de Qualificação
RFA	Request for Approval, ou seja, Solicitação de Aprovação (SDA)
SAE	Society of Automotive Engineering, ou seja, Sociedade da

Engenharia Automotiva

SAS	Supplier Assessment System, ou seja, Sistema de Avaliação de Fornecedores
SDA	Solicitação de Aprovação
SMAC	Spacecraft Maximum Allowable Concentration
TI	Tecnologia da Informação
TML	Total Mass Loss, ou seja, Perda de Massa Total
TRIMS	Technical Risk Identification and Mitigation System, ou seja, Sistema Técnico de Identificação e Mitigação de Risco
UMPRC	Unit Manufacturing Process Research Committee
WVR	Water Vapor Regained, ou seja, Vapor de Água Recuperada

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Produtos e processos na área espacial.....	2
1.2. Filosofia de Modelos.....	4
1.3. Verificação ou qualificação de processos.....	6
1.4. Objetivos e motivação da dissertação	10
1.4.1. Objetivos específicos	10
1.4.2. Proposta de Metodologia para Tratamento de Processos Técnicos do Programa Espacial.....	11
1.4.3. Proposta de Metodologia para a utilização de processos na avaliação de risco em contratações industriais	12
1.4.4. Resultados esperados.....	12
1.4.5. Motivação.....	13
1.5. Organização do trabalho	13
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1. Processos.....	15
2.2. Processo Técnico	16
2.3. Qualificação de processos	18
2.4. Controle de processos.....	20
2.5. Classificação de processos	21
2.6. Relação entre processos, métodos e procedimentos.....	27
2.7. Relação entre processos, partes mecânicas e materiais, na área espacial 29	
2.8. Relação entre processos e garantia da qualidade na área espacial	36
2.9. Relação entre validação, verificação e qualificação	41
2.10. Melhores práticas.....	46
3 EVOLUÇÃO HISTÓRICA E O ESTADO DA ARTE	49
3.1. Evolução histórica do conceito de processo em sistemas de manufatura 49	
3.2. Estado-da-arte.....	53

4	ESTUDO DETALHADO E DESCRIÇÃO DOS REQUISITOS PARA A UTILIZAÇÃO DE PROCESSOS TÉCNICOS EM PROGRAMAS ESPACIAIS, COMO PRECONIZADO PELOS PADRÕES ECSS E NASA.....	63
4.1.	Padrão ECSS	63
4.1.1.	Requisitos para gerenciamento de processos	63
4.1.2.	Controle de processos segundo o padrão ECSS.....	68
4.2.	Padrão NASA	76
4.2.1.	Requisito	77
4.2.2.	Requisitos Detalhados	83
4.2.3.	Verificação	85
5	ESTUDO DETALHADO E DESCRIÇÃO DO USO CORRENTE DE PROCESSOS TÉCNICOS NA FABRICAÇÃO DE PLATAFORMAS ORBITAIS NO ÂMBITO DO PROGRAMA ESPACIAL BRASILEIRO	89
5.1.	Controle de Processos	89
6	PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA O TRATAMENTO DE PROCESSOS NA FABRICAÇÃO DE PLATAFORMAS ORBITAIS NO ÂMBITO DO PROGRAMA ESPACIAL BRASILEIRO	105
6.1.	Definição dos documentos que serão empregados no Tratamento dos Processos.....	105
6.2.	Especificação dos passos necessários ao Tratamento de processos..	108
6.3.	Definição e operação de um banco de processos.....	118
6.3.1.	Esquema para a classificação de processos na área espacial	118
6.3.2.	Banco de processos.....	123
6.4.	Controle de processos.....	125
6.5.	Estabelecimento e operação de um <i>Sistema de Alerta</i> relativo a processos técnicos.....	127
7	USO DE PROCESSOS NA AVALIAÇÃO DE RISCO EM CONTRATAÇÕES INDUSTRIAIS.....	131
7.1.	Estudo da relação entre processos técnicos e risco em um projeto	131
7.2.	Apresentar uma experiência da aplicação de metodologia com uso de processos na avaliação de risco em contratações industriais.....	133
7.2.1.	Abordagem de Processo Crítico	134
7.2.2.	Abordagem do Produto (Estrutura Analítica de Projeto)	139

7.2.3. Abordagem de processos e produtos integrados.....	140
7.3. Propor uma metodologia para a utilização de processos na avaliação de risco em contratações industriais	142
7.3.1. Proposta de uma metodologia para a utilização de processos na avaliação de risco em contratações industriais	143
8 CONCLUSÕES.....	145
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	147
GLOSSÁRIO	153

1 INTRODUÇÃO

Plataformas orbitais são produtos muito especiais, pois são utilizadas em condições singulares. Desde o momento de seu lançamento, no início e durante o seu uso, passam por condições de operação não comuns aos equipamentos que operam exclusivamente no ambiente terrestre, como por exemplo, rápidas e extremas variações de temperatura, níveis altos de radiação e condições de vácuo. Desta forma, durante o projeto, produção e integração destas plataformas e suas cargas úteis, requisitos especiais para estas condições particulares devem ser observados.

A certificação de que tais requisitos sejam incorporados ao longo do ciclo de desenvolvimento do produto espacial é de responsabilidade da garantia da qualidade. Assim, em projetos na área espacial, há grande ênfase na garantia da qualidade, como forma de assegurar o alto nível de confiabilidade exigido do equipamento de voo em missões espaciais. Os produtos espaciais devem ser seguros, disponíveis e confiáveis. Dada a especificidade de suas aplicações, não há a possibilidade de manutenção e um único defeito pode, em princípio, determinar o fracasso completo de uma missão.

Grande parte dos requisitos incidentes sobre o produto espacial pode ser expressa como requisitos para processos de fabricação. Assim, quanto mais controlados forem os processos utilizados para a fabricação de produtos espaciais, menor será o risco de ocorrência de falhas no modelo de voo.

Como forma de minimizar a possibilidade de falhas, a filosofia implementada pela garantia da qualidade, em projetos da área espacial, exige que a fabricação de equipamentos de voo se dê, exclusivamente, através de processos verificados ou qualificados, ou seja, processos que, realizados através de um conjunto de instruções sequenciais previamente definidas, apresentam o mesmo resultado com grande confiabilidade.

1.1. Produtos e processos na área espacial

Os sistemas de produção e suas características podem variar conforme os dados apresentados na Tabela 1.1.

Tabela 1.1 - Tipos de Sistemas de Produção e suas Características

Tipo de produção	Número de produtos ou atividades	Diferenciação entre produtos e atividades	Demanda	Varição no roteiro	Estoques
Contínuo puro	um	nenhuma	grande	nenhuma	elevados
Contínuo com diferenciação	poucos	pouca	grande	pouca	elevados
Intermitente repetitiva	médio/grande	média / grande	média	pouca/média	baixos
Intermitente sob encomenda	grande	grande	média/pequena	média/grande	nenhum
Grandes projetos	muitas	grande	pequena	grande	nenhum

Fonte: Adaptada de Fusco et al.(2003)

Os tipos de produção podem variar amplamente, conforme a escala de produção de um dado produto e a recorrência existente na fabricação de diferentes unidades de um mesmo produto. Em um extremo, há o tipo de produção denominado de Contínuo puro, onde o produto é único, como ocorre nas indústrias de transformação, tais como química, de papel e de aço, em que, usualmente, há um único produto final, produzido em grande quantidade a partir de alguns poucos processos repetitivos, que não precisa ser agregado a qualquer outra parte, e que é comercializado conforme produzido. No outro extremo, encontra-se o tipo de produção referido como Grandes projetos, em que não há escala de produção, sendo produzida uma única unidade do produto final, que é composto de diversas sub partes, constituídas, por sua vez, de diferentes materiais e partes mecânicas e/ou eletrônicas. Neste tipo de produção, os recursos são adaptados às necessidades do produto e sua produção é de longo prazo, com pouca ou quase nenhuma repetição de operações. Normalmente, são exemplos deste tipo de produção os produtos de

alto custo e média para grande complexidade, tais como aqueles da construção civil, os aviões, os navios, entre outros (FUSCO, 2003)(quando a citação está entre parênteses, é escrita em maiúsculas – ver todo o texto). Os produtos espaciais se encaixam neste último tipo de sistema de produção.

Os produtos espaciais caracterizam-se por serem produtos complexos, pois são sistemas compostos por vários subsistemas customizados, de custo elevado e podendo ser produzidos por várias empresas, através de uma organização temporária usualmente referida como um projeto (Hobday,1998).

Em produtos de alta produção, é grande a facilidade de se carrear o aprendizado na fabricação de uma geração de produto para a próxima, principalmente quando há grande similaridade entre as gerações. Porém, para produtos complexos de aplicação específica, como aqueles utilizados na área espacial, são grandes as dificuldades para se repassar o aprendizado de um produto para outro. Em geral, cada projeto espacial atende a uma missão específica, variando, assim, o ambiente em que o produto final operará. Consequentemente, diferentes processos, bem como novos materiais, partes mecânicas e componentes EEE, podem ser necessários para atender aos requisitos do novo projeto (HOBDAY,1998).

Estas variações determinam a necessidade de um controle detalhado dos processos e materiais utilizados na fabricação dos produtos espaciais, pois qualquer alteração, por menor que seja, pode tornar proibitivo o uso do mesmo material, componente ou processo.

Devido à pequena escala em que os produtos espaciais são produzidos, é muito limitada a possibilidade de carrear-se a experiência de fabricação de um produto para o próximo, já que não existem lotes e não há repetição constante da produção, pois em cada projeto o produto final é único. A única repetição que existe são os Modelos de Qualificação e Voo. Com essas características, torna-se muito rara a possibilidade de se trabalhar com análises estatísticas de

produção, tais como cartas ou gráficos de controle, diagrama de Pareto, diagrama de dispersão na melhoria dos processos.

Na área espacial, há grande recorrência somente na produção de partes prontas para uso, como por exemplo, na produção de componentes EEE qualificados para voos espaciais, que são produzidos com requisitos mais rigorosos que os comerciais e testados em níveis mais severos. Estes componentes são fabricados em maior quantidade, pois são utilizados por vários projetos espaciais em diversos países. Este tipo de processo, porém, não se constitui em objeto de estudo na presente dissertação.

1.2. Filosofia de Modelos

Na produção dos produtos espaciais com o intuito de maximizar a confiabilidade do produto final, a verificação tanto do projeto quanto da fabricação dos equipamentos de voo é através da definição de uma filosofia de modelos. O ciclo de vida de projetos na área espacial está organizado em fases sequenciais, separadas por reuniões formais de revisões que aprovam ou não a passagem do projeto para a fase seguinte. Projetos usuais, que não sejam a repetição completa de um projeto anterior, contemplam, minimamente, os seguintes modelos: Modelo de Engenharia (EM), Modelo de Qualificação (QM) e Modelo de Voo (FM). Dependendo de particularidades do projeto, estes modelos são desenvolvidos para equipamentos, subsistemas e, somente em situações muito especiais, para o sistema como um todo.

O modelo de engenharia é representativo do modelo de voo quanto à funcionalidade e desempenho. É utilizado, essencialmente, para a qualificação funcional do projeto do produto, exceto no que tange às verificações de redundância, demonstração de tolerância a falhas e checagem da “deriva” de parâmetros. O modelo de engenharia é também utilizado para a validação final das instalações de teste e do GSE, bem como de procedimentos correlatos (ECSS, 1998). O Modelo de Engenharia é fabricado a partir de partes mecânicas, componentes EEE e materiais, funcionalmente equivalentes

àquelas qualificadas para aplicação espacial, geralmente adquiridas dos mesmos fabricantes das partes mecânicas, componentes EEE e materiais de alta confiabilidade.

O modelo de qualificação reproduz fielmente o projeto do produto final, em todos os seus aspectos. O modelo de qualificação é utilizado para ensaio funcional e ambiental do produto em níveis completos. Modelos de qualificação são requeridos para equipamentos e subsistemas de novos projetos, ou de produtos já existentes que necessitam de qualificação adicional para se adaptar ao projeto (ECSS, 1998). O Modelo de Qualificação é fabricado exclusivamente a partir de processos qualificados e de partes mecânicas, componentes EEE e materiais com qualificação espacial.

O Modelo de Qualificação é testado tanto no que se refere a requisitos de desempenho quanto a requisitos ambientais. Os testes ambientais procuram simular as condições de operação do equipamento de voo, considerando as condições de pior caso, com margem, tanto no que se refere às variáveis ambientais – níveis de vibração, limites de temperatura e níveis de vácuo – quanto ao tempo previsto de operação em órbita. Entre os ensaios ambientais sempre é realizado um ensaio de desempenho para garantir a funcionalidade do sistema. A origem de toda não-conformidade detectada nos testes é rastreada a processos, partes mecânicas, componentes EEE ou materiais. Toda não-conformidade é tratada e o Modelo de Qualificação atualizado, correspondentemente. Uma vez cumpridos todos os requisitos, considera-se a linha de base como construído do MQ qualificada para voo.

O Modelo de Voo é, então, fabricado a partir de versões consolidadas tanto dos processos quanto das listas de partes mecânicas, componentes EEE e materiais, através de mão-de-obra certificada. Os modelos de voo, assim fabricados são considerados como qualificados por similaridade. Modelos de voo são submetidos a testes funcionais e a testes ambientais em nível de

aceitação com níveis menos rigorosos do que nos ensaios do Modelo de Qualificação.

Concluindo, de forma sintética, temos que:

- a) o Modelo de Engenharia deve ser completo e representativo quanto à funcionalidade e desempenho;
- b) o Modelo de Qualificação deve ser completo e representativo para demonstrar que o projeto e a fabricação propostos atendem com margem suficiente todas as especificações para as condições ambientais previstas para a missão;
- c) o Modelo de Voo deve ser fabricado utilizando exatamente os mesmos processos, ferramental e sequência de operações utilizados na fabricação dos Modelos de Qualificação.

Esta breve introdução ao ciclo de vida de projetos na área espacial busca enfatizar a importância que a garantia da repetibilidade de processos técnicos tem para a fabricação de equipamentos de voo e para o sucesso das missões espaciais. Sem ela, as elevadas chances de falhas de equipamentos tornariam proibitivas as missões espaciais. Assim, boa parte da história sobre como a tecnologia de fabricação de equipamentos espaciais evoluiu, se confunde com a história da sistematização do uso de processos técnicos. Em particular, observamos que a filosofia de fabricação do Modelo de Voo exige que os processos técnicos utilizados na manufatura deste modelo sejam idênticos aos utilizados para a produção do Modelo de Qualificação.

1.3. Verificação ou qualificação de processos

A tolerância na fabricação de equipamentos espaciais é muito rigorosa, o que naturalmente implica em um aumento de custo dos processos, pois estes passam a exigir maior rigor no controle dos parâmetros de processo e dos

materiais, partes mecânicas e componentes EEE utilizados, no cuidado com a infraestrutura para fabricação e no treinamento da mão de obra.

O uso de processos na fabricação de plataformas orbitais é objeto de atenção, pois não basta, por exemplo, utilizar os componentes EEE classificados como qualificados para voos espaciais, se ao utilizar-se este tipo de componentes o processo de fabricação danificar os mesmos.

Por todas estas questões: confiabilidade, qualidade, pequena produção, diferença entre projetos, tolerância rigorosa, pouca repetições de produção e alto custo exigem que a qualificação dos processos detalhada e precisa.

Processos espaciais exigem cuidados com pequenos detalhes, que se não forem observados, podem introduzir defeitos que podem levar a perda de função de partes e, no extremo, podem levar a uma perda de missão.

Um exemplo destes detalhes nos cuidados em processos empregados em produtos espaciais pode ser observado no processo de corte de terminais de componentes eletrônicos.

Conforme o padrão de Soldagem manual de conexões elétricas de alta confiabilidade da ECSS, ECSS-Q-ST-70-08C para que não ocorram danos em componentes eletrônicos, especificamente início de trincas, faz-se necessário que na operação de corte de seus terminais sejam observadas as seguintes diretivas (ECSS, 2009):

- a) no corte dos terminais, deve ser minimizada a transmissão de cargas mecânicas e choque;
- b) não deve ocorrer torção durante a operação de corte.

Para isso durante o processo devem ser controlados os seguintes parâmetros, relativos a cortadores e alicates:

- a) perfil da lâmina de corte deve estar conforme o Desenho A da Figura 1.1;
- b) as lâminas utilizadas para cortar os terminais devem estar afiadas de modo a produzir uma superfície de corte completamente limpa, plana e lisa;
- c) alicates de ponta longa e pinça macios devem ser utilizados nestas operações.

A forma correta de corte ilustrada pelo Desenho A da Figura 1.1 comparada ao Desenho B mostra que o lado da lâmina em relação ao componente é importante, pois nesta posição minimiza-se a transmissão de cargas mecânicas e choque aos componentes, não os danificando.

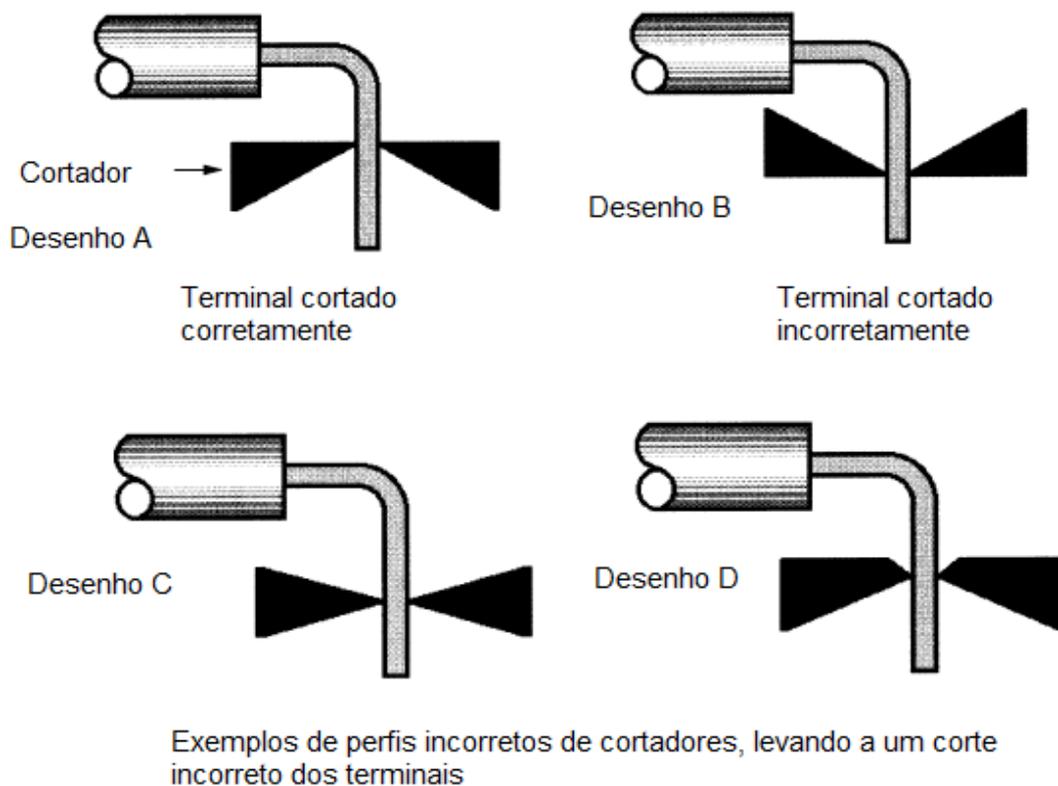


Figura 1.1 – Cuidados no corte de terminais eletrônicos
 Fonte: adaptada de ECSS (2009)

Este exemplo ilustra a extrema relevância de que processos estejam descritos minuciosamente, tanto relativamente ao ferramental envolvido, quanto às operações necessárias para a realização do processo.

Outra vertente que contribuiu para a difusão e aprimoramento da sistemática de uso de processos é a área de qualidade. Os desenvolvimentos na área de qualidade, ao longo das últimas décadas, colocaram o conceito de processo no centro da organização moderna. Entre as diretivas da versão atualizada do padrão ISO:9000 encontra-se a de *abordagem por processos*, que preconiza que todas as atividades de uma organização, tanto gerenciais quanto técnicas, sejam organizadas na forma de uma cadeia de processos integrados.

Correntemente, as atividades relativas à fabricação em qualquer projeto de sistemas ou equipamentos de aplicação crítica são organizadas na forma de processos técnicos, os quais são documentados e quebrados em ações elementares, que atendem o requisito de repetibilidade. À demonstração de que um processo atingiu o status de completa repetibilidade, no atendimento de requisitos, é dado o nome de verificação, conforme o padrão ECSS. Somente processos com o status de verificado são utilizados na fabricação de sistemas e equipamentos de voo.

Obviamente existem outros processos, que não os técnicos, envolvidos nos projetos espaciais, que com certeza contribuem muito para o sucesso das missões. Porém neste trabalho o foco será nos processos técnicos, que são aqueles que afetam diretamente a fabricação dos veículos espaciais, pois a garantia da repetibilidade na fabricação dos equipamentos, garantindo o atendimento da filosofia de modelos, depende diretamente destes processos estarem ou não muito bem estabelecidos e com garantia de que cumprem os requisitos.

1.4. Objetivos e motivação da dissertação

A presente dissertação tem por objetivo o estudo abrangente e sistemático da utilização de processos técnicos na fabricação de equipamentos de voo em programas espaciais.

1.4.1. Objetivos específicos

Especificamente, procurar-se-á, ao longo desta dissertação:

- 1 - Introduzir a motivação da dissertação
- 2 - Apresentar uma visão panorâmica da literatura sobre processos de forma geral, dissertando sobre os seguintes tópicos:
 - a. processos;
 - b. processo técnico;
 - c. qualificação de processos;
 - d. controle de processos;
 - e. classificação de processos;
 - f. relação entre processos, métodos e procedimentos;
 - g. relação entre processos, partes mecânicas e materiais, na área espacial;
 - h. relação entre processos e garantia da qualidade na área espacial;
 - i. relação entre validação, verificação e qualificação, e
 - j. melhores práticas.
- 3 - apresentar uma visão sobre o *estado-da-arte* na taxonomia e na melhoria de processos técnicos e disseminação destes processos no seu estado da arte;
- 4 - apresentar estudo detalhado e descrição dos requisitos para a utilização de processos técnicos em programas espaciais, como preconizado pelo Padrões ECSS e NASA;
- 5 - apresentar estudo detalhado e descrição do uso corrente de processos técnicos na fabricação de plataformas orbitais no âmbito do Programa Espacial Brasileiro;

6 - propor uma metodologia para o tratamento de processos na fabricação de plataformas orbitais no âmbito do Programa Espacial Brasileiro, que inclua:

- a. a documentação básica necessária para este tratamento;
- b. a especificação dos passos necessários ao tratamento;
- c. a definição e operação de um banco de processos;;
- d. o estabelecimento e operação de um *Sistema de Alerta* relativo a processos técnicos.

7 - apresentar uma experiência da aplicação de metodologias de avaliação de risco em processos técnicos para as contratações industriais (US Navy) e propor uma metodologia para a utilização de processos na avaliação de risco em contratações industriais, que inclua:

- a. um estudo da relação entre processos técnicos e risco em um projeto e
- b. a proposta da metodologia.

1.4.2. Proposta de Metodologia para Tratamento de Processos Técnicos do Programa Espacial

A proposta de metodologia para o tratamento de processos em programas espaciais incluirá:

- Passos para a implementação da verificação de processos técnicos
Neste item será adaptada uma metodologia para verificação de processos técnicos adequada às condições da Engenharia Espacial Brasileira.
- Preparação e uso de um banco de processos configurados.
Será sugerida uma metodologia para classificação, definição e operação de um banco de processos.
- Proposta de um sistema de alerta relativo a processos técnicos
Será proposta uma metodologia para um sistema de alerta que servirá para divulgar a informações a respeito de falhas ou problemas que podem afetar mais de um usuário ou pode ocorrer em outro projeto ou outras

circunstâncias, caso não sejam tomadas medidas preventivas (ECSS, 2008c).

1.4.3. Proposta de Metodologia para a utilização de processos na avaliação de risco em contratações industriais

Por fim, será apresentada uma proposta de metodologia para avaliação de risco baseado na avaliação dos Processos Técnicos a serem fornecidos pelos possíveis contratados dos programas espaciais. Esta proposta incluirá, minimamente, os itens abaixo:

- experiências da aplicação de metodologias semelhantes

Será apresentado um caso de aplicação de gerenciamento de risco técnico e controle de processos técnicos pela Marinha dos Estados Unidos.

- avaliação de risco de processos

A avaliação através da comparação de processos das empresas a serem contratadas contra um banco de processos.

1.4.4. Resultados esperados

O principal resultado desta dissertação será a proposta de uma metodologia para o tratamento de processos na fabricação de plataformas orbitais no âmbito do Programa Espacial Brasileiro.

Será apresentada, também, uma proposta de metodologia para o uso de processos técnicos na avaliação de risco em contratações industriais.

Como produtos secundários serão produzidos:

- uma revisão sobre processos de forma geral, com enfoque em definição, e classificações de processos;
- as relações entre processos, métodos e procedimentos; entre processos, partes mecânicas e materiais na área espacial, entre

processos e a garantia da qualidade e por fim entre validação, verificação e qualificação;

- uma visão sobre o *estado-da-arte* no tratamento de processos
- um estudo detalhado e uma descrição dos requisitos e definições para a utilização de processos técnicos em programas espaciais como preconizado pela ECSS e pela NASA;
- um estudo detalhado e uma descrição do uso corrente de processos técnicos na fabricação de plataformas orbitais no âmbito do Programa Espacial Brasileiro;

1.4.5. Motivação

Com as necessidades de alto nível de confiabilidade exigido do equipamento de voo em missões espaciais e os riscos de falha que existem em função do descumprimento de requisitos durante a fabricação de equipamentos é muito importante a colocação abrangente de uma sistemática para o tratamento de processos técnicos. Também, correntemente, inexistem sistemáticas para a criação e gerenciamento de bancos de processos, aumentando a não-recorrência no desenvolvimento e fabricação de novos equipamentos, com desperdício de tempo e outros recursos. Experiências recentes (US Navy) têm demonstrado que o acervo de processos técnicos configurados pode auxiliar inclusive na avaliação do risco de contratações industriais.

A motivação principal para o desenvolvimento desta dissertação é o de contribuir para o aumento da cultura geral sobre processos técnicos no âmbito de projetos da área espacial. Assim, com a investigação de melhores formas de se atuar neste assunto, espera-se que possamos produzir resultados mais completos e seguros no âmbito de processos técnicos, e proporcionar maior confiabilidade aos programas desenvolvidos na área espacial do país.

1.5. Organização do trabalho

O Capítulo 2 será dedicado à apresentação de conceitos e definições que permeiam o trabalho como um todo, tais como processos, processos técnicos e

verificação, qualificação e controle de processos. No Capítulo 3, será apresentada uma visão panorâmica sobre a evolução do conceito de processo em sistemas produtivos, bem como uma introdução ao seu uso na área espacial e também buscar-se-á apresentar, de forma bastante sintética, o que estimou-se ser o estado-da-arte referentemente à classificação, melhoria e disseminação de processos. O Capítulo 4, por sua vez, será dedicado a uma apresentação detalhada dos padrões ECSS e NASA para o uso de processos na área espacial, enquanto que o Capítulo 5 procurará apresentar as diretrizes para o uso de processos no âmbito do programa espacial brasileiro, na área de plataformas orbitais e cargas úteis. Os capítulos seguintes serão dedicados à parte propositiva da presente dissertação. Enquanto que o Capítulo 6 apresenta uma proposta de metodologia para o tratamento de processos na fabricação de plataformas orbitais e cargas úteis, incluindo bancos de processos e sistemas de alerta, o Capítulo 7 tratará da apresentação de uma proposta para a utilização de acervos de processos técnicos como forma de estimar o risco de contratações industriais. Finalmente, o Capítulo 9 apresenta as conclusões do presente trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Processos

Sistemas produtivos modernos estão organizados na forma de conjuntos de processos de diferentes naturezas, tais como fluxo de material, fluxo de trabalho, mudança de estado, entre outras. Em termos de grandes categorias ou famílias, podem ser distinguidos, entre outros, os processos de administração geral, que se relacionam às atividades de gestão de uma organização, os processos comerciais, que se relacionam às atividades de vendas e marketing em uma organização, os processos técnicos, tais como de projeto, fabricação e integração, que se relacionam às atividades técnicas de produção em uma organização, e assim por diante (BARBARÁ, 2008).

Várias definições gerais de processo são encontradas na literatura:

- qualquer atividade ou conjunto de atividades que toma um “input”, adiciona valor a ele e fornece um “output” a um cliente específico (GONÇALVES, 2000);
- uma estrutura para a ação, ou seja, uma ordenação específica das atividades de trabalho no tempo e no espaço, com um começo, um fim, e entradas e saídas claramente identificadas (DAVENPORT, 1998);
- conjunto de ações ordenadas e integradas para um fim produtivo específico, ao final do qual são gerados produtos e/ou serviços e/ou informações. (BARBARÁ, 2008);
- quaisquer atividades que recebam entradas (“inputs”) e as transformem em saídas (“outputs”) podem ser consideradas como um processo (CARPINETTI, 2009);
- um processo definido é aquele que é descrito suficientemente em detalhes de forma que possa ser consistentemente usado (BARBARÁ, 2008).

Todo produto pode ser visto como o resultado de um ou mais processos implementados por um ou mais fornecedores. Abaixo, seguem alguns exemplos de processos e seus fornecedores:

- reserva de hospedagem – hotéis;
- forjamento de metais – indústria metalúrgica;
- aulas para crianças – escolas;
- criação de software – empresas de desenvolvimento de software;
- análises clínicas – laboratórios clínicos;
- auditorias internas – grupo auditor.

Na área espacial, devido aos requisitos excepcionais de confiabilidade e à grande complexidade dos produtos, as abordagens de *sistema* e *processo* encontram-se no cerne do projeto e da fabricação dos produtos espaciais.

No que se segue, são apresentados os conceitos de *processo técnico*, *verificação de processo*¹ e *controle de processo* no âmbito da área de manufatura em projetos na área espacial.

2.2. Processo Técnico

Fabricação pode ser definida como a aplicação de processos diversos a um conjunto de partes mecânicas, materiais e componentes EEE de modo a produzir um equipamento, um produto intermediário ou um sistema. O esforço de fabricação inclui todos os processos intermediários necessários à produção, montagem dos componentes de um equipamento e integração do sistema. Assim, em sua aceção mais ampla, fabricação envolve atividades inter-relacionadas que incluem projeto (*design*) do produto, seleção de partes e materiais, definição e qualificação de processos, produção, testes e integração.

¹ Conforme a moderna terminologia adotada pelo padrão ECSS, processos aptos para implementação na fabricação de equipamento de voo são ditos *verificados* ao invés de *qualificados*, como na terminologia anteriormente adotada. Ainda, conforme a nova terminologia, materiais aptos para voo são ditos *validados* enquanto que partes aptas para voo são ditas *qualificadas*.

