



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA,
INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES



sid.inpe.br/mtc-m21c/2020/03.11.16.04-TDI

ESTUDO DE PROCESSOS TÉCNICOS DE FABRICAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE SISTEMAS ESPACIAIS

Amauri Silva Costa

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais, orientada pelos Drs. Leonel Fernando Perondi, e José Eduardo May, aprovada em 20 de fevereiro de 2020.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/425FQA8>>

INPE
São José dos Campos
2020

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GBDIR)

Serviço de Informação e Documentação (SESID)

CEP 12.227-010

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/7348

E-mail: pubtc@inpe.br

CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELLECTUAL DO INPE - CEPPII (PORTARIA Nº 176/2018/SEI-INPE):

Presidente:

Dra. Marley Cavalcante de Lima Moscati - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CGCPT)

Membros:

Dra. Carina Barros Mello - Coordenação de Laboratórios Associados (COCTE)

Dr. Alisson Dal Lago - Coordenação-Geral de Ciências Espaciais e Atmosféricas (CGCEA)

Dr. Evandro Albiach Branco - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (COCST)

Dr. Evandro Marconi Rocco - Coordenação-Geral de Engenharia e Tecnologia Espacial (CGETE)

Dr. Hermann Johann Heinrich Kux - Coordenação-Geral de Observação da Terra (CGOBT)

Dra. Ieda Del Arco Sanches - Conselho de Pós-Graduação - (CPG)

Silvia Castro Marcelino - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon

Clayton Martins Pereira - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

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

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Ivone Martins - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

Cauê Silva Fróes - Serviço de Informação e Documentação (SESID)



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA,
INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES



sid.inpe.br/mtc-m21c/2020/03.11.16.04-TDI

ESTUDO DE PROCESSOS TÉCNICOS DE FABRICAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE SISTEMAS ESPACIAIS

Amauri Silva Costa

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais, orientada pelos Drs. Leonel Fernando Perondi, e José Eduardo May, aprovada em 20 de fevereiro de 2020.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/425FQA8>>

INPE
São José dos Campos
2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Costa, Amauri Silva.

C823e Estudo de processos técnicos de fabricação de equipamentos de sistemas espaciais / Amauri Silva Costa. – São José dos Campos : INPE, 2020.

xxiv + 104 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m21c/2020/03.11.16.04-TDI)

Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2020.

Orientadores : Drs. Leonel Fernando Perondi, e José Eduardo May.

1. Processos Técnicos. 2. Fabricação. 3. Qualificação de Processos. 4. Sistemas Espaciais. I.Título.

CDU 629.78:338.45



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

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

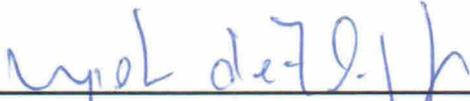
Aluno (a): **Amauri Silva Costa**

Título: "ESTUDO DE PROCESSOS TÉCNICOS DE FABRICAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE SISTEMAS ESPACIAIS"

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

Engenharia e Tecnologia Espaciais/Eng. Gerenc. de Sistemas Espaciais

Dr. Milton de Freitas Chagas Junior

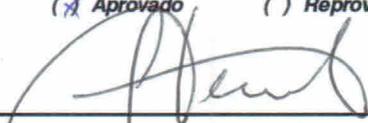


Presidente / INPE / São José dos Campos - SP

() Participação por Video - Conferência

Aprovado () Reprovado

Dr. Leonel Fernando Perondi

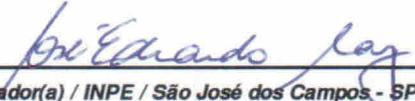


Orientador(a) / INPE / São José dos Campos - SP

() Participação por Video - Conferência

Aprovado () Reprovado

Dr. José Eduardo May



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

() Participação por Video - Conferência

Aprovado () Reprovado

Dr. Maurício Gonçalves Vieira Ferreira



Membro da Banca / INPE / SJCampos - SP

() Participação por Video - Conferência

Aprovado () Reprovado

Dr. Alison de Oliveira Moraes



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

() Participação por Video - Conferência

Aprovado () Reprovado

Este trabalho foi aprovado por:

() maioria simples

unanimidade

São José dos Campos, 20 de fevereiro de 2020

“Consagre ao Senhor tudo o que você faz, e os seus planos serão bem-sucedidos”.

Provérbios 16:3

A meus pais e irmãos e a toda minha família por todo o apoio recebido, meu muito obrigado.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), pela oportunidade de estudos e utilização de suas instalações.

Por todo o apoio que recebi, muitas pessoas são dignas do meu muito obrigado. Os incentivos foram diversos, alguns relacionados às atividades da pós-graduação em si e outros ao fato de estar ao lado, com um abraço, com paciência e com carinho. Mas antes de agradecê-las, minha primeira expressão de gratidão é à própria experiência acadêmica, ao fato de ter tido a oportunidade da vivência de um mestrado. A forma de construção e de exposição dos meus pensamentos hoje é outra em razão desta experiência. É mais construtiva, investigativa e acima de tudo, muito mais segura e pragmática. Um maravilhoso privilégio. Passo aos agradecimentos pessoais.

Aos que deram início a mim, Laudivino e Lourdes, meus maiores exemplos de caráter e doçura, meus criadores. Aos meus queridos irmãos André e Aline e a minha sobrinha Agnes.

A minha esposa Mirian e meu filho Isaque, por todo apoio, auxílio e carinho que sempre me prestaram, me encorajando e possibilitando tempo para que eu pudesse me dedicar aos meus estudos.

Aos meus orientadores ao longo do mestrado, cada um deles tão integradores de ideias e valores para a construção do meu pensamento e para a construção desta dissertação, meu muito obrigado ao Dr. Leonel Fernando Perondi e Dr. José Eduardo May.

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

Aos meus amigos e companheiros de mestrado, sempre juntos nos momentos importantes deste trabalho.

A todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta Dissertação.

RESUMO

O trabalho versa sobre processos técnicos utilizados na fabricação de equipamentos de sistemas espaciais. Em projetos espaciais, a confiabilidade e a complexidade do produto, bem como da organização responsável pela geração do produto, exigem da gestão de projetos um controle rígido do desenvolvimento do produto, incluindo o controle da fabricação. De forma a garantir uma linha de base de fabricação controlada, para que os itens de produção posterior sejam equivalentes em desempenho, qualidade, dimensões e confiabilidade aos itens de teste, é essencial o uso, o controle e a qualificação de processos. O tema da dissertação relaciona-se à proposta de desenvolvimento de um padrão de referência para os processos técnicos de fabricação utilizados em programas da área espacial no país. Embora normas e padrões brasileiros, como os da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), abordem o tema processos, inexistem um tratamento específico para processos técnicos de fabricação na área espacial. Com base no estudo do tratamento dedicado a processos de fabricação no âmbito das agências espaciais ESA (European Space Agency) e NASA (National Aeronautics and Space Administration), somado a conhecimentos adquiridos a partir do estudo de outras normas e padrões, tais como ISO (International Organization for Standardization), INCOSE (International Council of Systems Engineering) e PMBOK (Project Management Body of Knowledge), serão desenvolvidas propostas para a padronização e o uso de processos técnicos de fabricação no âmbito da área espacial brasileira, para emprego em organizações nacionais da área.

Palavras-chave: Processos técnicos. fabricação. qualificação de processos. sistemas espaciais.

STUDY OF TECHNICAL MANUFACTURING PROCESSES FOR SPACE SYSTEMS EQUIPMENT

ABSTRACT

This work deals with the technical processes used in the manufacturing of space system equipment. In space projects, the reliability and complexity of the product, as well as the complexity of the organization responsible for the product manufacturing, require a rigid control of product development, including manufacturing control. In order to ensure a controlled manufacturing base, guaranteeing that the production items are equivalent in performance, quality, dimensions, and reliability to the test items, the control, qualification and use of processes is essential. The theme of the present work arises from the proposal to develop a reference standard for the technical manufacturing processes used in programs of the space area in Brazil. Although Brazilian norms and standards, such as ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), deal with the subject of processes, there is no specific treatment for manufacturing processes in the space area. Based on the treatment dedicated to manufacturing processes within the space agencies ESA (European Space Agency) and NASA (National Aeronautics and Space Administration), together with directives from other norms and standards, such as ISO (International Organization for Standardization), INCOSE (International Council of Systems Engineering) and PMBOK (Project Management Body of Knowledge) this dissertation will present proposals for the standardization and use of technical manufacturing processes within the Brazilian space area, with focus on national organizations.

Keywords: Technical processes. manufacturing. qualification of processes. space systems.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 2.1 - Definição tecnológica de manufatura.....	7
Figura 2.2 - Definição econômica de manufatura.	8
Figura 2.3 - Modelo em V do ciclo de vida de um projeto conforme padrão ECSS.	17
Figura 2.4 - Ciclo de vida de um projeto conforme padrão ECSS.....	18
Figura 3.1 - Grupos de processos distribuídos nas categorias Gerenciamento, Garantia do Produto, Engenharia e Sustentabilidade.	22
Figura 3.2 - Representação esquemática dos cinco grupos de processos do PMBOK.....	25
Figura 3.3 - Diagrama de processo de engenharia de sistemas.	26
Figura 3.4 - Representação esquemática de processo conforme a norma ISO.	30
Figura 3.5 - Ciclo PDCA em um sistema de gestão da qualidade baseado em processo de acordo com a norma ISO 9001.	32
Figura 4.1 - Proposta de definição dos elementos de um processo técnico de fabricação.....	44
Figura 4.2 - Processo de fundição e moldagem onde o metal em estado líquido é depositado no interior do molde (1), que é separado após a fundição, resultado no metal sólido com o formato do molde (2).	48
Figura 4.3 - Exemplo de processamento de partículas onde o material de partida é utilizado em pó (1), é pressionado (2) e, finalmente, sinterizado (3).	49
Figura 4.4 - Exemplo de processos de moldagem por deformação por forjamento (a) e por extrusão (b).	50
Figura 4.5 - Exemplo de operações mecanizadas básicas: torneamento (a), perfuração (b) e fresamento (c).	50
Figura 4.6 - Exemplo de filetes de solda entre duas partes realizadas: no lado interno da junção (a), na extremidade da junção (b), nas duas extremidades da junção (c) e em ambos os lados da junção (d).	52
Figura 4.7 - Exemplo de solda aplicada em: placa de circuito (a) e (b), terminais (c) e entre dois fios condutores (d).	53
Figura 4.8 - Exemplo de fixação permanente por colagem adesiva.	53
Figura 4.9 - Exemplo de montagem básica com o uso de parafuso e porca (a) e com apenas parafuso (b).	54
Figura 4.10 - Exemplo de montagem básica com o uso de: rebite sólido (a) e rebite tubular (b).	54

Figura 4.11 - Exemplo simplificado de diagrama de fluxo da fabricação da cablagem de conexão elétrica entre dois equipamentos, utilizando a notação BPMN.	59
Figura 4.12 - Exemplo de um diagrama de fluxo da fabricação de uma cablagem com as interações com outros processos.	60
Figura 4.13 - Fluxograma de materiais, partes mecânicas e processos.	63
Figura 4.14 - Fluxograma de materiais, partes mecânicas e processos (continuação).....	64
Figura 4.15 - Comparação da classificação de processos de fabricação entre Groover (a) e ECSS (b).	72
Figura 4.16 - Comparação da classificação de processos de fabricação entre Groover (a) e GEP do INPE (b).....	73
Figura 4.17 - Fluxo de processos de fabricação de Placa de Circuito Impresso dupla face.....	75
Figura 4.18 - Comparação da classificação de processos de fabricação de Groover (a) e processos de fabricação de PCI dupla face da Micropress (b)...	76
Figura 5.1 - Fluxograma da avaliação de LDP conforme padrões do GEP do INPE.....	80
Figura 5.2 - Fluxograma da qualificação de processos conforme padrões do GEP do INPE.	82
Figura 6.1 - Proposta de identificação de processos de fabricação.....	89
Figura 6.2 - Exemplo de identificação de processo de fabricação de revestimento e deposição.	93

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
Tabela 3.1 - Características de aplicações e nomenclaturas de processos pelos padrões da NASA, ECSS, PMBOK, INCOSE e AS 9100.....	19
Tabela 3.2 - Comparação de requisitos associados aos processos de fabricação entre os padrões da ECSS e da NASA.	34
Tabela 3.3 – Comparação de requisitos associados aos processos entre os padrões da AS9100, PMBOK e INCOSE.	37
Tabela 3.4 – Comparação de requisitos associados aos processos entre os padrões da AS9100, PMBOK e INCOSE (Continuação).	38
Tabela 4.1 - Classificação por categorias de processos técnicos na área espacial.	42
Tabela 4.2 - Diferença entre diagrama ou mapa e modelo.	56
Tabela 4.3 - Controle de status de verificação de processo.	69
Tabela 4.4 - Processos necessários para a fabricação de PCB de placa dupla face.	74
Tabela 5.1 - Processos técnicos qualificados para o programa CBERS3&4 e reutilizados no programa AMAZÔNIA1.....	84
Tabela 6.1 - Proposta de classificação de processos técnicos de fabricação conforme tipo de transformação do material de trabalho.....	87
Tabela 6.2 - Classificação de informações de acordo com o grau de sigilo.....	90
Tabela 6.3 - Classificação de acordo com a última coluna da Tabela 6.1.....	91
Tabela 6.4 - Controle de status de qualificação de processo.	92
Tabela 6.5 - Controle de alertas de processo.....	92

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABPMP	Association of Business Process Model Professional, ou seja, Associação Profissional de Gestão de Processos de Negócio
AR	Acceptance Review, ou seja, Revisão de Aceitação
AS	Aerospace Standard, ou seja, Padrão de Aviação, Espaço e Defesa
BPMN	Business Process Model and Notation, ou seja, Modelo e Notação de Processos de Negócio
BPMS	Business Process Management Suite, ou seja, Sistema de Gerenciamento de Processos de Negócio
CBOK	Common Body of Knowledge, ou seja, Corpo Comum de Conhecimentos
CDR	Critical Design Review, ou seja, Revisão de Projeto Crítica
CIRP	International Academy for Production Engineer, ou seja, Academia Internacional para Engenheiro de Produção
CRR	Commissioning Results Review, ou seja, Revisão dos Resultados de Comissionamento
DB	Design Baseline, ou seja, Linha de Base do Projeto
DCB	Development Configuration Baseline, ou seja, Linha de Base da Configuração de Desenvolvimento
DPA	Destructive Physical Analysis, ou seja, Análise Física Destrutiva
DPL	Declared Processes List, ou seja, Lista Declarada de Processos
DRD	Document Requirement Definition, ou seja, Documento de Definição de Requisitos
ELR	End of Life Review, ou seja, Revisão do Fim de Vida
ESA	European Space Agency, ou seja, Agência Espacial Europeia
FCB	Functional Configuration Baseline, ou seja, Linha de Base da Configuração Funcional
FRR	Flight Readiness Review, ou seja, Revisão de Prontidão para Voo

GEP	Grupo da Engenharia do Produto
IDEF0	Icam DEFinition for Function Modelling, ou seja, um acrónimo composto (onde ICAM é uma sigla para "Integrated Computer Aided Manufacturing", ou seja, Manufatura Integrada Assistida por Computador), é uma metodologia de modelagem de funções para descrever funções da fabricação. O algarismo "0" seguido de hífen é referente ao diagrama representado por um único retângulo mostrando os elementos básicos do processo como um todo.
IEC	International Electrotechnical Commission, ou seja, Comissão Eletrotécnica Internacional
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers, ou seja, Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos
INCOSE	International Council of Systems Engineering, ou seja, Conselho Internacional de Engenharia de Sistemas
IPO	Input, Process and Output, ou seja, Entradas, Processos e Saídas
ISO	International Organization for Standardization, ou seja, Organização Internacional para Padronização
LDP	Listra Declarada de Processos
LRR	Launch Readiness Review, ou seja, Revisão de Prontidão para Lançamento
MAPTIS	Materials and Processes Technical Information System, ou seja, Sistema de Informações Técnicas de Materiais e Processos
MCR	Mission Closeout Review, ou seja, Revisão de Fechamento da Missão
MDR	Mission Definition Review, ou seja, Revisão de Definição de Missão
ME	Modelo de Engenharia
MIP	Mandatory Inspection Points, ou seja, Pontos de Inspeção Mandatória
MIUL	Material Identification and Usage List, ou seja, Lista de Identificação e Uso de Materiais
MOB	Mission Objective Baseline, ou seja, Linha de Base de Objetivo da Missão

MQ	Modelo de Qualificação
MUA	Material Usage Agreement, ou seja, Acordo de Uso de Material
MV	Modelo de Voo
NASA	National Aeronautics and Space Administration, ou seja, Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço
NCR	Nonconformance Report, ou seja, Relatório de Não Conformidades
NRB	Nonconformance Review board, ou seja, Tabela de Revisão de Não Conformidades
ORR	Operational Readiness Review, ou seja, Revisão de Prontidão Operacional
PCB	Product Configuration Baseline, ou seja, Linha de Base da Configuração do Produto
PCB	Printed Circuit Board, ou seja, Placa de Circuito Impresso “com ausência de componentes eletrônicos”
PDCA	Plan, Do, Check and Act, ou seja, Planejar, Fazer, Checar e Agir
PDR	Preliminary Design Review, ou seja, Revisão Preliminar de Projeto
PMBOK	Project Management Body of Knowledge, ou seja, Corpo de Conhecimento em Gestão de Projetos
PRR	Preliminary Requirements Review, ou seja, Revisão Preliminar de Requisitos
QR	Qualification Review, ou seja, Revisão de Qualificação
RFA	Request For Approval, ou seja, Solicitação de Aprovação
SAE	Society of Automotive Engineers, ou seja, Sociedade de Engenheiros Automotivos
SINDAE	Sistema Nacional de Desenvolvimento de Atividades Espaciais
SME	Society of Manufacturing Engineers, ou seja, Sociedade de Engenheiros da Manufatura
SRR	System Requirements Review, ou seja, Revisão de Requisitos de Sistema

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Motivação.....	3
1.2 Objetivo	3
1.3 Metodologia.....	4
1.4 Apresentação dos capítulos	5
2 REVISÃO DA LITERATURA SOBRE PROCESSOS DE FABRICAÇÃO	7
2.1 Fabricação	7
2.2 Evolução histórica de processos de fabricação	8
2.3 Abordagem de processo	13
2.4 Estado da arte.....	14
2.5 Ciclo de vida de projetos na área espacial.....	15
3 REFERÊNCIAS SOBRE PROCESSOS DE FABRICAÇÃO NA ÁREA ESPACIAL	19
3.1 Processos de fabricação conforme o padrão NASA	19
3.2 Processos de fabricação conforme o padrão ECSS	21
3.3 Processos de fabricação conforme o guia PMBOK	24
3.4 Processos de fabricação conforme o padrão INCOSE	25
3.5 Processos de fabricação conforme a norma ABNT NBR 15100	28
3.6 Processos de fabricação conforme a norma AS 9100	28
3.7 Comparação dos requisitos referentes aos processos dos padrões da NASA, ECSS, PMBOK, INCOSE e AS 9100	33
4 PROCESSOS TÉCNICOS DE FABRICAÇÃO NA ÁREA ESPACIAL.....	41
4.1 Definição de processo na área espacial, com especialização para processos de fabricação	41
4.2 Definição e elementos de processo técnico de fabricação.....	42
4.3 Descrição de processos de fabricação.....	45
4.3.1 Operações de processamento.....	46
4.3.2 Operações de montagem	51

4.4	Breve revisão sobre diagrama, mapa e modelo de processos.....	55
4.5	Diagrama de fabricação	57
4.6	Qualificação e Verificação de processos.....	60
4.7	Garantia do produto referente a processos e fases de um programa .	66
4.8	Controle e uso de processos.....	67
4.8.1	Controle de status de verificação.....	68
4.8.2	Reverificação do processo	69
4.8.3	Implementação de processos	69
4.8.4	Rastreabilidade de processos, processamento de não conformidades, alertas e pontos de inspeção obrigatórios	70
4.9	Classificações técnicas de processos de fabricação	70
5	PROCESSO DE FABRICAÇÃO NO ÂMBITO DO PROGRAMA ESPACIAL BRASILEIRO	77
6	UTILIZAÇÃO DE UMA BASE DE DADOS DE PROCESSOS NO ÂMBITO DO PROGRAMA ESPACIAL BRASILEIRO	86
6.1	Proposta de classificação de processos técnicos na área espacial	87
6.2	Proposta de identificação de processos técnicos na área espacial	88
6.3	Proposta de organização de processos em uma base de dados de processos	93
6.4	Consequências positivas no reúso de processos técnicos de fabricação com o auxílio de uma base de dados	95
7	CONCLUSÕES.....	98
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	102

1. INTRODUÇÃO

Em projetos da área espacial, a confiabilidade e a complexidade do produto, bem como da organização responsável pela geração do produto, exigem da gestão de projetos um controle rígido do desenvolvimento do produto, incluindo o controle de fabricação.

Para garantir uma linha de base de fabricação controlada, de modo que itens de produção posterior sejam equivalentes em desempenho, qualidade, dimensões e confiabilidade aos itens de teste, é essencial o uso, o controle e a qualificação de processos de fabricação.

Para descrever a importância da reprodutibilidade do produto na área espacial, cita-se o fato de que no desenvolvimento de um produto garante-se a confiabilidade do modelo de voo de um dado equipamento ou sistema através do uso de modelos de verificação, específicos a cada fase de desenvolvimento do produto, sendo os principais o modelo de engenharia, utilizado na verificação da conformidade funcional do item projetado, e o modelo de qualificação, utilizado na verificação da conformidade funcional e ambiental do item projetado.

Demonstrada a conformidade dos modelos de engenharia e de qualificação, procede-se à fabricação do modelo de voo, o qual deve ser equivalente, funcional e construtivamente, ao modelo de qualificação. Para tanto, entre outras ações, faz-se necessário o controle dos processos técnicos de fabricação, cuja reprodutibilidade é essencial para que seja garantida a reprodutibilidade construtiva e funcional do modelo de voo, acima aludida.

Tal reprodutibilidade somente será alcançada se os próprios processos técnicos de fabricação forem reprodutíveis. Assim, introduz-se o conceito de processo qualificado para designar os processos cuja reprodutibilidade tenha sido demonstrada.

A qualificação de um processo técnico de fabricação consiste, essencialmente, na demonstração de que o processo atende todos os requisitos pertinentes e que pode ser reproduzido a partir de um conjunto de informações. Em geral, tais informações compreendem a definição de partes e materiais de entrada, uma descrição detalhada do ambiente e de todas as atividades para a execução do processo, uma definição de setup, incluindo o ferramental para sua execução, e o treinamento de operadores.

De forma a implementar esta sistemática, faz-se necessário, como parte do projeto, o desenvolvimento de um diagrama de fabricação para cada equipamento, contendo todos os processos necessários à fabricação do equipamento em referência. Mais especificamente, o diagrama de fabricação conterá a relação completa de partes e materiais e de todas as operações, organizadas na forma de processos, necessárias à transformação de partes e materiais de entrada no equipamento correspondente.

Durante a execução de um projeto, exercita-se o controle de processos, de modo a garantir que todos os processos utilizados no projeto sejam qualificados.

Observa-se que a fabricação do modelo de qualificação é iniciada com uma linha de base de processos, a qual, eventualmente, se modifica à medida que evolui o desenvolvimento do modelo de qualificação. O diagrama de fabricação presta-se, também, a possibilitar a rastreabilidade nos casos de falha do sistema ou equipamento.

A linha de base, acima referida, modifica-se à medida que, durante a fase de qualificação, ocorram falhas no sistema ou equipamento e a rastreabilidade de falha indique a necessidade de uma revisão de processo de fabricação. O eventual processo de fabricação identificado será, então, revisto e requalificado.

Após a conclusão de um projeto, as informações referentes a processos técnicos qualificados constituem-se em informação relevante para projetos futuros, na medida em que podem ser aproveitados de forma parcial ou integral em outras missões.

1.1 Motivação

O tema de processos técnicos de fabricação na área espacial surge da visão da necessidade de desenvolvimento de um padrão de referência para os processos técnicos de fabricação utilizados em programas da área espacial, no país. Embora normas e padrões brasileiros, como os da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), abordem o tema processos, inexistem, no país, um tratamento específico para processos técnicos na área espacial.

Nesta dissertação, buscar-se-á contribuir para o desenvolvimento e aprimoramento dos conceitos e referências sobre processos técnicos, no âmbito de projetos da área espacial. Com o presente estudo, espera-se, assim, produzir resultados específicos e atualizados, no âmbito de processos técnicos, e proporcionar uma referência para programas desenvolvidos na área espacial no país.

1.2 Objetivo

O presente trabalho objetiva desenvolver um padrão de identificação, classificação e codificação dos processos técnicos utilizados na área espacial, visando a sua organização de maneira que diferentes organizações nacionais possam comparar e compartilhar seus processos técnicos, com conseqüente economia de escala e recursos.

O padrão de organização de dados de processos proposto baseou-se na experiência existente tanto em organizações locais quanto em organizações internacionais. Em particular, efetuou-se estudo do tratamento dado a processos de fabricação no âmbito das agências espaciais ESA (European Space Agency) e NASA (National Aeronautics and Space Administration), bem como aquele dado por organizações como ISO (International Organization for Standardization) e INCOSE (International Council of Systems Engineering) e PMBOK (Project Management Body of Knowledge). Finalmente, efetuou-se detalhada avaliação do tratamento dado por organizações nacionais.

Assim, a partir deste estudo abrangente, viabilizou-se o desenvolvimento de uma proposta de organização mais abrangente e aderente à área espacial, para uso no âmbito do Programa Espacial Brasileiro.

1.3 Metodologia

A metodologia empregada no desenvolvimento deste trabalho consistiu, essencialmente, em pesquisa bibliográfica, a qual se deu através da leitura, o estudo, a assimilação e a comparação entre os conceitos e boas práticas de processos que são tratados pelos padrões ECSS, NASA, ISO, PMBOK e INCOSE, e da formulação de conceitos e descrições adicionais, atinentes a processos técnicos.

Visando os objetivos, a pesquisa foi conduzida em três etapas.

A primeira visou a obtenção de uma visão geral acerca dos padrões difundidos internacionalmente sobre processos de fabricação, a partir de uma revisão da literatura relativa a padrões consagrados e atualizados na área espacial, bem como daquela disponível em dissertações e artigos.

A segunda etapa consistiu no estabelecimento de uma comparação entre a definição e o uso de processos de fabricação no âmbito do programa espacial

brasileiro e naquele de programas internacionais na área espacial (ECSS e NASA).

A terceira e última etapa concentrou-se, a partir dos conhecimentos adquiridos no estudo acima, no desenvolvimento de propostas de padronização e uso de processos qualificados no âmbito do Programa Espacial Brasileiro.

1.4 Apresentação dos capítulos

Esta dissertação está estruturada em sete capítulos.

O Capítulo 1 apresenta uma breve introdução ao trabalho e a descrição dos objetivos, motivação e metodologia da dissertação.

O Capítulo 2 apresenta uma cuidadosa revisão da literatura sobre processos de fabricação e o estado da arte sobre o tema.

O Capítulo 3 discorre acerca de processos de fabricação na área Espacial, comparando o tratamento preconizado pelos seguintes padrões: INCOSE, AS 9100 (ISO 9001), PMBOK, NASA, ECSS.

No Capítulo 4, são apresentadas, em detalhes, a definição de processo, de ciclo de vida de projetos na área espacial e de diagrama de fabricação. Serão, também, abordados os conceitos de qualificação e verificação de processos, e a relação entre atividades da garantia do produto, referentes a processo, e as de controle e uso de processos, sob responsabilidade da engenharia do produto.

Finalmente, ainda no Capítulo 4, é apresentada a estrutura de classificação de processos proposta neste trabalho. Esta é comparada com a estrutura de classificação preconizada pela ECSS e com a estrutura adotada pelo INPE.

O Capítulo 5 aborda o uso de processos técnicos de fabricação no âmbito do programa espacial brasileiro, mais especificamente, nas organizações INPE e DCTA.

No Capítulo 6, são apresentadas propostas para a padronização e reúso de processos com o auxílio de uma base de dados de processos.

No Capítulo 7, finalmente, são apresentadas as conclusões do presente trabalho e sugestões de temas para trabalhos futuro.

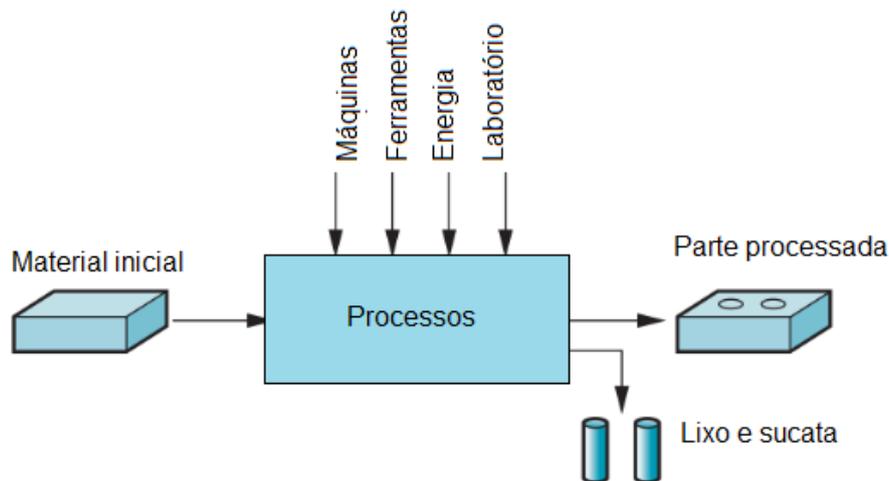
2 REVISÃO DA LITERATURA SOBRE PROCESSOS DE FABRICAÇÃO

2.1 Fabricação

Segundo Groover, a fabricação ou manufatura pode ser definida de duas maneiras, uma tecnológica e outra econômica. Na definição tecnológica, a fabricação é a aplicação de processos físicos e químicos para alterar a geometria, propriedades e/ou aparência de um determinado material de partida, para produzir peças ou produtos (GROOVER, 2019).

Os processos para realizar a manufatura “... *envolvem uma combinação de maquinário, ferramentas, energia e mão de obra* ...”, conforme ilustrado na Figura 2.1 (GROOVER, 2019).

Figura 2.1 - Definição tecnológica de manufatura.

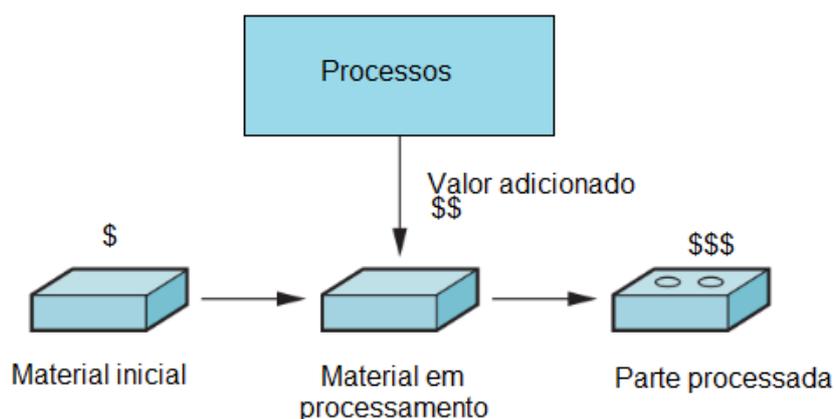


Fonte: Adaptado de Groover (2019).

Na definição econômica, segundo Groover (2019), a fabricação é a transformação de materiais em itens de maior valor por meio de uma ou mais

operações de processamento e/ou montagem, que agregam valor ao produto em desenvolvimento, conforme ilustrado na Figura 2.2.

Figura 2.2 - Definição econômica de manufatura.



Fonte: Adaptado de Groover (2019).

A fabricação “... agrega valor ao material, alterando sua forma ou propriedade, ou combinando-o com outros materiais ...” que foram alterados de maneira semelhante (GROOVER, 2019).

2.2 Evolução histórica de processos de fabricação

Embora a maioria dos desenvolvimentos históricos que se tornaram na “*prática moderna de fabricação*”, “... tenha ocorrido apenas nos últimos séculos, *vários dos processos básicos de fabricação foram produzidos no período neolítico ...*”. Neste mesmo período, se iniciaram os desenvolvimentos de “... *processos para produzir esculturas e outros trabalhos em madeira, realizar a moldagem manual, a queima de cerâmica de barro, o esmerilhamento e polimento de pedras, a fiação e tecelagem e o tingimento de pano ...*” (GROOVER, 2019 p. 11).

A Metalurgia “... foi descoberta durante o período neolítico e espalhou-se ou desenvolveu-se independentemente em regiões da Europa e da Ásia ...” (GROOVER, 2019 p. 11).

Ferreiros primitivos aprenderam que quando certos ferros (aqueles contendo pequenas quantidades de carbono) eram suficientemente aquecidos e depois resfriados, ficavam muito duros. Isso permitia uma afiação melhor em facas e armas, mas também tornava o metal quebradiço (GROOVER, 2019 p. 11).