Estas atividades podem ser organizadas em processos, os quais são, genericamente, designados por processos técnicos.

Processos técnicos na área de produção ou fabricação são aqueles que afetam diretamente a fabricação dos sistemas espaciais, ou seja, que fazem parte das atividades de manufatura dos equipamentos em si e de suas partes; incluem, por exemplo: pintura de uma antena, soldagem de componentes EEE em uma placa de circuito impresso, e outros.

UM processo técnico na área espacial pode ser descrito, de forma muito abrangente, como ilustrado no esquema na Figura 2.1.

Podemos dizer que um processo é constituído dos seguintes elementos: uma tarefa que pode ser descrita por operações passo-a-passo, executadas sobre matérias primas qualificadas para voo, tendo, também, como entradas materiais auxiliares, tais como produtos químicos como ácidos e bases, ou materiais como tecidos e fitas adesivas. As saídas de processos podem ser produtos ou serviços. Durante a realização da tarefa, além da execução do produto, são realizadas verificações, tais como inspeções e ensaios, para certificação de que os requisitos aplicáveis estejam sendo atendidos. Para que a tarefa seja realizada, são necessários recursos tais como: equipamentos e instrumentos calibrados, fontes de energia, mão de obra especializada e condições de infra-estrutura especiais.

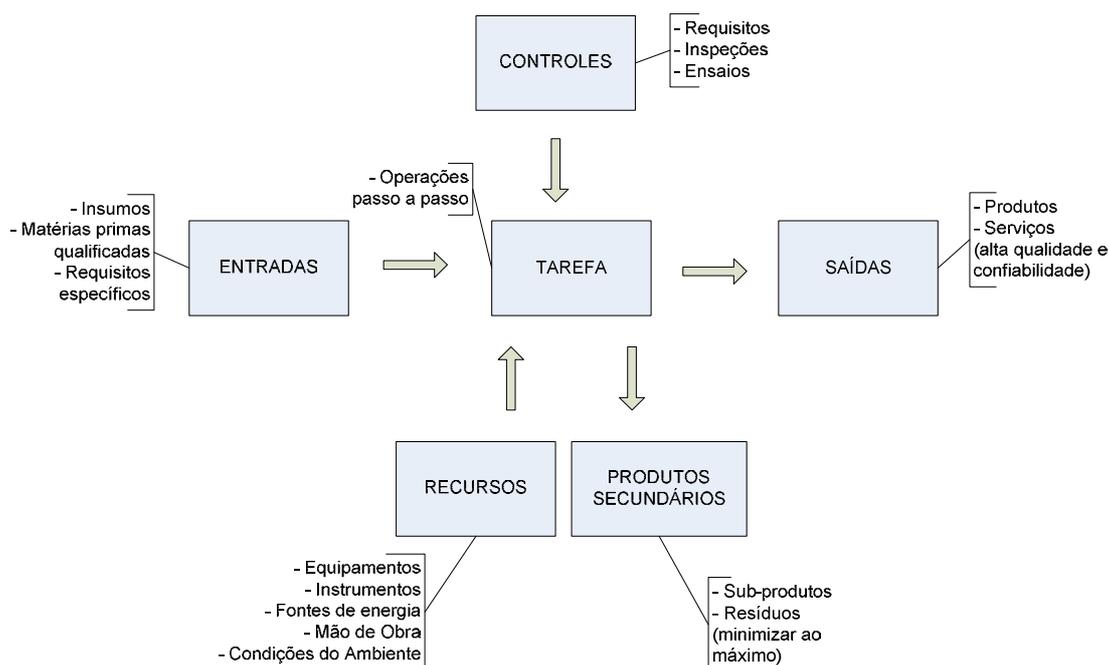


Figura 2.1 – Representação de processo técnico

E como qualquer tarefa, produz produtos secundários que podem ser subprodutos indesejados ou resíduos. Ao longo do presente trabalho, toda referência a processo técnico encerrará, implicitamente, a descrição aqui apresentada.

2.3. Qualificação de processos

A qualificação de processos tem por objetivo principal garantir que o processo tenha sido desenvolvido de tal forma que “...independentemente da necessidade ou não de interveniência direta de mão-de-obra, o processo produz sempre o mesmo resultado, resultado este que atende a requisitos pré-estabelecidos, advindos tanto de normas para a área espacial quanto do projeto em que será utilizado...” (GONDO; PERONDI, 2010).

Tal demonstração de atendimento de requisitos ocorre, quando aplicável, através da realização de ensaios e inspeções executados através de métodos normalizados.

Para os processos serem considerados qualificados os parâmetros do processo, as matérias primas, as operações para execução do processo, as habilidades dos colaboradores e os produtos resultantes devem, necessariamente, manter-se constantes.

A Qualificação dos processos técnicos garante que eles sejam equivalentes na fabricação dos Modelos de Qualificação e de Voo, de modo que a filosofia de modelos tenha seu fundamento garantido no que diz respeito aos processos.

A realização do processo e o seu controle se dão em conformidade com procedimentos devidamente documentados. Esta documentação contém detalhes suficientes para garantir uma linha de base de fabricação controlada, o que, por sua vez, garante que os itens de produção posterior serão equivalentes, em desempenho, qualidade, dimensões e confiabilidade.

Na prática, na qualificação de processos os processos devem ser muito bem definidos. Esta definição é descrita inicialmente num plano que detalha todas as etapas que serão realizadas, incluindo os ensaios que serão realizados para a verificação do processo tanto na execução da qualificação quanto na fabricação dos produtos finais. Posteriormente, são preparadas operações do processo que descrevem passo a passo as atividades utilizadas para executar o processo, e por fim são redigidos os relatórios que descrevem detalhadamente os resultados dos ensaios, bem como a análise dos mesmos.

Desta forma, quando se utilizam processos qualificados, através de verificações, garante-se a repetibilidade e a aderência aos requisitos aplicáveis. Uma vez qualificado um processo, mesmo após um longo período sem sua utilização na fabricação de produtos espaciais, sua repetição é obtida com grande facilidade.

Um segundo aspecto de extrema relevância na área de processos qualificados, é o fato de que tornar repetitivo um processo viabiliza a melhoria deste processo, pois é possível comparar os resultados de diferentes

implementações e atuar na melhoria deste processo, uma vez que os parâmetros para a realização do processo são bem conhecidos.

Finalmente, o terceiro aspecto, de extrema relevância na área de processos qualificados, diz respeito ao fato de que o uso de processos qualificados preserva todos os detalhes da fabricação, possibilitando a rastreabilidade do processo de fabricação, como um todo. A rastreabilidade total do processo de fabricação é um requisito de gestão da qualidade em projetos na área espacial, e permite que fontes de possíveis falhas sejam identificadas e corrigidas durante a fase de qualificação de um produto. Presta-se, também, ao diagnóstico de falhas após o início de operação do produto.

2.4. Controle de processos

Muitas vezes, o conceito de controle de processos pode ser utilizado como o controle que é realizado pelo emprego de métodos para manter a vigilância da execução de um processo, através de computadores, dosadores, analisadores, gráficos etc, de forma a garantir que o processo seja executado sempre dentro dos parâmetros previstos nas operações de processo. No âmbito do presente trabalho, o controle de processos, é mais amplo, ele contém o sentido acima. Ele será entendido como um conjunto de atividades realizado para garantir que todo processo técnico:

- esteja apto para ser utilizado no Modelo de Voo;
- seja documentado e repetitivo;
- seja realizado corretamente;
- gere produtos com os requisitos de projeto bem conhecidos, e
- tenha as modificações necessárias sempre formalizadas.

de forma a tornar possível que os processos qualificados sejam usados recorrentemente, mantendo-os organizados e controlados.

2.5. Classificação de processos

Apresentamos nesta seção uma breve revisão sobre o uso do conceito de classificação de processos em um âmbito bastante amplo, qual seja o de sistemas produtivos.

Conforme a visão moderna de gestão, sintetizada em oito princípios na Norma NBR ISO 9004-2000 (ABNT-2000), reproduzidos na Tabela 2.1, em toda a atividade produtiva deve-se buscar uma abordagem sistêmica e de processos.

Tabela 2.1 – Princípios e Fundamentos da Norma NBR ISO 9000

1	Foco no cliente
2	Liderança
3	Envolvimento de pessoas
4	Abordagem de processo
5	Abordagem sistêmica da gestão
6	Melhoria contínua
7	Abordagem factual para a tomada de decisão
8	Benefícios mútuos nas relações com os fornecedores

Fonte: ABNT (2000)

Estes princípios aplicam-se, de forma muito ampla, a todas as atividades desenvolvidas no âmbito de um sistema produtivo, seja ele voltado para a produção de produtos tangíveis ou para a prestação de serviços. O fluxo produtivo no modelo de Gestão por Processos é organizado em uma hierarquia de processos, os quais, em uma das possíveis categorizações, podem ser classificados em Famílias, como ilustrado na Tabela 2.2 (BARBARÁ, 2008).

A atividade de transformação encontra-se, assim, estruturada na forma de processos, podendo a empresa ser vista como um sistema de processos encadeados.

Podemos classificar estas famílias, também, conforme sua aplicação: gerenciamento, apoio ou técnico. Como de gerenciamento poderíamos classificar as famílias de Administração Geral e Comerciais, como de apoio as Educacionais, Financeiros e Legais e, finalmente, como técnicos as de Desenvolvimento de Tecnologia, Gerenciamento de linha de produto e Manufatura.

Tabela 2.2 – Classificação de Processos em Famílias

<i>Família</i>	<i>Exemplo</i>
Administração Geral	Comunicações internas, definição de visão, desenvolvimento de liderança.
Comerciais	Gerência de marketing, gestão de filiais, entre outros.
Desenvolvimento de tecnologia	Avaliação de tecnologia, seleção de novos produtos, gestão de projetos.
Educacionais	Desenvolvimento de habilidades, educação do consumidor, desenvolvimento gerencial.
Financeiros	Gestão de orçamento, planejamento de investimentos, gestão de caixa.
Gerenciamento de linha de produto	Gestão de produto específico, consultoria, <i>outsourcing</i> .
Legais	Regulamentação, registro e controle de patentes, definição de requisitos legais sobre o produto.
Manufatura	Planejamento da produção, processos de fabricação, controle de estoques.

Fonte: Adaptado de Barbará (2008).

Para a área espacial, podemos propor a seguinte classificação dos processos:

- processos técnicos – são aqueles que afetam diretamente a fabricação dos veículos espaciais, ou seja, que fazem parte das atividades de

manufatura dos equipamentos em si e de suas partes; por exemplo: pintura de uma antena, soldagem de componentes EEE em uma placa de circuito impresso, e outros;

- processos de apoio – são os que colaboram com os demais processos na busca de sucesso do produto final, por exemplo: processos da qualidade, compra de componentes EEE, e outros;
- processos gerenciais – dão suporte à coordenação das atividades de apoio e dos processos primários; controle de cronograma; revisões técnicas, e outros.

Projetos, os quais podem ser vistos como organizações temporárias, encontram-se, igualmente, estruturados na forma de um conjunto de processos. Conforme o padrão de gestão empregado, os processos de um projeto ganham tratamento e classificações diferentes. Por exemplo, no caso do Padrão Project Management Book of Knowledge - PMBOK (PMI, 2004), os processos são agrupados por áreas de conhecimento, conforme apresentado na Tabela 2.3. Processos relativos ao projeto (design) e à fabricação não são abordados neste padrão.

No caso do Padrão ECSS (ECSS, 2010), os processos de um projeto são organizados em três áreas de conhecimento: Gerenciamento, Garantia do Produto e Engenharia, como mostrado na Figura 2.2.

Tabela 2.3 – Processos de gerenciamento de projeto (veja no Manual tabela com continuação)

Processos de área de conhecimento	Grupos de processos de gerenciamento de projetos				
	Grupo de processos de iniciação	Grupo de processos de planejamento	Grupo de processos de execução	Grupo de processos de monitoramento e controle	Grupo de processos de encerra

					mento
Integração do gerenciamento de projetos	Desenvolver o termo de abertura do projeto / Desenvolver a declaração do escopo preliminar do projeto	Desenvolver o plano de gerenciamento do projeto	Orientar e gerenciar a execução do projeto	Monitorar e controlar o trabalho do projeto / Controle integrado de mudanças	Encerrar o projeto
Gerenciamento do escopo do projeto		Planejamento de escopo / Definição do escopo / Criar EAP		Verificação do escopo / Controle do escopo	
Gerenciamento do tempo do projeto		Definição da atividade / Sequenciamento de atividades / Estimativa de recursos da atividade / Estimativa de duração da atividade / Desenvolvimento do cronograma		Controle do cronograma	
Gerenciamento de custos e projetos		Estimativa de custos / Orçamentação		Controle de custos	
Gerenciamento de qualidade do projeto		Planejamento da qualidade	Realizar a garantia da qualidade	Realizar o controle da qualidade	
Gerenciamento de recursos humanos do projeto		Planejamento de recursos humanos	Contratar ou mobilizar a equipe do projeto / Desenvolver a	Gerenciar a equipe do projeto	

			equipe do projeto		
Gerenciamento das comunicações do projeto		Planejamento das comunicações	Distribuição das informações	Relatório de desempenho / Gerenciar as partes interessadas	
Gerenciamento de riscos do projeto		Planejamento do gerenciamento de riscos / Identificação de riscos / Análise qualitativa de riscos / Análise quantitativa de riscos / Planejamento de respostas a riscos		Monitoramento e controle de riscos	
Gerenciamento de aquisições do projeto		Planejar compras e aquisições / Planejar contratações	Solicitar respostas de fornecedores / Selecionar fornecedores	Administração de contrato	Encerramento do contrato

Fonte: adaptado do Guia PMBOK (2004)

1. O gerenciamento de projetos tem o objetivo geral de concluir com sucesso o projeto em termos de desempenho custo, cronograma e técnica. O gerenciamento de projetos integra as funções de engenharia, gestão e garantia de produto, necessárias para a execução do projeto.
2. A engenharia de sistemas espaciais inclui os processos de engenharia aplicados aos sistemas espaciais com seus elementos ou funções e os aspectos técnicos dos produtos associados às missões espaciais.
3. O objetivo principal de garantia do produto é garantir que os produtos espaciais realizem seus objetivos e que eles sejam seguros, disponíveis e confiáveis.

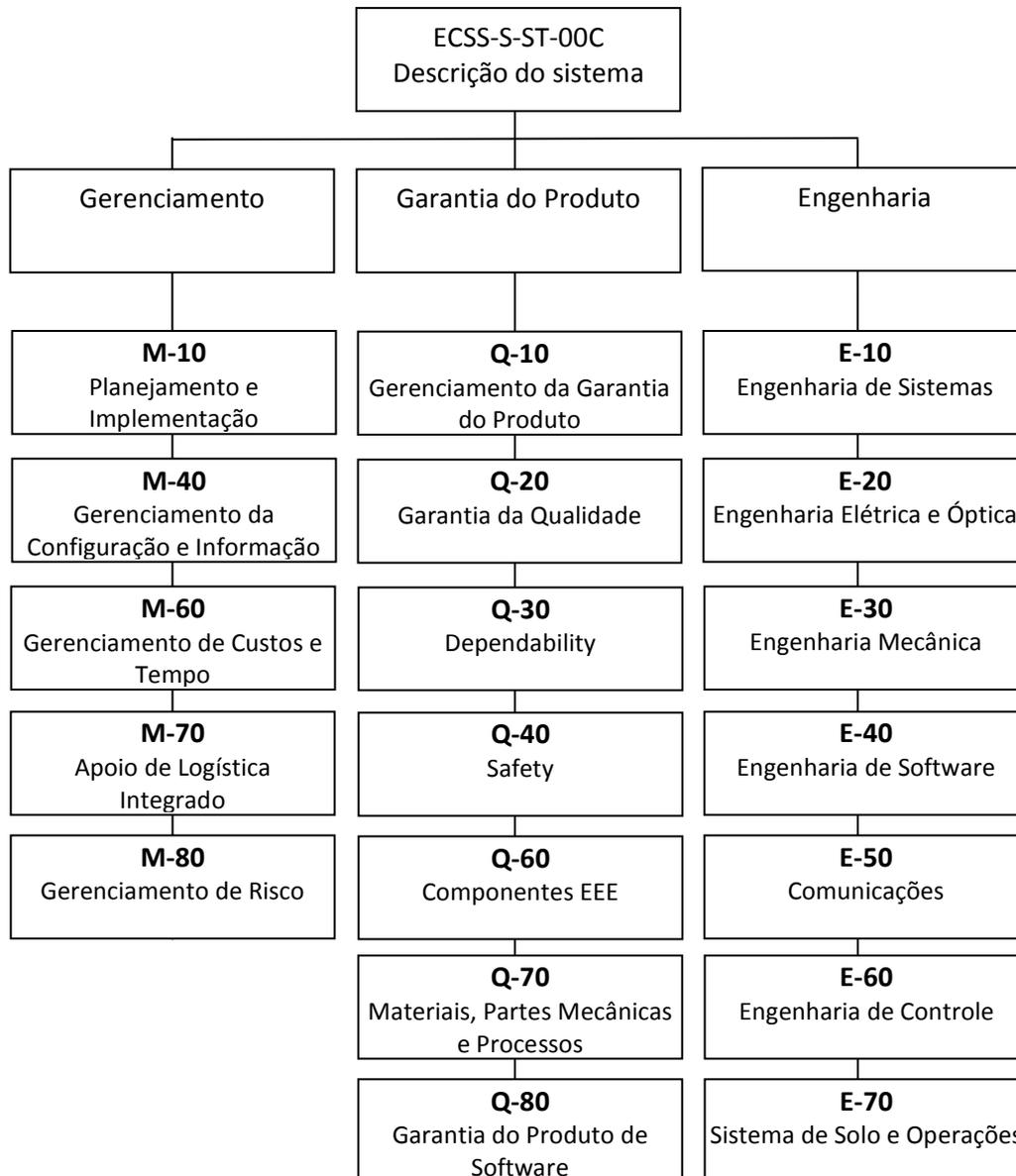


Figura 2.2 – Grupos de processos distribuídos nas categorias Gestão, Qualidade e Engenharia ECSS

Fonte: Adaptado de ECSS (2010)

2.6. Relação entre processos, métodos e procedimentos

Esta seção visa estabelecer as diferenças entre os conceitos de processos, métodos e procedimentos, que causam muitas vezes problemas no seu uso, devido à similaridade nos seus significados.

Processo - conjunto de atividades inter-relacionadas ou em interação que transformam entradas em saídas. (ECSS, 2004).

NOTA 1 As entradas para um processo são geralmente saídas de outros processos.

NOTA 2 Processos em uma organização são geralmente planejados e realizados sob condições controladas para agregar valor.

NOTA 3 Um processo cuja conformidade do produto resultante não pode ser prontamente ou economicamente verificada, é frequentemente chamado de "processo especial".

Procedimento - forma especificada de executar uma atividade ou um processo (ECSS, 2004).

NOTA 1 Procedimentos podem ser documentados ou não.

NOTA 2 Quando um procedimento é documentado, o termo "procedimento escrito" ou "procedimento documentado" é frequentemente usado. O documento que contém um procedimento pode ser chamado de "documento de procedimento".

Segundo o dicionário Aurélio (Ferreira, 1999) processo é "*Maneira pela qual se realiza uma operação, segundo determinadas normas; método, técnica: processo manual; processo mecânico*" e esta fonte ainda indica *processo* e *método* como sinônimos de *procedimento*.

Neste trabalho definiremos que o processo são as atividades que podem ser utilizadas da mesma forma em vários produtos, ou seja, operações universais como colagem, soldagem, tratamentos de superfícies que podem ser usados na fabricação de vários equipamentos nas mesmas condições.

Para processos também temos o conceito de processo unitário, como designado por alguns autores (UMPRC, 1995), que é definido como um conjunto de operações inter-relacionadas que cumprem uma parte do escopo total da fabricação de um equipamento. Assim, para um dado equipamento, pode ser dito que a soma do escopo de todos os processos unitários de fabricação é igual ao escopo total da fabricação deste equipamento.

No presente trabalho, para este escopo total da fabricação dos equipamentos, daremos a denominação de procedimento; então procedimentos serão as descrições passo a passo de todas as atividades necessárias para se produzir um equipamento completo, e não apenas a descrição de um processo unitário. O equipamento é a menor parte em que é decomposto o produto final, num acordo entre o cliente e o fornecedor dos equipamentos. Neste procedimento o fornecedor irá descrever todas as atividades necessárias para produzir o equipamento. Este procedimento pode incluir um ou mais processos bem como operações de teste, de ajuste, de inspeção, de retrabalhos e de montagem. Desta forma o procedimento se inicia com a retirada das matérias primas do estoque e chega ao equipamento completamente montado e testado, pronto para ser integrado aos demais equipamentos da plataforma orbital.

E método pela definição do dicionário Aurélio pode ser *um modo de proceder; meio*. Neste trabalho definiremos que métodos são as diversas formas de se executar um processo, por exemplo, se é automático ou manual, se é via processo químico ou mecânico e etc.

Introduziremos outro termo utilizado neste trabalho que é o de *operações do processo*. Este termo será utilizado para se referir ao documento elaborado para descrever as atividades passo a passo que realizam um processo unitário.

2.7. Relação entre processos, partes mecânicas e materiais, na área espacial

Pela Cooperação Européia de Padronização Espacial ECSS (ECSS, 2008) a disciplina de materiais, partes mecânicas e processos, define os requisitos para o controle, seleção e aquisição dos materiais, partes mecânicas e processos para uso em projetos espaciais de forma a assegurar o atendimento aos requisitos de desempenho da missão. Em particular:

- Requisitos e processos para seleção (por exemplo, caracterização, avaliação, qualificação para a sua utilização pretendida) e aquisição de materiais e partes mecânicas (por exemplo, *outgassing*, ciclagem térmica, radiação, soldagem), e
- Requisitos e processos para evitar a contaminação do planeta (por exemplo, controle de limpeza, esterilização).

Em termos de requisitos gerais, o padrão prescreve que todo projeto tenha um plano de Materiais, Partes Mecânicas e Processos (MPMP), que será parte integrante de seu Plano de Garantia do Produto, e que será submetido ao cliente para aprovação. (ECSS, 2009c).

A Tabela 2.4 abaixo resume os passos para avaliação das partes mecânicas, materiais e processos segundo o padrão ECSS (ECSS, 2009d):

Pelo padrão ECSS a seleção de materiais deve ser feita conforme a seguir:

Para a escolha dos materiais deve ser dada a seguinte preferência:

1. aqueles utilizados com êxito para uma aplicação idêntica em outros programas similares espaciais no que diz respeito às restrições ambientais e tempo de vida para a aplicação proposta;

2. aqueles para os quais são obtidos resultados satisfatórios em amostras representativas de aplicação com margem suficiente em relação às condições de uso;

3. aqueles inclusos em fontes de dados aprovados.

Tabela 2.4 – Passos a serem realizados para obtenção da aprovação de materiais, partes mecânicas e processos.

Fase	Materiais		Partes Mecânicas		Processos	
	Passo	Comentários	Passo	Comentários	Passo	Comentários
Análise Crítica	1		1		1	
Avaliação(usualmente por métodos de teste definidos em padrões da ECSS)	2	Materiais críticos são testados, por exemplo para <i>outgassing</i> , corrosão sob tensão, flamabilidade.	2	Partes Mecânicas são testadas, por exemplo, por vibração, <i>offgassing</i> , análises térmicas e tempo de vida.	2	Processos críticos são avaliados por preparação de amostras, incluindo, por exemplo, processos de interconexão elétrica, pintura, e colagem.
Verificação	Não é aplicável		Não é aplicável		3	Testes de verificação, definidos usualmente nos padrões ECSS
Validação	3		Não é aplicável		Não é aplicável	
Qualification	Não é aplicável		3		Não é aplicável	
Aprovação		Por RFA ou DML		Por RFA ou DMPL/DPL		Por RFA ou DPL
<p>NOTA 1 Pela ECSS as aprovações são sempre realizadas através do formulário para requisição de aprovação (RFA – Solicitação de Aprovação) e pelas listas declaradas de materiais (DML – Lista de Materiais Declarados), de partes mecânicas (DMPL – Lista de Partes mecânicas Declaradas) e de processos (DPL – Lista de Processos Declarados)</p> <p>NOTA 2 Resumindo: Materiais são validados. Partes Mecânicas são qualificadas. Processos são verificados.</p> <p>Os cursos para treinamento devem ser certificados pela ESA. Testes realizados externamente ou laboratórios de avaliação devem ser certificados pela Agência ou por certificadoras.. Operadores e inspetores para processos especiais e críticos devem ser treinados, certificados e monitorados.</p>						

Fonte: Adaptado de ECSS (2009d)

Se os materiais já são validados ou ainda precisam ser validados, sua seleção deve ter em conta os seguintes critérios:

1. continuidade de fornecimento;
2. reprodutibilidade de características.

A seleção de partes mecânicas deverá se dar como abaixo:

Partes mecânicas são devem escolhidos de entre aqueles utilizados com êxito para uma aplicação idêntica em outros programas espaciais semelhantes, com relação a restrições do ambiente e do tempo de vida.

Devem ser implementadas ações para redução dos tipos das partes mecânicas.

Se as partes já estão qualificados ou ainda precisam ser qualificados, sua seleção deverá ter em conta os seguintes critérios:

1. durabilidade de fornecimento;
2. reprodutibilidade de características.

E os processos tem sua seleção de acordo com:

Os processos devem ser escolhidos entre aqueles que forem verificados e estiverem de acordo com a seguinte ordem de preferência:

1. os abrangidos por agências espaciais ou certificação de outra organização governamental para condições idênticas de uso;
2. aqueles para os quais resultados de avaliação e da verificação satisfatórios são obtidos em amostras representativas de aplicação com uma margem suficiente;

3. aqueles já utilizados com sucesso pelo mesmo fornecedor para outros programas espaciais, mas nas mesmas condições de uso.

Se os processos já são verificadas ou continuam a ser verificados, sua seleção deve ter em conta os seguintes critérios:

1. confiabilidade;
2. inspecionabilidade;
3. re-aplicabilidade do item do processo;
4. reprodutibilidade.

Através destes critérios de seleção podemos observar que para que com significados equivalentes são utilizadas as palavras “validado” para materiais, “qualificado” para partes mecânicas e “verificado” para processos.

Ainda no padrão de Materiais, Partes e Processos da ECSS encontramos uma definição da relação entre materiais, partes mecânicas, processos e as fases de vida do projeto.

Em cada uma das fases de vida do projeto as atividades da garantia do produto dos materiais, partes mecânicas e processos são realizadas conforme descritas abaixo.

1. Fase de viabilidade (fase A)
 - a. identificar as principais limitações do programa em relação a materiais, partes mecânicas e processos,
 - b. definir a política desta questão, e
 - c. planejar as tarefas de garantia do produto para a fase de definição do projeto.

2. Fase de definição preliminar (fase B)

- a. definir ou identificar os requisitos,
- b. identificar os principais novos itens necessários e planejar as correspondentes ações para a fase C,
- c. planejar as tarefas da garantia de produto para a concepção detalhada, desenvolvimento, fabricação, integração, fase de testes e preparar plano de materiais, partes mecânicas e processos como parte do plano da Garantia do Produto (GP), e
- d. dar apoio a revisão de projeto preliminar.

3. Fase de definição detalhada e produção (fase C ou D)

- e. identificar os materiais, partes mecânicas e processos;
- f. emitir as listas preliminares;
- g. identificar os itens críticos;
- h. elaborar ou rever RFA;
- i. dar suporte para a identificação de pontos obrigatórios de inspeção;
- j. estabelecer um programa de avaliação, execução de testes ou revisão de resultados de teste;
- k. estabelecer programas de validação, qualificação, ou verificação ;
- l. dar suporte ao processamento de não-conformidades (NRB, comissão para análise de não conformidades);
- m. estabelecer as listas do “como projetado”;
- n. dar apoio a revisão crítica do projecto;

- o. dar apoio a revisão de qualificação;
 - p. estabelecer as listas finais do “como projetado”;
 - q. dar apoio à liberação da fabricação de hardware de voo;
 - r. dar apoio a revisão da aceitação final.
4. Fase de utilização (fase E)
- a. dar apoio à fabricação de produtos recorrentes,
 - b. dar apoio à investigação de anomalias da fase operacional, e
 - c. atualizar as listas de materiais em voo para incorporar os novos materiais que foram adicionadas ou alteradas como resultado das atividades de NCR. Em particular, as listas de PMP que devem incluir os materiais que realmente voaram nas espaçonaves e suas cargas úteis.

Pela Agência Espacial Americana, NASA, o padrão que trata deste assunto é relativo à implementação, controle e seleção somente de Materiais e Processos, Standard Materials and Process Requirements for Spacecraft, NASA-STD 6016 (NASA, 2008).

Segundo este padrão os Materiais e Processos (M&P) devem ser definidos por padrões e especificações, seguindo a prioridade do governo, depois da indústria e por último das empresas.

Modificações nos padrões e especificações identificados no Plano necessitam da aprovação da organização de M&P da agência espacial através de um documento de acordo. No caso da NASA é o MUA.

Especificações de processos devem definir passos do processo a um nível de detalhes que garanta um processo repetível e controlado e que fornece um

produto confiável que mantém suas características em todas as suas produções.

A qualificação de processos deve ser conduzida para demonstrar que a repetibilidade de todos os processos onde a qualidade do produto não pode ser diretamente verificada por inspeção ou medições posteriores.

Uso de materiais e padrões/especificações de processos novos, alternativos ou atualizados somente serão implementados com a atualização e aprovação do Plano de M&P pela NASA ou de acordos específicos garantindo que não serão afetadas adversamente a funcionalidade, confiabilidade e a segurança do produto.

Todas as partes mecânicas ou materiais deverão ser certificadas com relação a sua composição, propriedades e requisitos de acordo o documento de aquisição. Aqueles com aplicações críticas de segurança, fraturas e tempo de vida limitado devem ser rastreáveis.

Para as Partes Mecânicas e Materiais devem ser verificados requisitos tais como flamabilidade, degasagem, compatibilidade de fluídos.

Especificamente para metais devem ser verificadas questões de aplicabilidade, tratamentos térmicos, de revestimento, para alívio de fragilização pela presença de hidrogênio, análises metalúrgicas e de microdureza e etc.

Para materiais não metálicos devem ser estudadas características tais como tempo de vida, temperaturas críticas de uso, limitações de uso no vácuo, materiais incompatíveis, resistência a fungos.

E para processos devem ser observadas características como cuidados específicos, aprovações intermediárias, testes e inspeções mínimas, normas específica e etc.

2.8. Relação entre processos e garantia da qualidade na área espacial

Pela Cooperação Européia de Padronização Espacial ECSS, conforme o padrão (ECSS, 2008) as disciplinas que tratam de processos e de qualidade encontram-se dentro do ramo da Garantia do Produto. Conforme a seguinte estrutura:

Disciplinas da Garantia do Produto

- Gerenciamento da garantia do produto
- Garantia da qualidade
- Dependabilidade
- Segurança
- Componentes (EEE) elétricos, eletrônicos e eletromecânicos
- Materiais, partes mecânicas e processos
- Garantia do produto de softwares

A globalização fez as organizações aeroespaciais serem obrigadas a assegurarem a qualidade e integração de produtos adquiridos de fornecedores em todo o mundo e em todos os níveis dentro da cadeia de suprimentos. Para atingir a segurança e o sucesso em suas missões, a NASA, implementou uma abordagem minuciosa, disciplinada e baseada em risco para a qualidade. A Agência coordenou-se com a Indústria para ter ferramentas, técnicas, tecnologia, política, procedimentos e treinamentos para obter uma qualidade eficiente e eficaz. O Programa de Qualidade da NASA tem múltiplos grupos de qualidade para atender diversas áreas. As entidades da qualidade da NASA seguem descritas abaixo (NASA, 2011):

- Grupo AS 9100

O padrão Society of Automotive Engineers Aerospace Standard (AS) 9100, Sistemas de Qualidade - Aeroespacial - Modelo para Garantia da Qualidade no Projeto (Design), Desenvolvimento, Produção, Instalação e Manutenção é utilizado como base do programa.

- Cláusulas de Qualidade

AAQG (Americas Aerospace Quality Group) está revendo práticas para inserir declarações de qualidade nas ordens de compra ou contratos, referidas muitas vezes como "cláusulas de qualidade". Estas declarações ajudam a reduzir as incertezas associadas à exigência de qualidade que é solicitada à indústria aeroespacial.

- Agência do Comitê de Planejamento de Auditoria Conjunta

A agência do Comitê de Planejamento de Auditoria Conjunta (JAPC – Joint Audit Planning Committee) é uma comissão que coordena o planejamento, programação, monitoramento e gestão das atividades de auditoria nos fornecedores. Esta comissão coordena as atividades de auditorias dentro da NASA, com outras agências governamentais e com o setor industrial, reduzindo a duplicação de recursos. Existe um Sistema de Avaliação de Fornecedores NASA (SAS - Supplier Assessment System) que este Comitê utiliza como um banco de dados que se foca em fornecer informações sobre a utilização, as condições de certificação e avaliação das atividades de fornecedores.

- Equipe para Mão de Obra

É um grupo de trabalho que trabalha com os padrões de fabricação e treinamento de mão de obra para *hardware* críticos de voo espacial e de suporte em Terra. A equipe mantém a pesquisa e o desenvolvimento relativos a problemas de mão de obra da indústria espacial. Promove a responsabilidade e a melhoria contínua de fabricações realizadas pela indústria. Fornece

informações sobre as melhores práticas, lições aprendidas e requisitos específicos associados aos voos espaciais. Explica a razão pela qual os requisitos de fabricação para voo espacial são exclusivos, de forma que cada programa e projeto podem verificar seus riscos individualmente contra estes requisitos e se adaptarem.

- Garantia de Componentes EEE/ Componentes e Encapsulamento EEE

Os grupos de Garantia de Componentes EEE da NASA (NEPAG - NASA EEE Parts Assurance) e de Componentes e Encapsulamento EEE da NASA (NEPP - NASA EEE Parts and Packaging) fornecem ferramentas, informações e recursos para que os engenheiros de componentes EEE e especialistas em componentes aperfeiçoem o seu trabalho nos programas e projetos. Os grupos NEPAG/NEPP coordenam as questões de componentes EEE, implementando sistemas e ferramentas de TI para assessorar atividades de garantia, cuidando da qualidade para comércio de componentes EEE, desenvolvendo ferramentas de garantia para partes comerciais prontas de prateleira (COTS - commercial off-the-shelf), estabelecendo diretrizes e procedimentos para a qualificação de componentes EEE e mantendo parcerias com o DoD, a indústria e outras agências relacionadas no que diz respeito às questões de EEE.

- Grupo de Controle do Processo

O Controle do Processo é muito importante na gestão de riscos que garante a segurança e a confiabilidade dos voos espaciais. As medidas de controle de processo ajudam na prevenção de lapsos em processos, os quais podem resultar em ou contribuir para anomalias em voo, acidentes, incidentes e não conformidades. Este grupo também comunica e compartilha informações para manter a implementação de padrões de controle de processo.

- Divulgação para fornecedores

A equipe de Divulgação fornece condições e educação para controle de processos para a indústria, universidades e organizações sem fins lucrativos que fornecem para a NASA produtos e serviços relacionados ao voo espacial. É uma extensão do trabalho realizado pelo Space Shuttle Program PCFG.

- Equipe de Fiscalização

Esta equipe de fiscalização verifica questões tais como de medidas de qualidade/desempenho, cláusulas de qualidade e indicadores de risco. A equipe inclui representantes das áreas de compras, finanças, qualidade e engenharia. Os objetivos desta equipe são o de fornecer informações sobre orientação, ferramentas, melhores práticas e lições aprendidas relacionadas às atividades de fiscalização.

- Grupo de Qualidade Aeroespacial das Américas

O Grupo de Qualidade Aeroespacial das Américas (AAQG - Américas Aerospace Quality Group) é um subcomitê do Conselho Aeroespacial da Sociedade de Engenharia Automotiva (SAE - Society of Automotive Engineering). A missão da AAQG é satisfazer as expectativas do cliente através de uma parceria entre o governo e a indústria usando práticas e processos de qualidade de nível internacional. Isto é feito pela definição e publicação de uma definição operacional comum de requisitos do sistema da qualidade para a comunidade aeroespacial, que não são suficientemente definidas por outros padrões nacionais ou internacionais, e também para integrar o sistema de requisitos da qualidade da agência governamental à indústria aeroespacial.

- Programa de Acreditação de Contratantes da Defesa e Setor Aeroespacial Nacional

O Programa de Acreditação de Contratantes da Defesa e Setor Aeroespacial Nacional (NADCAP - National Aerospace and Defense Contractor Accreditation

Program) consiste de contratantes principais, fornecedores e agências governamentais dos segmentos aeroespacial, da defesa e indústrias relacionadas em todo os Estados Unidos e no mundo. O NADCAP credencia subcontratados e fornecedores para as indústrias aeroespaciais e de defesa cujas normas são consensuais. A NASA também é um membro de NADCAP.

- Programa de Avaliação e Relatórios de Dados de Produtos

O Programa de Avaliação e Relatórios de Dados de Produtos (PEDREP - Product Data Reporting and Evaluation Program) é um sistema de informação automatizado. O PEDREP rastreia qualidade e desempenho de materiais e serviços adquiridos pelas agências governamentais participantes. A NASA é membro do PEDREP.

- Academia

Como a NASA é líder na pesquisa e desenvolvimento da aeronáutica e espaço através da Academia de Qualidade Aeroespacial (AAQ - Academy of Aerospace Quality) combina currículos acadêmicos com tutores, cujos principais pesquisadores são cientistas da NASA, com o objetivo de melhorar o conhecimento e a compreensão das disciplinas de qualidade aeroespacial a nível universitário. A academia utiliza informações de qualidade da NASA, por exemplo, sobre fabricação, avaliação e componentes EEE, do mundo real para ajudar contribuir com as universidades a compreenderem e ensinarem as necessidades da qualidade singular dos voos espaciais e de modo a contribuir na preparação das próximas gerações de técnicos, engenheiros e cientistas aeroespaciais. Mais de cinquenta universidades têm contratos, concessões e acordos de cooperação com a NASA para fornecer produtos e serviços que dão suporte à experimentação com voos espaciais.

Os tópicos desta Academia têm sua organização conforme a figura 2.3, que mostra o posicionamento da função Controle de processos dentro da grande área que é o Controle da qualidade.

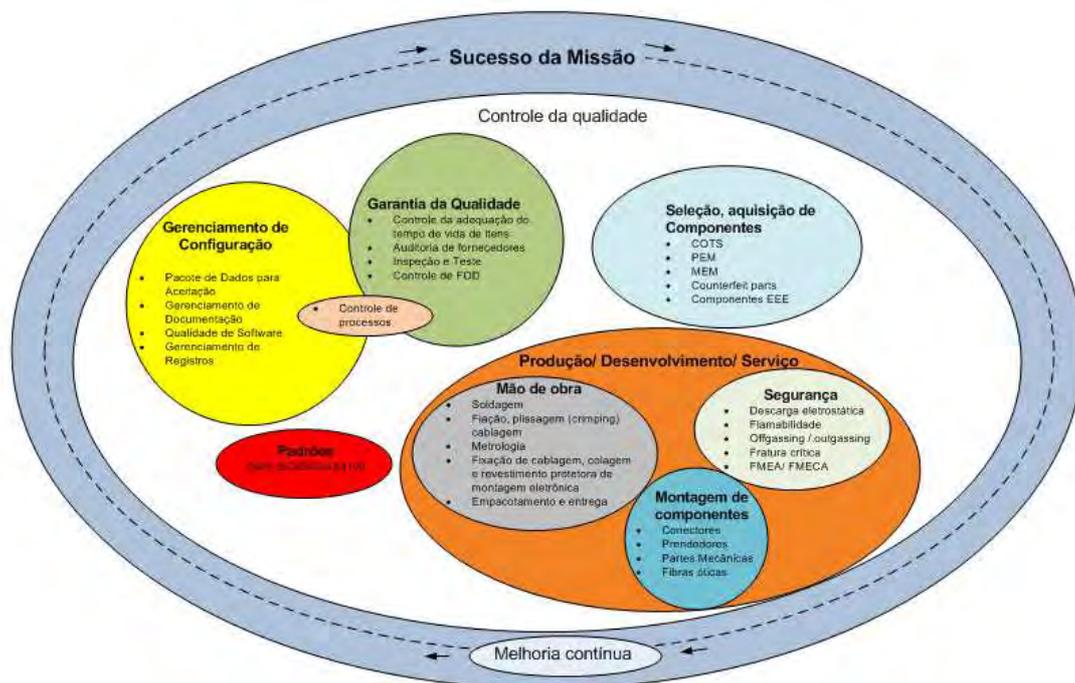


Figura 2.3 – Grupos dos Tópicos da Academia de Qualidade Aeroespacial da NASA

Fonte: Adaptado de AAQ (2012)

Vemos na Figura 2.3 que o Controle de processos é um tópico que está localizado entre duas áreas, a de Gerenciamento da configuração e de Garantia da qualidade, pois deve cumprir as atribuições das duas áreas, ou seja, mantendo os processos sob gerenciamento de configuração, as informações necessárias para a execução efetiva dos processos serão registradas, armazenadas, distribuídas e modificadas de forma rastreável e garantindo a qualidade na utilização dos processos, é possível garantir que os processos irão produzir produtos seguros e confiáveis.

2.9. Relação entre validação, verificação e qualificação

Para utilizarmos os termos validação, verificação e qualificação nesta questão de processos, devemos fazer um estudo, pois eles podem ter seus significados utilizados de formas diferentes nas suas diversas aplicações, muitas vezes até um substituindo o outro.

Segundo o padrão sobre verificação da ECSS, a Verificação de um produto é realizada em relação aos requisitos que determinam a adequação do produto para cumprir as necessidades do uso pretendido. A Validação é obtida através do processo de Verificação dado que requisitos adequados são conferidos ao produto. (ECSS, 2009n)

Conforme esta norma ainda (ECSS, 2009o) os objetivos do processo de verificação são:

- demonstrar a qualificação do projeto e que o desempenho atendem os requisitos especificados;
- garantir que o produto está de acordo com o projeto, sem defeitos de fabricação e aceitável para uso;
- confirmar a integridade do produto bem como seu desempenho;
- confirmar que o sistema é capaz de cumprir os requisitos da missão.

No padrão NASA (NASA, 2007) encontramos as seguintes definições de verificação e validação. A verificação de um produto mostra a prova da concordância com os requisitos – que o produto pode atender cada declaração obrigatória provada através da realização de um teste, análise, inspeção ou demonstração. A validação de um produto mostra que o produto efetua o propósito pretendido no ambiente pretendido e que atende as expectativas do cliente e outros atores afetados mostrados através da realização de teste, análise, inspeção ou demonstração.

Conforme a *Food and Drug Administration* (FDA, 2011) a validação do processo é definida como coleta e avaliação de dados, que se inicia na fase de projeto (design) de processos através da produção comercial, que estabelece evidência científica de que um processo é capaz de fornecer consistentemente produtos de qualidade. A validação do processo envolve uma série de atividades que ocorrem ao longo do ciclo de vida do produto e processo. De

acordo com o FDA as atividades da validação do processo se realiza em três etapas:

- 1 - Projeto (design) do processo: O processo de produção comercial é definido durante esta fase, com base no conhecimento adquirido por meio de atividades de desenvolvimento em escala piloto.
- 2 - Qualificação do processo: Durante esta fase, o processo é avaliado para determinar se ele é capaz de produzir fabricações comerciais reprodutíveis.
- 3 - Verificação de processo continuado: a garantia permanente do processo é obtida durante a produção de rotina em que o processo permanece em um estado de controle.

Na Tabela 2.5 reunimos todas estas definições para facilitar a compreensão destes termos.

Tabela 2.5 – resumo das definições de validação, verificação e qualificação

Fontes:	Validação	Verificação	Qualificação
(ECSS, 2009x)	Validação é obtida através do processo de verificação dado que requisitos adequados são conferidos ao produto	Verificação do produto é realizada em relação aos requisitos que levam à adequação do produto para preencher as necessidades do uso pretendido.	
(ECSS, 2009z)		<ul style="list-style-type: none"> - demonstrar a qualificação do projeto e o desempenho atendem os requisitos especificados; - garantir o produto está de acordo com o projeto, sem defeitos de fabricação e aceitável para uso; - confirmar a integridade do produto bem como seu desempenho; - confirmar que o sistema é capaz de cumprir os requisitos da missão. 	
(NASA, 2007)	A validação de um produto mostra que o produto efetua o propósito pretendido no ambiente pretendido e que atende às expectativas do cliente e outros atores afetados mostrados através da realização de teste, análise, inspeção ou demonstração	A verificação de um produto mostra a prova da concordância com os requisitos – que o produto pode atender cada declaração obrigatória provada através da realização de um teste, análise, inspeção ou demonstração.	
(FDA, 2011)	A validação do processo envolve uma série de atividades que ocorrem ao longo do ciclo de vida do produto e processo. De acordo com o FDA as atividades da validação do processo se realiza em três etapas:	Verificação de processo continuado: a garantia permanente do processo é obtida durante a produção de rotina em que o processo permanece em um estado de controle.	Qualificação do processo: Durante esta fase, o processo é avaliado para determinar se ele é capaz de produzir fabricações comerciais reprodutíveis.

Para este trabalho a compreensão que teremos a respeito de validação, verificação e qualificação segue abaixo.

A validação é o processo completo que compreende a qualificação do processo e a sua verificação continuada.

Quando temos um processo especial ou crítico, conforme definido na seção 2.5, ele deve necessariamente passar pelo processo completo da validação. Onde a qualificação está inserida e é a fase em que se dá a definição do processo, bem como do procedimento e a comprovação de seus resultados são efetuados, antes do início da fabricação dos produtos finais garantindo que o processo irá fornecer produtos repetitivos e confiáveis.

Quando não for o caso de um processo especial ou crítico então basta ser realizada a verificação, ou seja, avaliar se produto resultante do processo atende aos seus requisitos, com comprovação através da realização de inspeções, ensaios e análises. Esta etapa de verificação ocorre mesmo quando a Qualificação do processo é realizada, pois é a indicação de que o processo mantém suas condições repetitivas, controladas e confiáveis para a fabricação dos produtos especiais.

Esquemáticamente poderíamos representar a relação entre validação, verificação e qualificação de processos conforme a Figura 2.4.

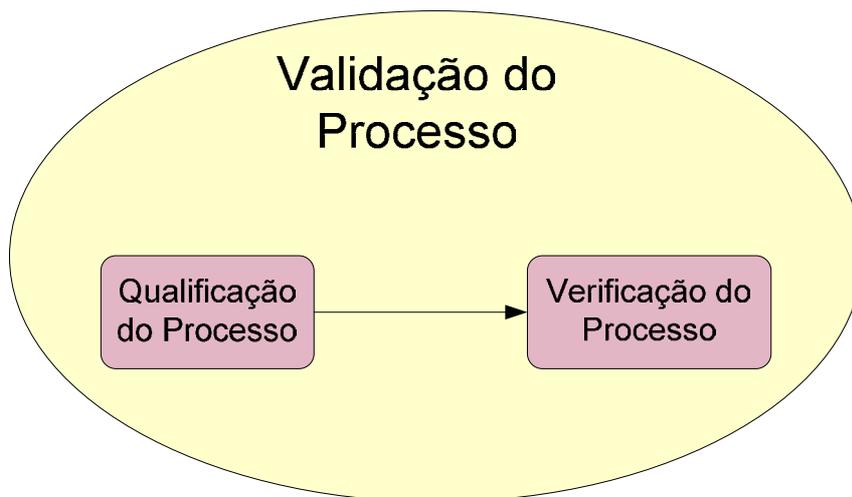


Figura 2.4 – Relação entre validação, verificação e qualificação de processos

2.10. Melhores práticas

Outro conceito amplamente utilizado quando tratamos de processos é o de *melhores práticas*. Dentro de um determinado contexto os interessados desenvolvem e avaliam métodos ou técnicas de manufatura e compõem um conjunto destes métodos que se mostram sistematicamente superiores quando comparados a outros similares obtidos por diferentes meios. Este conjunto é considerado as melhores práticas do contexto.

Estas melhores práticas são consideradas referência para uso na fabricação dos produtos, conduzindo a resultados que são considerados os melhores para cada processo.

As operações destas melhores práticas conduzem a um resultado que melhor atende os requisitos do processo; as máquinas, instrumentos e ferramentas realizam as operações e as inspeções com o melhor desempenho possíveis e mantendo a repetitividade do melhor resultado alcançável do processo; a mão de obra utilizada é treinada para realizar suas atividades com correção e são conscientes dos cuidados específicos com os produtos espaciais; os materiais são qualificados para uso no espaço, assim como os componentes EEE e partes mecânicas atendendo todos os requisitos do ambiente espacial; as

instalações aonde são realizadas os processos atendem os requisitos necessários às matérias primas, aos produtos finais, aos processos realizados e a mão de obra e por fim as verificações avaliam de forma correta se todos os requisitos do processo estão sendo atendidos.

3 EVOLUÇÃO HISTÓRICA E O ESTADO DA ARTE

3.1. Evolução histórica do conceito de processo em sistemas de manufatura

A sistematização do trabalho em conjuntos de atividades recorrentes, ou processos em seu entendimento moderno, tem sua gênese nas grandes transformações que ocorreram na organização do trabalho, decorrentes da Revolução Industrial, na segunda metade do Século XIX. O esforço para a produção de artigos em massa levou a novos paradigmas, tais como a fabricação de peças intercambiáveis, a padronização de máquinas, o planejamento detalhado das operações de trabalho, o planejamento e controle da produção, a cronometragem e estudo de tempos e movimentos, entre outros (CHIAVENATO, 2009; PAIM et al., 2009), que contribuíram para a moderna visão de uma organização produtiva, calcada nos conceitos de sistema, processo e qualidade (DE SORDI, 2008). Esta moderna visão de organização produtiva, juntamente com os avanços tecnológicos em materiais e máquinas-ferramentas, têm permitido a fabricação, repetitiva e com baixas taxas de falhas, de produtos com complexidade extraordinária, e sempre crescente.

Segundo Histórico da Normalização apresentado pelo Comitê Brasileiro da Qualidade, a evolução histórica do conceito de processo em sistemas de manufatura se confunde com a necessidade da normalização (ABNT/CB-25).

A normalização é uma atividade necessária desde que o homem começou a se organizar em grupos, pois a primeira a se mostrar necessária foi a da palavra falada, já que se todos não as entendessem da mesma forma, a comunicação não se concretizaria. Daí por diante tudo o que fosse padronizado seria uma atividade de normalização. Exemplos claros são as letras, números, medidas de tempo, valores das moedas, pesos e distâncias, todos estes exemplos nas suas formas mais primitivas exigiam uma normalização.

Um dos instrumentos de medidas mais antigo pode-se citar partes de algumas régua egípcias com precisão de até 1,25 cm. Muitas outras necessidades de normalização foram observadas tais como: pesar metais preciosos, recebimento de impostos pagos em espécies, tijolos, construções, dutos de distribuição de água, letras para tipógrafos, navios. A estrutura atual do Arsenal de Veneza provavelmente foi construída no século XII, e os venezianos já se preocupavam em produzir peças uniformes, de forma que as peças sobressalentes, normalizadas, permitiam a intercambiabilidade de peças e desempenho similares entre seus navios durante os combates.

Conforme Huberman, no período feudal a produção era realizada pelos servos que produziam para o senhor feudal e sua própria necessidade doméstica.

No século XI o comércio era muito difícil devido à falta de estradas e dos salteadores, a moeda era escassa e variava de região para região. Por tudo isso o que prevalecia era o comércio local.

No século XII as Cruzadas, que tinham o apoio da Igreja, promoveram um avanço no comércio, pois precisavam negociar os gêneros de sua necessidade.

Surgiram as feiras que ao contrário do comércio local, eram imensas e negociavam por atacado produtos vindos de várias partes do mundo conhecido na época. Através dos mercadores organizados em corporações, as cidades foram se tornando livres do sistema feudal.

Os servos que antes eram artesãos para suas próprias necessidades, com o progresso das cidades e o uso do dinheiro puderam abandonar a agricultura e passar a viver de seu trabalho como artesãos somente.

Também formaram como os comerciantes, corporações artesanais.

A expansão do mercado é que impulsionou a formação da indústria capitalista como conhecemos atualmente. Quando os artesãos trabalhavam somente para

o mercado local, ele mesmo negociava sua matéria prima, treinava seus aprendizes e vendia seu produto acabado ao consumidor final. Mas para ultrapassar os limites da cidade adquirindo um mercado nacional e até internacional as corporações deixaram de ter utilidade. E passa a existir o intermediário, que faz o artesão passar a cuidar somente da manufatura de seus produtos.

Percebeu-se que cada trabalhador fazendo repetidamente uma tarefa única, o tornaria um perito nela acelerando a produção.

Como exemplos primórdios da produção em série e da intercambiabilidade podemos respectivamente Adam Smith e Eli Whitney (ABNT/CB-25).

Uma das primeiras referências documentadas do uso do conceito de processo na área de fabricação é devida a Adam Smith, que em sua obra A Riqueza das Nações, primeiramente publicada em 1776, descreve um conjunto de operações, ou seja, um processo, para a fabricação de alfinetes.

“.... Um homem puxa o arame, um outro o ajusta, um terceiro o corta, um quarto o afina e um quinto afia sua ponta para receber a cabeça. A fabricação da cabeça requer duas ou três operações diferentes: colocá-la sobre o alfinete é um trabalho especial; embranquecê-los é um outro processo igualmente diferenciado; colocá-los em embalagens constitui ainda um outro trabalho, e o importante negócio de fazer alfinetes é, dessa forma, dividido em cerca de 18 operações distintas que, em algumas fábricas, são todas realizadas por mãos diferentes, embora em outras o mesmo homem, às vezes, realize duas a três delas. ...” (Smith, 2009).

Em 1798 o cidadão Eli Whitney recebeu a tarefa de fabricar dez mil mosquetões em dois anos para o governo norte americano, porém dentro deste prazo ele conseguiu fabricar somente mil peças. Estes produtos eram fabricados até então por pessoas que sozinhas produziam todas as peças que

iriam compor o produto final. De forma que as peças de cada arma serviriam somente para este particular produto.

Eli Whitney então organizou a fabricação de forma que cada peça pudesse ser fabricada, com precisão, da mesma forma em máquinas diferentes. Com ferramentas para produção normalizadas, diferentes grupos de operadores poderiam se especializar em determinadas operações e as peças se encaixariam independente de quem os produzissem, e em qualquer produto final. Este é o conceito da normalização. Assim teve início a divisão de trabalho por grupos. Com isso a manutenção das armas também foi facilitada, pois bastava trocar as peças e mantinha-se a qualidade dos mosquetões.

Posteriormente, Frederick W. Taylor, em obra publicada em 1911, foi o primeiro estudioso a propor uma padronização estrita de processos para a fabricação de produtos.

O esforço para a produção de artigos em massa levou a novos paradigmas, além da fabricação de peças intercambiáveis e a padronização de máquinas, foram necessários o planejamento detalhado das operações de trabalho, o planejamento e controle da produção, a cronometragem e estudo de tempos e movimentos, entre outros (Chiavenato, 2009), (Paim et al., 2009), que contribuindo para a moderna visão de uma organização produtiva, calcada nos conceitos de sistema, processo e qualidade (de Sordi, 2008). Esta moderna visão de organização produtiva, juntamente com os avanços tecnológicos em materiais e máquinas-ferramentas, têm permitido a fabricação, repetitiva e com baixas taxas de falhas, de produtos com complexidade extraordinária e crescente.

No Brasil a história do INPE mostra parte significativa da história da pesquisa espacial brasileira. O programa que iniciou o desenvolvimento da tecnologia espacial dentro deste Instituto foi a Missão Espacial Completa Brasileira. Neste programa a experiência técnica na área espacial, vinha de engenheiros que estudaram fora do país e era transmitida pessoalmente às pessoas que não

tinham esta experiência. Em termos de processos técnicos alguns deles foram registrados e outros eram mantidos através da experiência dos servidores que conheciam detalhadamente cada um deles.

Quando o governo brasileiro iniciou a política industrial para promover a capacitação da indústria nacional, as empresas privadas que atuavam em áreas afins para esta atividade passaram a executar os processos. A sistemática para tratamento de processos técnicos foi se aperfeiçoando durante todos estes anos e a condição atual em que ela se encontra está refletida no Capítulo 5 deste trabalho.

3.2. Estado-da-arte

Conforme o sítio da APQC American Productivity & Quality Center (APQC, 2011) a APQC é uma organização que propõe processos e melhorias de desempenho aos mesmos para organizações ao redor do mundo. Fundada em 1977 ela trabalha melhorando a produtividade e qualidade através de descobertas e divulgação de métodos de melhorias assim como avaliações das organizações.

Esta organização preparou um arcabouço de classificação de processos (PCF) que é uma taxonomia de processos de negócios que permite às organizações o acompanhamento e a comparação de seu desempenho interno ou externamente. Este arcabouço é comum a empresas de vários setores servindo para facilitar a melhoria através da gestão de processos e *benchmarking*, independente da indústria ou de seu tamanho. Organiza processos gerenciais e de operação em 12 níveis incluindo mais de 1000 processos e foi elaborado por membros da APQC de todo o mundo.

Em 2008 a APQC e a IBM trabalharam juntas, para melhorar o arcabouço comum que se refere a setores variados, desenvolvendo uma série de estruturas de processos para indústrias específicas, sendo uma delas alusiva aos processos aeroespaciais e da defesa.

Na tabela 3.1 apresentamos o arcabouço comum de processos referentes a setores variados, preparado pela APQC.

Tabela 3.1 – Processos Operacionais - APQC

PROCESSOS OPERACIONAIS				
1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
Desenvolver Visão e Estratégia	Desenvolver e Gerenciar Produtos e Serviços	Mercado e Venda de Produtos e Serviços	Entrega de Produtos e Serviços	Gerenciar Cliente Serviço

©2010 APQC. ALL RIGHTS RESERVED. ALL RIGHTS RESERVED. APQC

Tabela 3.2 – Serviços de gerenciamento e suporte - APQC

SERVIÇOS DE GERENCIAMENTO E SUPORTE
6.0 Desenvolver e Gerenciar Capital Humano
7.0 Gerenciar Tecnologia da Informação
8.0 Gerenciar Recursos Financeiros
9.0 Adquirir, Construir e Gerenciar Propriedade
10.0 Gerenciar Saúde e Segurança Ambiental
11.0 Gerenciar Relações Exteriores
12.0 Gestões do Conhecimento, do Aperfeiçoamento e da Mudança

Fonte: APQC (2010)

A classificação é dividida em doze níveis numerados de 1.0 a 12.0, a seguir é apresentado o Item 4.0 - Entrega de Produtos e Serviços com uma amostra de suas subdivisões até o menor nível.

4.0 - Entrega de Produtos e Serviços (Primeiro nível)

4.1 - Plano e aquisição de recursos necessários (Planejamento da Cadeia de Suprimentos) (10215) (Segundo nível)

4.1.1 – Desenvolver estratégias de produção e materiais (10221) (Terceiro nível)

4.1.1.1 – Definir objetivos de fabricação (10229) (Quarto nível)

4.1.1.2 – Definir política de materiais e de mão de obra (10230)

4.1.1.3 – Definir política de terceirização (10231)

4.1.1.4 – Definir política do capital para fabricação (10232)

4.1.1.5 – Definir capacidades (10233)

4.1.1.6 – Definir rede de produção e restrições de fornecimento (10234)

4.1.1.7 – Definir processos de produção (14193)

4.1.1.8 – Definir infraestrutura e *layout* do local de trabalho (14194)

4.1.2 – Gerenciar a demanda de produtos e serviços (10222)

4.1.3 – Criar plano de materiais (10223)

4.1.4 – Criar e gerenciar cronograma mestre da produção (10224)

4.1.5 – Requisitos do plano de distribuição (10225)

4.1.6 – Estabelecer restrições do plano de distribuição (10226)

4.1.7 – Analisar políticas do plano de distribuição (10227)

4.1.8 – Avaliar o desempenho do plano de distribuição (10228)

4.1.9 – Desenvolver normas e procedimentos de qualidade (10268)

4.2 – Aquisições de materiais e serviços (10216)

4.3 – Produzir/Fabricar/Entregar o produto (10217)

4.4 – Prestar serviço ao cliente (10218)

4.5 – Gerenciar logística e armazenagem (10219)

Neste Item 4.0 - Entrega de Produtos e Serviços existem no total, incluindo os cinco de segundo nível acima apresentados, cento e trinta e quatro processos de quarto nível e vinte e sete de terceiro.

O arcabouço específico da indústria aeroespacial e de defesa possui os mesmos doze níveis de processos de 1.0 a 12.0. Mas o número de processos difere em alguns itens. Há casos em que existem em maior quantidade no arcabouço das indústrias aeroespaciais e da defesa e em outros no dos setores variados.

Na Tabela 3.3 o número de processos em excesso que existem em cada um dos grupos, setores variados e o específico da indústria aeroespacial e de defesa, foi colocado na coluna do seu arcabouço de processos. Por exemplo, no nível 1.0 “Desenvolver Visão e Estratégia” existem quatro processos a mais no grupo dos setores variados quando comparado às indústrias aeroespaciais e da defesa.