A descrição acima constitui-se em exemplos de tratamentos térmicos do aço naquela época.

No século XIX, a demanda por aço cresceu significativamente e técnicas mais modernas de produção de aço foram desenvolvidas. Os primórdios da tecnologia de máquinas e ferramentas ocorreram durante a Revolução Industrial. As máquinas e ferramentas do período entre 1770 e 1850 foram desenvolvidas para a maioria dos processos de remoção de materiais convencionais, como perfuração, torneamento, furação, fresamento, modelagem e aplainamento. A perfuração e a serração (de madeira) datam de tempos ainda mais antigos, e o torneamento (de madeira) à época de Cristo. Métodos de montagem foram usados em culturas antigas para fabricar navios, armas, ferramentas, máquinas, carruagens, carros e móveis (GROOVER, 2019 p. 12).

De acordo com Groover os primeiros desenvolvimentos de soldagem e colagem adesiva ocorreram há cerca de 2000 anos atrás. O uso generalizado de

parafusos, porcas e fixadores, comuns na montagem de hoje, exigiam o desenvolvimento de ferramentas e máquinas para cortar as formas helicoidais necessárias (GROOVER, 2019).

A borracha natural foi o primeiro polímero a ser usado na fabricação (se negligenciarmos a madeira, que é um polímero composto). O processo de vulcanização, descoberto por Charles Goodyear em 1839, tornou a borracha um material de engenharia útil. Desenvolvimentos subsequentes incluíram plásticos como nitrato de celulose em 1870, baquelite em 1900, policloreto de vinil em 1927, polietileno em 1932 e nylon no final da década de 1930. Os requisitos de processamento para plásticos levaram ao desenvolvimento de moldagem por injeção (com base na fundição, um dos processos de fundição de metal) e outras técnicas de modelagem de polímeros. Os produtos eletrônicos impuseram demandas incomuns na fabricação em termos de miniaturização. Montar cada vez mais componentes eletrônicos em áreas cada vez menores, em alguns casos, milhões de transistores em um pedaço de material semicondutor de 12 mm de lado, demonstra a evolução da tecnologia (GROOVER, 2019 p. 12).

O controle do modo artesanal de produção era baseado nas qualificações e aptidões individuais e acreditava-se no valor da experiência e da prática constante. Desta maneira, como o trabalho era realizado com o contato direto entre o artesão e o cliente, o gerenciamento dava-se pela liderança pessoal, normalmente pelo mais experiente, denominado de mestre, que tinha uma

profunda visão do produto e grande interesse de como este seria usado (CLARK, et al., 1988).

A fragmentação do trabalho e o surgimento das primeiras fábricas se deram “... devido ao crescimento da escala de produção para atender altos volumes a custos menores com maior controle do capital sobre as atividades produtivas ...” (CLARK, et al., 1988).

Em 1855, Samuel Colt fundou a *Colt's Patent Fire-Arms Manufacturing Company* e se tornou mundialmente conhecido por tornar a produção em massa do revólver comercialmente viável. O uso de peças intercambiáveis ajudou-o a se tornar um dos primeiros a usar a linha de montagem eficientemente para fabricação de armas (EDWARDS, 1953).

De acordo com Fleury (1983), no fim do século XIX ganhou impulso o movimento de racionalização do trabalho, através da obra “Princípios da Administração Científica”, por Frederick Winslow Taylor. Nesta obra, o primeiro princípio refere-se ao estudo de tempos e movimentos, que estipula que as tarefas poderiam ter seus tempos determinados antes da execução, através de tabelas relacionando os movimentos com os tempos.

O segundo princípio de Taylor tratava da seleção e treinamento de operadores para a realização do trabalho. A habilidade para a realização do trabalho não era considerada, mas sim qualidades pessoais para realização do trabalho, determinadas pela gerência. Após ser escolhida a pessoa para determinado trabalho, era necessário treiná-la para execução da tarefa, conforme indicado pela gerência (FLEURY, et al., 1983).

O terceiro princípio tratava da estrutura administrativa, na qual havia a necessidade de especialistas responsáveis (“staff” de apoio) para cada uma das funções produtivas, surgindo, assim, os departamentos específicos. A execução do trabalho era organizada por tarefa ou ordem de produção e a supervisão era

essencial para a definição do melhor caminho a ser seguido (FLEURY, et al., 1983).

Os automóveis eram feitos artesanalmente, um processo caro e que levava muito tempo para ficar pronto (CRUZ, 2019).

Em 1914, surgiu o sistema fordista, desenvolvido por Henry Ford, revolucionando o mercado automobilístico e industrial da época. O objetivo era reduzir ao máximo os custos de produção barateando, conseqüentemente, os veículos para a venda, atingindo um maior número de consumidores. No entanto, mesmo sendo mais baratos e fáceis de se produzir, os veículos do fordismo não tinham a mesma qualidade atribuída aos feitos artesanalmente (CRUZ, 2019).

O fordismo funcionava tendo como princípio a especialização de cada funcionário da empresa na hora de montar o produto. Cada operário precisava aprender a executar apenas as funções inerentes a uma pequena parte dentro de todo o processo de confecção do produto (CRUZ, 2019).

Entre 1947 e 1975, foi desenvolvido por Taiichi Ohno o Sistema Toyota de Produção, também conhecido como Toyotismo. Neste sistema, que preconiza estoques mínimos, a produtividade e a eficiência aumentam evitando desperdícios tais como tempo de espera, superprodução, gargalos de transporte, inventário desnecessário, entre outros (MARTINS, 2013).

De acordo com Clark (1988), neste novo ambiente global, juntamente com as novas descobertas científicas, acentua-se a importância do desenvolvimento de novos produtos e processos, com significativo volume de pesquisa e desenvolvimento.

Os aprimoramentos nos sistemas produtivos não se limitaram às grandes mudanças como as do sistema Toyota de produção e continuam em constante atualização.

2.3 Abordagem de processo

A aplicação de um sistema de processos em uma organização, junto com a identificação, mapeamento das interações e gestão desses processos, pode ser considerada como uma definição para *abordagem de processo* (ABNT, 2015).

De acordo com a ABNT, para uma organização funcionar de maneira eficaz, há a necessidade de identificar e gerenciar diversas atividades interligadas. Uma atividade ou conjunto de atividades, que usa recursos e que é gerenciada de forma a possibilitar a transformação de entradas em saídas, pode ser considerada como um processo (ABNT, 2015).

Frequentemente a saída de um processo é a entrada para o processo seguinte (ABNT, 2015).

Uma vantagem da abordagem de processo é o controle que ela permite sobre a transformação de entradas em saídas no âmbito de um sistema de produção, o qual é estruturado na forma de uma cadeia de processos interligados (ABNT, 2015).

Quando usada em um sistema de gestão da qualidade, esta abordagem enfatiza a importância:

- a) do entendimento e atendimento dos requisitos;
- b) da necessidade de considerar os processos em termos de valor agregado;
- c) da obtenção de resultados de desempenho e eficácia de processo; e
- d) da melhoria contínua de processos, baseada em medições objetivas (ABNT, 2015).

2.4 Estado da arte

As agências espaciais americana (NASA) e europeia (ESA) serão consideradas, no âmbito do presente trabalho, como agências espaciais de referência. Consideraremos que o tratamento que dedicam ao tema de processos técnicos de fabricação possa ser considerado, igualmente, como de referência, representando o corrente estado da arte no tema.

A *Society of Manufacturing Engineers* (SME) é uma associação de profissionais, educadores e estudantes comprometidos com a promoção e o apoio à indústria transformadora. Esta associação oferece recursos e notícias em tecnologia de manufatura e produz e patrocina eventos voltados à indústria, bem como proporciona treinamento e atividades de aprimoramento para a força de trabalho de seus associados (SME, 2019).

Em 2019, a conferência AeroDef Manufacturing, organizada pela SME, foi anunciada como sendo a primeira conferência e exposição do setor e como um dos eventos mais inovadores desta associação, tratando de temas tais como manufatura aeroespacial, manufatura de defesa, manufatura composta e processos de manufatura inovadores (SME, 2019).

Em outro segmento, a *International Academy for Production Engineer* (College International pour la Recherche en Productique - CIRP) é uma organização da área de pesquisa em engenharia de produção, fundada em 1951, com objetivos de promover a investigação científica relacionada a processos de fabricação, equipamentos de produção e automação, sistemas de produção, projeto (*design*) de produtos e manufatura. Esta organização também promove a pesquisa e o desenvolvimento entre os membros da Academia e da Indústria, objetivando contribuir para o crescimento econômico e o bem-estar da sociedade (CIRP, 2019).

De maneira similar à SME, a CIRP organiza e patrocina conferências internacionais e possui seu jornal denominado *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology* (CIRP, 2019).

Assim, além das iniciativas desenvolvidas pela NASA e ESA, consideram-se aquelas desenvolvidas pela CIRP e SME como o estado da arte em termos de processos técnicos de fabricação na área espacial.

2.5 Ciclo de vida de projetos na área espacial

Conforme o padrão da ECSS (2009), o ciclo de vida do projeto espacial é dividido em sete fases:

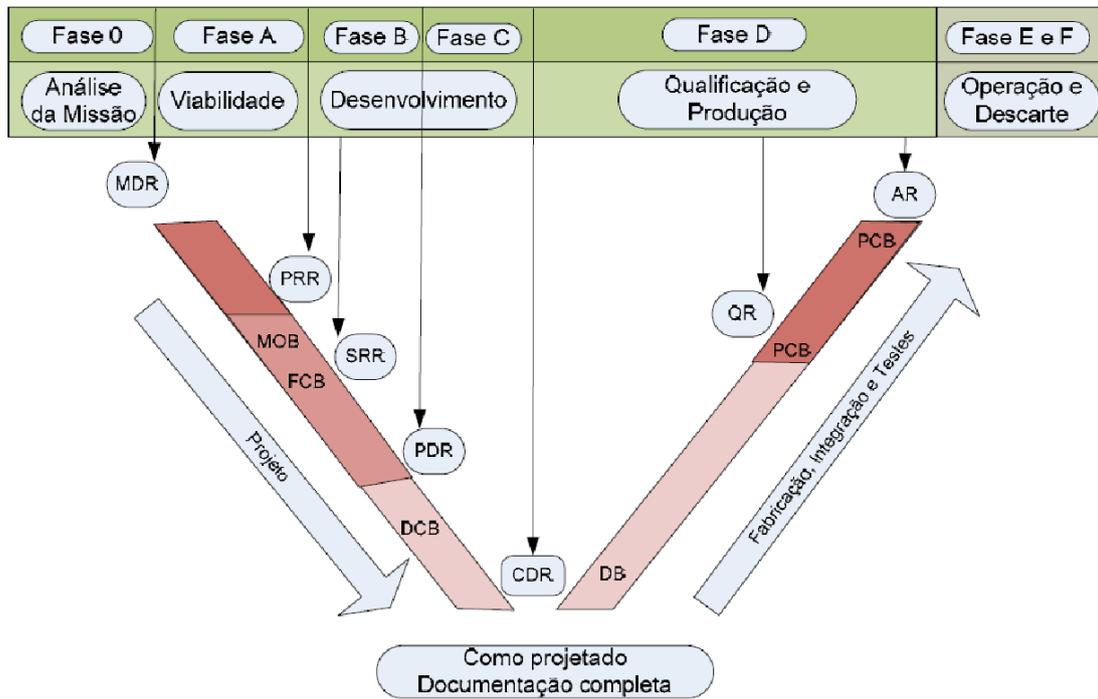
- a) **Fase 0 - Análise da missão / Identificação das necessidades:** É dedicada a um detalhamento da missão e à definição dos requisitos de missão.
- b) **Fase A - Estudo de viabilidade:** É dedicada à identificação de conceitos de sistema para cumprir a missão e pela avaliação de viabilidade do projeto tendo em conta as limitações técnicas e programáticas identificadas pelo iniciador do projeto e pelos clientes de alto nível. Nesta fase são, também, efetuadas (a) a identificação de todas as atividades e recursos a serem utilizados para desenvolver os segmentos espacial e solo do projeto e (b) as avaliações iniciais de risco técnico e programático.
- c) **Fase B - Projeto preliminar:** É dedicada ao projeto preliminar do sistema, tendo início com a elaboração de requisitos técnicos funcionais de sistema e o planejamento detalhado de todas as atividades do projeto, seguidos do projeto preliminar em nível de subsistemas e equipamentos. Esta fase se encerra com a finalização do projeto do modelo de engenharia.
- d) **Fase C - Projeto detalhado e Fase D - Produção e Qualificação:** Compreendem todas as atividades a serem realizadas a fim de

desenvolver e qualificar os segmentos solo e espacial, assim como seus produtos.

- e) **Fase E - Utilização:** Compreende todas as atividades a serem executadas a fim de lançar, comissionar, utilizar e manter os elementos do segmento espacial em órbita, bem como utilizar e manter os do segmento solo.
- f) **Fase F - Descarte:** Compreende todas as atividades a serem realizadas a fim de descartar com segurança todos os produtos lançados ao espaço.

As revisões de projeto, conforme indicado nas Figura 2.3 e Figura 2.4, distribuem-se ao longo do ciclo de vida do projeto e algumas destas revisões representam marcos de conclusão das fases.

Figura 2.3 - Modelo em V do ciclo de vida de um projeto conforme padrão ECSS.



Legenda:

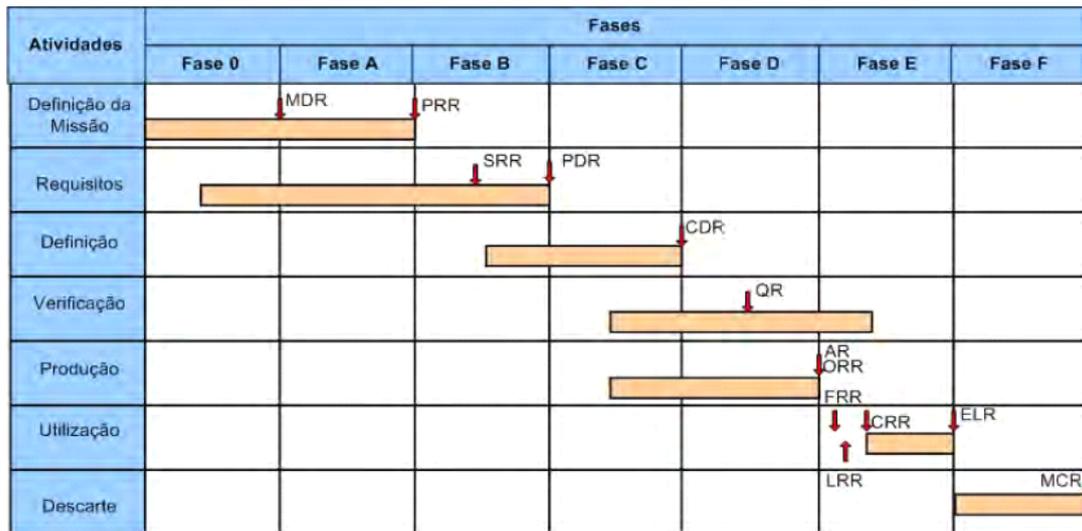
Revisões	Linhas de base
MDR: Revisão de Definição da Missão	MOB: Linha de Base de Objetivos da Missão
PRR: Revisão Preliminar de Requisitos	FCB: Linha de Base Funcional
SRR: Revisão de Requisitos de Sistema	DCB: Linha de Base da Configuração de Desenvolvimento
PDR: Revisão Preliminar do Projeto	DB: Linha de Base do Projeto
CDR: Revisão de Projeto Crítica	PCB: Linha de Base da Configuração do Produto
QR: Revisão de Qualificação	
AR: Revisão de Aceitação	

Fonte: Adaptado de ECSS (2009).

Existem marcos de projeto de subsistemas e equipamentos semelhantes aos de sistema quando consideramos a evolução do projeto em níveis de subsistemas e equipamentos.

Conforme Indicado na Figura 2.4, cada uma das fases do projeto inclui marcos finais na forma de revisões. O resultado determina a disponibilidade ou não do projeto para avançar para a próxima fase.

Figura 2.4 - Ciclo de vida de um projeto conforme padrão ECSS.



Fonte: Adaptado de ECSS (2009).

3 REFERÊNCIAS SOBRE PROCESSOS DE FABRICAÇÃO NA ÁREA ESPACIAL

Este capítulo dedica-se a uma revisão sobre processos de fabricação, na área espacial, descrevendo o tratamento preconizado pelos padrões NASA, ECSS, PMBOK, INCOSE e AS 9100 (ISO 9001).

A Tabela 3.1 relaciona as características de área de aplicação e nomenclatura observadas no tratamento de processos técnicos como preconizado pelos padrões da NASA, ECSS, PMBOK, INCOSE e AS 9100.