Tabela 3.3 – Comparação do número de processos em termos de Processos Operacionais

	Processos em excesso nas Organizações Aeroespaciais e da Defesa	Processos em excesso no Grupo de Setores Variados
1.0 Desenvolver Visão e Estratégia		4
2.0 Desenvolver e Gerenciar Produtos e Serviços	39	
3.0 Mercado e Venda de Produtos e Serviços	90	
4.0 Entrega de Produtos e Serviços	209	
5.0 Gerenciar Cliente Serviço	5	

Fonte: próprio autor

Pode observar-se que o número é bem maior no item 4.0 “Entrega de Produtos e Serviços”, que é justamente o item referente aos processos técnicos, demonstra a grande exigência que este requisito possui na área das indústrias Aeroespaciais e da Defesa Os processos que foram adicionados no item 4.0 referente às organizações aeroespaciais e da defesa estão relacionados aos assuntos que se seguem:

- Estratégias de definição e gerenciamento de aquisição
- Efetuar estratégias de fornecedores
- Inspeção da qualidade de materiais

Tabela 3.4 - Comparação do número de processos em termos de Serviços de Gerenciamento e Suporte

	Processos em excesso nas Organizações Aeroespaciais e da Defesa	Processos em excesso no Grupo de Setores Variados
6.0 Desenvolver e Gerenciar Capital Humano	2	
7.0 Gerenciar Tecnologia da Informação	5	
8.0 Gerenciar Recursos Financeiros	6	
9.0 Adquirir, Construir e Gerenciar Propriedade	-	-
10.0 Gerenciar Saúde e Segurança Ambiental	-	-
11.0 Gerenciar Relações Exteriores	-	-
12.0 Gestão do Conhecimento, do Aperfeiçoamento e da Mudança	-	-

- Definição da estratégia de integração e ensaios (A&T)
- Definição da estratégia de operações de fabricação.
- Planejar operações de produção
- Gestão de infraestrutura e equipamentos para fabricação

- Cronograma das operações de fabricação
- Realização das operações de fabricação
- Gestão da qualidade do produto
- Gerenciamento de operações das ferramentas de fabricação
- Controle e informação das operações de fabricação
- Gerenciar dados relacionados a produtos e processos
- Gerenciar contratos de serviço de manutenção, reparo e revisão
- Desempenho das atividades de manutenção, reparo e revisão
- Gerenciar serviços relacionados a inventários
- Gerenciar garantias
- Fornecer treinamento
- Planejar manuseio e estoque de materiais
- Gerenciar estoque, localização e movimento do inventário
- Gerenciamento de materiais perigosos e sua eliminação

Outro trabalho que existe é um jornal eletrônico o *Journal of Manufacturing Process* da *The Society of Manufacturing Engineers* - SME cujos objetivos são o intercâmbio das direções correntes e futuras da pesquisa, desenvolvimento e implementação dos processos técnicos, a publicação de literatura acadêmica com uma visão para ajudar no avanço do estado da arte dos processos técnicos e o incentivo à inovação para o desenvolvimento de novos e eficientes processos (SME, 2012).

Os artigos relevantes deste jornal incluem áreas como:

- Meso / micro / nano fabricação, incluindo impressão litográfica.
- Processos avançados de manufatura, nas áreas de mecânica, química e processos térmicos.
- Soldagem, com junção e montagem em escalas micro e macro.
- Prototipagem rápida, rápida manufatura e reparo, estereolitografia e outras técnicas de fabricação 3-D que podem usar projeção ótica.
- Processos de gravação, fundição, conformação e moldagem em todas as escalas.
- Processos de revestimento de funcionais mono e multicamadas.
- Monitoramento controle e automação de processos de fabricação.
- Tribologia e problemas de desgaste relevantes para processos de fabricação.

A CIRP – International Academy for Production Engineer – fundada em 1951 é uma organização da área de pesquisa de engenharia de produção cujos objetivos são promover a investigação científica, relacionada à processos de fabricação, equipamentos de produção e automação, sistemas de produção, projeto (design) de produtos e manufatura. Promover a pesquisa e desenvolvimento entre os membros da Academia e da Indústria de forma a contribuir para um crescimento global da economia. Alimentar a indústria com a pesquisa fundamental e recebendo de volta suas necessidades. Organiza e patrocina conferências internacionais (CIRP, 2012).

Iniciativas como estas acima apresentadas são o estado da arte em termos de divulgação e atualização de processos, possibilitando que membros do mundo inteiro possam divulgar seus conhecimentos e manter cada um de seus processos no seu estado da arte.

Em termos da área espacial, como a NASA e a ESA são as principais agências espaciais, a forma como elas tratam estes assuntos são o estado da arte na sistematização do uso do conceito de processo técnico na fabricação de equipamentos espaciais. A forma como estas agências tratam este assunto será o foco do capítulo a seguir.

4 ESTUDO DETALHADO E DESCRIÇÃO DOS REQUISITOS PARA A UTILIZAÇÃO DE PROCESSOS TÉCNICOS EM PROGRAMAS ESPACIAIS, COMO PRECONIZADO PELOS PADRÕES ECSS E NASA

4.1. Padrão ECSS

4.1.1. Requisitos para gerenciamento de processos

O fornecedor deverá preparar o Plano de Processos como parte do Plano de garantia do produto de acordo com os padrões de gerenciamento da garantia do produto e de Materiais, partes mecânicas e processos (ECSS, 2009a).

Todos os processos devem passar por um programa de seleção e posteriormente por uma análise de criticidade. Se não for considerado crítico, apenas a confirmação de que atende os requisitos é suficiente para ser considerado apto para uso.

Se for considerado crítico ainda deve passar pela decisão de precisar ser avaliado ou não. Se não precisar do Programa de Avaliação passa diretamente para o Programa de Verificação. No caso de ser necessário o Programa de Avaliação deverá passar por este programa e se aprovado prosseguir para o Programa de Verificação. O atendimento aos Programas de Avaliação e Verificação ocorre através da realização de ensaios normalizados. A realização do processo e o seu controle se dão em conformidade com procedimentos devidamente documentados. Esta documentação contém detalhes suficientes para garantir uma base de fabricação controlada, o que, por sua vez, garante que os itens de produção posterior serão equivalentes, em desempenho, qualidade, dimensões e confiabilidade, aos itens de teste, produzidos na verificação.

A aprovação final de todos os processos críticos é dada pelo cliente. Os passos para aprovação de um processo crítico estão resumidos na Tabela 4.1 e apresentados nos fluxogramas da Figura 4.1.

Tabela 4.1– Passos para a aprovação de processos críticos (ECSS, 2009d)

Passo	Fase	Observações
1	Análise crítica	
2	Avaliação, quando requerida (usualmente, por métodos de teste definidos em padrões ECSS).	Processos críticos são submetidos a uma checagem da necessidade ou não de uma avaliação, se a resposta for positiva devem ser avaliados testando “ amostras tecnológicas ”. Isto pode incluir processos, tais como, processos de interconexão elétrica, processos de pintura, processos de colagem, entre outros.
3	Verificação, obrigatória para todo processo crítico.	Testes de verificação definidos em padrões ECSS.
4	Aprovação, obrigatória para todo processo crítico.	Através de Solicitação de Aprovação (“ <i>Request for Approval</i> ” – RFA), ou através da Lista de Processos.

Fonte: Adaptado de ECSS (2009d)

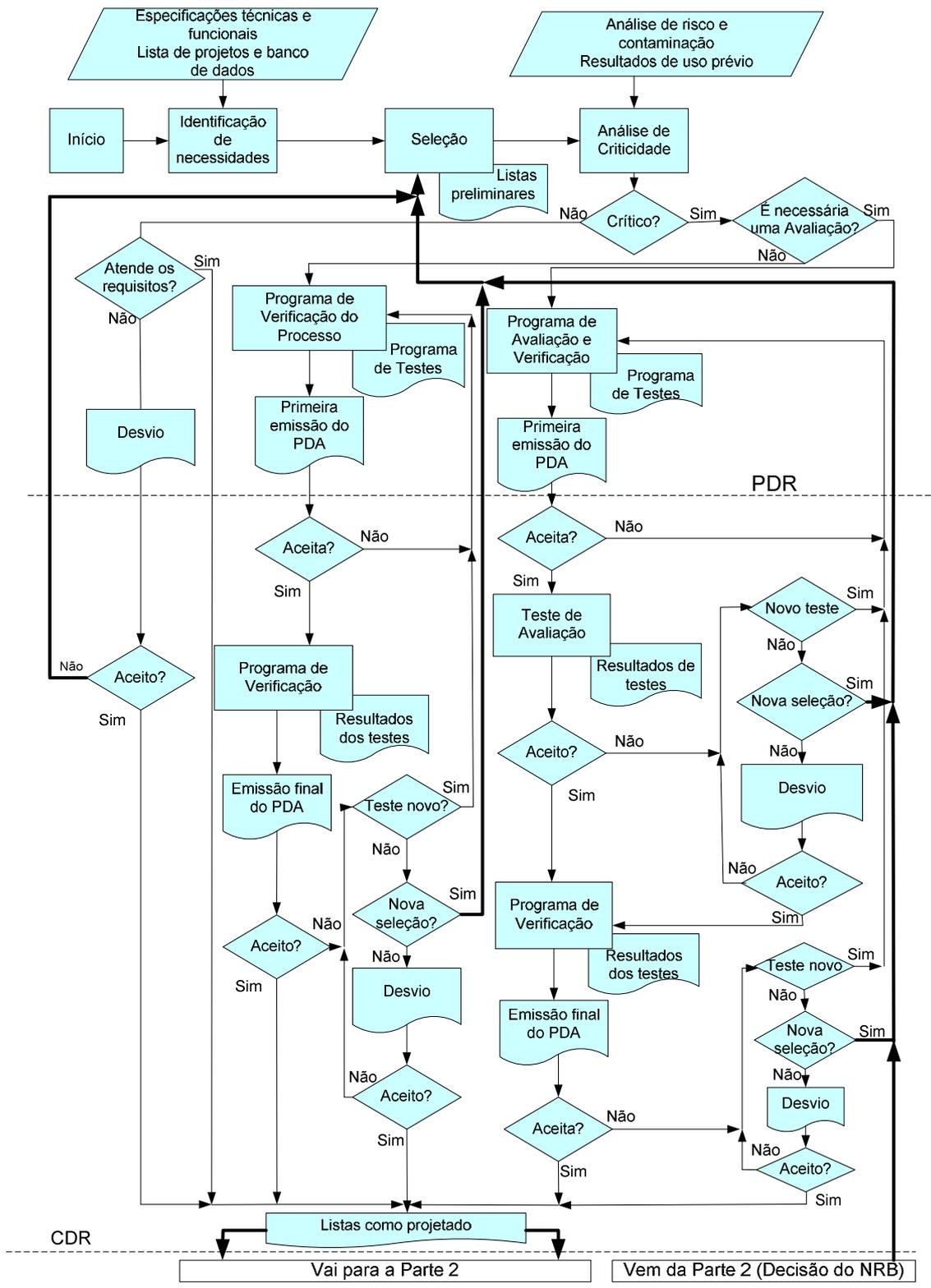


Figura 4.1 - Fluxograma para aprovação e uso de processos

Fonte: ECSS (2009e)

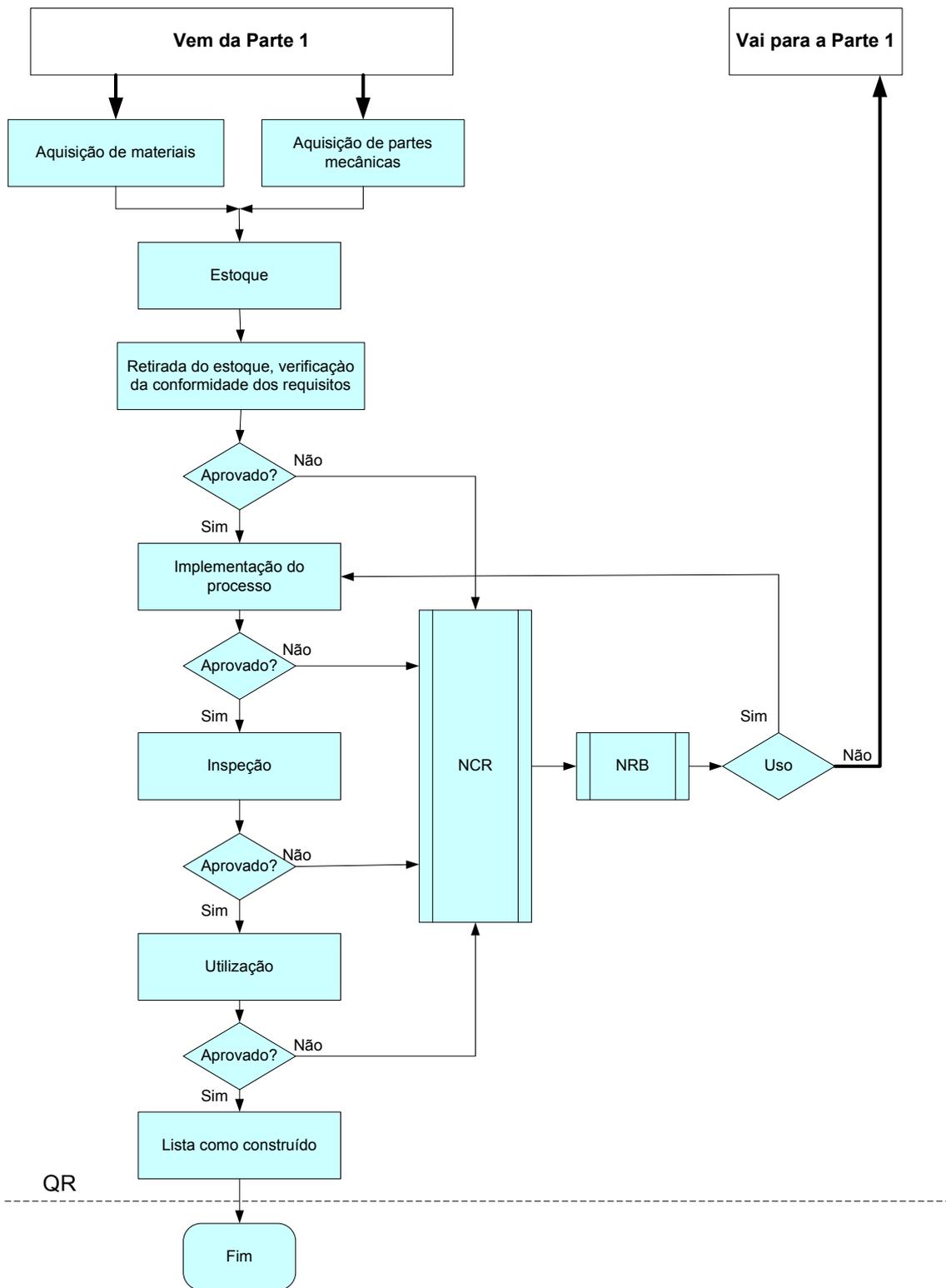


Figura 4.1 - Fluxograma para aprovação e uso de processos (continuação)

Fonte: ECSS (2009e)

Conforme a ECSS os processos podem se classificar nos seguintes estados de aprovação apresentados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Estados de aprovação de processos (ECSS, 2009d)

Código	Descrição
A	<p>Aprovado.</p> <p>Todos processos com esta classificação podem ser utilizados no projeto sem restrições.</p>
X	<p>Aprovado via RFA.</p> <p>Estes processos forma submetidos a programas de avaliação e verificação. O número da RFA deve ser especificado na Lista de Processos.</p>
W	<p>Aprovado com concessão.</p> <p>Estes processos não atendem a todos os requisitos do projeto, mas são utilizados por razões especiais. Como diretriz, seu uso deve ser reduzido ao mínimo possível. Todas as <i>solicitações de desvios</i>, autorizando o uso destes processos devem ser aprovadas pelo cliente. O número da concessão deve ser especificado na Lista de Processos.</p>
P	<p>Pendente de uma decisão.</p> <p>Processos para os quais um relatório de verificação ou um pedido de desvio encontra-se sob avaliação do cliente.</p>
O	<p>Aberto.</p> <p>Novos processos, para os quais investigações, avaliações e verificações encontram-se em andamento.</p>
R	<p>Rejeitado.</p>
D	<p>Descartado.</p> <p>Esta classificação aplica-se a processos aprovados no passado, mas que não mais se encontram em uso.</p>

Fonte: Adaptado de ECSS (2009f)

Para que o processo tenha a condição de verificado o fornecedor deverá apresentar para seu cliente todas as atividades descritas na próxima seção.

4.1.2. Controle de processos segundo o padrão ECSS

A seguir, são descritos os requisitos e as atividades de controle de processos, como especificados pelo Padrão ECSS-Q-ST-70C, "Space product assurance. Materials, mechanical parts and processes" (ECSS, 2009).

4.1.2.1. Lista de processos declarados

Todos os processos utilizados no projeto deverão ser relacionados em uma Lista de Processos ("Declared Process List" - DPL), que deve ser estabelecido e mantido pelos fornecedores. (ECSS, 2009g)

O DPL tem por objetivo manter um registro detalhado de todos os processos utilizados para manufatura dos produtos de um projeto ou programa.

Através dos dados do DPL é possível avaliar se os processos são adequados para uma aplicação específica.

É preparado um DPL para cada "item de configuração" nas fases relevantes, por exemplo, MDR, PDR e CDR.

A lista de Materiais declarados e a Solicitação de Aprovação (SDA ou RFA) devem ser associados às Listas de Processos Declarados.

Todos os processos a serem utilizados por um fornecedor devem ser declarados em uma Lista de Processos, que deverá conter, minimamente, as seguintes informações (ECSS, 2009h):

- referência do processo;
- nome do processo;
- especificação;
- breve descrição do processo;

- identificação do equipamento, subsistema e o uso específico;
- fornecedor do processo;
- referência dos materiais e partes mecânicas utilizados no processo;
- criticidade;
- referência do fornecedor e aprovação do contratantes principal;
- condição de aprovação pelo cliente;

A Lista de Processos (“Declared Process List”), deve ser atualizada em cada fase do ciclo de vida do projeto, conforme os seguintes requisitos gerais (ECSS, 2009i):

- a. cada fornecedor ou sub-fornecedor deverá estabelecer, revisar e distribuir uma lista de processos, contendo todos os processos a serem utilizados para a fabricação do modelo de voo;
- b. a lista deverá refletir a configuração linha de base corrente quando de sua distribuição.
- c. a lista conterá a relação de processos para a linha de base corrente, contendo informações suficientes para:
 1. demonstrar atendimento de todos os requisitos do projeto;
 2. controlar e monitorar o status de processos em acordo com marcos do projeto.
- d. a lista de processos será composta obedecendo as seguintes diretivas:
 1. máximo uso de processos utilizados em projetos similares ou constantes de fontes aprovadas ou indicadas pelo projeto;
 2. máximo uso de processos constantes de eventuais listas de processos preferidos, definidas pela organização do projeto.
- e. os requisitos para os processos devem ser definidos a partir das especificações técnicas do projeto;
- f. a análise de criticidade das listas de processos preliminares deverá, após a demonstração de que cada processo atende os requisitos do projeto, permitir a classificação dos processos em três categorias:

1. processos críticos, sujeitos a verificação e em alguns casos a avaliação; processos não-críticos, mas que não atendam a um ou mais requisitos de projeto, para os quais deverá ser emitida uma solicitação de desvio;
 2. processos não-críticos.
- g. para todos os processos críticos deverá ser emitida uma solicitação de aprovação.

A Lista de Processos será gerida segundo os seguintes requisitos:

- a. o fornecedor documentará todos os processos em acordo com o especificado pelo cliente;
- b. o fornecedor deverá processar as listas de seus sub-contratados, antes de submetê-las ao cliente;
- c. as listas de processos serão atualizadas ao longo do projeto;
- d. as listas preliminares de processos conterão os processos preliminares propostos pelo fornecedor (são utilizadas para a identificação de processos críticos a serem avaliados na revisão PDR);
- e. as listas de processos “as-designed” deverão refletir a correspondente linha de base, e deverão estar disponíveis para a reunião de revisão CDR;
- f. quaisquer modificações após as reuniões de revisão CDR ou QR deverão estar de acordo com os passos descritos no fluxograma da Figura 4.1 parte 2

Independentemente da classificação do processo, serão observados os seguintes requisitos (ECSS, 2009j):

4.1.2.2. Especificação ou procedimentos:

Todo processo utilizado na fabricação ou montagem de um produto será identificado por uma especificação ou procedimento, que conterá, também, critérios de aprovação e rejeição.

4.1.2.3. Materiais e partes mecânicas associadas:

O fornecedor deverá demonstrar que todos os materiais e partes mecânicas usados durante a implementação do processo satisfazem aos critérios estabelecidos para Materiais, Partes Mecânicas e Processos.

4.1.2.4. Seleção:

- a. processos deverão ser escolhidos entre aqueles já verificados de acordo com a seguinte ordem de prioridade:
 1. aqueles que já tenham certificação, para condições idênticas de uso, por parte de agências espaciais ou órgãos governamentais de normalização;
 2. aqueles que obtiveram resultados de avaliação e verificação satisfatórios quando aplicados em uma amostra representativa e com suficiente margem de segurança nas condições de uso;
 3. aqueles que já tenham sido empregados com sucesso pelo fornecedor em outros programas espaciais nas mesmas condições de uso.
- a. independentemente de um processo ter sido verificado ou não, sua seleção deverá considerar os seguintes critérios:
 1. a confiabilidade;
 2. a inspectabilidade;
 3. a susceptibilidade de retrabalho; e
 4. a reprodutibilidade.

4.1.2.5. Análise de criticidade (ECSS, 2009i):

O objetivo da análise de criticidade é de classificar os processos em críticos, com avaliação ou não, e os não críticos com ou sem desvio, conforme requisitos anteriormente definidos (ECSS, 2009k);

- a. o fornecedor deverá analisar todos os processos contidos na lista com relação à sua criticidade, e em consonância com a análise de risco realizada para o projeto;
- b. processos críticos serão identificados na lista de processos e inclusos também na lista de itens críticos, controlada pelo controle de configuração;
- c. todo processo crítico deverá ser submetido a uma solicitação de aprovação (“Request for Approval” – RFA ou Solicitação de Aprovação - SDA);
- d. processos especiais devem ser identificados e controlados;
- e. o controle de processos deverá ser instituídos através de procedimentos adequados, certificação de pessoal e o controle de processos diretamente na linha de produção;
- f. sempre que factível, deverá ser realizado o controle estatístico do processo.

4.1.2.6. Programa de Avaliação

Conforme os resultados da análise de criticidade, deverá ser realizado pelo fornecedor uma fase de avaliação, antes da fase de validação para todos os processos críticos novos ou com mudanças significativas na sua configuração.

Caso se trate da extensão de uma aplicação existente, a realização da avaliação ficará a critério do cliente.

O programa de avaliação deverá considerar, minimamente, os seguintes aspectos (ECSS, 2009I):

- a. os limites de uso do processo;
- b. os valores de parâmetros relevantes e suas tolerâncias, determinados através de amostras de teste ou amostras tecnológicas
- c. definição de critérios para aceitação do processo; e

- d. os resultados do programa de avaliação serão consolidados em um Relatório de Avaliação.

Quando uma avaliação for requerida, o fornecedor deverá prover planos e relatórios conforme as seguintes disponibilidades:

- a. o Plano da Avaliação disponível até a reunião de revisão PDR;
- b. o Relatório da Avaliação disponível até a reunião de revisão CDR.

4.1.2.7. Programa de verificação

Para processos confidenciais, deverá ser provado pelo fornecedor que o processo foi verificado. A comprovação também poderá ser feita através de um certificado de verificação de uma agência espacial ou outra organização que tenha autoridade para checar a aplicabilidade desta verificação.

O programa de verificação de processos críticos atenderá os seguintes requisitos (ECSS, 2009I):

- a. todo processo crítico deverá passar por um programa de verificação implementado pelo fornecedor;
- b. o programa de verificação deverá ser planejado com antecedência, conforme padrões de verificação estabelecidos pelo padrão ECSS ou o de agências nacionais de normalização; os resultados do programa de verificação serão consolidados em um Relatório de Verificação;
- c. o fornecedor deverá demonstrar que o processo satisfaz os requisitos de missão, e que os requisitos advindos do projeto do produto, aplicáveis ao processo, estão suficientemente definidos para que possam ser verificados;
- d. a condição de verificação de um processo dependerá da análise dos resultados constantes do Relatório de Verificação e da revisão de documentação associada; por ocasião da reunião de revisão CDR, todo processo crítico deverá ter o seu status de qualificação definido.

Quando um processo não for aprovado então o fornecedor deverá selecionar um processo alternativo ou propor novo programa de avaliação e re-submeter um pedido de aprovação para o processo não aprovado. Caso estas possibilidades não sejam possíveis então deverá se iniciar uma solicitação de desvio.

4.1.2.8. Utilização do processo

Para ter a condição de processo verificado será necessário que (ECSS, 2009m):

- a. o fornecedor demonstre que todos os processos críticos foram verificados antes de serem usados na fabricação dos modelos de Qualificação e Voo;
- b. qualquer modificação, mudança de condição ou de configuração da aplicação de um processo deverá levar a uma reavaliação, seguindo a sequência de ações descrita no fluxograma da Figura 4.1;

Quando um processo precisar ser reverificado, uma RFA (solicitação de aprovação de uso) deverá ser feita e um programa de reverificação deverá ser implementado. Qualquer parada longa na produção, uma modificação maior nas instalações ou nos procedimentos ou transferência da produção para outra entidade poderá invalidar parcial ou completamente a verificação inicial do processo.

Antes de implementar um processo, o fornecedor deverá garantir que a mão de obra está treinada, e que o ambiente, os meios e a documentação estão adequados. Isto significa que deverá ser garantido pelo fornecedor que: as ferramentas de fabricação e de controle da qualidade associadas ao processo são adequadas, calibradas e mantidas apropriadamente, e que serão utilizadas em condições de ambiente e limpeza apropriados; ou seja deverá ser estabelecido e mantido um programa de controle de contaminação e limpeza pelo fornecedor que deverá incluir pelo menos: procedimentos de limpeza e

métodos ou procedimentos para monitorar a limpeza; que os riscos de uma poluição química ou de partículas geradas no processo devem ser identificados e reduzidos, conforme as necessidades da missão; e que para aplicações críticas de limpeza e contaminação, uma especificação de requisitos e um plano específico de limpeza deverão ser estabelecidos conforme o padrão ECSS de Limpeza e controle de contaminação.

Deverá ser demonstrado que a mão de obra está treinada e certificada apropriadamente. E que as especificações dos processos, os procedimentos de manufatura e inspeção, documento com requisitos e procedimentos para a mão-de-obra, a definição das operações de fabricação e os critérios de aceitação para os processos; deverão encontrar-se disponíveis e atualizados.

A rastreabilidade dos processos deverá ser garantida pelo fornecedor através do estabelecimento e manutenção de uma relação bidirecional e inequívoca entre as partes, materiais ou produtos e os documentos ou registros associados. (ECSS, 2008a)

O fornecedor deverá rastrear dados, pessoas e equipamentos em relação a atividades de compra, fabricação, inspeção, teste, montagem, integração e operações.

Bem como deverá rastrear, a partir dos produtos, as localizações de materiais, partes mecânicas e sub-montagens utilizadas.

Ainda deverá ser possível rastrear a localização dos materiais a partir das matérias primas nos estoques para cada produção.

O fornecedor deverá definir as condições para embalagem, estoque e retirada de estoque para produtos ou produtos semi-acabados, antes e após o seu processamento.

É necessário que cada produto fabricado tenha uma numeração de identificação atribuída de forma sistemática e consecutiva e que uma vez

alocada a numeração não seja alterada, a menos que a mudança seja autorizada pelo cliente. E no caso de rejeição e destruição de itens, seus números de identificação não podem ser re-utilizados.

4.1.2.9. Alertas de processos:

Quando ocorrerem falhas ou problemas o fornecedor deverá notificar seu cliente a respeito das informações preliminares sobre as mesmas, o que poderá resultar na criação de um alerta. Sejam as falhas ou os problemas detectados pelo fornecedor ou por um de seus sub-contratados devem ser comunicadas imediatamente (ECSS, 2008b).

4.1.2.10. Pontos mandatórios de inspeção

Pontos mandatórios de inspeção são estabelecidos para serem realizados durante a fabricação de produtos espaciais. São pontos em que o cliente deve fazer inspeção do equipamento produzido porque posteriormente o equipamento será fechado ou qualquer outra ação vai ocorrer que não possibilitará mais que seja visto aquele ponto da montagem. Pela ECSS estes pontos são definidos conforme seu padrão de Garantia do produto ECSS-Q-ST-20.

4.2. Padrão NASA

O documento da NASA que trata de processos e materiais para projeto (design), fabricação e testes de seus componentes de voo é o padrão técnico “Standard Materials and Processes Requirements for Spacecraft” NASA-STD-6016 (NASA, 2008). Este padrão é utilizado para todos elementos tripulados ou não, robóticos, de veículos lançadores, aterrizadores, sistemas de espaço e de superfícies e elementos de *hardware* de programas de veículos espaciais.

Deverá existir uma autoridade em M&P para aprovar adaptações de requisitos na seleção, controle e plano de Materiais e Processos dos projetos e programas.

Os controles do documento que está sendo descrito, são aplicáveis a todos os programas de veículos espaciais. Sendo que os programas e projetos são responsáveis por fazerem estes requisitos chegarem aos contratantes principais, sub-contratados e os fornecedores do menor nível.

Os requisitos podem ser especificamente adaptados aos programas/projetos, desde que sujeito ao responsável de M&P da NASA, ao responsável do programa e ao gerente técnico.

Adaptações de requisitos podem ser documentados no Plano de Implementação, Controle e Seleção de Materiais e Processos que deverá fornecer o nível de conformidade e o método de implementação para cada requisito.

Uma vez o Plano de Implementação, Controle e Seleção de Materiais e Processos sendo aprovado pelo programa/projeto responsável como meio aceitável de atendimento aos requisitos do padrão estudado, ele poderá ser utilizado para implementação e verificação de requisitos de M&P no programa/projeto aplicável.

4.2.1. Requisito

4.2.1.1. Requisitos Gerais

4.2.1.1.1 Plano de Implementação, Controle e Seleção de Materiais e Processos (Plano de M&P)

Um Plano de Implementação, Controle e Seleção de Materiais e Processos deverá ser preparado pelas organizações responsáveis pelo projeto (design) e fabricação de veículos espaciais. .

Este Plano deve documentar o grau de aderência e o método de implementação para cada requisito, identificando especificações internas usadas para cumprir os requisitos de M&P.

Ainda deverão ser descritos os métodos usados para controlar o atendimento aos requisitos pelos seus subcontratados e fornecedores.

O Plano de Materiais e Processos, deverá ser usado como documento de verificação para M&P quando aprovado.

Os itens descritos abaixo deverão ser contemplados no Plano de M&P

4.2.1.1.2 Coordenação, Aprovação e Rastreo

Os métodos para coordenar, aprovar e rastrear todos desenhos e ordens de engenharia e outros documentos que estabeleçam ou modifiquem as questões de materiais e processos devem estar descritos no plano de M&P.

4.2.1.1.3 Assinatura de aprovação

Todos os desenhos do projeto (design) e as suas revisões devem ter a aprovação da equipe de M&P antes da emissão dos mesmos, garantindo que o projeto (design) está em conformidade com os documentos que regulam M&P.