Tabela 3.1 - Características de aplicações e nomenclaturas de processos pelos padrões da NASA, ECSS, PMBOK, INCOSE e AS 9100.

Características:	NASA	ECSS	PMBOK	INCOSE	AS9100
Área de aplicação	Espacial	Espacial	Projetos	Sistemas em geral	Aeroespacial
Nomenclatura de processos técnicos	Fabricação	Fabricação	Execução	Implementação	Produção

Fonte: Produção do autor.

3.1 Processos de fabricação conforme o padrão NASA

No padrão da NASA (2016), são estabelecidos os requisitos técnicos para processos, procedimentos, práticas e métodos, que constituem o padrão da agência para programas e projetos. Neste padrão, são definidos os requisitos para os processos providos por terceiras partes, responsáveis pelo fornecimento de hardware para projetos e programas, bem como a forma como tais processos devem ser incorporados na documentação do produto.

Na NASA, as *partes e materiais* e processos utilizados no projeto devem ser identificados e documentados na Lista de Identificação e Uso de Materiais (Material Identification and Usage List – MIUL). Qualquer processo a ser implementado pelo desenvolvedor de hardware deve ser objeto de um requerimento para aprovação prévia junto à agência (NASA, 2016).

A abordagem de documentação para processos é definida no plano de seleção, controle e implementação de materiais e processos. Este plano deve conter a filosofia que descreve como as propriedades do material serão determinadas e, se essas propriedades não existirem, como as propriedades do material serão desenvolvidas, incluindo, eventuais abordagens estatísticas a serem empregadas (NASA, 2016).

O plano deve, também, identificar as especificações, ou, equivalentemente, descrições de todos os processos de fabricação utilizados. Todos os materiais e processos utilizados na fabricação devem ser documentados em especificações de processo, e todas as especificações de processo aplicáveis devem ser identificadas na documentação de engenharia. Cada etapa da fabricação deve ser identificada na especificação do processo, em um nível de detalhe que garanta a reprodutibilidade do processo (NASA, 2016).

Os códigos e classificações para materiais, peças-padrão e componentes comerciais encontram-se disponíveis no Sistema de Informações Técnicas de Materiais e Processos (*Materials and Processes Technical Information System - MAPTIS*). MAPTIS (2019) é um sistema informatizado, acessível a usuários cadastrados através de uma página da internet (<http://maptis.nasa.gov>), onde ficam armazenadas as bases de dados dos materiais e processos anteriormente aprovados, identificados e documentados na Lista de Uso e identificação de Materiais e Processos (NASA, 2019).

Este sistema de informações encontra-se disponível, apenas, para uso autorizado pelo governo dos EUA. Embora o MAPTIS seja apresentado como uma base de dados para materiais e processos, não se consegue recuperar da base de dados o conjunto completo de informações de processos cadastrados através deste sistema informatizado.

Por medidas internas de segurança, a NASA nega o registro para os usuários que não fazem parte de ao menos um de seus programas (NASA, 2019).

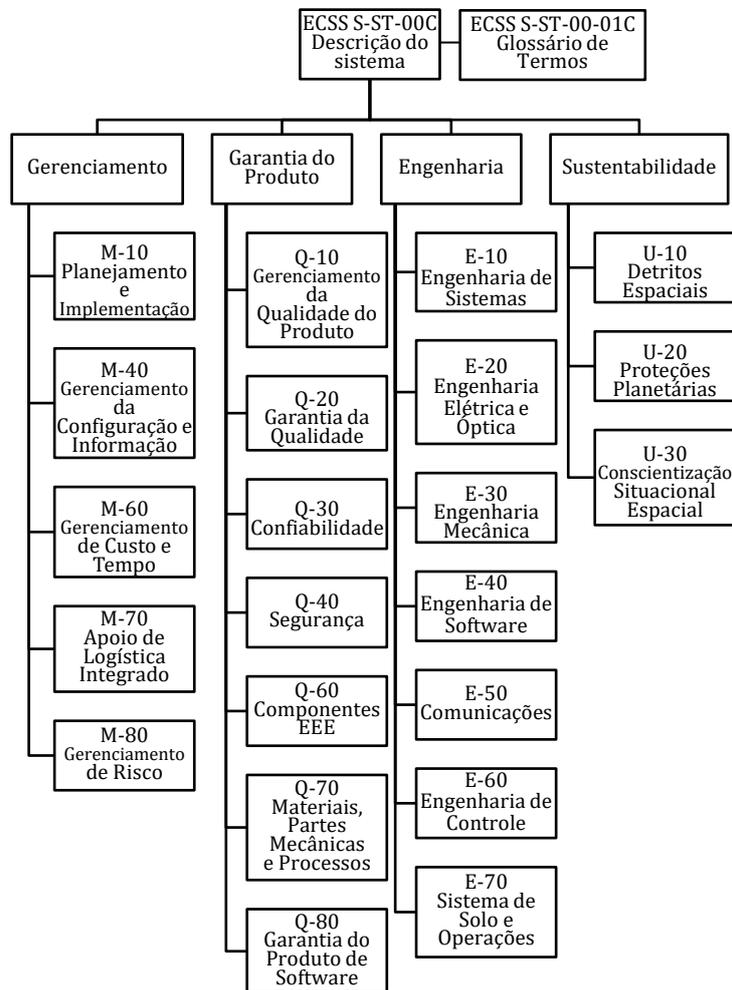
No padrão da NASA, materiais e processos podem ser descritos detalhadamente conforme recomendado nos modelos de Descrição de Dados de Requisitos (Document Requirement Definition - DRD) sugeridos pela agência para descrever o plano de seleção, controle e implementação de materiais e processos, componentes da Lista de Uso de Materiais e Processos (NASA, 2016).

3.2 Processos de fabricação conforme o padrão ECSS

O termo processo é definido na ECSS (2012) como o conjunto de atividades inter-relacionadas que transforma material ou produto semiacabado em um produto. De forma mais aderente ao texto encontrado no padrão, um processo pode ser definido como o “... *ajuste da inter-relação entre recursos e atividades pela qual transforma-se um material ou produto semiacabado em um produto semiacabado ou final...*” (ECSS, 2012).

Ainda, conforme o padrão ECSS (2019), os processos de um projeto são distribuídos e organizados em quatro áreas de conhecimento, a saber: Gerenciamento, Garantia do Produto, Engenharia e Sustentabilidade, como mostrado na Figura 3.1. Observa-se que a definição de processo associada a esta classificação é bastante ampla, extrapolando o âmbito de processos de fabricação.

Figura 3.1 - Grupos de processos distribuídos nas categorias Gerenciamento, Garantia do Produto, Engenharia e Sustentabilidade.



Fonte: Adaptado de ECSS (2019).

Materiais, partes mecânicas e processos técnicos são abordados no documento ECSS-Q-ST- 70C. Este documento define requisitos aplicáveis a materiais, partes mecânicas e processos técnicos, de modo a satisfazer requisitos de desempenho de missão (ECSS, 2019).

Este documento também especifica os requisitos de documentação e procedimentos relevantes para que se obtenha aprovação para uso de materiais, partes mecânicas e processos na fabricação de sistemas espaciais e equipamentos associados (ECSS, 2019).

No âmbito do padrão ECSS, processos técnicos, utilizados em um projeto, ganham classificações em algumas situações particulares.

De acordo com o padrão ECSS, um processo “novo” ou ainda “não verificado” é considerado crítico. O processo pode adquirir a condição de *processo crítico* “... caso tenha sido causa de problema durante prévio uso e que tenha permanecido sem uma definição de revisão para solução do referido problema ...” (ECSS, 2012).

De acordo com o padrão ECSS, todo processo é submetido à análise de criticidade. Subentende-se que devido à análise de criticidade aplicada a processo, um processo crítico pode, também, ser identificado como item crítico, que segundo o padrão da ECSS (pode apresentar) “... ameaça potencial ao cronograma, custo, desempenho e qualidade de um projeto ou programa que é controlado por um plano de ação específico, a fim de mitigar riscos emanados e evitar consequências indesejáveis ...” (ECSS, 2012).

Processo especial pode ser descrito como um “... processo onde a qualidade não pode ser completamente garantida por inspeção visual ...” (ECSS, 2012).

Considerando as descrições da ECSS para processos críticos e especiais, subentende-se que em um processo convencional, a qualidade pode ser completamente garantida por inspeção visual e sem a necessidade de Solicitação de Aprovação.

Aplicam-se as mesmas classificações para partes e materiais.

Partes, materiais ou processos classificados como críticos devem ser objeto de uma solicitação de aprovação, efetuada através de documento pelo qual o fornecedor ou usuário solicita permissão a órgão competente para o seu uso. A RFA é preparada para cada parte, material, ou processo crítico. Na RFA as informações fornecidas pelo fornecedor possibilitam que o cliente avalie se a parte, material ou processo crítico é adequado para uma aplicação específica (ECSS, 2019).

A ECSS recomenda o uso de um banco de dados para partes e materiais, que armazena informações de partes e materiais aprovados, identificados e documentados. O banco de dados é denominado de European Space Materials Database (ESMDB), porém, na apresentação deste sistema, em sua documentação de requisitos, não disponibiliza, de forma aberta, os dados referentes a processos técnicos (ECSS, 2019).

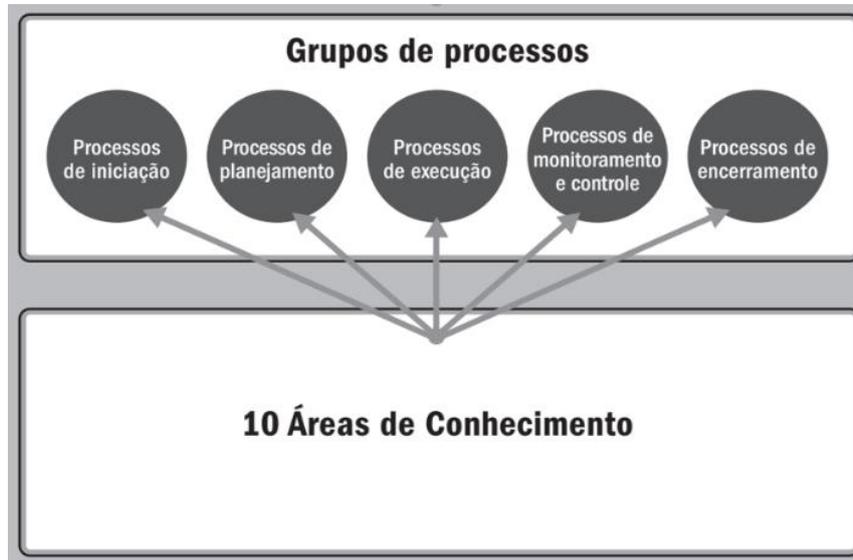
3.3 Processos de fabricação conforme o guia PMBOK

No guia PMBOK (2017), os processos descritos e abordados referem-se exclusivamente a processos empregados no gerenciamento de projetos.

O guia PMBOK (2017) agrupa os processos em cinco categorias, ilustradas na Figura 3.2, chamadas de grupos de processos:

- a) grupo de processos de iniciação. Os processos realizados para definir um novo projeto ou uma nova fase de um projeto existente, através da obtenção de autorização para iniciar o projeto ou fase;
- b) grupo de processos de planejamento. Os processos realizados para definir um novo projeto ou uma nova fase de um projeto existente, através da obtenção de autorização para iniciar o projeto ou fase;
- c) grupo de processos de execução. Processos realizados para concluir o trabalho definido no plano de gerenciamento do projeto para satisfazer os requisitos do projeto;
- d) grupo de processos de monitoramento e controle. Os processos exigidos para acompanhar, analisar e controlar o progresso e desempenho do projeto, identificar quaisquer áreas nas quais serão necessárias mudanças no plano, e iniciar as mudanças correspondentes; e
- e) grupo de processos de encerramento. Os processos realizados para concluir ou fechar formalmente um projeto, fase ou contrato (PMBOK, 2017).

Figura 3.2 - Representação esquemática dos cinco grupos de processos do PMBOK.



Fonte: PMBOK (2017).

Os processos técnicos de fabricação abordados neste trabalho, podem ser correlacionados com o grupo de processos de execução, porém, neste guia, os processos de execução são tratados de maneira geral, ou seja, não estão detalhadamente e/ou tecnicamente descritos para possibilitar uma aplicação direta dos conceitos na fabricação de sistemas espaciais.

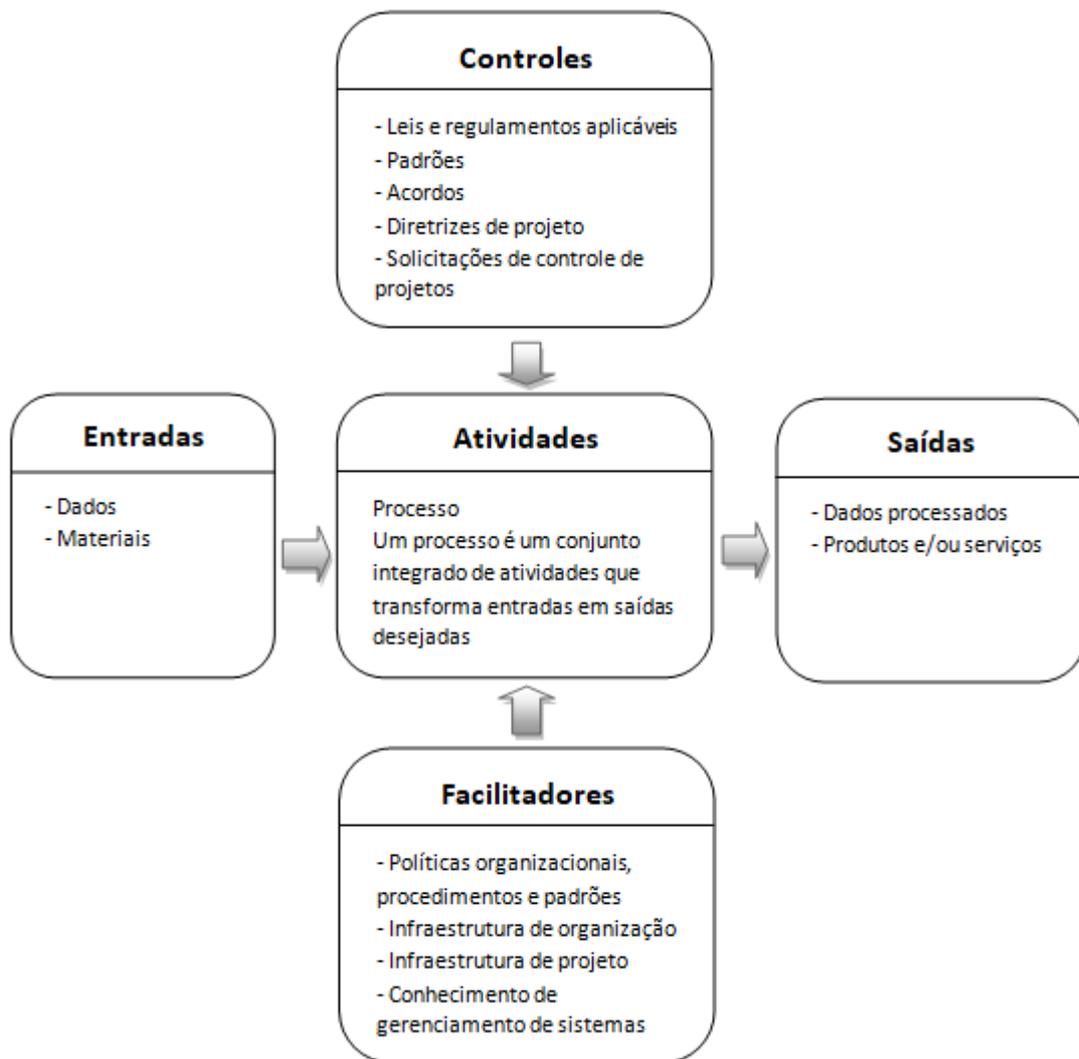
3.4 Processos de fabricação conforme o padrão INCOSE

Este padrão encontra-se baseado na ISO/IEC/IEEE 15288 e foi desenvolvido especificamente para as áreas de engenharia de sistemas e de software.

Conforme o padrão INCOSE (2015), processo é definido como um conjunto integrado de atividades que transforma entradas em saídas desejadas. Neste padrão, os processos técnicos transformam entradas em um produto, conforme requisitos pré-definidos.

Independente de grupos, os processos no INCOSE são descritos, conforme ilustrado na Figura 3.3, por um diagrama do tipo IDEF0. Neste diagrama, estão representados os elementos de IPO (Input-Process-Output), ou seja, as entradas, as atividades do processo e as saídas resultantes e, ainda, a interação com os elementos *controles* e *facilitadores* (INCOSE, 2015).

Figura 3.3 - Diagrama de processo de engenharia de sistemas.



Fonte: Adaptado de INCOSE (2015).

Os elementos de processo aplicáveis à engenharia de sistemas ilustrado na Figura 3.3, embora não sejam específicos para a área técnica de fabricação, possuem a organização condizente para basear a definição dos elementos de um processo técnico de fabricação de sistemas espaciais proposta na Figura 4.1.

No INCOSE, os processos técnicos são usados para:

- a) definir os requisitos para o sistema;
- b) desenvolver e fabricar produtos, conforme requisitos;
- c) permitir a reprodução consistente do produto;
- d) usar o produto para fornecer os serviços necessários e sustentar a provisão destes serviços; e
- e) descartar o produto quando ele for retirado do serviço (INCOSE, 2015 p. 47).

Processos técnicos são classificados em grupos de processos de acordo com as fases do ciclo de vida de sistemas.

Grupos de processos técnicos do INCOSE:

- a) processo de análise de missão ou negócio;
- b) processo de definição de requisitos e necessidades de “*Stakeholder*”;
- c) processo de definição de requisitos;
- d) processo de definição de projeto (*design*);
- e) processo de análise de sistema;
- f) processo de implementação;
- g) processos de integração
- h) processo de verificação
- i) processo de transição
- j) processo de validação;
- k) processo de operação;
- l) processo de manutenção;
- m) processo de descarte (INCOSE, 2015).

Os processos técnicos de fabricação abordados no presente trabalho, podem ser correlacionados com os *processos de implementação*.

No padrão INCOSE (2015), os processos de implementação podem definir detalhadamente os procedimentos de fabricação, materiais, ferramentas e equipamentos a serem utilizados, tolerância e os meios e critérios de auditoria, além da configuração dos elementos resultantes da documentação de “design” (INCOSE, 2015 p. 77)

3.5 Processos de fabricação conforme a norma ABNT NBR 15100

De acordo com ABNT (2015), “... *uma atividade ou conjunto de atividades que usa recursos e que é gerenciada de forma a possibilitar a transformação de entradas em saídas pode ser considerada um processo ...*”.

A norma ABNT NBR 15100 foi desenvolvida baseada no padrão SAE AS 9100C:2009, especificamente para organizações de aeronáutica, espaço e defesa.

Considerando a vigência da AS 9100D:2016, a ABNT NBR 15100:2010 deverá ser submetida a uma revisão.

Por tratar-se de uma versão da AS 9100, omitiremos, aqui, a apresentação de um estudo detalhado da norma ABNT NBR 15100, uma vez que tal estudo foi desenvolvido para a norma AS 9100, e é apresentado na próxima seção.

3.6 Processos de fabricação conforme a norma AS 9100

A norma AS 9100 constitui-se, essencialmente, em uma especialização da norma ISO 9001 para a área aeroespacial. A exemplo da norma mãe, a norma AS 9100 apresenta requisitos para o estabelecimento de um sistema de gestão da qualidade.

Este padrão preconiza a adoção de uma abordagem de processo para o desenvolvimento, implementação e melhoria da eficácia de um sistema de gestão da qualidade, visando aumentar a satisfação do cliente pelo atendimento de requisitos.

Define processo como uma “... *atividade ou conjunto de atividades que usa recursos e que é gerenciada de forma a possibilitar a transformação de entradas em saídas ...*” (ABNT, 2015)

O emprego de um sistema de processos em uma organização, junto com a identificação, mapeamento das interações desses processos e sua gestão, pode ser considerada como uma aplicação do princípio de "abordagem de processo" em uma organização. Uma vantagem da abordagem de processo pode ser expressa como “... *o controle contínuo que ela permite sobre a ligação entre os processos individuais dentro do sistema de processos, bem como sobre a sua combinação e interação ...*” (SAE, 2016).

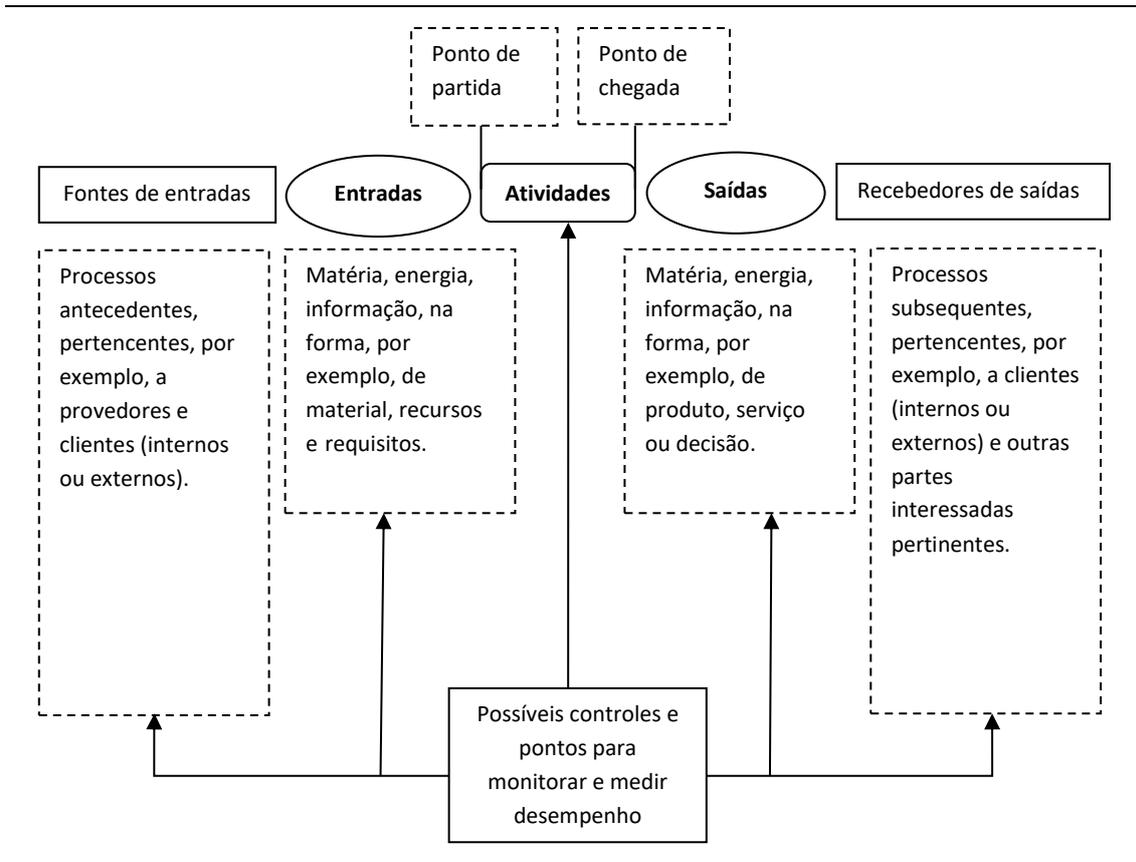
Quando usada em um sistema de gestão da qualidade, esta abordagem enfatiza a importância:

- a) do entendimento e do atendimento de requisitos;
- b) da necessidade de considerar os processos em termos de valor agregado;
- c) da obtenção de resultados de desempenho e de eficácia de processo; e
- d) da melhoria contínua de processos, baseada em medições objetivas.

Um modelo de sistema de gestão da qualidade baseado em processos, como preconizado pela norma AS 9100, define as relações entre processos e enfatiza a importância de clientes na definição dos requisitos para os processos, além daqueles já definidos pelo próprio padrão.

A Figura 3.4 ilustra a representação de um processo genérico e apresenta a interação entre seus elementos, conforme preconizado pela norma AS 9100. Os pontos de controle e inspeção para medição são específicos para cada processo.

Figura 3.4 - Representação esquemática de processo conforme a norma ISO.



Fonte: Adaptado de ISO (2015).

A partir da Figura 3.4, observa-se que a representação de processos de fabricação conforme a proposta apresentada no âmbito desta dissertação, mostrada na Figura 4.1, é compatível com a representação de processo definida no âmbito da norma ISO 9001, dada na Figura 3.4.

Esta norma recomenda que, adicionalmente a abordagem de processos, utilize-se a metodologia conhecida como *Plan-Do-Check-Act* (PDCA) para todos os aprimoramentos de processos.

O modelo PDCA pode ser descrito resumidamente como:

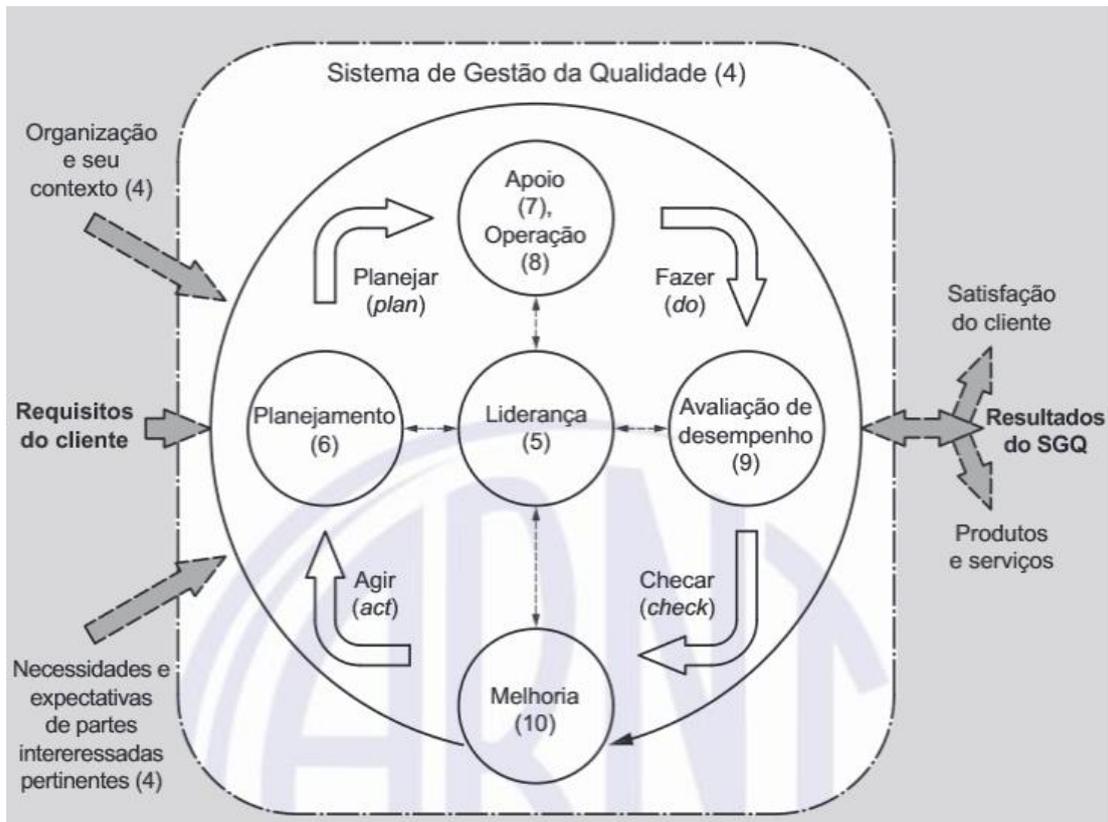
- a) planejar (*plan*): estabelecer objetivos e processos necessários para fornecer resultados de acordo com os requisitos do cliente e políticas da organização;

- b) fazer (*do*): implementar os processos;
- c) checar (*check*): monitorar e medir processos e produtos em relação às políticas, aos objetivos e aos requisitos para o produto e relatar os resultados; e
- d) agir (*act*): executar ações para promover continuamente a melhoria do desempenho do processo (ABNT, 2015).

Observa-se que a metodologia PDCA pode ser aplicada a processos de fabricação, com evidente ganho de produtividade no aprimoramento de tais processos.

O modelo de um sistema de gestão da qualidade, baseado em processo, mostrado na Figura 3.5, ilustra as ligações entre processos. Os clientes desempenham um papel significativo na definição dos requisitos como entradas. O monitoramento da satisfação dos clientes requer a avaliação de informações relativas à percepção pelos clientes de como a organização atende aos requisitos do cliente. O modelo mostrado na Figura 3.5 ilustra requisitos dados pela norma ISO 9001, mas não apresenta processos em nível detalhado.

Figura 3.5 - Ciclo PDCA em um sistema de gestão da qualidade baseado em processo de acordo com a norma ISO 9001.



Fonte: ISO (2015).

Os requisitos e as informações sobre uma organização por processos, juntamente com a metodologia PDCA para melhoria contínua, detalhados na norma AS 9100, constituem-se em material suficiente para a implantação de um sistema de gestão da qualidade, estruturada no âmbito do princípio de abordagem de processos.

Os processos técnicos de fabricação abordados neste trabalho podem ser aprimorados com o uso da metodologia PDCA de melhoria contínua sugerida pela AS 9100 (2016) e ISO 9001 (2015). Como já referido anteriormente, estas referências não detalham processos, mas apresentam requisitos e informações gerais sobre processos para a implementação de um sistema de gestão da qualidade.

3.7 Comparação dos requisitos referentes aos processos dos padrões da NASA, ECSS, PMBOK, INCOSE e AS 9100

Nesta seção, visando a comparação dos requisitos referentes aos processos, serão descritas as principais características e abrangências dos requisitos observados no tratamento dado aos processos preconizado pelos padrões NASA, ECSS, PMBOK, INCOSE e AS 9100 (ISO 9001).

Como será visto adiante, nem todos estes padrões tratam explicitamente de processos técnicos de fabricação. Enquanto nos padrões NASA (2016) e ECSS (2019) há referência explícita a processos de fabricação, nos demais há apenas referências genéricas. No padrão INCOSE (2015), processos de fabricação, conforme definições apresentadas, constituem-se em especializações de uma categoria de processos nominada de “*processos de implementação*” (*implementation processes*). Já a norma AS 9100 (2015) apresenta requisitos para o estabelecimento de um sistema de gestão da qualidade, organizado por processos, em uma organização atuante na área aeroespacial e refere-se a processos de fabricação, sem qualquer descrição destes processos, como processos de produção. O guia PMBOK (2017), por sua vez, trata da organização da gestão de projetos através de processos de gestão e, praticamente, não referencia processos de fabricação. Porém, com alguma liberdade de interpretação, pode-se inferir que processos de fabricação poderiam, eventualmente, ser interpretados como um exemplo de processo pertencente à categoria de processos de execução, definida no guia.

Serão descritas na Tabela 3.2, as principais características e abrangências dos requisitos observados no tratamento dado aos processos de fabricação pelos padrões NASA e ECSS.

Tabela 3.2 - Comparação de requisitos associados aos processos de fabricação entre os padrões da ECSS e da NASA.

Comparação	ECSS	NASA
Especificações e procedimentos	Cada processo utilizado na fabricação deve ser identificado por uma especificação ou procedimento e submetidos a análise de criticidade.	Os responsáveis pela fabricação devem elaborar as especificações documentadas através do plano de implementação.
Seleção	Serão selecionados os processos na seguinte ordem de preferência desde que sejam mantidas as mesmas condições de uso: processos de outras agências; processos aprovados com margem suficiente; processos utilizados em outros programas.	Os acordos para uso de materiais diferentes dos aprovados pela agência serão preparados para quaisquer M&P tecnicamente aceitáveis, mas que não cumprem os requisitos do padrão de requisitos de M&P. Este acordo deve ter as informações necessárias para demonstrar que a aplicação do material é tecnicamente aceitável, mas não pode ser usado para alterar os requisitos de M&P.
Análise de criticidade	Os processos críticos são identificados na análise de criticidade e devem ser submetidos a uma solicitação de aprovação. A mesma análise identifica os processos não-críticos que não recebem o mesmo tratamento, porém, deverão ser controlados.	Não possui requisitos declarados neste item.
Verificação	Todos os processos devem ser verificados. Completam a verificação a análise de criticidade as fases de avaliação, verificação e aprovação.	A Verificação consiste em, no mínimo: a. Aprovação do plano de seleção, controle e implementação de materiais contratados e outros documentos de requisitos de dados de materiais aplicáveis, como o Plano de Controle de Contaminação e o Plano de Avaliação Não Destrutiva; b. Assinatura do contratante de M&P em desenhos de engenharia para verificar o cumprimento dos requisitos; c. Auditorias nas atividades de M&P contratadas e relacionadas ao design e fabricação de hardware; d. Estabelecimento e funcionamento do painel de controle de M&P; e. Aprovação da NASA de MUAs; f. Aprovação da NASA de MIULs.
Aprovação	Os processos críticos são aprovados somente se os requisitos da fase de avaliação e verificação forem atendidos. Os demais processos são aprovados de acordo com outros critérios seguidos na verificação.	Devem ser submetidos a Aprovação: a. O plano de seleção, controle e implementação de materiais contratados e outros documentos de requisitos de dados de materiais aplicáveis, como o Plano de Controle de Contaminação e o Plano de Avaliação Não Destrutiva; b. Assinatura de M&P contratante em desenhos de engenharia para verificar o cumprimento dos requisitos; c. Auditorias nas atividades de M&P contratadas e relacionadas ao design e fabricação de hardware; d. Estabelecimento e funcionamento do painel de controle de M&P; e. MUAs; e f. MIULs.
Não conformidades / Desvios	Os processos que não estejam em conformidade com os requisitos do projeto, sejam no final da análise de criticidade ou nos testes de avaliação e verificação, o fornecedor deve apresentar um pedido de desvio. O sistema de alertas de processos deve atender requisitos internos.	Quando a não conformidade é um desvio de requisitos de M&P que é aceitável para a hardware, um acordo pode ser gerado para fornecer suporte técnico para uma mudança de linha de base para o produto. Os acordos de uso de M&P que contenham elementos suficientes para demonstrar que o pedido é aceitável devem ser apresentados para todos os M&P que são tecnicamente aceitáveis, mas que não atenderam os requisitos da agência.