4.2.1.1.4 Controles de M&P

Cada material e processo deve ser definido por padrões e especificações, sendo identificados nos desenhos de engenharia adequados. O Plano de M&P deverá identificar quais são estes padrões e especificações que devem ser escolhidos entre aqueles do governo, da indústria e das empresas.

Se as especificações das empresas forem selecionadas em prioridade ao que é de consenso pelo governo e a indústria, o fato necessariamente deve ser documentado no Plano de M&P. Neste caso deve-se incluir o motivo pelo qual os padrões e especificações do governo e da indústria não são aceitáveis.

Todas as especificações de M&P devem ser disponibilizados para o Responsável do Programa da NASA ou Escritório de Projetos e a organização de M&P da agência espacial. Bem como no caso de modificações nos padrões

e especificações necessitam da aprovação da organização de M&P da agência espacial através de um documento de acordo. No caso é o MUA (Material usage agreements).

As especificações dos processos devem definir os passos do processo a um nível de detalhes que garanta um processo repetível e controlado, fornecendo um produto confiável que mantém as características em todas as produções.

A qualificação de processos é conduzida para demonstrar a repetibilidade de todos os processos onde a qualidade do produto não pode ser diretamente verificada por inspeção ou medições posteriores. Pequenas alterações na composição química de materiais não metálicos sem afetar as especificações dos materiais são aceitos.

Observação: o documento de M&P não fornece processos detalhados. Ao invés disso, estabelecem requisitos mínimos e fornecem orientações gerais para o projeto (design) do “hardware”.

4.2.1.1.4.1 Obsolescência de padrões e especificações

Em programas longos é possível a obsolescência de padrões e especificações, tanto do cliente como da contratantes. O uso destes documentos é permitido para a série da fabricação.

O uso de materiais e padrões/especificações de processos novos ou alternativos comparados ao Plano de M&P só podem ser implementados com a atualização do Plano de M&P aprovada pela organização responsável por M&P da agência espacial ou do escritório de projetos e a emissão de um acordo específico, MUA, que demonstre que os padrões ou especificações alternativos não afetam adversamente a funcionalidade, a confiabilidade e a segurança do “hardware”.

4.2.1.1.5 Produtos de prateleira comerciais

Um procedimento é estabelecido para garantir que todos os itens de prateleira cumprirão os requisitos do documento de M&P da agência espacial.

Considerações especiais poderão existir para os produtos que não tiverem informações de M&P ou por ser impraticável todos os requisitos da agência espacial.

4.2.1.1.6 Conselho de Controle de M&P

Os contratados diretos da agência devem estabelecer um Conselho de Controle de M&P, sendo que os membros e os direitos e privilégios do Conselho devem ser descritos no Plano de M&P.

Este Conselho tem a responsabilidade de planejamento, gestão e coordenação da seleção, aplicação, aquisição, controle e padronização de M&P e também direcionar e dispor a solução de problemas de M&P.

O responsável de M&P da agência deve fazer parte deste Conselho com o direito de desaprovar as decisões do Conselho.

4.2.1.2. Documentação das práticas de M&P

As práticas de Materiais e Processos serão documentadas eletronicamente em listas ou separadamente na Lista de Uso e Identificação de Materiais (MIUL – Materials Identification and Usage List)

O sistema usado para M&P deverá ser parte do sistema de Controle de Configuração de Engenharia.

No caso dos veículos tripulados uma cópia dos dados deverá ser fornecida num formato compatível com o banco de dados da agência.

Para os veículos não tripulados o programa/projeto poderá definir uma documentação de Lista de Uso e Identificação de Materiais (MIUL) para o Plano de Implementação, Controle e Seleção de Materiais e Processos

4.2.1.2.1 Conteúdo da Lista de Uso e Identificação de Materiais (MIUL)

Esta Lista deverá apresentar as seguintes informações:

- Número do desenho de detalhe
- Número da próxima montagem
- Forma do material

- Fabricante do material
- Especificação do material
- Especificação do processo
- Condições do ambiente
- Peso (materiais não metálicos)
- Código do material no banco de dados da agência
- “Part number” comercial
- Contratantes
- Sistema
- Subsistema
- Temperatura máxima de operação
- Temperatura mínima de operação
- Tipo de fluido
- Área superficial para materiais não metálicos
- Número do contratante associado
- Projeto
- Título do documento
- Criticidade
- Avaliação geral
- Teste de configuração geral
- Pressão máxima de operação
- Pressão mínima de operação
- Número do acordo de uso do material ou código de justificativa
- Códigos de correção
- Classificação de materiais

- Observações (campo para comentários)

O banco de materiais (Sistema de Informação Tecnológica de Materiais e Processos - MAPTIS) da agência deve ser consultado para se obter os códigos e classificações dos materiais, partes mecânicas padrões e comerciais.

Quando testes de lotes são necessários, a rastreabilidade do relatório de teste do lote deve ser fornecida no campo de observações.

Os fios, cabos e as superfícies expostas dos conectores devem cumprir os requisitos do documento de requisitos de M&P e serem relatados no MIUL. Os componentes EEE serão isentos destes requisitos e de estarem relatados na MIUL.

Materiais em embalagens eletrônicas hermeticamente seladas (com taxa de vazamento menor do que $1 \times 10^{-4} \text{ cm}^3/\text{s}$ também são isentos da inclusão no MIUL.

4.2.1.3. Acordo para uso de materiais

Os acordos para uso de materiais diferentes dos aprovados pela agência (MUAs - Material Usage Agreements) serão preparados para quaisquer M&P tecnicamente aceitáveis, mas que não cumprem os requisitos do padrão de requisitos de M&P.

O acordo de uso de material deve ter as informações necessárias para demonstrar que a aplicação do material é tecnicamente aceitávelmas não podem ser usados para alterar os requisitos de M&P.

Para veículos tripulados existe um sistema hierárquico com três categorias de acordos de uso de material (MUA), que não será discutido neste trabalho.

No caso de veículos não tripulados o sistema de acordos de uso de material (MUA) será definido no Plano de M&P.

4.2.1.4. Plano de Manufatura

A organização de M&P deve participar do planejamento da produção, para assegurar cumprimento dos requisitos de M&P.

4.2.1.5. Certificação e Rastreabilidade de Materiais

A composição, as propriedades e os requisitos de todas partes mecânicas ou materiais deverão ser certificadas de acordo com o documento de aquisição.

Materiais e partes mecânicas utilizadas em aplicações críticas, tais como em relação a segurança e a fraturas e/ou com o tempo de vida limitado devem ser rastreáveis durante todos os passos do processo.

Os registros dos processos deverão ser retidos durante a vida do programa.

4.2.1.6. Valores permissíveis para uso dos materiais

Valores para propriedades mecânicas permitidas de materiais estruturais nos ambientes do projeto devem ser obtidas no MMPDS, Metallic Materials Properties Development and Standardization, ou MIL-HDBK-17-2, -4, and -5.

Em casos de tratamento térmico de metais de alta-resistência, a adequação deste processo deve ser verificado por ensaio.

E todos os dados de propriedades mecânicas e físicas devem ser fornecidas ao responsável da organização de M & P da NASA.

4.2.2. Requisitos Detalhados

4.2.2.1 Flamabilidade, Degasagem e Requisitos de Compatibilidade

Para os materiais o padrão descreve sobre os requisitos de flamabilidade, degasagem e compatibilidade de fluídos.

E são descritos também os requisitos de isolamento de fios elétricos.

4.2.2.1. Metais

Neste capítulo do padrão da NASA são descritas, para os metais, características tais como: aplicabilidade, limitações de uso dos metais, tratamento térmico, temperabilidade, tratamentos, por exemplo, para alívio de fragilização pela presença de hidrogênio, análises específicas necessárias (por exemplo, análise metalúrgica e de micro dureza nas áreas da perfuração em aços de alta resistência, processo que deveria ser evitado neste tipo de metal), e etc.

São descritos requisitos para seguintes metais: alumínio, aço, titânio, magnésio, berílio, cádmio, zinco, mercúrio, metais refratários, super ligas (matrizes de níquel e cobalto) e estanho.

4.2.2.2. Materiais não metálicos

Neste capítulo do padrão da NASA são descritas, para os diversos materiais não metálicos, características tais como: tempo de vida, temperaturas críticas para uso, limitações de uso em vácuo, materiais incompatíveis, indicação de manuais específicos a serem atendidos, limites de degasagem, restrições de ambientes externos, resistência a fungos dos materiais em função das suas condições de uso, localização e precauções, cuidados específicos em função do uso de materiais que podem causar danos aos equipamentos, e etc.

São descritos requisitos para os seguintes materiais não metálicos: elastômeros, policloreto de vinila, materiais compósitos e lubrificantes.

E também são descritos os requisitos relacionados às questões de: itens com tempo de vida limitado, estabilidade em vácuo e temperatura; sobrevivência em ambiente externo, resistência a fungos; glicóis e gravação com fluoretos de carbono.

4.2.2.3. Processos

Para os diversos processos são descritas no padrão da NASA, de forma ampla, características tais como: alguns cuidados específicos, aprovações

intermediárias necessárias em função da criticidade do processo, indicação de normas específicas a serem atendidas para requisitos, testes e inspeções, limitações específicas, cuidados com a degasagem de determinados materiais, algumas falhas esperadas e etc.

São descritos requisitos específicos para os processos de forjamento, fundição, colagem, soldagem, brazagem, soldagem estrutural e usinagem por eletro erosão e por laser.

4.2.2.4. Inspeção não destrutiva

Para os itens abaixo são descritas características tais como: padrões específicos a serem atendidos, certificação de mão de obra, cuidados específicos e etc.

- Plano de Avaliação não destrutiva
- Gravação não destrutiva
- Deposição de níquel

4.2.2.5. Requisitos Especiais de Materiais

Nesta seção são descritas características tais como: forma de eliminação de tensão residual, cuidados específicos na montagem de painéis tipo sanduíche, indicação de ensaios para avaliação, indicação de normas para controle de corrosão apresentando cuidados especiais no caso de naves tripuladas, cuidados com a fragilização por hidrogênio, cuidados com fechos e fixadores, plano de controle de contaminação com programa de prevenção para detritos espaciais, níveis de limpeza que devem ser descritos nos desenhos de engenharia e embalagem.

4.2.3. Verificação

É descrita a verificação do atendimento aos requisitos do documento de M&P que no mínimo, é composto pelas etapas a seguir:

- Aprovação pela NASA do Plano de Seleção, Controle e Implementação de Materiais e Processos do contratante principal, e outros documentos aplicáveis, tais como o Plano de Controle de Contaminação e Plano de Avaliação Não Destrutiva.
- Assinatura do responsável de Materiais & Processos (M & P) do Contratante principal nos desenhos de engenharia demonstrando o cumprimento aos requisitos do Plano de Seleção, Controle e Implementação de Materiais e Processos da NASA.
- Auditorias da NASA nas atividades de M & P do contratante principal em matéria de concepção e fabricação de *hardware*.
- Criação e funcionamento dos conselhos de controle de M & P, em conformidade com a seção 1.1.1.5 acima.
- Aprovação de MUAs pela NASA.
- Aprovação de MIULs pela NASA.

E nos apêndices do documento de M&P temos um modelo para formulário do MUA com seus códigos de fundamentação, temos também a descrição do conteúdo de Descrição de Requisitos de Documentos para os documentos recomendados pela agência relativos a Materiais e Processos: Plano de Seleção, Controle e Implementação de Materiais e Processos, Acordos de Uso de Materiais (MUA), Lista de Uso e Identificação de Materiais (MIUL), Plano de Controle de Contaminação (CCP) e Plano de Avaliação não Destrutiva (NDE).

Na Figura 4.3 temos a representação de um ciclo de vida de um projeto espacial conforme a NASA, com a descrição das fases deste ciclo e as revisões de projeto, bem como as entregas dos documentos recomendados

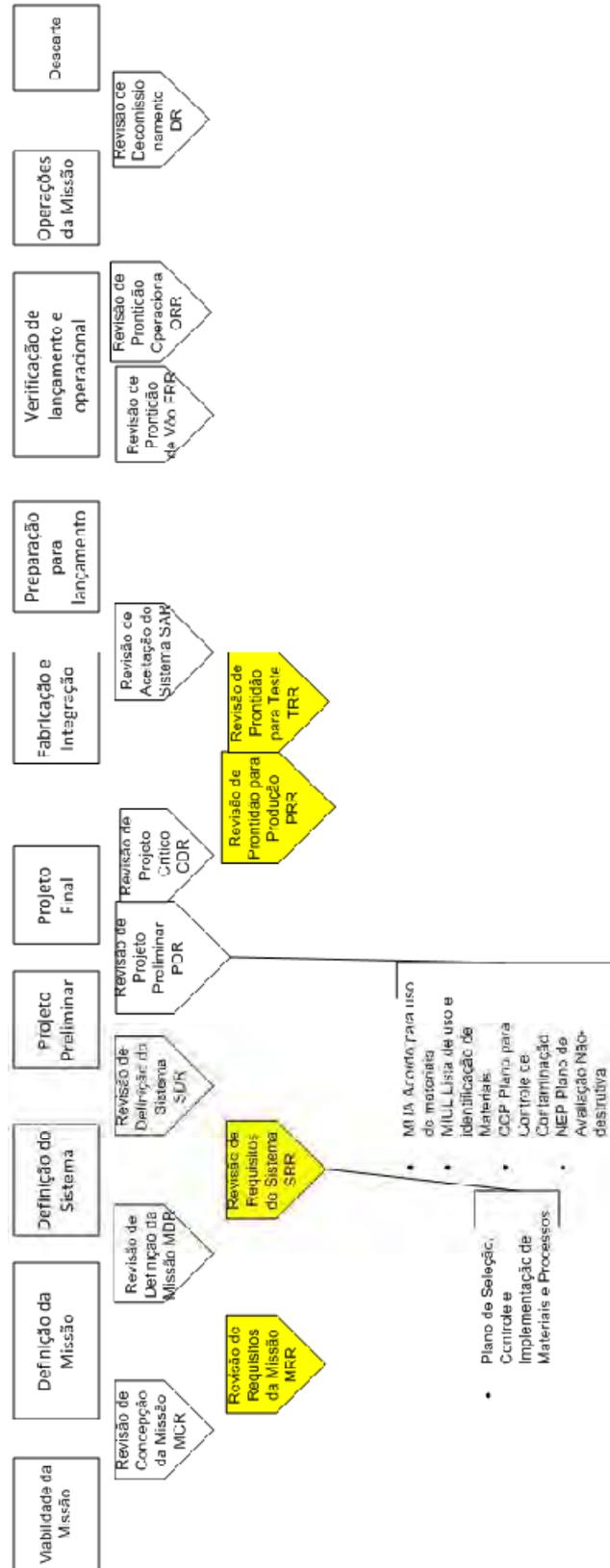


Figura 4.2 – Ciclo de Vida de um Projeto Espacial – NASA

Fonte: adaptado de *The NASA Program/Project Life Cycle Process Flow and the Standard Materials and Processes requirements for Spacecraft – NASA-STD-6016*

5 ESTUDO DETALHADO E DESCRIÇÃO DO USO CORRENTE DE PROCESSOS TÉCNICOS NA FABRICAÇÃO DE PLATAFORMAS ORBITAIS NO ÂMBITO DO PROGRAMA ESPACIAL BRASILEIRO

5.1. Controle de Processos

O tratamento de processo que será descrito neste capítulo é a metodologia aplicada no programa CBERS – China – Brazil Earth Resources Satellite, ou seja, Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres, que é o programa que tem este tratamento mais elaborado no INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

As atividades relativas aos processos de fabricação deste programa foram baseadas no padrão ESA-PSS-01-70, “Material and Process Selection and Quality Control for ESA Spacecraft and Associated Equipment” da ESA – European Space Agency emitido em 1994, versão precedente do padrão ECSS descrito no capítulo 4.

O que existe de formal a respeito da disciplina de componentes EEE, materiais e processos está descrito no capítulo 9 do documento RB_PAD_002 – CBERS 3&4, “Product Assurance Requirements”, ou seja, Requisitos da Garantia do Produto (INPE, 2005).

Este capítulo do documento da Garantia do Produto trata inicialmente do plano, preparado pelos contratantes principais do projeto CBERS, que deve ser estabelecido para atender os critérios e requisitos para a preparação e implementação do plano de componentes EEE, materiais e processos.

O objetivo do plano é a gestão da seleção, aplicação, aquisição, controle e padronização dos componentes EEE, materiais e processos (PMP) de forma que se reduzam as falhas destes itens, se reduzam os custos do programa e se assegure a confiabilidade das PMP. Este plano tem um caráter geral de tratamento de componentes EEE, materiais e processos.

São preferencialmente utilizados componentes EEE, materiais e processos com o máximo uso daqueles já tenham a condição de qualificado para uso no espaço; a racionalização e padronização na seleção de componentes EEE, materiais e processos e a as aquisições são coordenadas para serem realizadas com especificações e compra comuns.

Deve ser designado um representante para ser responsável pela gestão do Plano de PMP com autoridade para realizar a gestão, a engenharia, tratar das aquisições e do controle de qualidade dos PMP.

O Plano de PMP deve descrever em detalhes a abordagem proposta, métodos, procedimentos e organização que o contratante adotará para atender os requisitos do cliente.

Deve considerar para componentes EEE, materiais e processos itens como: estrutura organizacional, responsabilidade e autoridade da gestão; padronização e controle de seleção, avaliação e qualificação; garantia de qualidade, incluindo a inspeção de recebimento; auditorias e fiscalização para o controle de subcontratados e fornecedores; aquisições; rastreabilidade; garantia de uso de PMP autorizados; identificação e controle de tempo de vida de componentes EEE e materiais; controle das componentes EEE defeituosas; revisões de projeto; marcos e tarefas; relatórios, entrega de dados e apresentação de listas.

Todos os PMP devem ser aprovados pelo cliente. Os contratantes principais devem apresentar as seguintes listas incluindo os seus itens e de seus subcontratados:

- lista de componentes eletrônicos e não eletrônicos;
- lista de materiais;
- lista de processos;

- lista de tecnologias de conexão;
- lista de componentes EEE e materiais sensíveis a radiação e
- lista de PMP crítica.

Os requisitos técnicos para os componentes eletrônicos especificam listas qualificadas de componentes EEE aprovadas para uso no espaço, assim como os requisitos de blindagem e a disponibilidade dos componentes EEE selecionados que deve existir durante a vida útil do programa.

O controle de estoque dos componentes também tem as especificações declaradas, com lotes e datas que indiquem o prazo para uso do componente, período este em que os componentes EEE deverão manter requisitos de qualidade especificados; e que Análise Física Destrutiva (DPA – Destructive Physical Analysis) pode ser necessária nos casos em que houver chance de degradação dos componentes durante o armazenamento e nos casos em que houver necessidade de uso de componentes não qualificados.

O procedimento de inspeção de recebimento de componentes EEE deve incluir, pelo menos: a revisão da documentação do fabricante; cem por cento de inspeção visual externa; cem por cento de teste elétrico a $25\text{ °C} + - 5\text{ °C}$ dos parâmetros críticos de uso; análises físicas destrutivas (DPA) em cada lote de circuitos integrados, semicondutores discretos, capacitores de cerâmica, chaveadores (switches) híbridos, componentes de alta voltagem e alta frequência.

Dois componentes de cada lote deverão ser identificados e retidos para análise de falhas no caso de alguma falha relativa ao lote.

São estabelecidos procedimentos de manuseio e armazenagem de componentes EEE, a fim de evitar a degradação destes componentes. Estes procedimentos deverão levar em conta o controle do ambiente em que serão manuseados os componentes, sendo que serão consideradas as condições

tais como de temperatura, umidade e limpeza; cuidados com estoque, recebimento e expedição de componentes e componentes suscetíveis a descarga eletrostática serão identificados e tratados exclusivamente por pessoal devidamente treinado utilizando embalagens e ferramentas apropriadas.

Os materiais devem ser selecionados com base nos critérios e restrições de documento específico de seleção de materiais para uso no espaço.

Em termos de metais as ligas de alta resistência com base em alumínio, magnésio, titânio, berílio e de aço inoxidável são materiais candidatos em potencial.

Alguns aspectos devem ser considerados na seleção de materiais metálicos tais como: resistência à corrosão, corrosão sob tensão; corrosão galvânica que deve ser evitada por isolamento dos metais; evitar materiais magnéticos; materiais que permanecerão em meio de um fluido devem ser compatíveis com o mesmo.

No caso dos materiais não metálicos, os contratantes principais devem considerar o seguinte na seleção: efeitos da exposição à radiação; materiais nutrientes para o fungo que não deve ser usado; materiais sujeitos a ciclos térmicos devem ser avaliados para garantir sua resistência ao estresse térmico; os limites para as taxas de gaseificação devem ser avaliados, pelo menos, perda de massa total TML e coleta de material volátil condensado CVCM, para materiais utilizados na fabricação de dispositivos ópticos e nas suas imediações devem ser observados a perda de massa recuperada RML e o CVCM que é dez vezes mais crítico do que para materiais não usados nestas condições.

Os procedimentos de inspeção de recebimento dos materiais devem incluir, no mínimo, análises amostrais das propriedades físicas e químicas mais significativas dos materiais e partes mecânicas.

Todos os materiais, que têm características de tempo de vida limitado, devem ter a sua data de fabricação e prazo de validade identificado claramente e com precisão em cada lote. Se for ultrapassada sua vida útil, o material poderá ser utilizado apenas se as características físicas e químicas forem inspecionadas e os parâmetros, sujeitos a deterioração, forem aprovados.

O tempo de estoque deve ser levado em conta para a avaliação do tempo de vida da missão.

Uma análise e um programa de testes para todos os mecanismos elétricos, mecanismos e pirotécnicos, devem ser propostos pelos contratantes principais a fim de avaliar a sua adequação para a aplicação do CBERS.

Os contratantes principais devem manter um procedimento formal para a aprovação de todos os processos propostos para o CBERS, em conformidade com os requisitos abaixo. Programas de aprovação de processos críticos e os resultados dos testes devem ser aprovados pelo cliente.

É solicitada a seguinte documentação:

a) Descrição geral

- Título,
- Número de especificação,
- Emissão e revisão,
- Descrição geral do processo.

b) Qualificação / Plano de Validação:

- Limpeza e condições do ambiente,
- Pessoal treinado,

- Equipamentos e ferramentas mantidos com adequação, calibrados e devidamente mantidos,
- Critérios de aceitação,
- Componentes EEE e materiais utilizados,
- Tempo para elementos críticos,
- As amostras de teste,
- Manuseio e
- Precauções de saúde e segurança.

c) Procedimento:

Deverão ser apresentados passo-a-passo as operações de fabricação e as inspeções.

d- Registro de Dados:

Deverão ser preparados registros de dados para controlar todas as atividades. Estes dados devem estar disponíveis para as auditorias.

Para aplicação no programa CBERS todos os processos deverão ter uma demonstração prévia em hardware de voo ou por um programa de avaliação / qualificação.

A abordagem do processo de qualificação pelo contratante principal deve ser claramente definida no Plano de PMP.

Os resultados dos planos de qualificação para cada processo devem estar disponíveis para revisão pelo programa.

Processos críticos que tenham demonstração prévia em hardware de voo deverão ter evidências para demonstrar esta experiência e estar disponíveis para revisão.

Os contratantes principais devem verificar e assegurar a proficiência, capacidade e adequação do pessoal e equipamentos de todos os processos utilizados no CBERS, em especial: metalúrgicos, químicos, limpeza de materiais, soldagem, solda, revestimento e outros processos em que a qualidade não pode ser assegurada somente por inspeções do artigo final.

Para assegurar a conformidade de cada processo, os contratantes principais devem garantir que: as aplicações dos processos estão em conformidade com suas especificações; os pontos de inspeção obrigatória em processo serão realizados e que as amostras que são fabricadas com o mesmo material e com o mesmo processo serão submetidos aos ensaios de conformidade. Depois dos ensaios as amostras deverão ser identificadas e retidas.

Nos processos especiais o controle de qualidade será realizado durante as operações do processo, nos equipamentos e instrumentos e nas condições do ambiente de trabalho.

São processos especiais no desenvolvimento de plataformas orbitais aqueles relacionados a tratamento para viabilizar o gerenciamento térmico, tratamentos de superfície, soldagem, soldagem de componentes EEE e colagem.

Em processos especiais as condições de pessoal, equipamentos, meio ambiente e os parâmetros de outros processos devem ser rigorosamente controlados de acordo com documentos do processo e as normas correspondentes. Também devem ser estabelecidos pontos de inspeção obrigatórios previamente definidos pelo cliente juntamente com o fornecedor do processo.

Os componentes EEE e materiais sensíveis à radiação devem ser identificados pelos contratantes principais e providências devem ser tomadas para garantir que eles serão capazes de suportar os efeitos da radiação durante a vida de missão. Caso não existam dados de radiação disponíveis os contratantes principais devem realizar teste para verificação de radiação em amostras do lote a fim de caracterizar o lote usado.

Os contratantes principais devem identificar e propor procedimentos de controle para cada PMP crítico. São críticos aqueles, que atenderem a qualquer um dos seguintes critérios:

- a parte ou o material é usado em um único ponto de falha;
- componente EEE ou material, que tenha alto risco técnico, ou seja, requisitos de desempenho rigorosos relativo ao estado-da-arte de técnicas para o item;
- o componente EEE ou o material é utilizado além ou muito próximo dos seus limites de uso recomendado;
- o tempo de compra é muito longo para o componente EEE;
- o processo indicado, em caso de falha, pode afetar negativamente o desempenho da maior parte ou maior quantidade de funções da espaçonave;
- o PMP é novo ou não tem histórico suficiente de confiabilidade.

Os contratantes principais deverão fornecer ao cliente uma solicitação de aprovação nos casos do uso de componente EEE e materiais não qualificados.

Qualquer PMP que não satisfaça os critérios de aceitação ou que apresente problemas durante testes, deve ser classificado como não-conformidade maior, ou seja, que deve ter conhecimento e aprovação do cliente.

Os contratantes principais devem descrever os métodos e procedimentos para assegurar que os subcontratados cumprirão os requisitos de PMP.

Declara-se o direito do cliente auditar as plantas dos contratantes principais e subcontratados, para verificar a aplicação do Plano de PMP.

Os contratantes principais devem submeter ao cliente inicialmente os seguintes dados: Plano de PMP; listas declaradas de PMP; aprovação do programa para processos críticos; análise e resultados dos testes para componentes EEE e materiais sensíveis à radiação; análises de falhas PMP e outgassing dos materiais.

Os dados mínimos que devem permanecer disponíveis para o cliente são: os resultados da inspeção de recebimento dos componentes EEE e de materiais; resultados do processo aprovados; programa de aprovação e os resultados dos testes de processos; Plano de PMP de todos os subcontratados; plano de aquisições coordenado e os relatórios de auditorias e exames nos subcontratados.

O documento RB-PAD-002 - CBERS 3&4, “Product Assurance Requirements” (INPE, 2005) trata principalmente do Plano de PMP que mostra o tratamento a ser aplicado a componentes EEE, materiais e processos no Programa CBERS. Sobre a Qualificação de Processos, aborda a necessidade de preparar um plano para esta qualificação apresentando a estratégia para demonstrar que o processo a ser utilizado atenderá os requisitos do programa, e submetendo-o à aprovação do INPE.

O RB-PAD-002 não apresentava os detalhes dos requisitos a serem apresentados nestes planos de qualificação de processos. Assim para detalhar estes requisitos o INPE criou um padrão para uso no Programa CBERS que está descrito em documento em versão preliminar da Garantia do Produto. A descrição que segue abaixo mostra o conteúdo deste documento.

O primeiro ponto colocado é a questão das responsabilidades onde é definido que as contratantes principais do INPE é que têm o dever de garantir que seus processos de manufatura e fabricação e montagem são planejados, documentados, implementados, validados, executados e controlados conforme o que é solicitado no documento. É afirmado que todo processo especial deve ser validado antes de ser empregado nos Programas Espaciais do INPE.

Este documento apresenta um fluxograma para a qualificação dos processos que está descrito na figura 5.1:

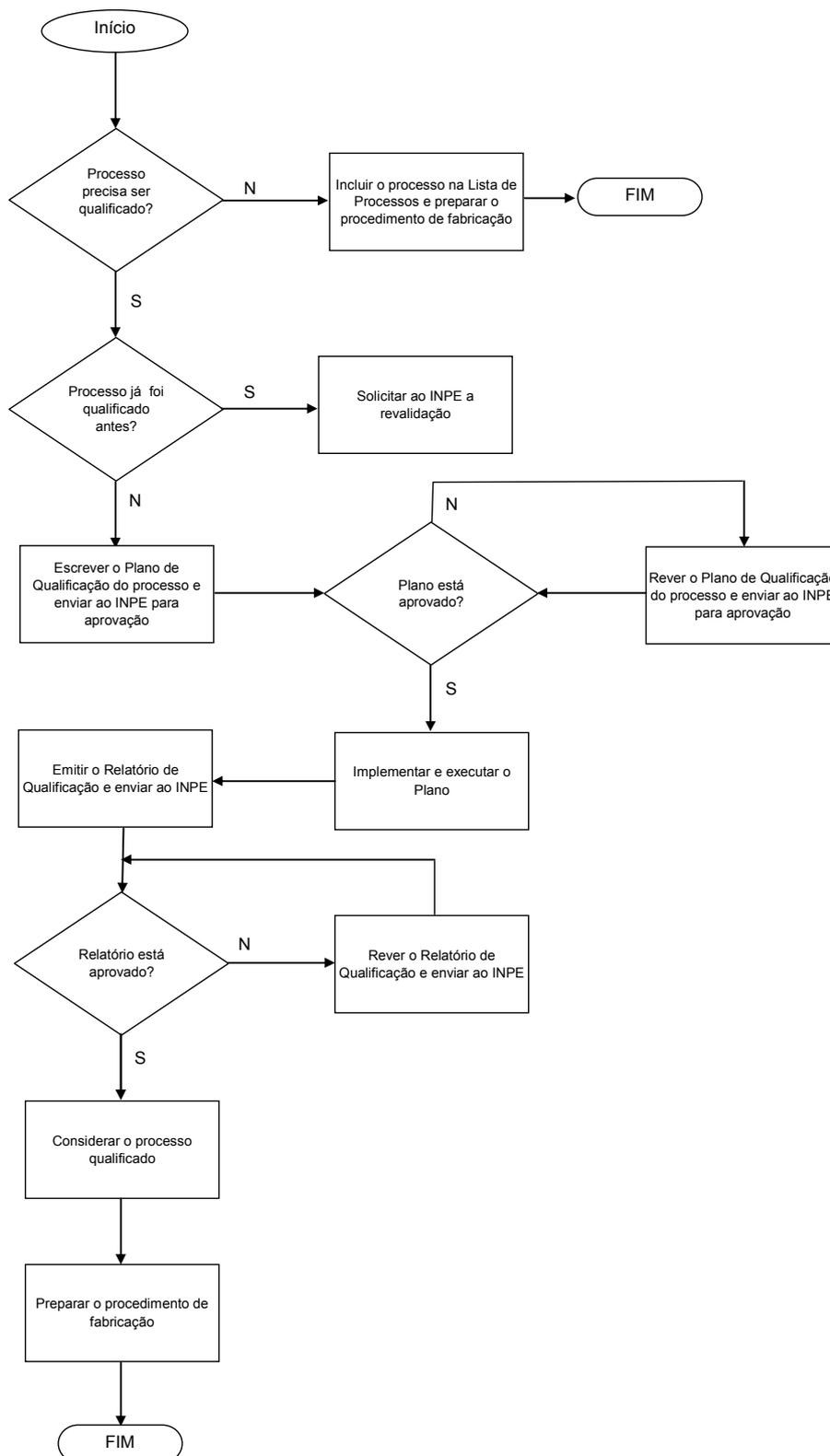


Figura 5.1 – Fluxograma para qualificação de processos atualmente empregado pelo INPE

O documento preliminar descreve o formato do Plano de Qualificação desejado e que em suma solicita:

- o objetivo, onde a contratante deve dar a descrição do que se objetiva atingir com o plano;
- a descrição dos responsáveis por cada atividade prevista pelo plano;
- os documentos aplicáveis, ou seja todos os documentos necessários para a execução do plano ou aqueles que serviram de base para a preparação do plano;
- a descrição dos materiais que serão utilizados para a qualificação, contendo informações como fabricante, lote, uso anterior em aplicações espaciais, aprovações por outras agências espaciais, e especificações técnicas dos fabricantes;
- lista dos equipamentos, instrumentos, ferramentas e demais dispositivos necessários para a execução do plano;
- descrição dos controles de calibração dos instrumentos de medição e teste ou referência a documentos internos com este conteúdo;
- quantidade de mão de obra necessária bem como o treinamento e capacitação necessários;
- definição das condições de identificação, armazenamento, manuseio, transporte e embalagem dos materiais, partes e componentes EEE, equipamentos, subsistemas e sistemas envolvidos no plano ou referência a documento interno com este conteúdo;
- a preparação de um procedimento, incluindo:
 - requisitos de qualidade e desempenho com as fontes dos requisitos;

- descrição da quantidade dos corpos de prova para testes e especificação dos mesmos;
- fluxograma sintético do processo ou tabela com as operações principais;
- especificação dos parâmetros do(s) processo(s);
- especificações do ambiente nas quais as atividades para a qualificação devem ser realizadas, incluindo temperatura, pressão, umidade e classe de limpeza da sala quando aplicável. Condições adversas que necessitem atenção devem ser citadas;
- especificação dos principais parâmetros que devem ser controlados para garantir o desempenho do processo;
- especificação dos testes, medições e ensaios que devem ser executados nos corpos de prova;
- especificação dos critérios de aprovação do processo e
- definição dos critérios para aceitação dos lotes de fabricação caso o processo seja qualificado.

O próximo documento solicitado é o Relatório de Qualificação, que deve conter todas as informações contidas no Plano de Qualificação, os resultados obtidos através dos testes e ensaios, a comparação dos resultados com os requisitos especificados e a conclusão sobre a situação de qualificação do processo.

A seguir outro documento requerido é o Procedimento de Fabricação. É definido que cada atividade de produção, de montagem e de testes deverá possuir seu próprio procedimento, que deverá incluir, no mínimo:

- a sequência das etapas com a descrição passo a passo de todas as atividades ou etapas do processo, incluindo condições especiais do

ambiente, parâmetros, etc. Caso o documento seja utilizado durante o processo de realização do produto, o mesmo deverá conter campos para o registro das operações (condições de ajustes de máquinas e equipamentos, condições de processo, condições dos ambientes, registro e/ou visto do operador etc.);

- os materiais e matérias-primas que devem ser relacionados com seus números de identificação que normalmente vem da Lista Consolidada de Materiais;
- o documento que descreva o processo de verificação dos materiais e matérias-primas adquiridos de modo a garantir sua adequação aos requisitos exigidos ou referenciar o documento com este conteúdo;
- o nível ou necessidade de capacitação das pessoas envolvidas em cada etapa do processo;
- a marca, modelo, faixa de trabalho e as características especiais que os equipamentos, instrumentos, ferramentas e demais dispositivos necessários à execução do procedimento devam ter;
- descrição detalhada de todas as inspeções. Caso o documento de procedimento das inspeções seja destinado a acompanhar o produto durante a fabricação, então deve conter campos para o registro das inspeções;
- a descrição das condições de identificação, armazenamento, manuseio, transporte e embalagem dos materiais, partes e componentes EEE, equipamentos, subsistemas e sistemas envolvidos, antes, durante e depois do processamento;
- os cuidados especiais com a saúde e segurança do pessoal envolvido e com a segurança do produto e

- a especificação ou a referência a documento que especifique como os produtos são identificados e rastreados ao longo da realização.

É descrito neste documento como deve se formalizar a qualificação. O processo que é considerado qualificado pelo INPE passa a constar na Lista de Processos Qualificados do respectivo Programa Espacial.

Caso a contratante solicite formalmente, o INPE poderá emitir um atestado que comprove a situação de qualificação de cada processo qualificado.

A qualificação dos processos tem a validade de 2 (dois) anos. O INPE tem emitido documentos que atestam a qualificação de processos e também têm emitido atestados de autorização de utilização do processo. O primeiro caso já foi estudado. O segundo caso são os processos que ainda tenham dúvidas na qualificação, de forma que as verificações que deveriam ocorrer somente na qualificação devem ser repetidas em cada execução do processo.

Após o prazo de validade da qualificação todo processo deve passar por uma avaliação para revalidação ou suspensão da qualificação.

São descritos nos documentos de descrição detalhada do trabalho de desenvolvimento dos equipamentos do programa CBERS as informações mínimas que devem constar nas listas de componentes EEE, materiais e processos.

Nestes documentos também são solicitados e brevemente descritos: o fluxograma de fabricação que deve indicar os processos, procedimentos, materiais, partes mecânicas, componentes, inspeções, MIP's, ensaios e relatórios previstos; os procedimentos de ajuste, de inspeção, de fabricação, de montagem e de teste.

Como não existe a sistemática de banco de processos e seu gerenciamento, conseqüentemente o controle dos processos para uso na fabricação de novos equipamentos também fica prejudicada.

6 PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA O TRATAMENTO DE PROCESSOS NA FABRICAÇÃO DE PLATAFORMAS ORBITAIS NO ÂMBITO DO PROGRAMA ESPACIAL BRASILEIRO

Para a elaboração desta proposta aproveitou-se o que foi considerado de melhor nos tratamentos de processos da ECSS, da NASA e do INPE aplicado ao programa CBERS e com a experiência e o aprendizado da autora foi gerada uma metodologia que objetiva atingir um tratamento de processos para garantir processos repetitivos, controlados, confiáveis e com menos falhas.

O cliente final deverá formar um conselho, para cada subsistema, composto por membros das funções: engenharia, engenharia do produto, garantia do produto do cliente e das mesmas respectivas funções da organização responsável pelo projeto e fabricação de cada equipamento, sob o comando do responsável por processos do cliente, que poderá denominar-se Conselho para Processos (CP). Este Conselho terá as funções de planejar, gerir e coordenar as atividades relacionadas aos processos do seu subsistema.

6.1. Definição dos documentos que serão empregados no Tratamento dos Processos

Para o cumprimento do Tratamento de processos alguns documentos deverão ser preparados. O cliente deve preparar para cada documento, abaixo descrito, uma Descrição de Requisitos de Documentos, que tem a função de descrever detalhadamente o que se espera que sejam declarados em cada um deles.

1. Plano de Qualificação – documento através do qual o fornecedor do processo apresenta ao cliente, embasado em normas e requisitos do projeto, uma proposta para o Programa de Qualificação do Processo. Devem ser apresentados, de forma sucinta, neste documento:
 - ✓ a metodologia do processo proposto;

- ✓ as verificações, com seus critérios de aprovação, empregadas no resultado do processo;
- ✓ todas as medidas que serão tomadas para atender os requisitos de processos do cliente e
- ✓ o grau de atendimento de cada requisito.

2. Operações do processo – este documento deve conter pelo menos:

- ✓ descrição das amostras que serão preparadas, em termos de quantidade e especificação;
- ✓ os equipamentos que devem ser utilizados, especificados pelo número que identifica o equipamento;
- ✓ nome dos operadores qualificados para realizar o processo;
- ✓ as operações de fabricação passo a passo, de forma que o processo seja repetitivo em todos os detalhes;
- ✓ as operações de verificação com seus critérios de aprovação que deverão ser descritas passo a passo, de forma que sejam repetitivas;
- ✓ condições especiais do ambiente em que o processo deve ser realizado e
- ✓ anexar as Listas de Fabricação de materiais, partes mecânicas e componentes EEE.

Nota: Observa-se que tanto no Plano, quanto no documento de Operações do processo existem verificações que devem ser realizadas. As verificações constantes no documento de Operações do processo são as verificações que devem ser realizadas sempre que o processo é executado, mesmo após adquirir a condição de qualificado, simplesmente para a verificação do resultado do

processo. Já a verificação constante no Plano são ensaios mais complexos que não precisam ser repetidos em todas as vezes que o processo é utilizado, estes ensaios somente serão repetidos para re-qualificar o processo, na frequência que for conveniente ao cliente. Mais adiante serão explicadas as razões para a re-qualificação de um processo.

3. Registro da Fabricação – este documento deve registrar a data da realização de cada passo das Operações do Processo e mais o nome da mão de obra que a realizou.
4. Relatório de Qualificação – é o relatório que deve conter os resultados dos testes das amostras produzidas durante o Programa da Qualificação do Processo, bem como a análise destes resultados em relação aos requisitos do processo.
5. O responsável pelo fornecimento do processo deverá preparar três tipos de listas para os processos, para os materiais, para as partes mecânicas e para os componentes EEE. Serão elas:
 - a. Listas Preliminares – o objetivo destas listas é identificar os itens a serem utilizados no processo, na primeira avaliação pelo cliente juntamente com a verificação do Plano de Qualificação do Processo.
 - b. Listas para Fabricação – os materiais, as partes mecânicas e os componentes EEE que forem descritos nestas listas serão utilizados na execução do processo durante a sua Qualificação. Estas listas serão entregues junto com as Operações do processo.
 - c. Listas Declaradas – estas listas compõem o pacote como projetado de cada equipamento, ou seja, a documentação formalmente utilizada para a fabricação dos equipamentos. Estas listas são entregues com todas as Listas Como Projetado.

6. SDA (Solicitação de aprovação) – é documento que permite o fornecedor solicitar ao seu cliente a permissão para uso de um processo, parte mecânica e material crítico. De forma a fornecer dados que permitam ao cliente avaliar se o item pode ser usado para a aplicação pretendida. (ECSS, 2009) Este documento tem duas emissões. A primeira em que o fornecedor solicita a alteração através do fornecimento de dados para o cliente, de forma que lhe seja possível ter todas as informações necessárias para decidir pela aprovação ou não da continuidade do processo de aprovação. E a segunda chamada Final que é a fase em que o fornecedor entregará os resultados do Programa de Qualificação e o cliente dará a aprovação final da alteração no final do processo de aprovação, depois que tiver recebido todos os resultados da verificação para a decisão da aprovação da alteração.

6.2. Especificação dos passos necessários ao Tratamento de processos

Os passos necessários ao Tratamento de processos estão representados no fluxograma apresentado na Figura 6.1.

O tratamento de processos se inicia com a identificação de especificações de processos que possam ser utilizados na aplicação desejada, em normas internacionais e em padrões de processos para aplicações espaciais, pela organização responsável pelo projeto e fabricação do equipamento.

Devem ser observados os requisitos especificados pelo cliente para o produto final deste processo, de forma a ter claramente definido o objetivo que deve ser alcançado pelo processo.

Com base nos requisitos do cliente, o fornecedor selecionará o processo que melhor atenderá estes requisitos.

Caso não exista um processo adequado, o responsável pelo fornecimento do processo pode adaptar um processo ou propor um novo, sendo que este tipo de solução deve ser menos incentivado.

Juntamente com o processo proposto, devem ser entregues as listas preliminares dos materiais, partes mecânicas e de componentes EEE, a serem aplicados pelo processo. Neste momento a lista preliminar dos processos do equipamento também já deve existir e ser entregue. Todas as listas serão submetidas à aprovação do cliente.

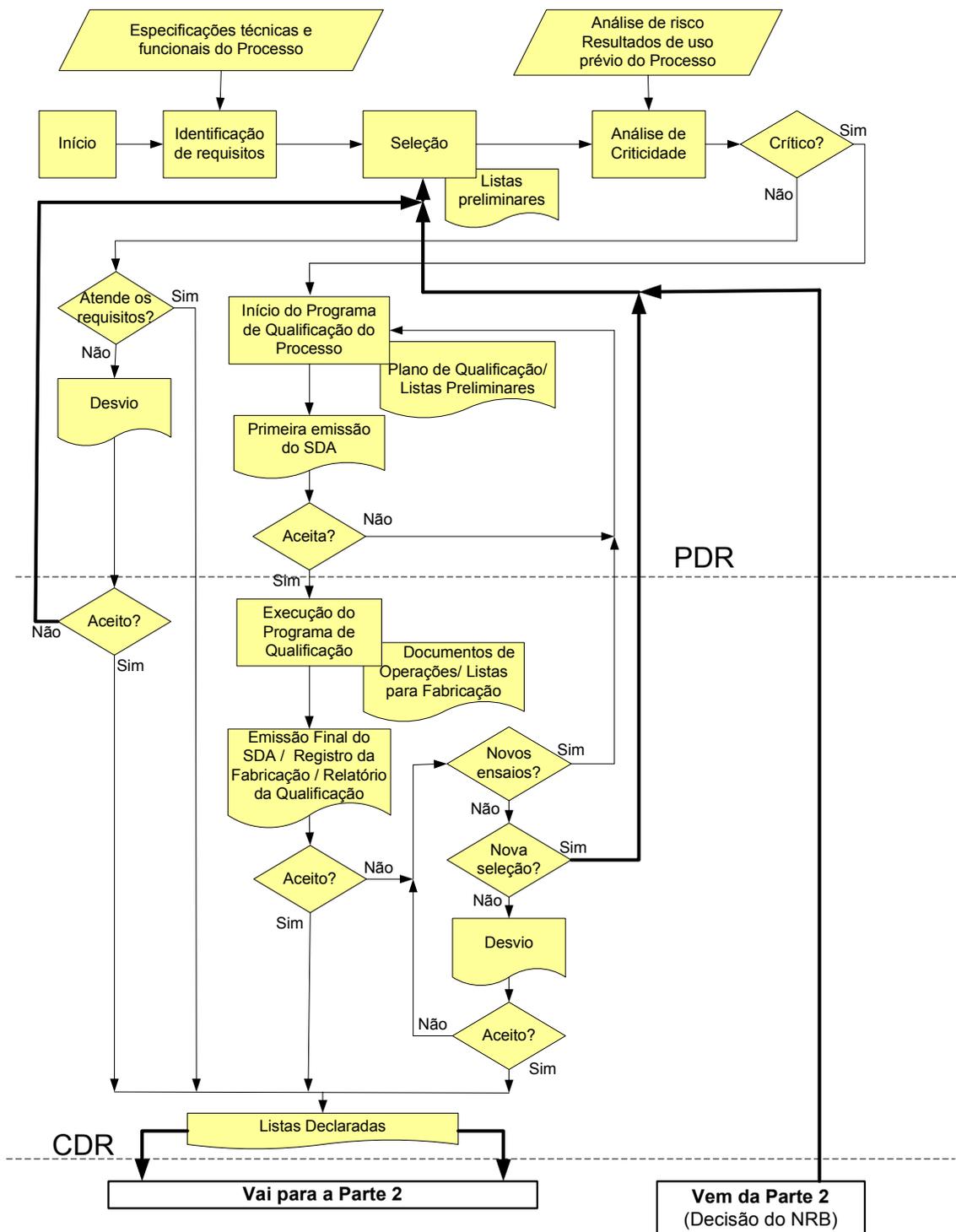


Figura 6.1 – Fluxograma proposto para o Tratamento de processos

Fonte: adaptado de ECSS (2009e)

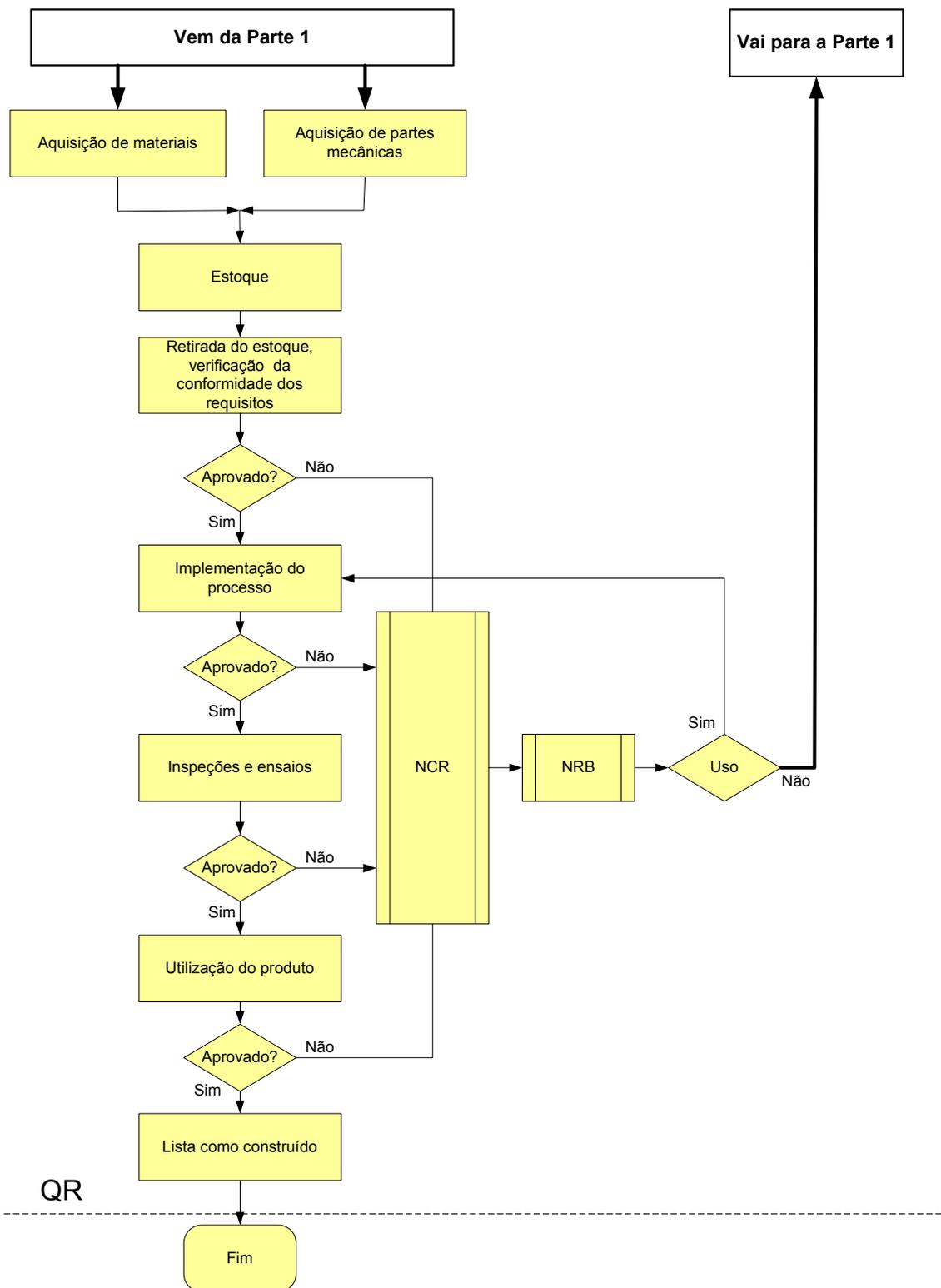


Figura 6.1 – Fluxograma proposto para o Tratamento de processos (continuação)

Fonte: adaptado de ECSS (2009e)

Nota: Este trabalho se concentra na qualificação de processos, desta forma as diretrizes para componentes EEE, materiais e partes mecânicas não serão detalhados.

A CP realizará uma análise crítica do processo classificando-o como crítico se atenderem a qualquer uma das condições a seguir:

- no caso de falha do processo indicado possam surgir efeitos negativos na maior parte da plataforma orbital ou em suas funções;
- no caso do processo ser novo ou não ter histórico suficiente de confiabilidade;
- a conformidade do produto resultante não pode ser pronta ou economicamente verificada;
- já foi utilizado para plataformas orbitais mas não foi verificado para a aplicação pretendida e
- que tenha causado problemas em aplicação anterior sem que uma solução tenha sido alcançada.

Se o processo for classificado como não crítico, será feita uma avaliação para verificar-se se o processo atende completamente todos os requisitos do projeto, no caso afirmativo os dados para sua especificação irão compor a Lista Declarada de Processo. Caso o processo não atenda a todos os requisitos do projeto, mas existam razões especiais para seu uso, então deverá ser solicitado um desvio pelo fornecedor, para que o cliente autorize o uso deste processo.

Mas se, na análise da criticidade, o processo for considerado crítico por qualquer um dos motivos citados anteriormente, então o processo deverá passar pelo Programa de Qualificação. No final deste Programa se o processo for considerado qualificado, então o fornecedor deverá identificá-lo como crítico

na Lista Declarada de Processos e também incluí-lo nas Listas de Itens Críticos.

O fornecedor deverá preparar o Plano de Qualificação do processo. Junto com este Plano ele deverá entregar as listas na versão *Preliminares* para processos, partes mecânicas, materiais e componentes EEE que forem aplicáveis. Os insumos podem ser descritos numa lista separada. E em seguida entregar a primeira emissão do SDA.

Com estes dados o cliente deverá decidir pelo prosseguimento ou não do Programa de Qualificação deste processo. Se o cliente não aprovar, e a falha foi devido à elaboração de um ou mais documentos ou verificações, então o fornecedor pode reiniciar o Programa de Qualificação deste mesmo Processo. Mas se a não aceitação ocorreu devido à observação de que algum conceito do processo proposto que não atende aos requisitos do projeto, então o fornecedor deverá reiniciar a seleção para a escolha de um processo alternativo.

Se a decisão for pelo prosseguimento o fornecedor deverá entregar o documento de Operações do processo e as Listas para *Fabricação*, solicitar a aprovação destes documentos ao cliente e em seguida iniciar o cumprimento do Plano para a qualificação.

Com o resultado do processo em mãos o fornecedor deve realizar todas as verificações previstas. Então deverão ser entregues ao cliente o Registro da Fabricação, exatamente como a fabricação foi realizada para este Programa de Qualificação, o Relatório da Qualificação e a Emissão Final do SDA.

Com estes dados o cliente terá condições de decidir pela aprovação ou não do Programa de Qualificação.

Se o Programa for aprovado, então as listas na versão de Fabricação, deverão ser verificadas pela CP e emitidas na versão Declarada.

Se o Programa não for aprovado, então será verificada a necessidade da realização de novos ensaios para averiguar alguma característica que não tenha sido avaliada ou que tenha sido avaliada, mas de forma incorreta, desta forma o Programa de Qualificação deverá ser reiniciado pelo fornecedor, para que esta nova condição seja submetida à aprovação do cliente.

Se ensaios adicionais não solucionarem o problema da aprovação, verificar-se-á a possibilidade da seleção de um novo processo. Se sim, então o fornecedor deverá reiniciar o processo na Seleção de processos, prosseguindo para a análise de criticidade e assim por diante conforme fluxograma da Figura 6.1.

Se não for possível nova seleção de processo e/ou existirem razões especiais para que seja aceita a divergência que não permitiu a aprovação do processo, então o fornecedor deverá solicitar um desvio, que será submetido a uma avaliação pelo CP. Sendo aceito o desvio, o processo entra para a lista de Processos Declarados e se não for aceito e novas avaliações forem necessárias, as atividades prosseguem para os novos ensaios conforme fluxograma da Figura 6.1. Se não o fornecedor deverá selecionar um processo alternativo retornando à atividade de seleção.

Com o Programa de Qualificação de Processo finalizado, o processo aprovado é utilizado para fabricação dos produtos finais. Se após a implementação do processo ou das inspeções e ensaios do resultado do processo, que é a fase da *verificação do processo*, ainda ocorrer alguma não-conformidade que não aprove o resultado do processo, então será necessária a seleção de um novo processo retornando ao início do Tratamento de Processos para a seleção de processo alternativo.

Tabela 6.1 – Estados de aprovação de processos

Código	Descrição
NC	Não crítico. Todos os processos com esta classificação serão usados somente com a verificação dos resultados do processo.
Q	Qualificado. São todos os processos que foram aprovados através de um Programa de Qualificação. O número da SDA do Programa de Qualificação deve ser colocado na Lista Declarada de Processos.
QD	São os processos qualificados com desvio. Esta condição será aceita somente devido a razões muito especiais, não deve ser de uso comum.
P	O processo está pendente de alguma decisão. Isto ocorre se o Programa de Qualificação do Processo foi iniciado, mas está pendente alguma ação do fornecedor ou do cliente.
R	Rejeitado. O processo não atendeu os requisitos do projeto.
D	Descartado. O processo já foi aprovado, porém foi substituído por outro com melhores resultados.

Fonte: adaptado de ECSS (2009f)

Finalizado o Tratamento do Processo conforme descrito na Figura 6.1 o processo passará a ter um dos estados apresentados na Tabela 6.1.

Para que o processo esteja qualificado para uso ele também deve cumprir os requisitos abaixo.

1. As habilidades dos profissionais responsáveis pelas atividades a serem realizadas devem ser definidas, o treinamento necessário especificado e as comprovações do treinamento da mão de obra utilizada deve ser mantida e disponibilizada ao cliente. E nos Registros de Fabricação os operadores de cada atividade devem ter seus nomes registrados em cada passo da fabricação;
2. Os materiais e as partes mecânicas a serem utilizados no Programa de Qualificação dos Processos devem ser qualificados para uso espacial e devem ser definidos por padrões e especificações identificados nas respectivas listas; para cada material ou parte mecânica não qualificados deverá ser solicitada uma SDA;
3. Devem ser listadas e descritas as máquinas, ferramentas, instrumentos e dispositivos necessários à execução do processo; no Plano de Qualificação somente os tipos destes itens devem ser declarados, porém nos documentos de Operações do processo, estes itens devem estar claramente definidos de modo que o cliente possa verificar se o equipamento adequado será usado durante as fabricações finais;
4. As máquinas, ferramentas, instrumentos e dispositivos devem ser adequados, calibrados e mantidos de forma adequada.
5. Também devem ser definidas as condições de identificação, armazenamento, manuseio, transporte e embalagem das amostras obtidas no Programa de Qualificação dos processos, e durante a fabricação dos produtos finais estas mesmas condições devem ser definidas para os equipamentos, subsistemas e sistemas produzidos.
6. Para avaliação do processo, devem ser fornecidos critérios de aceitação a serem cumpridos pelos ensaios e inspeções de cada amostra planejada. As amostras devem ter suas dimensões, desenhos e materiais utilizados

descritos e sua quantidade deve ser calculada com base em critérios estatísticos que comprovem a representatividade do lote.

7. Os critérios, ensaios e inspeções apresentados devem ser baseados em normas.
8. Os processos deverão possuir operações de fabricação, de testes, de montagens e de inspeções. Estas operações devem descrever passo a passo todas as atividades envolvidas, bem como os parâmetros de operação e as condições especiais do ambiente em que deverão ser realizados. Para uso espacial os equipamentos devem ser manipulados em ambientes que variam conforme as necessidades da missão, das matérias primas e dos processos. Variam em termos de classe de limpeza, temperatura, umidade e dependendo da atividade o nível da iluminação do local deve ser especificado.
9. Todas as atividades de execução de processos necessariamente devem ser rastreáveis, e esta rastreabilidade demonstrada ao cliente, através da apresentação das atividades que serão realizadas para garantir este requisito.
10. Pontos mandatórios de inspeção são estabelecidos pelo cliente e fornecedor em pontos da fabricação dos produtos finais, que representem situações em que posteriormente a este momento algumas averiguações são impossibilitadas de acontecerem.
11. Todos os requisitos de M&P devem ser cumpridos pelos fornecedores, assim como devem fazer serem cumpridos pelos subcontratados.
12. Todos os documentos de projeto que afetam os processos, como por exemplo, os desenhos de engenharia, devem ser aprovados pelo responsável por processos do cliente.

13. Não conformidades de processos serão sempre consideradas maiores, portanto deverão ter conhecimento e aprovação do cliente.

Para que o Controle de Processos seja mantido é necessário que os processos estejam organizados para uso do cliente, seja para ser usado pelo próprio cliente ou por um fornecedor. E para isso deve ser montado um banco de processos que é o assunto da próxima seção.

6.3. Definição e operação de um banco de processos

6.3.1. Esquema para a classificação de processos na área espacial

Na área espacial, o uso do conceito de processo, no âmbito da fabricação de hardware espacial, já ocorre há várias décadas.

Uma classificação para os processos técnicos, comuns no âmbito da área espacial, é proposta na Tabela 6.2.

Propõe-se a adoção de oito categorias para a classificação dos processos na área espacial. A primeira, (1000), identifica os processos de fabricação, a segunda, (2000), os processos de projeto, e assim por diante.

Para compor um banco de processos é necessário classificar os processos unitários, definindo quais serão os menores processos em que decomporemos a fabricação de um equipamento. Esta decomposição em processos elementares envolve algum grau de subjetividade, em geral, um processo de fabricação elementar.

O número de processos unitários é proibitivamente grande para que se efetue uma lista completa destes. Neste artigo, propõe-se a utilização de um esquema de classificação originalmente proposto por Todd e colaboradores (Todd, 1994), em que processos unitários de fabricação são categorizados conforme as alterações produzidas sobre os materiais de entrada do processo, segundo uma hierarquia que se inicia com alterações de forma e alterações de massa. A

Figura 6.2 e a Figura 6.3 apresentam, respectivamente, os primeiros níveis desta classificação e um exemplo de continuação da classificação, no caso, o ramo derivado da classificação “Desbaste mecânico (1111)”. O desenvolvimento completo desta classificação será objeto de futura publicação.

Tabela 6.2 – Proposta de classificação de *processos técnicos* na área espacial.

	Identificador	Categoria	Descrição
Processos técnicos	1000	Processos Técnicos	Definem os processos elementares, para a fabricação de partes elementares.
	2000	Projeto (<i>design</i>)	Metodologias de projeto que atendam requisitos, tais como margens, confiabilidade, redundâncias, qualidade, entre outros.
	3000	Processos de seleção de partes mecânicas e materiais	Definem metodologias para a seleção de partes mecânicas e materiais, que atendam requisitos conforme projeto e regras de qualidade do programa.
	4000	Qualificação de processos	Definem as atividades a serem desenvolvidas para demonstrar que processos, em geral processos de fabricação, atendem requisitos pré-estabelecidos, com repetibilidade.
	5000	Processos de produção	Definem atividades a serem desenvolvidas para a produção, a qual realizar-se-á segundo diagramas de fabricação e atendendo regras de qualidade; exemplo: fluxo de fabricação de um produto em uma dada planta. São fluxogramas do processo sobrescritos na planta aonde será realizado o processo, permitindo-se visualizar formas para minimizar o espaço a ser percorrido tanto pelo produto como pelos operadores.
	6000	Processos de montagem	Definem atividades a serem realizadas para a montagem de equipamentos ou produtos intermediários.
	7000	Processos de verificação	Definem atividades a serem realizadas para verificação, em nível de equipamento, subsistema e sistema. Podem ser por análise, teste, inspeção, demonstração, “review of design” ou similaridade.
	8000	Processos de integração	Definem atividades a serem realizadas para a integração em nível de sistema.