Fonte: Adaptado de NASA (2016) e ECSS (2019).

Na comparação dos requisitos para especificações e procedimentos observa-se que o padrão da ECSS exige procedimentos ou especificações e estabelece os requisitos de documentação detalhados. O padrão da NASA exige que as especificações completem o plano de Implementação estabelecendo requisitos gerais de documentação.

Na comparação dos requisitos para seleção observa-se que o padrão da ECSS exige uma ordem de sequência para seleção de processos desde que mantidas as mesmas condições de uso. O padrão da NASA exige que acordos de uso sejam preparados para todos os processos que não obtiveram a qualificação da agência.

Na comparação dos requisitos para análise de criticidade observa-se que o padrão da ECSS exige que todos os processos sejam submetidos a análise de criticidade. Pode-se inferir que no padrão da NASA, uma análise quanto a criticidade deve ser realizada pelo fornecedor de hardware para atender ao requisito do plano de implementação de incluir requisitos para que todos os desenhos e revisões de projeto de hardware que possuem funções críticas de missão, contenham um bloco de aprovação M&P, ou equivalente, para assegurar que a concepção seja revista pela autoridade responsável de M&P e esteja em conformidade.

Na comparação dos requisitos para verificação observa-se que o padrão da ECSS exige análise de criticidade para todos os processos e avaliação e verificação para processos críticos. O padrão da NASA exige que acordos de uso sejam preparados para todos os processos que não possuem a qualificação pela agência. Na NASA a verificação consiste basicamente nas aprovações do plano de implementação, MIULs, MUAs, assinatura de M&P contratante em desenhos de engenharia, nas auditorias das atividades de M&P e na execução do painel do controle de M&P.

Na comparação dos requisitos para aprovação observa-se que o padrão da ECSS exige aprovação de processos com estabelecimento de requisitos adicionais de documentação para processos críticos. Na NASA requisitos

adicionais são exigidos para aprovação de M&P que são tecnicamente aceitáveis, mas que não atenderam os requisitos da agência.

Na comparação dos requisitos para não conformidades/desvios observa-se que tanto na NASA quanto na ECSS os requisitos de documentação para desvios ou não conformidades são definidos. Apenas no padrão da ECSS são descritos os requisitos adicionais para sistema de alertas.

Continuando a comparação dos requisitos e considerando que os requisitos preconizados no padrão INCOSE para os “processos de implementação”, na norma AS 9100 para os “*processos de produção*” e no guia PMBOK para os “*processos de execução*”, são relevantes e podem ser aplicados aos processos técnicos de fabricação, serão descritas nas Tabela 3.3 e Tabela 3.4, as principais características e abrangências dos requisitos observados no tratamento dado aos processos pelos padrões AS 9100, PMBOK e INCOSE.

Tabela 3.3 – Comparação de requisitos associados aos processos entre os padrões da AS9100, PMBOK e INCOSE.

Comparação	AS9100	PMBOK	INCOSE
Especificações e procedimentos	As condições a serem controladas na implementação da produção incluem a disponibilidade de informação documentada que defina as características dos produtos a serem produzidos ou as atividades a serem desempenhadas	As técnicas de representação de dados, aplicáveis aos processos de execução, incluem fluxogramas com o mapeamento dos detalhes operacionais e procedimentos.	Fazem parte da preparação para a implementação (da produção) os procedimentos de fabricação /codificação, a listagem de ferramentas e equipamentos a serem usados, a definição de tolerâncias de implementação, bem como dos meios e critérios para auditoria e configuração dos elementos resultantes.
Seleção	A organização deve garantir que os processos terceirizados sejam controlados, identificar e gerenciar os riscos associados à prestação externa de processos, produtos e serviços, bem como à seleção e uso de fornecedores de terceiros.	É recomendada uma análise para seleção de fontes. Os métodos de seleção que costumam ser usados incluem: menor custo; apenas qualificações; pontuação baseada em qualidade/proposta técnica; com base em qualidade e custos; fonte única; e orçamento fixo.	Faz parte da preparação para implementação a elaboração do plano para adquirir ou obter acesso aos recursos necessários durante a implementação.
Análise de criticidade	A organização deve planejar, implementar e controlar os processos. Mediante verificação que inclui (análise de) modo de falha e efeitos e análise de criticidade e prover os controles necessários para gerenciar os elementos críticos.	Com o objetivo de otimizar as chances de sucesso do projetos, os processos de gerenciamento dos riscos do projeto sugeridos pelo guia são: planejar o gerenciamento; identificar; realizar a análise qualitativa e quantitativa; planejar e implementar as respostas; e monitorar.	É recomendada a análise de causa raiz para lidar com causas subjacentes (raiz) de defeitos ou anomalias. A análise de criticidade é uma das formas de análise sugeridas.
Verificação	A organização deve realizar atividades de verificação do processo de produção para garantir que o processo de produção seja capaz de produzir produtos que atendam aos requisitos.	É recomendado o estabelecimento de procedimentos de verificação de produto e a implantação do Grupo de Processos de Monitoramento e Controle com o objetivo de monitorar e controlar o trabalho que está sendo realizado em cada área de conhecimento, cada grupo de processos, cada fase do ciclo de vida e no projeto como um todo.	É recomendado o desenvolvimento de um plano de verificação que inclua: item a ser verificado; resultados esperados e critérios de sucesso; método ou técnica de verificação selecionada; os dados necessários; e os correspondentes sistemas, produtos ou serviço e mostrar conformidade com as especificações e requisitos.

Fonte: Adaptado de AS9100 (2016), PMBOK (2017) e INCOSE (2015).

Tabela 3.4 – Comparação de requisitos associados aos processos entre os padrões da AS9100, PMBOK e INCOSE (Continuação).

Comparação	AS9100	PMBOK	INCOSE
Aprovação	A organização deve analisar e avaliar os dados e informações que surgem do monitoramento e medição apropriados. Os resultados da análise serão utilizados para avaliar entre outras atividades do sistema de gestão da qualidade a conformidade de produtos e serviços.	Como parte do monitoramento e controle previsto no guia, é recomendado o estabelecimento de procedimentos de validação de produto.	A validação se aplica a qualquer processo / atividade e produto resultante do processo / atividade e possui as mesmas técnicas da verificação, porém, com o objetivo de provar a satisfação da capacidade operacional desejada através da exibição de cenários operacionais.
Não conformidades / Desvios	A organização deve garantir que os produtos que não atendem às suas necessidades sejam identificados e controlados para impedir o uso ou entrega. A não conformidade será mantida como informação documentada, incluindo provisões para sua revisão e notificação às partes interessadas.	É recomendado o estabelecimento de procedimentos de controle de mudanças, inclusive os passos para modificação dos padrões, políticas, planos e procedimentos da organização, ou de quaisquer documentos do projeto, e o modo como eventuais mudanças serão aprovadas e validadas. Como lidar com não conformidades e procedimentos para ações corretivas poderão ser incluídos como parte do plano de gerenciamento da qualidade.	É recomendado que o tratamento de erros e não-conformidades façam parte das atividades de verificação e integração coordenadas com o gerente de projeto para o gerenciamento dos resultados.

Fonte: Adaptado de AS9100 (2016), PMBOK (2017) e INCOSE (2015).

Na comparação dos requisitos para especificações e procedimentos observa-se que a norma AS9100 exige procedimentos ou especificações e recomenda que estas informações documentadas sobre as atividades a serem realizadas e os resultados a serem alcançados incluam diagramas de processo de fluxo, planos de controle, documentos de produção e documentos de verificação. O guia PMBOK recomenda que sejam utilizadas as técnicas de representação de dados, por exemplo, com o uso de procedimentos e fluxogramas (mapa de processos). O padrão INCOSE recomenda que os procedimentos de fabricação façam parte da documentação de projeto.

Na comparação dos requisitos para seleção observa-se que a norma AS9100 exige a realização de atividades de verificação do processo de produção. O guia PMBOK recomenda a realização de verificação para cada processo durante as

fases do ciclo de vida do projeto, independente da área do conhecimento. No padrão INCOSE é recomendado a elaboração de um plano de verificação incluindo sugestões de possíveis métodos a serem utilizados.

Na comparação dos requisitos para análise de criticidade observa-se que a norma AS9100 exige, entre outros elementos necessários para o controle recomendado, a análise de criticidade, porém, sem nenhuma outra descrição desse requisito. O guia PMBOK recomenda análise de risco sem outro requisito adicional ou descrição dessa análise e não referencia a realização de análise crítica. O padrão INCOSE sugere a realização da análise de criticidade como forma de lidar com defeitos e anomalias.

Na comparação dos requisitos para verificação observa-se que a norma AS9100 exige a realização de atividades de verificação do processo de produção. O guia PMBOK recomenda a realização de verificação para cada processo durante as fases do ciclo de vida do projeto, independente da área do conhecimento. No padrão INCOSE é recomendado a elaboração de um plano de verificação incluindo sugestões de possíveis métodos a serem utilizados.

Na comparação dos requisitos para aprovação observa-se que a norma AS9100 exige, entre outras atividades da gestão da qualidade, uma apropriada análise para avaliação dos produtos e serviços. No guia PMBOK é recomendado o estabelecimento de procedimentos de validação sem nenhuma outra descrição para esse requisito. O padrão INCOSE não referencia aprovação, porém, recomenda a validação de processo que inclui sugestões de métodos de validação com o objetivo de provar a satisfação da capacidade operacional.

Concluindo a comparação dos requisitos, observa-se que para não conformidades ou desvios, a norma AS9100 exige da organização, informação documentada sobre não conformidades e sua notificação às partes interessadas sem descrições adicionais nesses requisitos. No guia PMBOK, são recomendadas que as não conformidades e ações corretivas façam parte do plano de gerenciamento da qualidade. No padrão INCOSE é recomendado que

as não conformidades sejam tratadas durante a verificação e integração sem nenhuma outra descrição adicional nesse requisito.

4 PROCESSOS TÉCNICOS DE FABRICAÇÃO NA ÁREA ESPACIAL

4.1 Definição de processo na área espacial, com especialização para processos de fabricação

Na definição de Groover (2019), processo técnico de fabricação é descrito como “... *procedimentos projetados que resultam em mudanças físicas e/ou químicas em um material de trabalho inicial com intenção de aumentar o valor deste material ...*”.

Em uma organização, há diferentes tipos de processos. Particularmente, na área espacial, os processos normalmente são divididos entre *técnicos*, *gerenciais* e *de apoio* ou *administrativos* (GONDO, 2012).

Os *processos técnicos* podem ser chamados de *primários* ou *finalísticos*. São aqueles que afetam diretamente a fabricação de sistemas espaciais, ou seja, que fazem parte das atividades de manufatura dos equipamentos em si e de suas partes (GONDO, 2012).

Os *processos gerenciais* são independentes das áreas de aplicação e são utilizados na coordenação das atividades de apoio e dos demais processos como controle de cronograma, contabilidade, revisões técnicas, e outros. No guia PMBOK, processos gerenciais são subdivididos em cinco subgrupos de processos e estão detalhadamente descritos no guia do conhecimento em gerenciamento de projetos (PMBOK, 2017).

Os *processos de apoio* ou *administrativos* podem ser chamados também de *processos de suporte* e são os que colaboram com os demais processos na busca de sucesso do produto final (GONDO, 2012).

Tanto os processos *gerenciais* quanto os *de apoio* ou *administrativos* são importantes para uma organização. Embora não sejam explorados nesta dissertação, devem ser considerados na implementação de um sistema de

processos em uma organização, conforme preconizado pela ABNT (ABNT, 2015).

A Tabela 4.1, apresenta uma proposta de Gondo (2012) para classificação por categorias de processos técnicos na área espacial.

Tabela 4.1 - Classificação por categorias de processos técnicos na área espacial.

Categoria	Descrição
Processos de fabricação	Definem os processos elementares, ou processos unitários, para a fabricação e montagem de partes elementares.
Projeto (design)	Metodologias de projeto que atendam requisitos, tais como margens, confiabilidade, redundâncias, qualidade, entre outros.
Processos de seleção de partes e materiais	Definem metodologias para a seleção de partes e materiais, que atendam requisitos conforme projeto e regras de qualidade do programa.
Qualificação de processos	Definem as atividades a serem desenvolvidas para demonstrar que processos, em geral processos de fabricação, atendem requisitos pré-estabelecidos, com repetibilidade.
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.
Processos de montagem	Definem atividades a serem realizadas para a montagem de equipamentos ou produtos intermediários.
Processos de teste	Definem atividades a serem realizadas para testes de verificação e validação, em nível de equipamento, subsistema e sistema.
Processos de integração	Definem atividades a serem realizadas para a integração em nível de subsistema e sistema.

Fonte: Adaptado de Gondo (2012).

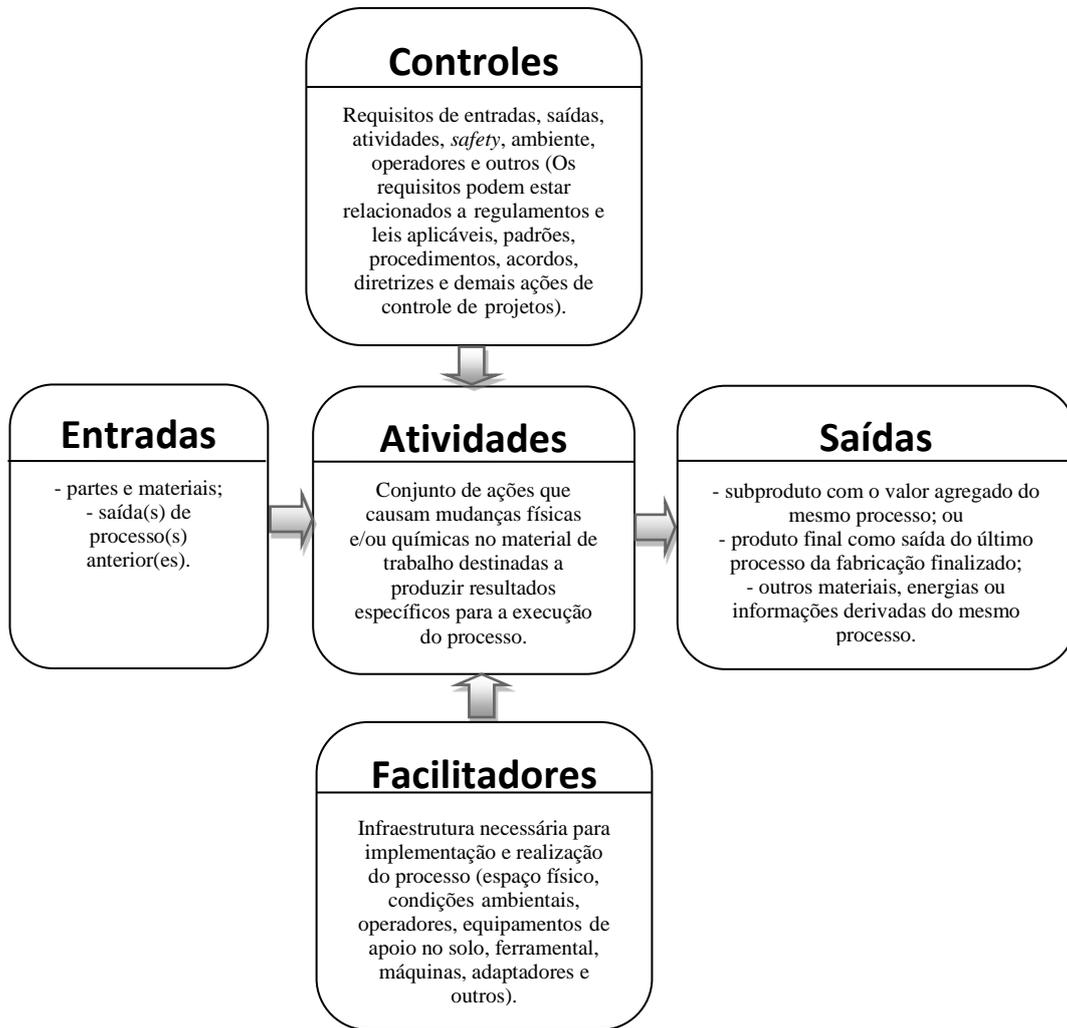
4.2 Definição e elementos de processo técnico de fabricação

Dentre as diversas definições de processo encontradas na literatura, optamos por uma combinação das definições apresentadas em INCOSE (2015), ISO (2015) e Groover (2019) para descrever um processo técnico de fabricação, a saber “... conjunto integrado de atividades que transforma entradas em saídas desejadas ...” “... com agregação de valor ...”. Este conjunto de atividades consiste em “... ações que causam mudanças físicas e/ou químicas no material de trabalho ...”.99

Com a combinação das definições apresentadas acima, conclui-se que a execução integral do conjunto de processos técnicos necessários para a fabricação de um dado produto corresponde à transformação de partes e materiais de entrada no produto finalizado.