Uma vez definido o esquema de classificação, o próximo passo passa a ser a definição do esquema de identificação.

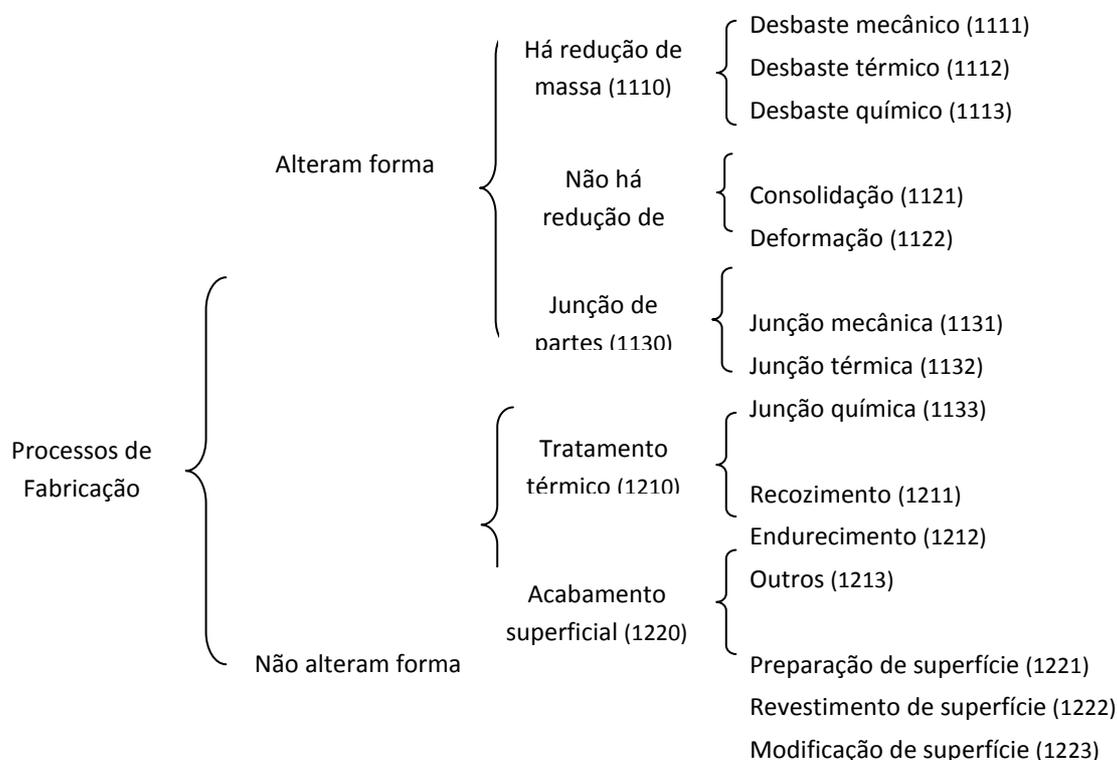


Figura 6.2 – Proposta de classificação de processos unitários de fabricação

Fonte: Adaptada de Todd et al. (1994).

No presente exercício, o identificador de um processo, em sua forma mais simples, poderia ser dado por xxxx.yyy, onde xxxx e yyy referem-se aos identificadores do processo nas Figuras 6.2 e 6.3, respectivamente. Por exemplo, o processo “Retífica” teria o identificador “1111.131”. Em uma forma mais elaborada, o identificador poderia, por exemplo, ter o formato apresentado na Figura 6.4.

A agregação de outros campos, além do identificador advindo da classificação do processo (xxxx.yyy), poderia se dar a partir de requisitos específicos do ambiente em que o sistema de identificação seria utilizado.

Os modelos de identificação apresentados acima se referem a uma identificação “genérica” dos processos. Em um dado projeto, conforme

requisitos de gestão da qualidade, todos os processos utilizados na fabricação de equipamentos devem ser listados e, após a revisão de qualificação, devem, obrigatoriamente, ter o status de qualificado. Sendo comum a adequação e o ajuste de processos de um projeto para outro, é normal que, para cada projeto, ocorra uma “especialização” (ou instanciamento) de processos “genéricos”. Por exemplo, em um dado projeto, identificado pelo acrônimo CBE, a identificação de processos de fabricação poderia adquirir o formato CBE-Q-xxxx.yyy-ppp-nnnn-vvv, em que a designação Q para o campo SQ poderia indicar que o processo apresenta o status de qualificado. No início do projeto, porém, este campo poderia ter um identificador, por exemplo, NQ, indicando que este processo ainda não se encontra qualificado, ou que deverá ser objeto de adequação ou ajuste para o projeto em questão. A adição de um campo identificando o status de qualificação, como exemplificado aqui, poderia ser de grande utilidade para a identificação do status da configuração de um projeto.

Uma vez definidos os esquemas de classificação e identificação, os processos utilizados em projetos do programa espacial poderiam ser organizados em um banco de processos.

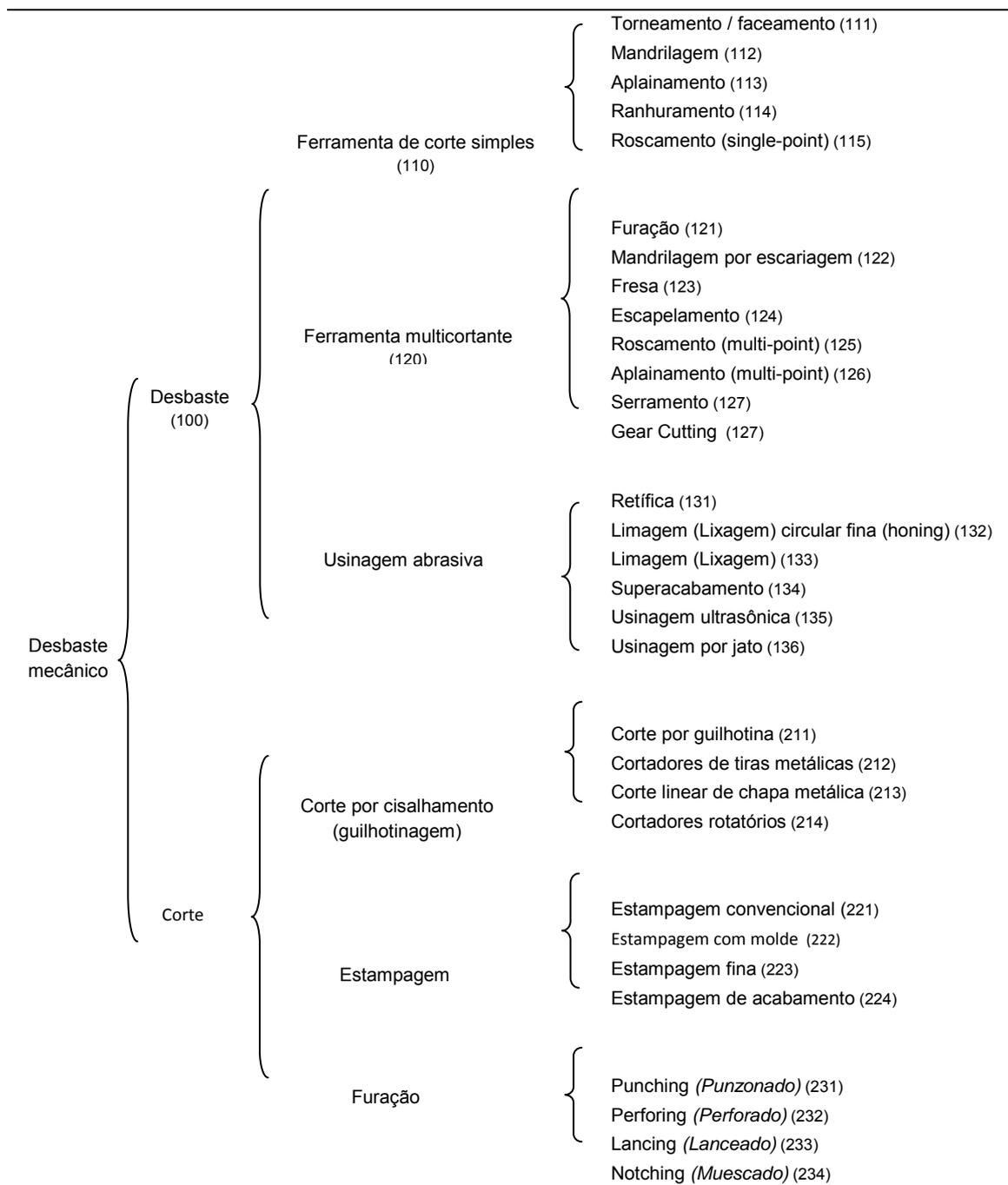


Figura 6.3 – Classificação de processos unitários de fabricação relativo ao ramo “Desbaste mecânico (1111)”, apresentado na Figura 6.2

Fonte: Adaptada de Todd et al. (1994).

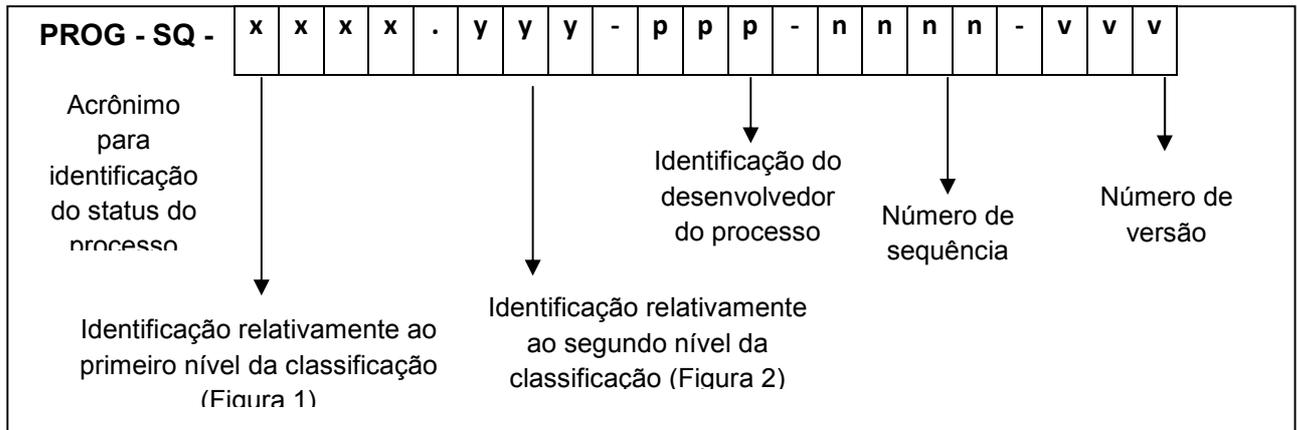


Figura 6.4 – Exemplo de possível esquema para identificação de processos.

6.3.2. Banco de processos

Assim como a definição de processo tem sido discutida por diversos autores (Gonçalves, Davenport, Barbará, Carpinetti), o modelamento e a definição das informações que caracterizam um processo tem sido objeto de alguns trabalhos (Barbará, Paim et al). Em uma primeira abordagem, um processo unitário de fabricação apresenta como elementos principais, para sua caracterização e definição, os seguintes: entradas (partes, materiais, e outros), saídas (elemento discernível de um equipamento), requisitos (relativos a: entradas, saída do processo, *safety*, ambiente, operadores e outros), ferramental necessário à implementação do processo (dispositivos e outros), necessidades de infraestrutura (espaço físico, condições ambientais, máquinas e outros) e a descrição detalhada das operações para a execução do processo (passo-a-passo). A Tabela 6.3 apresenta um quadro-resumo das informações associadas a um processo.

No âmbito de um banco de dados para processos, as informações associadas a cada processo registrado no banco poderiam incluir, além das informações de caracterização e definição do processo, informações subsidiárias, tais como: status de qualificação, relatório de qualificação, período de validade da

qualificação, projetos em que o processo foi utilizado, quadro-resumo de relatório de problemas (waivers e desvios), alertas emitidos, plano de qualificação e outras.

Tabela 6.3 – Principais elementos para caracterização e definição de um processo.

<i>Elementos de um processo (caracterização e definição)</i>	
Requisitos de	Entradas, produto (saídas), <i>safety</i> , ambiente, operadores e outros.
Entradas	Partes, materiais, e outros.
Ferramental	Dispositivos, adaptadores e outros
Infraestrutura	Condições do ambiente, máquinas
Operações	Descrição detalhada de todos os procedimentos necessários à execução e verificação do processo garantindo a reprodutibilidade.
Mão de obra	Deve ter conhecimento técnico necessário para realizar o processo
Saídas	Elemento discernível de um equipamento.

Uma proposta dos dados que poderiam ser descritos no banco de processos seriam os itens que se seguem:

1. o código conforme descrito nas Figuras 6.2, 6.3 e 6.4,
2. a identificação do processo
3. qual é o tipo do documento a ser arquivado. Ele pode ser:
 - a. o Plano da qualificação do processo,
 - b. o documento de Operações de manufatura do processo,
 - c. o Registro das operações realizadas,
 - d. o documento de Operações de verificação do processo,
 - e. o Registro de operações de verificação,

- f. o Relatório do Programa de Qualificação do Processo.
4. o número de identificação de cada documento que pode ser qualquer um dos que foram descritos no item 3.
 5. a data e revisão de cada documento,
 6. o nome da entidade responsável pela execução do Programa de Qualificação, enquanto o processo não for internalizado,
 7. indicação da identificação de todas as listas associadas, que seriam as Listas Declaradas de materiais, componentes EEE e processos,
 8. códigos que identifiquem, pelo menos, o equipamento e o subsistema nos quais será utilizado o resultado do processo,
 9. a criticidade do processo, conforme será abordado na seção 7.1,
 10. a situação de aprovação, conforme Tabela 6.1,
 11. se a situação do item 10 for “QD” (ver Tabela 6.1), então deverá existir a identificação do SDA Solicitação de Aprovação,
 12. indicar o responsável pela análise do documento e
 13. data desta análise.

6.4. Controle de processos

Conforme definido na seção 2.4: controle de processos é um conjunto de atividades realizado para garantir que todo processo técnico:

- esteja apto para ser utilizado no Modelo de Voo;
- seja documentado e repetitivo;
- seja realizado corretamente;

- gere produtos com os requisitos de projeto bem conhecidos, e
- tenha as modificações necessárias sempre formalizadas.

de forma a tornar possível que os processos qualificados sejam usados recorrentemente mantendo os mesmos organizados e controlados.

Se o processo for aprovado Programa de Qualificação significa que ele está apto para ser utilizado no Modelo de Voo. O que também trará garantia de que ele está documentado, repetitivo, correto e que gera produtos que atendam os requisitos do seu cliente. Para que as modificações sejam sempre formalizadas todos os documentos referentes ao processo devem permanecer sob o controle de configuração. Porém se após esta aprovação, o processo deixar de ser usado pelo fornecedor por longo período, período definido pelo cliente, ou se ocorrer uma modificação maior nas instalações ou nas operações, ou se houver troca de mão de obra com função estratégica, ou mudança do fornecedor do processo, ou substituição de materiais, partes mecânicas ou de componentes EEE, se apenas um destes motivos acontecerem, será necessário realizar novo Programa de Qualificação, re-qualificando o processo.

Dentro das contratadas os métodos de controle dos documentos relativos a processos deverão ser descrito no Plano de Partes Mecânicas, Materiais e Processos que cada organização responsável pela fabricação e projeto de equipamento deve fornecer ao cliente. Estes métodos deverão ser aprovados e acompanhados pelo cliente.

O banco de processos deverá então conter os processos qualificados que foram utilizados para a fabricação e para a verificação dos produtos espaciais com os seus padrões de qualidade comparáveis aos de padrões internacionais.

Antes de existir uma sistemática de controle de processos o programa de qualificação pode muitas vezes estar sendo realizado por contratados, sem um acompanhamento detalhado pelo cliente. Então para se iniciar a implantação

de um banco de processos, deveria existir no cliente uma equipe especializada em processos técnicos que pudesse repetir os programas de qualificação dos processos de seus contratados, combinando as melhores metodologias realizadas pelos seus diversos fornecedores para cada processo, internalizando a melhor prática deste processo e inserindo-o no seu banco de processos. Desta forma garantir-se-ia que o processo é realmente bem conhecido, dá a segurança de que cumpre os requisitos do cliente e das melhores práticas e podem ser considerados a partir de então, mantidos sob controle.

Concomitantemente esta equipe deve trabalhar no acompanhamento de programas de qualificação de processos que estejam em seu início, de forma que, junto com responsável pela qualificação, seja ela uma contratada ou qualquer outra equipe externa a ela, estabeleçam e executem o Programa de Qualificação do processo, desde a discussão dos seus requisitos e das especificações técnicas e funcionais dos produtos e processos até a inclusão dos processos nas Listas Declaradas de Processos. Este trabalho traz resultados muito positivos, uma qualificação sob total controle do cliente, evitando problemas tardios de qualificação de processos no projeto e por fim processos qualificados e já em condições de serem inseridos no banco de processos.

6.5. Estabelecimento e operação de um *Sistema de Alerta* relativo a processos técnicos

Segundo a ECSS, um Sistema de Alerta é uma notificação formal aos usuários a respeito de falhas ou não conformidades de itens, que podem ser quase liberados para uso e também os não liberados. Estas falhas e não conformidades podem estar presentes em itens já entregues, por exemplo, concepções idênticas, materiais ou processos. Podem ocorrer falhas ou problemas durante o uso de um processo qualificado (ECSS, 2004).

No Sistema de Alerta que se propõe os contratantes principais ou a organização que for responsável pela realização do processo, devem ter a atribuição de comunicar ao cliente qualquer falha ou problema que possa se repetir em outros equipamentos daquele programa ou de outros programas e projetos.

No cliente deverá ser montado um Conselho de Alertas cujo responsável deve ser o gerente técnico do programa ou seu delegado, de modo que esta pessoa tenha a visão completa do programa para conhecer as consequências de qualquer falha ou problema e também participantes das áreas da engenharia, garantia do produto e engenharia do produto.

Para ser alvo deste sistema de alerta as falhas devem ter algumas características específicas, que seriam:

1. a falha ou os seus efeitos podem atingir mais de um subsistema de um mesmo programa;
2. o item que falhou pode ser aplicável em múltiplas funções do produto final e ainda ter implicações em outros programas e projetos;
3. as falhas ou o problema ocorreu dentro condições normais do projeto (design) especificado;
4. foi detectada a existência de uma causa raiz para a falha;
5. a falha pode se repetir caso não sejam tomadas medidas preventivas.

O contratante principal responsável pelo processo com falha deverá identificar as causas concretas do problema e sugerir as medidas que devam ser implementadas para solucionar o problema. Deverá ainda avaliar o impacto desta falha em termos dos resultados técnicos com a correção e sem a

correção, caso não haja possibilidade de implementar a correção e também o impacto em termos de cronograma. Este estudo deve ser encaminhado para o Conselho de alertas que irá avaliá-lo. Se o estudo foi considerado completo e correto, então o problema estudado, as suas causas raízes e a metodologia corretiva devem ser cadastradas no banco de alertas do cliente pela sua garantia do produto.

A garantia do produto deverá assegurar que todas as falhas com potencial de servirem como alertas foram avaliados e que todos os itens que podem ser afetados pelos alertas serão acompanhados até o lançamento. Este acompanhamento deve ser feito em conjunto com a contratante principal em qualquer nível contratual que o problema ou a falha possam interferir.

Por fim o Conselho de Alertas deve ser responsável por disponibilizar o banco de alertas a todos os usuários que sejam afetados. Todos os programas e projetos do cliente também devem ter acesso ao banco de alertas.

7 USO DE PROCESSOS NA AVALIAÇÃO DE RISCO EM CONTRATAÇÕES INDUSTRIAIS

7.1. Estudo da relação entre processos técnicos e risco em um projeto

Riscos podem ser definidos como as possíveis ameaças ao sucesso de um projeto, com impactos negativos sobre o custo, o cronograma ou o desempenho técnico. A adoção de uma abordagem para o controle de riscos em um projeto, além de proporcionar ações para a mitigação de seus efeitos, proporciona, também, oportunidades para a implementação de ações com impacto positivo sobre o projeto. O conjunto das atividades associadas à avaliação e ao controle de riscos em um projeto é genericamente designado por gerenciamento de risco.

O objetivo do gerenciamento de risco é identificar, avaliar, reduzir (mitigar), aceitar e controlar riscos em um projeto de forma sistemática e efetiva, levando em consideração as restrições técnicas e programáticas (custo, cronograma e escopo) do projeto.

O risco pode ser interpretado como intercambiável com recursos de projetos nas áreas de gerenciamento programático (e.g. custo, cronograma e escopo) e técnicos.

O gerenciamento de risco em um projeto constitui-se em um processo iterativo ao longo do ciclo de vida do projeto, com as iterações determinadas pelo progresso do projeto ao longo das diferentes fases, e por mudanças em uma dada linha de base que influencia recursos do projeto.

A gestão de risco é implementada em cada nível da hierarquia cliente-fornecedor. Práticas conhecidas para o tratamento de riscos em projetos, como análises de sistema e engenharia, análises de *safety*, itens críticos, dependabilidade, caminho crítico e custo constituem-se em uma parte integral do gerenciamento de risco do projeto.

A hierarquização de riscos conforme a sua criticidade para o sucesso do projeto, permitindo que a atenção do gerenciamento se concentre sobre questões relevantes, constitui-se no objetivo principal da gestão de riscos.

As partes interessadas no projeto devem acordar a extensão (profundidade) com que será implementada a gestão de risco no projeto, dependendo da definição e caracterização do projeto.

O espectro inteiro de riscos é avaliado. *Trade-offs* são efetuados entre diferentes e, geralmente, não exclusivos objetivos.

Eventos não desejados são avaliados conforme a sua severidade e probabilidade de ocorrência. A avaliação das alternativas para mitigação de riscos são iteradas, e medidas posteriores de desempenho e tendência de risco são utilizadas para a otimização dos recursos intercambiáveis.

Dentro do processo de gerenciamento de risco, a informação disponível sobre risco é produzida e estruturada, facilitando a comunicação de risco e a tomada de decisões. Os resultados da avaliação de risco, da redução (das ações de mitigação) e dos riscos residuais são comunicados à equipe do projeto para acompanhamento.

Segundo o documento do Departamento da Marinha Americana NAVSO_P-3886, os fundamentos de engenharia são práticas básicas e disciplinadas de projeto (design), ensaios e produção e têm-se mostrado, através da experiência, fundamentais para evitar riscos.

Quando um programa é de alto risco pode resultar em atraso do produto, baixo desempenho do produto e maior custo do que o previsto. Corrigindo o processo deficiente o risco pode ser eliminado ou reduzido, o que muitas vezes ocorre a um nível de detalhe, normalmente, não visível ao Gerente do Programa.

Relacionados a processos técnicos, temos as Melhores Práticas associadas e os requisitos, ambiente, materiais, partes mecânicas, componentes EEE e

equipamentos que podem muitas vezes criar um risco potencial ou real, o que tem grande influência sobre o risco técnico. Conhecer essas áreas de risco potenciais ou reais dá uma visão antecipada de risco ao Gerente do Programa viabilizando o desenvolvimento de planos de gestão e mitigação de risco.

7.2. Apresentar uma experiência da aplicação de metodologia com uso de processos na avaliação de risco em contratações industriais

A experiência que será apresentada neste capítulo é resultado de um trabalho realizado pelo Departamento da Marinha Americana (DoN – Department of Navy).

Segundo o documento de referência NAVSO_P-3886, do Departamento da Marinha Americana, o DoD Departamento de Defesa Americano tem enfatizado o gerenciamento de risco para aumentar as chances de sucesso em seus programas. Embora gerenciar risco seja crítico em todos os aspectos, o risco técnico tem sido considerado uma das mais importantes áreas, porque o risco técnico e o grau em que processos técnicos podem ser controlados são muito importantes. (DoN, 1998)

Até então o risco técnico e a importância dos processos técnicos críticos não eram muito bem entendidas pela equipe de aquisições do DoD. Para melhorar a eficiência e eficácia do processo de aquisição foram estudados meios para estabelecer e implementar funções de gerenciamento de riscos técnicos.

Um estudo do gerenciamento de risco foi realizado em 41 programas da DoN Departamento da Marinha Americana, concluindo que três abordagens para gerenciamento de risco técnico de programas são quase exclusivamente utilizadas pelos gerentes de programa:

- **Processo Crítico** – gerenciamento de risco técnico, que é conduzido principalmente para avaliar o projeto (design), processos de produção e de ensaios críticos dos principais contratantes avaliados em

comparação com as melhores práticas e métricas da indústria. O grau de variação desta comparação determina o nível de risco. Estes processos geralmente não estão direcionados para os elementos individuais da Estrutura Analítica de Projeto – EAP.

- **Produto** (Estrutura Analítica de Projeto - EAP) – o gerenciamento de risco é baseado nos produtos ou nos elementos da EAP, com a análise de risco baseada nos desvios do custo e do cronograma propostos.
- **Processo e Produto Integrados** (EAP) – o gerenciamento de risco é baseado em processos críticos, neste caso, específicos que afetam elementos individuais da EAP. Estes processos de projeto (design), ensaios e produção críticos são avaliados contra as melhores práticas e métricas da indústria com o grau de variação determinando o nível de risco.

7.2.1. Abordagem de Processo Crítico

Nesta abordagem avalia-se o grau de similaridade entre o projeto (design), ensaios e processos de produção dos contratantes contra as Melhores Práticas da indústria. O sucesso desta abordagem depende da capacidade e vontade do contratante de substituir práticas e procedimentos pelas Melhores Práticas.

Uma das vantagens deste tipo de abordagem é atingir fontes de risco mais sutis e profundas dos programas de aquisição, e usar princípios fundamentais de engenharia e procedimentos comprovados para reduzir os riscos técnicos.

A Figura 7.1 mostra um tratamento dado para o Gerenciamento de Risco por Processos Críticos.

Seguem abaixo esclarecimentos sobre algumas Ferramentas para Gestão de Risco mencionadas no quadro da Figura 7.1:

- O DoD 4245.7-M é um documento que mostra as áreas de risco e meios para reduzir o risco nas atividades de recursos financeiros, projeto (design), testes, produção, instalações, logística e gerenciamento. Os modelos definidos no DoD 4245,7-M são referências para que os engenheiros e gerentes apliquem aos seus processos industriais. A abordagem de modelos trata a necessidade de uma boa engenharia em todos os aspectos da aquisição de sistemas. Esta abordagem disciplinada é essencial para o sucesso em ambos setores militar e comercial. (DoD 4245.7-M)
- O Manual de Melhores Práticas da Marinha Americana – NAVSO – P6071 – *Best Practices – How to avoid Surprises in the World's Most Complicated Technical Process – The Transition from development to Production* – se propõe a identificar para o governo e a indústria práticas de uso corrente e suas consequências potencialmente negativas em termos de custo, cronograma, desempenho e disponibilidade. As melhores práticas evitam ou atenuam essas consequências reduzindo o risco técnico associado com o programa de aquisição. (DoN,1986)
- PMWS (Program Manager's WorkStation) Estação de Trabalho para Gerente de Programa é um aplicativo de software para fornecer aquisições em fluxo contínuo e informações de engenharia para o usuário. Os principais componentes deste software são o *KnowHow* ponto em que são identificados os requisitos do programa e seus critérios, o *TRIMS (Technical Risk Identification and Mitigation System)* - Sistema Técnico de Identificação e Mitigação de Risco, e o *Banco de Dados BMP (Best Manufacturing Practices – Melhores Práticas de Manufatura)*. Complementando-se umas às outras, estas ferramentas, fornecem aos seus usuários conhecimento,

discernimento e experiência para tomada de decisões durante as fases de desenvolvimento de produto, produção, e etc (DOCa).

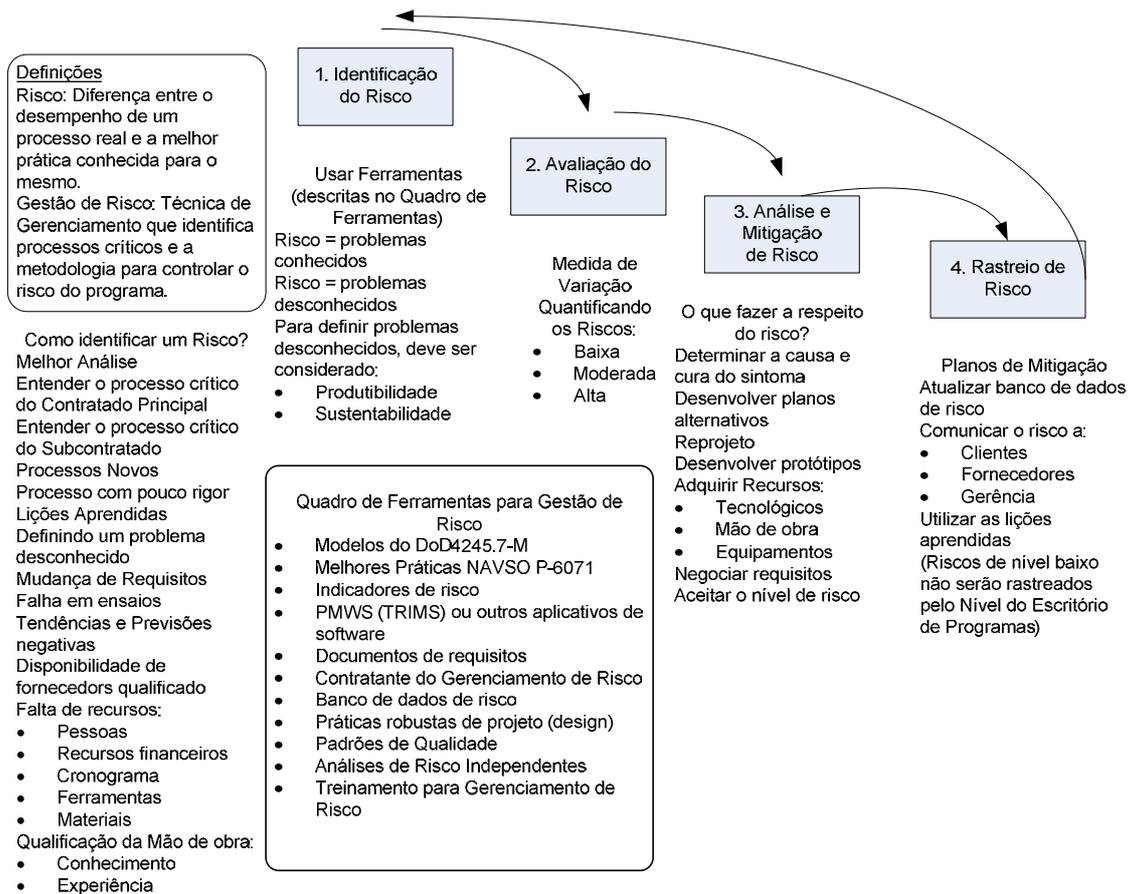


Figura 7.1 – Gerenciamento de Risco por Processo Crítico

Fonte: adaptada de DoN (1998)

- O banco de dados BMP – Melhores Práticas de Manufatura é um Programa que foi criado desde 1985 e que tem o objetivo de identificar, pesquisar e promover melhores práticas, métodos e procedimentos de manufatura. Permitindo que a defesa e o comércio americanos operem em níveis cada vez mais elevados de eficiência e eficácia (DOCb).

Métricas de processos, melhores práticas e elementos críticos são usados em conjunto com os requisitos do programa e especificações de desempenho para identificar aqueles processos que são críticos ao programa para estabelecer uma linha de base de processos do programa. Esta linha de base do programa deve ser desenvolvida utilizando boas práticas de engenharia.

Outra linha base deve ser determinada pela avaliação do real desempenho do contratante. Comparando esta linha de base dos processos dos contratantes à linha de base de processos críticos do programa descrito no parágrafo anterior, mede-se as diferenças entre as duas linhas de base, estas diferenças serão as indicações do risco de processos técnicos do programa. Estes resultados devem ser documentadas em um formato padrão, como uma Avaliação de Risco do programa específico, para facilitar o desenvolvimento de um gerenciamento de risco e plano de monitoramento de risco. Segue abaixo uma amostra de abordagem.

7.2.1.1. Guia para Avaliação do Risco de Processos Críticos

Algumas variáveis devem ser definidas para realização da avaliação do risco.

A primeira variável são as *Variações dos Processos Críticos* que são dadas por níveis. Os níveis são classificados conforme as respostas à pergunta: “Qual é a variação do processo crítico com relação ao padrão?”. As classificações podem variar entre:

- a – Mínima
- b – Pequena
- c – Aceitável
- d – Grande
- e – Significante

Outra variável são as *Consequências* que são classificadas conforme os critérios que respondem a questão: “Uma vez que o risco é percebido, qual é a magnitude do impacto dele?”.

Estas *Consequências* são classificadas conforme a Tabela 7.1.

Tabela 7.1 – Classificação das *Consequências* da Variação dos Processos

Nível	Desempenho Técnico	Cronograma	Custo	Impacto em outras equipes
1	Mínimo ou Sem Impacto	Mínimo ou Sem Impacto	Mínimo ou Sem Impacto	Nenhuma
2	Pequeno com Alguma Redução na Margem	Necessários Recursos Adicionais; Cumpre as Datas	< 5%	Algum Impacto
3	Aceitável com Significante Redução da Margem	Deslocamento Menor nos Marcos Importantes; Não Cumpre as Datas	5 – 7 %	Impacto Moderado
4	Grande, sem Margem Remanescente	Deslocamento Maior nos Marcos Importantes ou Impacta no Caminho Crítico	> 7 – 10%	Impacto Maior
5	Significante	Não Acompanha os Marcos Principais do Programa	> 10%	Impacto Significante

Fonte: adaptada de DoN (1998)

Com as coordenadas dos eixos das *Variações de Processos Críticos* e das *Consequências* definidas, é possível construir-se o *Guia para Análise do Risco de Processos Críticos* conforme a Figura 7.2:

Esta abordagem de processos críticos é muito interessante, a falha é que ela não tem relação com os elementos da Estrutura Analítica de Projeto de forma a ser abrangente no sistema de produção e desenvolvimento dos produtos finais.

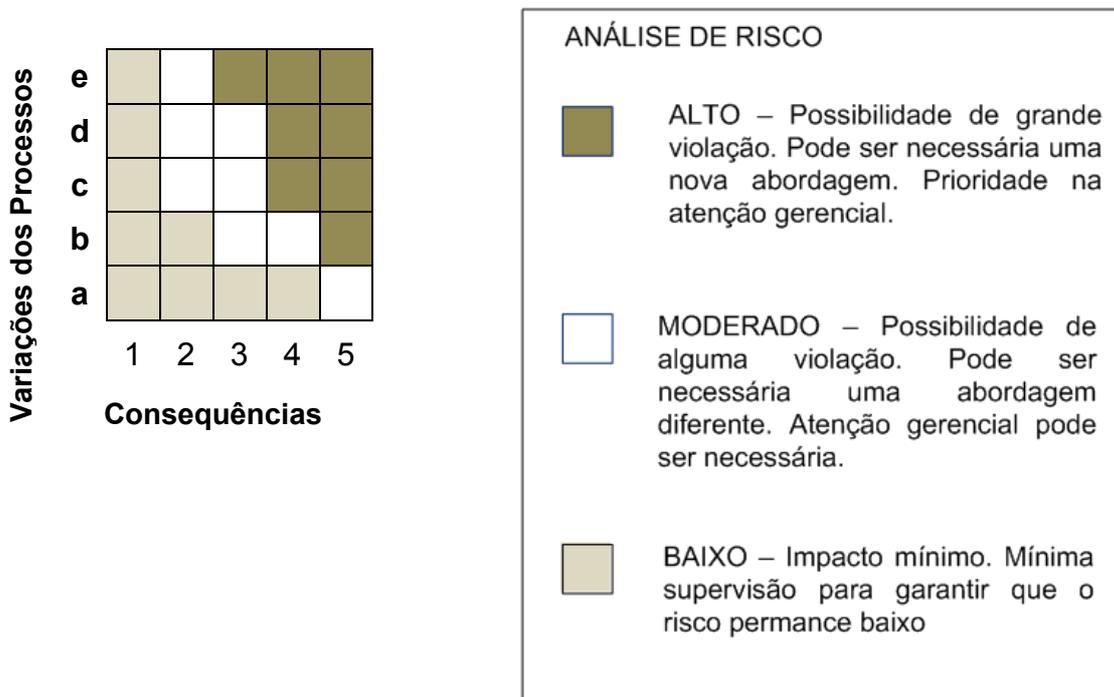


Figura 7.2 – Guia para Análise de Risco de Processos Críticos

Fonte: Adaptada de DoN (1998)

7.2.2. Abordagem do Produto (Estrutura Analítica de Projeto)

Cada programa da Defesa americana adpta do padrão *MIL-HDBK-881*, “*Work Breakdown Structure*” tem sua EAP individual. O padrão MIL define a EAP como uma árvore composta de hardware, software, serviços, dados e instalações orientada a produto. As EAPs refletem e definem o produto a ser desenvolvido e/ou produzido e relaciona seus elementos entre si e ao produto final.

Nesta abordagem a EAP descreve claramente o produto que se deseja adquirir. Porém não aborda os processos funcionais ou os custos associados a esses itens. Por exemplo, engenharia de projetos, análise de requisitos, ensaios, etc. não são produtos e sim processos funcionais cada um representando uma série discreta de ações, mas que pela HDBK-881 não são normalmente identificados como elementos da EAP, ficando assim sem as devidas considerações.

Como as atividades de análise e mitigação de riscos são conduzidas nos elementos da EAP, há pouca ênfase nos processos relacionados. O risco é expresso tipicamente como uma probabilidade estimada, e não como um grau de variação entre o processo e a melhor prática.

Nesta abordagem por EAP os riscos técnicos são monitorados para os elementos individuais da EAP, principalmente em relação a custo e cronograma e seu efeito sobre o produto global.

Embora a medida do desempenho contra custo e cronograma tenha seus benefícios, existem desvantagens significativas quando os processos não são considerados, as medidas de risco são muitas vezes tardias, pois o risco global do programa pode não ser identificado antes do programa já estar em perigo.

7.2.3. Abordagem de processos e produtos integrados

Esta abordagem para gestão de risco técnico vem principalmente da abordagem de Processos Críticos incorporando alguns aspectos da abordagem de produto/EAP.

A ênfase em engenharia de sistemas, englobando processos e risco técnico, com as soluções de produto e processos, mostra a *importância em focar no controle de processos*, especialmente os críticos dos contratantes principais e subcontratados. Desta forma o programa de gerenciamento de risco é proativo, pois reconhece a importância de entender e controlar processos críticos especialmente durante as fases iniciais do projeto (design) e da produção.

Tabela 7.2 – Comparação das abordagens

Abordagem	Vantagens	Desvantagens
Processos	<ul style="list-style-type: none"> • Foco pró-ativo nos processos críticos. • Incentiva a pesquisa de melhores práticas / <i>benchmarks</i>. • Com base em projeto (design), ensaios e produção. • Fontes mais sutis e profundas de risco. • A disciplina técnica gera vantagens em custos e cronograma. 	<ul style="list-style-type: none"> • Menor ênfase nos elementos orientados a produto. • As questões técnicas diluem a importância dos custos e cronograma.
Produto (EAP)	<ul style="list-style-type: none"> • Abordagem comumente aceita da estrutura orientada a produto. • Relaciona os elementos de trabalho uns aos outros e ao produto final. • Identifica os produtos em seus componentes • Permite rastreio de itens em qualquer nível. 	<ul style="list-style-type: none"> • Não enfatiza projeto(design) e manufatura críticos. • O risco é tipicamente expresso como uma probabilidade estimada do que a variação de processos. • A identificação de atrasos são reativos.
Produto / Processo Integrados	<ul style="list-style-type: none"> • Maximiza as vantagens das abordagens de Processos e Produto 	<ul style="list-style-type: none"> • Nenhuma significativa

Fonte: Adaptado de DoN (1998)

Concluindo, integrando-se a Abordagem de Processos Críticos com a Abordagem de Produto, os processos críticos são relacionados aos produtos. Com isso os benefícios de ambas abordagens, de produto e de processos, são aproveitados. Acelera-se a maturidade do produto, o risco técnico fica reduzido, o objetivo de reduzir o custo no início do programa é mais facilmente atingido, diminuem-se os desvios de cronograma e os marcos de revisão do programa são ultrapassados com maior confiança.

7.3. Propor uma metodologia para a utilização de processos na avaliação de risco em contratações industriais

Uma das principais diretrizes do programa espacial brasileiro, que condiciona o ambiente em que se desenvolvem os projetos na área espacial, é a de que o programa atue como um instrumento de política industrial, promovendo a capacitação da indústria nacional em novas tecnologias de projeto e fabricação, e em novos métodos, como garantia da qualidade e processos de fabricação de equipamentos de aplicação crítica (AEB, 2005). Assim, todo projeto na área de satélites, em que o INPE é o executor principal, tem como uma de suas diretrizes centrais a subcontratação de fornecedores na indústria nacional, com objetivos de capacitação para a fabricação de produtos com aplicação na área espacial. Portanto, em todo projeto, existe, além do objetivo de cumprimento da meta física do projeto, em geral um sistema espacial, o objetivo subsidiário de qualificação de fornecedores nacionais.

Em projetos correntes, este objetivo subsidiário tem sido tratado, porém, como uma restrição de projeto, e não como um objetivo, uma vez que o avanço na qualificação de fornecedores não é ainda utilizado como um indicador para mensurar o sucesso dos projetos desenvolvidos. No futuro, à medida que o modelo de política industrial implementado no âmbito do programa espacial ganhe maturidade, acredita-se que o sucesso do programa como um todo, em um dado período, venha a ser avaliado levando em consideração, como uma de suas dimensões, o grau de capacitação industrial atingido, neste período. No estágio corrente, esta diretriz tem se traduzido em uma divisão de trabalho para a execução de projetos em que a fabricação de equipamentos é efetuada, majoritariamente, na indústria, enquanto que o projeto (design), a gestão do projeto, incluindo a gestão da qualidade e a integração são efetuados, majoritariamente, no INPE.

Dado este modelo para o desenvolvimento de projetos, coloca-se a questão de como implementar o processo de gerenciamento de risco em projetos desenvolvidos com a diretriz de política industrial, acima definida.

Este capítulo objetiva propor uma abordagem para avaliação do risco técnico em contratações industriais, baseada na lista de processos de fabricação de empresas contratantes principais. Essencialmente, propõe-se que o risco técnico da contratação de um dado equipamento ou subsistema seja quantificado a partir de uma comparação entre a lista de processos de fabricação provida pelo fornecedor com uma referência, definida como melhores práticas.

7.3.1. Proposta de uma metodologia para a utilização de processos na avaliação de risco em contratações industriais

Para a utilização de processos na avaliação de risco em contratações industriais é primordial que exista um banco de processos constituído e operacional com todos seus processos em condições das melhores práticas.

Dentro de um novo programa, os processos das empresas que sejam os possíveis contratantes e, quando fosse o caso, de seus subcontratados devem ser comparados com os processos armazenados neste banco. Comparação esta que seria realizada utilizando uma metodologia similar ao apresentado na seção 7.1.1.1 Guia para Avaliação do Risco de Processos Críticos.

Em função do resultado desta comparação poderiam ser contratadas preferencialmente as empresas que tivessem os seus processos em nível de risco baixo até moderado.

Quanto maior o nível de risco do processo, menor seria considerado o grau de maturidade atribuído a este processo.

Caso uma contratante, tenha que ser escolhida por não existir fornecedor com processo já maduro, então este processo com baixo nível de maturidade, caso também seja classificado como crítico, conforme a metodologia representada no fluxograma da Figura 6.1, deve passar por um processo de qualificação, conforme o Capítulo 6, numa etapa do programa que ainda permita mudanças de projeto (design) e de configuração do produto. Esta etapa deve estar numa fase do ciclo de vida do projeto que permita a as contratantes realizarem um processo de qualificação completo e se necessário ainda mudar o projeto (design) e a configuração de seu produto, sem atrasar o cronograma geral do programa.

A partir de uma ponderação entre os resultados destas avaliações, e da definição de métricas apropriadas, define-se o grau de incerteza associado a cada processo qualificado, semi-qualificado e não-qualificado, e, finalmente, compondo-se e ponderando-se estes resultados, obtemos o grau de risco técnico com relação à contratação do fornecedor como um todo para a fabricação de cada equipamento. Finalmente, compondo-se as incertezas assim apuradas, em nível de subsistemas e, posteriormente, em nível de sistema, consolida-se uma figura para o projeto como um todo.

8 CONCLUSÕES

Esta dissertação teve por objetivo o estudo abrangente e sistemático da avaliação de processos técnicos na fabricação de equipamentos de voo em programas espaciais.

Na Introdução foi apresentada a importância da confiabilidade em produtos espaciais, foi apresentada a filosofia de modelos utilizada para a validação de produtos espaciais, a sistemática do uso de processos nos programas e projetos espaciais, e a motivação para os cuidados dedicados ao controle de processos para maximizar a confiabilidade do produto final.

Na fundamentação teórica foram descritos pontos considerados fundamentais para alinharmos o entendimento do trabalho, pois muitos termos podem ser compreendidos de formas diferentes. Assim tratamos de termos como processos, processo técnico, qualificação de processos, controle de processos, classificação geral de processos, métodos, procedimentos, partes mecânicas e materiais na área espacial, relação entre processos e garantia da qualidade na área espacial, a relação entre validação, verificação e qualificação e Melhores práticas. Além disso, apresentamos também uma pequena parte da evolução histórica do conceito de processo em sistemas de manufatura.

No estado da arte mostramos algumas organizações que trabalham com propostas de processos e suas melhorias de desempenho, classificações de processos, intercâmbios de processos, investigação científica em processos de fabricação para colaborar com a Indústria.

Foi realizado um estudo detalhado e a descrição dos requisitos para a utilização de processos técnicos em programas espaciais, como preconizado pelas agências espaciais, europeia e americana, ECSS e NASA respectivamente. A Agência europeia mostra o tratamento dado para aprovar seus processos técnicos em maiores detalhes do que a agência americana. A NASA apresenta requisitos para o tratamento dos processos tais como

responsabilidades de aprovação, de materiais utilizados, uso de documentos, também define o que entende como qualificação de processos, mas não detalha a maneira como implementa esta qualificação.

Um estudo detalhado e descrição do uso corrente de processos técnicos na fabricação de plataformas orbitais no âmbito do programa espacial brasileiro, mais especificamente no tratamento que é dado aos processos do programa CBERS no INPE foi apresentado no Capítulo 5. Foi apresentado o documento de Requisitos da Garantia do Produto, único documento formal para tratamento de processos do programa CBERS e um padrão criado para detalhar os requisitos para a qualificação de processos que se encontra em versão preliminar.

Uma proposta de metodologia para o tratamento de processos na fabricação de plataformas orbitais no âmbito do programa espacial brasileiro foi preparada baseada nos estudos anteriores, incluindo a definição de um banco de processos e o estabelecimento de um Sistema de Alerta relativo a processos técnicos.

No Capítulo 7 foi estudada a relação do risco em projetos com os processos técnicos. Foi apresentada uma experiência da aplicação de metodologia de avaliação de risco em processos técnicos nas contratações industriais, onde foi abordada a experiência do Departamento da Marinha Americana que mostra como ela trata e entende riscos técnicos. E por fim Baseada na experiência estudada foi colocada uma proposta de metodologia para a utilização de processos na avaliação de risco em contratações industriais no contexto do programa espacial brasileiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AAQ ACADEMY OF AEROSPACE QUALITY. **AAQ topic grouping**. 2012. Disponível em: <<http://aaq.auburn.edu/>>. Acesso em: 09/01/2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT/CB-25**. Histórico da Normalização. Rio de Janeiro: Comitê Brasileiro da Qualidade da Associação Brasileira de Normas Técnicas. Disponível em: <http://www.abntcb25.com.br/>. Acesso em 01 jul 2011.

AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA (AEB). **Programa Nacional de Atividades Espacial – 2005-2014 (PNAE)**. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, Agência espacial Brasileira, 2005.118p.

AMERICAN PRODUCTIVITY & QUALITY CENTER (APQC). **Process classification framework**. 2011. Disponível em: <http://www.apqc.org/process-classification-framework>. Acesso em:06/11/2011

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) - **NBR ISO 9004-2000** – sistemas de gestão da qualidade – diretrizes para melhorias de desempenho. Rio de Janeiro, dez. 2000.

BARBARÁ, S.(org.), **Gestão por processos**: fundamentos, técnicas e modelos de implementação. 2. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2008, 336p.

CARPINETTI, L. C. R; MIGUEL, P. A. C.; GEROLAMO, M. C. **Gestão da qualidade** – ISO 9001:2000 – princípios e requisitos. São Paulo: Editora Atlas, 2009. 17p.

CHIAVENATO, I. **História da administração**. São Paulo: Editora Saraiva, 2009.

COLLEGE INTERNATIONAL POUR LA RECHERCHE EN PRODUCTIQUE (CIRP). International Academy for Production Engineering, 2012. Disponível em: <http://www.cirp.net/index.php?option=com_cirppubli&task=searchkeynote&year=2010>. Acesso em 30/01/2012

DAVENPORT, T. H. Putting the enterprise into the enterprise system. **Harvard Business Review**, p.121-131, July-Aug., 1998.

DE SORDI, J. O. **Gestão por processos**: uma abordagem da moderna administração. 2. Ed. São Paulo: Editora Saraiva, 2008. 270p. 24, 11

DEPARTMENT OF NAVY (DoN). **How to avoid surprises in the world's most complicated technical process**: the transition from development to production, 1986. 240p.

DEPARTMENT OF NAVY (DoN). **Top eleven ways to manage technical risk**. Office of the assistant secretary of the navy, acquisition and business management, 1998. 133p.

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION (ECSS). **ECSS-E-10-02A Space Engineering** – verification. Noordwijk, The Netherlands: ECSS Secretariat, ESA–ESTEC, Requirements & Standards Division, nov. 1998, 144 p. 51

_____. **ECSS-Q-70-08C Space product assurance** – manual soldering of high reliability electrical connections. Noordwijk, The Netherlands: ECSS Secretariat, ESA–ESTEC, Requirements & Standards Division, Mar. 2009. 106 p. 27, 28

_____. **ECSS CD-ROM release note issue 1.2 ECSS** – release note for ECSS standards CD-ROM. Noordwijk, The Netherlands: ECSS Secretariat, ESA–ESTEC, Requirements & Standards Division, out. 2010. 22p. 05.

_____. **ECSS-Q-ST-70C space product assurance** – materials, mechanical parts and process. Noordwijk, The Netherlands: ECSS Secretariat, ESA–ESTEC, Requirements & Standards Division, Mar. 2009a. 68p.

_____. _____. ECSS Secretariat, ESA–ESTEC, Requirements & Standards Division, Noordwijk, The Netherlands, mar. 2009b. 68p. 12

_____. _____. ECSS Secretariat, ESA–ESTEC, Requirements & Standards Division, Noordwijk, The Netherlands, mar. 2009c. 68p. 15

_____. _____. ECSS Secretariat, ESA–ESTEC, Requirements & Standards Division, Noordwijk, The Netherlands, mar. 2009d. 68p. 18

_____. _____. ECSS Secretariat, ESA–ESTEC, Requirements & Standards Division, Noordwijk, The Netherlands, mar. 2009e. 68p. 16 e 17

_____. _____. ECSS Secretariat, ESA–ESTEC, Requirements & Standards Division, Noordwijk, The Netherlands, mar. 2009f. 68p. 58

_____. _____. ECSS Secretariat, ESA–ESTEC, Requirements & Standards Division, Noordwijk, The Netherlands, mar. 2009g. 68p. 55

_____. _____. ECSS Secretariat, ESA–ESTEC, Requirements & Standards Division, Noordwijk, The Netherlands, mar. 2009h. 68p. 56

_____. _____. ECSS Secretariat, ESA–ESTEC, Requirements & Standards Division, Noordwijk, The Netherlands, mar. 2009i. 68p. 19

_____. _____. ECSS Secretariat, ESA–ESTEC, Requirements & Standards Division, Noordwijk, The Netherlands, mar. 2009j. 68p. 37

_____. _____. ECSS Secretariat, ESA–ESTEC, Requirements & Standards Division, Noordwijk, The Netherlands, mar. 2009k. 68p. 38

_____. _____. ECSS Secretariat, ESA–ESTEC, Requirements & Standards Division, Noordwijk, The Netherlands, mar. 2009l. 68p. 39

_____. _____. ECSS Secretariat, ESA–ESTEC, Requirements & Standards Division, Noordwijk, The Netherlands, mar. 2009m. 68p. 40

_____. **ECSS-P-001B** - Glossary of terms. Noordwijk, The Netherlands: ECSS Secretariat, ESA–ESTEC, Requirements & Standards Division, jul. 2004. 62p.

_____. **ECSS-S-ST-00C ECSS system** – description, implementation and general requirements. Noordwijk, The Netherlands: ECSS Secretariat, ESA–ESTEC, Requirements & Standards Division, jul. 2008. 34 p.

_____. **ECSS-S-ST-10-02C Space engineering** – verification. Noordwijk, The Netherlands: ECSS Secretariat, ESA–ESTEC, Requirements & Standards Division, mar. 2009n. 45 p. 6

_____. **ECSS-Q-ST-20C space product assurance** – quality assurance. Noordwijk, The Netherlands: ECSS Secretariat, ESA–ESTEC, Requirements & Standards Division, nov. 2008a, 52 p. 14 e 15

_____. **ECSS-Q-ST-10C space product assurance** – product assurance management . Noordwijk, The Netherlands: ECSS Secretariat, ESA–ESTEC, Requirements & Standards Division, nov. 2008b. 25p. 16

_____. _____. Noordwijk, The Netherlands: ECSS Secretariat, ESA–ESTEC, Requirements & Standards Division, nov. 2008c, 25p. 16 e 17

U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES. FOOD AND DRUG ADMINISTRATION (FDA). **Guidance for industry, process validation: general principles and practices**. revisão 1. Silver Spring, MD, 2011. 19 p. 4

FERREIRA, A. B. H. **Aurélio**: Século XXI dicionário da língua portuguesa. 3. ed. Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira, 1999. 2128 p.

FUSCO, J.P.A.; SACOMANO, J.B.; BARBOSA, F.A.; AZZOLINI JR., W. **Administração de operações**: da formulação estratégica ao controle operacional. v. 1, São Paulo: Arte & Ciência, 2003. pg. 31.

GONÇALVES, J. E. L. As empresas são grandes coleções de processos. RAE **Revista de Administração de Empresas**, v.40, n.1, 6-19 p. 2000. Disponível em: <http://www.uff.br/sta/textos/fs010.pdf>. Acesso em: 17 out. 2009

GONDO, S. M. H.; PERONDI, L. F. Controle de processos de fabricação na área espacial. In: WORKSHOP EM ENGENHARIA E TECNOLOGIA ESPACIAIS, 1. (WETE), 2010, São José dos Campos. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2010. v. IWETE2010-1025. DVD. ISSN 2177-3114. Disponível em: <<http://urlib.net/J8LNKAN8RW/38JE3QG>>. Acesso em: 13 mar. 2012.

HOBDAY, M. Product complexity, innovation and industrial organization. In: **Publicação CoPS n52**. Swindon, UK: Complex Product System Innovation Center/ Economic & Social Research Council – ESRC, 1998. 38p. 2, 13

HUBERMAN, L. **História da riqueza do homem**. 1981. 282 p. várias páginas. Disponível em: <[http://forumeja.org.br/df/files/Leo Huberman - Historia da Riqueza Do Homem.pdf](http://forumeja.org.br/df/files/Leo_Huberman_-_Historia_da_Riqueza_Do_Homem.pdf)>. Acesso em: 10 jan. 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **CBERS 3&4 product assurance requirements**. São José dos Campos, 2005. 45p. (RB-PAD-0002/02).

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **NASA quality program**. Wilcutt, T.W., ago. 2011. Disponível em: <http://www.hq.nasa.gov/office/codeq/quality/index.htm>. Acesso em 09 jan. 2012.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **NASA, systems engineering handbook**. dez. 2007. 340p. (SP-2007-6105 Rev 1)

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **Standard materials and process requirements for spacecraft**. Washington, DC 20546-0001, nov. 2008. 67p. (NASA-STD-6016).

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **Space systems engineering**. Disponível em: <[http://space.se.spacegrant.org/uploads/Project Life Cycle/PPF WallChart color.pdf](http://space.se.spacegrant.org/uploads/Project_Life_Cycle/PPF_WallChart_color.pdf)>. Acesso em: 20/10/2011

PAIM, R; CARDOSO, V.; CAULLIRAUX, H.; CLEMENTE, R. **Gestão de Processos**. Porto Alegre: Editora Bookman, 2009.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE (PMI) / PROJECT MANAGEMENT BODY OF KNOWLEDGE PMBOK. **Um Guia do conjunto de conhecimentos em gerenciamento de projetos**. 3.ed. Pensylvania, 2004, 388 p. ISBN: 1-930699-74-3 (Brochura – Português – Brasil)

SOCIETY OF MANUFACTURING ENGINEERS (SME). **Journal of manufacturing process**. Elsevier B. V. 2012. Disponível em: <http://www.journals.elsevier.com/journal-of-manufacturing-processes/>. Acesso em 31/01/2012

SMITH, A. **A Riqueza das nações**: uma investigação sobre a natureza e as causas da riqueza das nações. São Paulo: Madras Editora Ltda.,2009. p. 15.

TODD R. H.; ALLEN D.K.; ALTING L. **Fundamental principles of manufacturing**. 1. ed. New York: Industrial Press Inc., 1994. 176p. ISBN 0-8311-3050-4.

U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE (DOCa). **Best Manufacturing Practices Center of Excellence (BMP)** Washington: University of Maryland and volunteer members of the U.S. Industrial Base.. Disponível em: <http://www.bmpcoe.org/pmws/index.html> Acesso em: 15/11/2009

U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE (DOCb), University of Maryland and volunteer members of the U.S. Industrial Base. **Best Manufacturing Practices Center of Excellence (BMP)**. Washington. Disponível em: <http://www.bmpcoe.org/about/index.html> Acesso em: 15/11/2009

UNIT MANUFACTURING PROCESS RESEARCH COMMITTEE (UMPRC)/ COMMISSION ON ENGINEERING AND TECHNICAL SYSTEMS/ NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Unit manufacturing process**: Issues and Opportunities in Research. Washington, D.C: National Academy Press, 1995. 228p. 19. Disponível em: http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=4827#top. Acesso em 05 mai 2011

GLOSSÁRIO

MMPDS –. Metallic Materials Properties Development and Standardization Handbook, ou seja, Manual de Padronização e Desenvolvimento de Propriedades de Materiais Metálicos, ele foi criado e é mantido pela FAA, pelo DoD, pela NASA e por profissionais da indústria aeroespacial. O manual é destinado principalmente a fornecer valores permissíveis para juntas e propriedades mecânicas e físicas de projeto. Contendo também umas fórmulas básicas para análise de elemento estrutural. Entretanto análise e projeto estrutural estão muito além do MMPDS.

componente EEE - dispositivo que realiza uma função elétrica, eletrônica ou eletromecânica e consiste em um ou mais elementos unidos que não podem ser normalmente desmontados sem destruir esta competência. Oa (ECSS,2004)

MIUL - Materials Identification and Usage List, ou seja, Lista de Uso e Identificação de Materiais, esta lista é uma compilação de todos os materiais utilizados em uma montagem ou uma submontagem e suas classificações ambientais. As classificações são para características como toxicidade inflamabilidade e corrosão.

Outgassing e offgassing - em aplicações aeroespaciais, na seleção de materiais devem ser observadas as propriedades de outgassing e offgassing.

Outgassing é a desgaseificação ou liberação de produtos químicos de substâncias não-metálicas sob vácuo. Rotineiramente é utilizado o método de ensaio ASTM E595 para avaliar as características de outgassing material. Neste teste de micro quantidades através da técnica de condensação dos produtos voláteis determina-se a quantidade de materiais condensáveis. O material é mantido aquecido durante 24 horas no vácuo e produtos voláteis condensáveis são coletados em uma placa de refrigeração. Os resultados dos testes incluem a amostra percentual de perda de massa total (% TML), o percentual recolhido materiais voláteis condensáveis (% CVCM), e percentual

de vapor de água recuperado (% WVR). O TML é calculado pela diferença de pesos antes e depois da exposição ao método. A diferença de peso do coletor antes e depois do método fornece o valor de CVCM. E o WVR é a quantidade de água recuperada em 24 horas, com a amostra exposta a 25°C e umidade relativa de 50%.

O offgassing refere-se à liberação de substâncias químicas a partir de materiais à pressão atmosférica ou superior. Método de teste NHB 8060.1C (Teste 7) é comumente usada para medir as características de offgassing. Neste teste, o material candidato é mantido ao aquecimento e pressão ambiente por 72 horas. É realizada uma análise da amostra de gás produzida com relação a sua identificação e concentração. Para cada elemento, a relação entre a concentração da amostra à sua concentração máxima permitida na nave espacial (SMAC) é calculada. A soma desses índices é o valor T do material, ou o Índice de Risco Tóxico. Este índice é aplicado somente aos materiais que são utilizados em naves tripuladas.