Conforme INCOSE (2015), é proposto que processos sejam descritos através da definição de elementos constituintes denominados de *entradas*, *saídas*, *controles*, *facilitadores* e *atividades*. Utilizando esta nomenclatura e fazendo uso de conteúdo adicional sobre definição de elementos de processos de fabricação, extraídos de Groover (2010), propõe-se a descrição de um processo técnico de fabricação como ilustrado no diagrama do tipo IDEF0 (Icam DEFinition for Function Modelling) da Figura 4.1.

Figura 4.1 - Proposta de definição dos elementos de um processo técnico de fabricação.



Fonte: Adaptado de INCOSE (2015) e Groover (2019).

Os elementos de um processo técnico de fabricação possuem as seguintes definições:

- a) entradas: Incluem partes e materiais e eventual(ais) saída(s) de processo(s) anterior(es). As partes e materiais das entradas se diferenciam das partes e materiais dos elementos facilitadores por serem adicionados fisicamente ao material de trabalho e permanecerem agregados ao produto mesmo após sua conclusão;
- b) saídas: São compostas por subproduto(s) com o valor agregado do mesmo processo ou no produto final como saída do último processo da fabricação finalizado. O(s) subproduto(s) do processo pode(m) estar na forma de materiais, energia ou informação derivados do mesmo processo;
- c) controles: São requisitos aplicáveis em *entradas, saídas, facilitadores e atividades, safety*, ambiente, operadores e outros; tais requisitos podem ser relacionados a regulamentos e leis aplicáveis, padrões, procedimentos, acordos, diretrizes e demais ações de controle de projetos;
- d) facilitadores: Incluem a infraestrutura necessária para implementação e realização do processo (espaço físico, condições ambientais, equipamentos de apoio no solo, ferramental, máquinas, adaptadores e outros); e
- e) atividades: É um conjunto detalhado de ações que causam mudanças físicas ou químicas no material de trabalho e destinadas a produzir resultados específicos para a execução do processo (GROOVER, 2019; INCOSE, 2015)

4.3 Descrição de processos de fabricação

Na área espacial, muitos dos processos de fabricação são semelhantes aos encontrados na indústria tradicional. Na fabricação de um produto espacial,

porém, os requisitos aplicáveis aos processos são mais exigentes que na indústria, principalmente devido à confiabilidade requerida para o produto espacial, de modo que possa suportar, minimizando falhas, as condições de lançamento e operação no espaço externo.

Na indústria dedicada à fabricação de produtos que não têm aplicação crítica, a fabricação é, também, denominada de operação de processamento ou operação de montagem. Estas chamadas operações, no âmbito da indústria acima caracterizada, apresentam os mesmos elementos básicos que os processos técnicos de fabricação apropriados à área espacial, porém, com níveis inferiores de requisitos de qualidade.

Devido à semelhança entre a maioria dos processos de fabricação utilizados na área espacial e aqueles utilizados na indústria tradicional, os processos técnicos de fabricação na área espacial podem, em princípio, seguir classificação semelhante àquela proposta por Groover (GROOVER, 2019).

Conforme este autor, processos técnicos de fabricação podem ser divididos em dois grupos: operações de processamento e operações de montagem.

A denominação dos grupos de processos de fabricação, adotados pela indústria e sugeridos pela classificação proposta por Groover, será revista abaixo.

4.3.1 Operações de processamento

Uma operação de processamento pode ser descrita como:

A transformação de um material de trabalho de um estado anterior para um estado mais avançado, que está mais próximo do produto final desejado. Agrega valor alterando a geometria, as propriedades ou a aparência do material inicial. Em geral, as operações de processamento são realizadas em partes, mas certas operações de processamento também são aplicáveis aos itens montados (por exemplo, pintura de proteção). São divididas entre os grupos de

moldagem, melhoria de propriedade e processamento de superfície (GROOVER, 2019 p. 10).

De acordo com Groover (2019), as operações de processamento podem ser divididas como descrito a seguir.

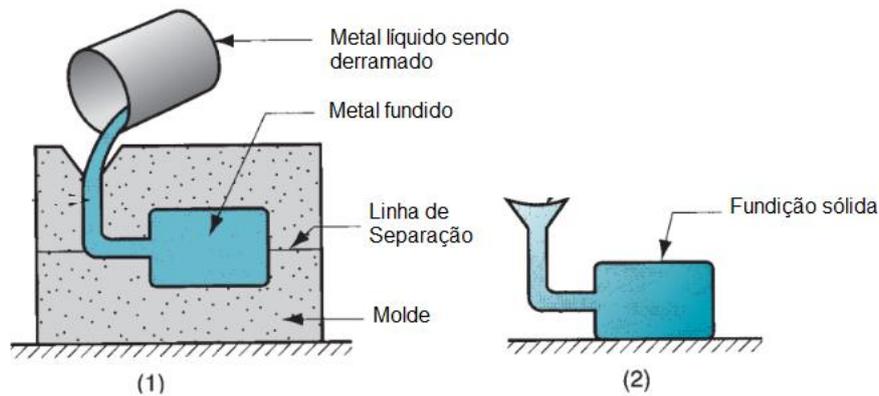
a) Moldagem

O termo fundição normalmente é usado para metais e moldagem é o termo mais comum usado para plásticos. A aplicação de calor, força mecânica ou uma combinação das duas, para efetuar uma alteração na geometria do material de trabalho, é uma das características da moldagem (GROOVER, 2019).

Groover sugere ainda a subdivisão da moldagem em grupos de solidificação, processamento de partículas, deformação e remoção de material.

Na **solidificação** ou fundição, conforme ilustrado na Figura 4.2, os materiais metais, vidros, cerâmicos e plásticos podem ser aquecidos a temperaturas suficientemente altas para convertê-los em líquidos. Com o material em forma líquida ou semifluida, pode ser derramado ou de outra forma, forçado a fluir para uma cavidade do molde e permitir a solidificação, assumindo assim uma forma sólida que é a mesma que a da cavidade (GROOVER, 2019 p. 12).

Figura 4.2 - Processo de fundição e moldagem onde o metal em estado líquido é depositado no interior do molde (1), que é separado após a fundição, resultado no metal sólido com o formato do molde (2).

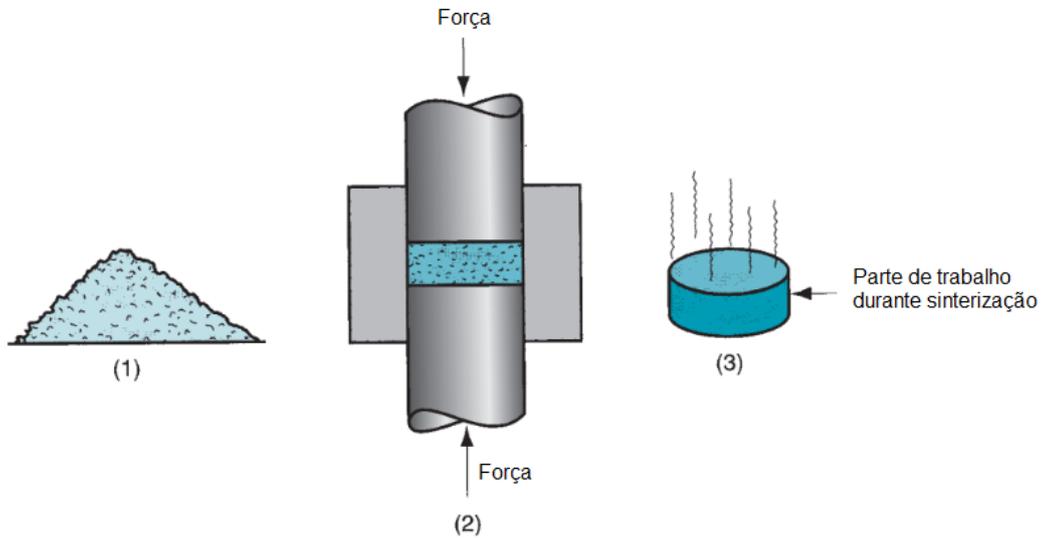


Fonte: Adaptado de Groover (2019).

No **processamento de partículas**, os materiais de partida encontram-se na forma de pós de metais ou cerâmicas. “A técnica mais comum no processamento de partículas envolve pressionar e sinterizar”. Nesta técnica, os pós são “primeiramente espremidos numa cavidade de matriz sob alta pressão e depois aquecidos para unir as partículas individuais” (GROOVER, 2019).

A Figura 4.3 ilustra um processo de moldagem por processamento de partículas.

Figura 4.3 - Exemplo de processamento de partículas onde o material de partida é utilizado em pó (1), é pressionado (2) e, finalmente, sinterizado (3).

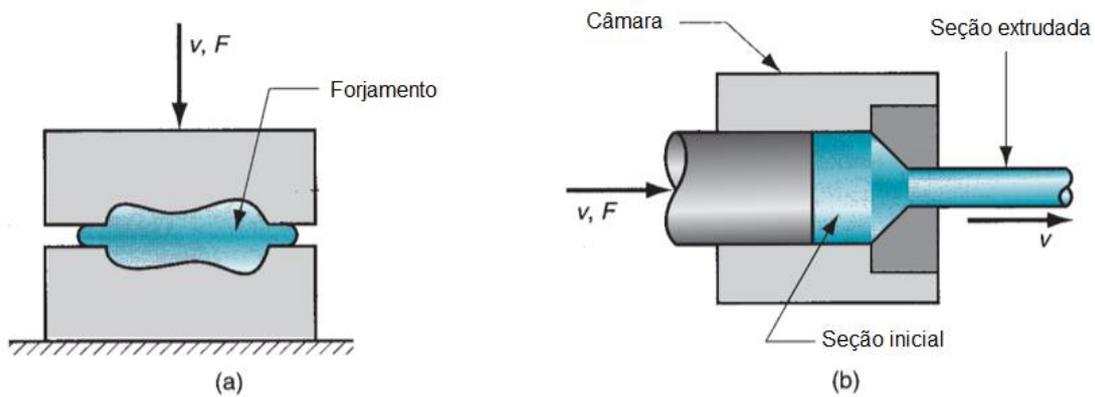


Fonte: Adaptado de Groover (2019).

Na **deformação**, a peça de trabalho inicial é moldada *“pela aplicação de forças que excedem o limite de elasticidade do material”* (GROOVER, 2019).

A Figura 4.4 ilustra um exemplo de processo de moldagem por deformação por forjamento e extrusão.

Figura 4.4 - Exemplo de processos de moldagem por deformação por forjamento (a) e por extrusão (b).

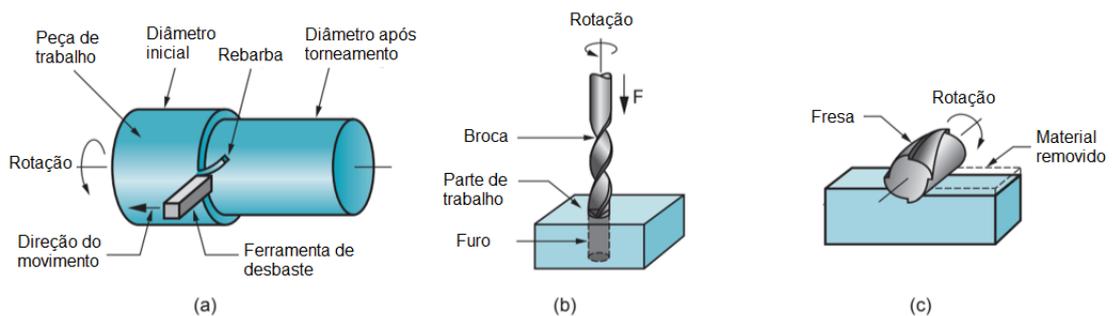


Fonte: Adaptado de Groover (2019).

Na **remoção de material** “ocorre a remoção do excesso de material da peça inicial, de modo que a forma resultante é a geometria desejada” (GROOVER, 2019).

A Figura 4.5 ilustra exemplos de processos conhecidos como usinagem e que se enquadram no grupo de moldagem por remoção de material.

Figura 4.5 - Exemplo de operações mecanizadas básicas: torneamento (a), perfuração (b) e fresamento (c).



Fonte: Adaptado de Groover (2019).

b) Melhoria de propriedade

Operações de melhoria de propriedade adicionam valor ao material melhorando suas propriedades físicas sem mudar sua forma. O exemplo mais comum deste processo é o tratamento térmico.

c) Processamento da superfície

Segundo Groover, os processamentos de superfície podem ser divididos em **limpeza**, **tratamentos de superfície** e os processos de **revestimento e deposição** (GROOVER, 2019 p. 668).

A **limpeza** inclui processos químicos e mecânicos para remover sujeira, óleo e outros contaminantes da superfície (GROOVER, 2019).

Os processos de **revestimento e de deposição** aplicam um revestimento de material à superfície exterior da peça de trabalho. Os processos comuns de **revestimento** incluem galvanoplastia, anodização de alumínio, revestimento orgânico (denominado pintura) e esmaltagem de porcelana (GROOVER, 2019).

Os processos de **deposição** incluem deposição física ou química para formar revestimentos extremamente finos de várias substâncias (GROOVER, 2019).

4.3.2 Operações de montagem

Uma operação de montagem pode ser descrita como:

A união ou junção de duas ou mais partes para formar uma nova entidade. Esta união ou junção, resulta na chamada montagem, submontagem ou algum outro termo que se refere ao processo de

junção. Pode ser dividida entre junção permanente e fixação mecânica (GROOVER, 2019 p. 693).

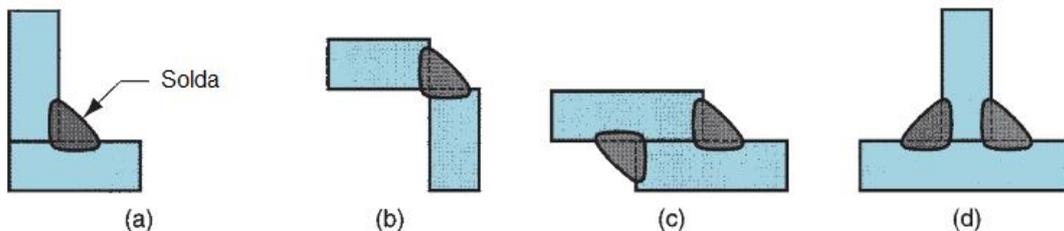
A classificação das operações de montagem, proposta por Groover, é descrita a seguir.

a) Junção permanente

De acordo com Groover (2019), os processos de junção permanente são idealizados de modo que as partes unidas não possam ser desmontadas facilmente. Os processos de junção permanente incluem soldagem (*welding*), brasagem e solda (*brazing and soldering*) e colagem adesiva.

A Figura 4.6 ilustra um exemplo de junção permanente de duas partes metálicas através de filetes de solda.

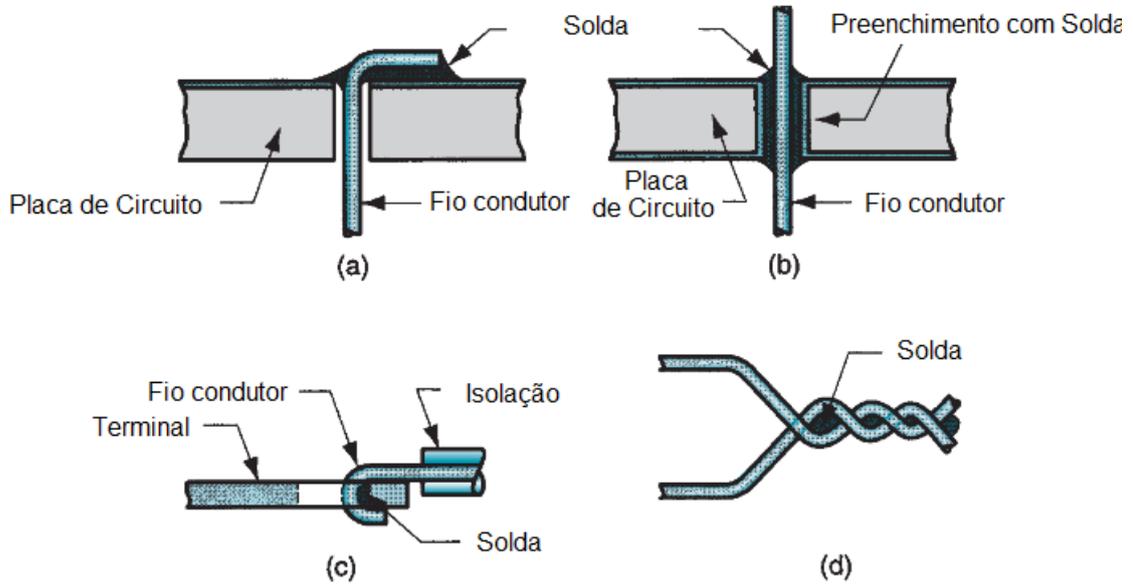
Figura 4.6 - Exemplo de filetes de solda entre duas partes realizadas: no lado interno da junção (a), na extremidade da junção (b), nas duas extremidades da junção (c) e em ambos os lados da junção (d).



Fonte: Adaptado de Groover (2019).

A Figura 4.7 ilustra outro exemplo de junção permanente, referente, agora, a placas de circuito, terminais e condutores de eletrônica.

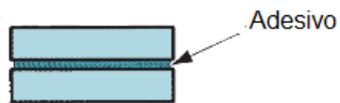
Figura 4.7 - Exemplo de solda aplicada em: placa de circuito (a) e (b), terminais (c) e entre dois fios condutores (d).



Fonte: Adaptado de Groover (2019).

A Figura 4.8 ilustra outro exemplo de junção permanente, através de colagem adesiva.

Figura 4.8 - Exemplo de fixação permanente por colagem adesiva.

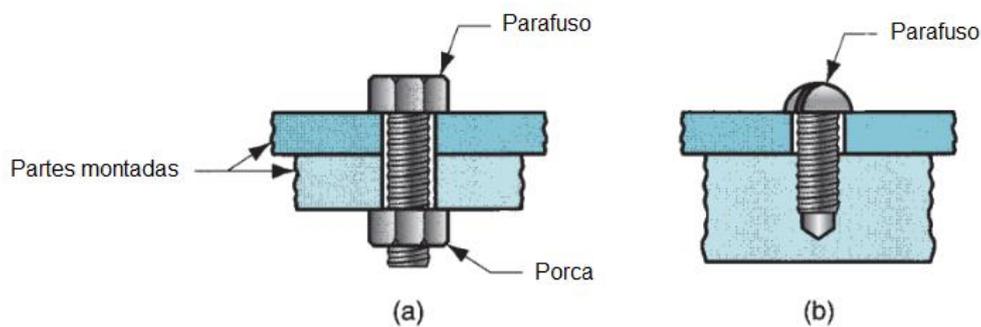


Fonte: Adaptado de Groover (2019).

b) Fixação mecânica

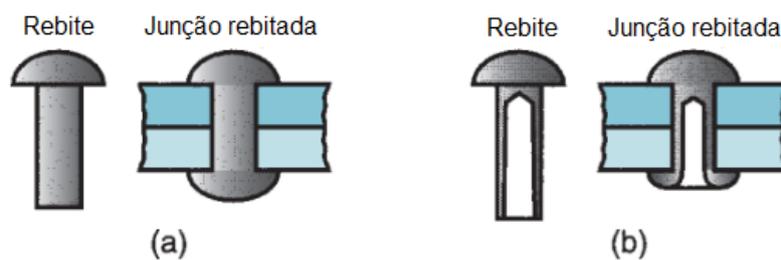
De acordo com Groover (2019), os processos de fixação podem ser revertidos facilmente, ou seja, as partes unidas podem ser desmontadas sem dificuldades. Os processos de fixação mecânica incluem o uso de fixadores rosqueados, ilustrados na Figura 4.9, e permanentes, ilustrados na Figura 4.10.

Figura 4.9 - Exemplo de montagem básica com o uso de parafuso e porca (a) e com apenas parafuso (b).



Fonte: Adaptado de Groover (2019).

Figura 4.10 - Exemplo de montagem básica com o uso de: rebite sólido (a) e rebite tubular (b).



Fonte: Adaptado de Groover (2019).

4.4 Breve revisão sobre diagrama, mapa e modelo de processos

Os fluxogramas são representações gráficas de processos, baseadas em um conjunto de símbolos, que ilustram operações, decisões e outros elementos de um processo (ABPMP CBOK, 2013).

Existem diversas notações de fluxogramas possíveis de ser utilizadas para a representação de processos de fabricação. Na escolha de uma notação, há que se considerar a importância e integridade dos dados e sua organização, de maneira que no fluxograma, sejam encontradas as informações estruturadas e suficientes para possibilitar o entendimento do processo (ABPMP CBOK, 2013).

As expressões como *diagrama de processos*, *mapa de processos* e *modelo de processos* são comumente associados a fluxogramas e utilizados de forma intercambiável ou como sinônimos. Contudo, diagramas, mapas e modelos devem ser adequadamente utilizados em diferentes contextos e aplicações (ABPMP CBOK, 2013).

Diagrama, mapa e modelo são recursos utilizados para detalhar informações em diferentes níveis, cada qual agregando mais informação e utilidade para entendimento, análise e representação documental de processos (ABPMP CBOK, 2013).

As técnicas de modelagem de processos e as ferramentas de gestão de processos são “... *um importante conjunto de habilidades e técnicas que permitem compreender, comunicar e gerenciar componentes dos processos da organização ...*” (ABPMP CBOK, 2013).

“... *Modelar um processo, significa representá-lo de forma a permitir o entendimento deste por qualquer pessoa, mesmo aquelas que não sabem como operacionalizá-lo ...*”. A modelagem de processos “... *permite à organização transformar o conhecimento tácito da operação em explícito ...*” (BRASIL, 2018 p. 17).

A modelagem tem como objetivo “... *melhorar a comunicação entre os setores da organização, estruturar e mostrar a ilustração dos processos em suas fases, além de facilitar a compreensão e entendimento ...*” (ABPMP CBOOK, 2013).

A Tabela 4.2 apresenta as diferenças entre diagrama ou mapa de processos e modelo de processos.

Tabela 4.2 - Diferença entre diagrama ou mapa e modelo.

Diagrama ou mapa de processos	Modelo de processos
Notação ambígua	Convenção padronizada da notação
Baixa precisão	Tão preciso quanto necessário
Menos detalhado	Mais detalhado
Ícones (representando componentes do processo) "inventados" ou vagamente definidos	Ícones objetivamente definidos e padronizados
Relacionamentos dos ícones retratados visualmente	Relacionamentos dos ícones definidos e explicados em anotações, glossário do modelo de processos e narrativas de processo
Limitado a representar ideias simples ou um contexto de alto nível	Pode representar a complexidade adequada
Limitado a retratar um momento específico da realidade	Pode crescer, evoluir e amadurecer
Pode ser criado com a ferramenta simples de diagramação	Deve ser criado com ferramentas adequada ao objetivo
Simple de utilizar, mas não permite explorar a informação de forma detalhada	Pode fornecer simulação manual ou automatizada do processo
Difícil de conectar com outros modelos existentes	Ligações verticais e horizontais, mostrando relacionamentos entre os processos e diferentes níveis de processo
Utiliza estruturas comuns de gerenciamento de arquivos	Utiliza repositório de modelos relacionados e suportado por BPMS
Apropriado para certas capturas rápidas de ideias	Apropriado para qualquer nível de captura de processos, análise e desenho
Não é adequado para importação por um BPMS	Pode ser importado por um BPMS

Fonte: Adaptado de ABPMP (2013).

A notação BPMN (Business Process Model and Notation) foi adotada neste trabalho por ser simples e difundida nas organizações.

Neste trabalho, a expressão *fluxograma de processo* poderá ser identificada com a expressão *modelo de processo*, preconizada pela ABPMP (Association of Business Process Model Professional).

O *diagrama de fabricação* empregado neste trabalho possui objetivo de representação similar àquele do *diagrama de processos* preconizado pela ABPMP.

4.5 Diagrama de fabricação

Na área espacial, normalmente após demonstrar que o produto projetado e qualificado atende os requisitos definidos para a missão, será fabricado o modelo de voo, que terá que ser equivalente ao modelo de qualificação.

Um dos objetivos do diagrama de fabricação é garantir que o modelo de voo possa ser fabricado de forma equivalente ao modelo de qualificação, ou seja, garantir a repetitividade de produção do modelo de qualificação.

O diagrama de fabricação presta-se, também, a possibilitar a rastreabilidade nos casos de falha de sistema ou equipamento. Falhas em processos de fabricação podem ser devidas a qualquer um dos elementos constantes de seu diagrama, tal como processos de fabricação deficientes, partes e materiais, ferramental, mão de obra e outros.

Para implementar esta sistemática, é imprescindível que seja desenvolvido para cada equipamento, como parte do projeto e de sua documentação, um diagrama de fabricação, contendo todos os processos necessários à fabricação do equipamento em referência.

O diagrama de fabricação deve conter relação completa de partes e materiais e de todas as operações, organizadas na forma de processos, necessárias à transformação de partes e materiais no equipamento correspondente.

Os processos constantes do diagrama de fabricação de determinado item de voo deverão ser aprovados para uso mediante plano de verificação e atualizados na lista de processos declarados do respectivo item de voo, contribuindo, assim,

com a abordagem geral de garantir que modelos de voo sejam funcional e construtivamente equivalentes aos modelos de qualificação.

Todos os processos serão detalhadamente definidos, com partes e materiais de entrada, uma descrição detalhada do ambiente e de todas as atividades para a execução do processo, uma definição de setup, incluindo o ferramental para sua execução e o treinamento de operadores.

Os diagramas de fabricação correspondentes a todos os equipamentos conterão o conjunto completo de processos que serão utilizados para a fabricação dos modelos de qualificação e de voo.

A fabricação do modelo de qualificação é iniciada com uma linha de base de processos, a qual, eventualmente, se modifica à medida que evolui o desenvolvimento e a qualificação do modelo de qualificação.

A linha de base, acima referida, também se modifica à medida que, durante a fase de qualificação ocorram falhas no sistema ou equipamento e a rastreabilidade de falha indique a necessidade de uma revisão de processo de fabricação. O eventual processo identificado será, então, revisto e requalificado.

Tomando como base o ciclo de vida preconizado pela ECSS, a partir da fase B prolongando-se até a fase C, são desenvolvidas as atividades de verificação e qualificação dos processos que serão utilizados na fabricação.

A definição do *diagrama de fabricação* deve ser iniciada a partir da definição da arquitetura de subsistemas, concluída na revisão SRR (*System Requirements Review*) (ECSS, 2019).

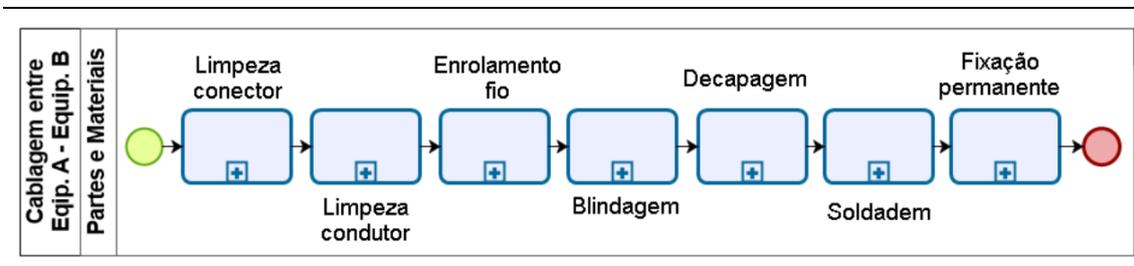
Os modelos de qualificação de equipamentos serão fabricados somente após a definição dos correspondentes *diagramas de fabricação* contendo processos qualificados, ou seja, somente após ter sido demonstrado que cada processo atende os respectivos requisitos aplicáveis.

O diagrama de fabricação poderá sofrer atualizações até a conclusão do modelo de qualificação (MQ).

O *diagrama de fluxo*, utilizando a notação BPMN, poderá ser usado como forma de representar os processos técnicos necessários à fabricação.

A Figura 4.11 ilustra um exemplo de um *diagrama do fluxo*, com os processos técnicos necessários para a fabricação de uma cablagem.

Figura 4.11 - Exemplo simplificado de diagrama de fluxo da fabricação da cablagem de conexão elétrica entre dois equipamentos, utilizando a notação BPMN.

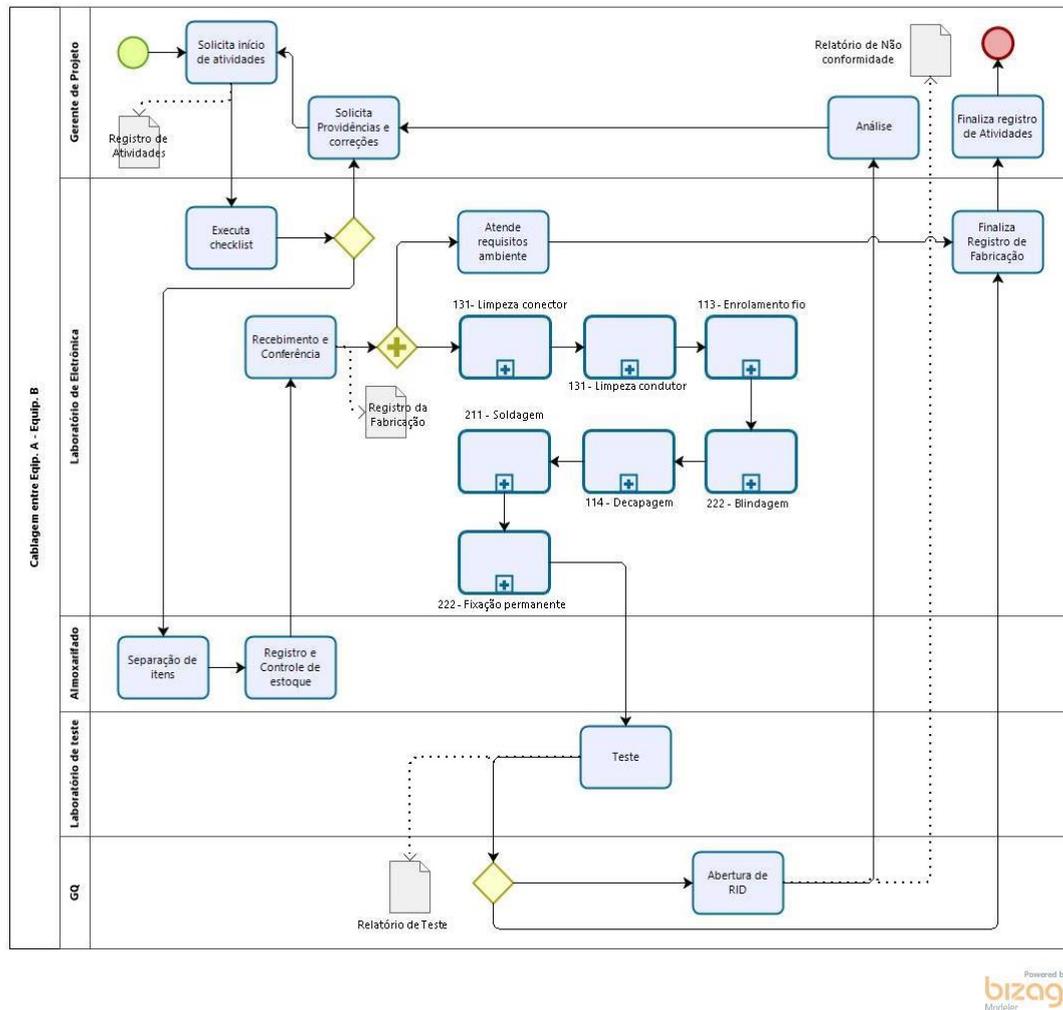


Fonte: Produção do autor.

O diagrama de fluxo de um dado processo técnico poderá dispor de complementos, mostrando outros processos (anteriores ou posteriores) e suas interações, detalhando e enriquecendo com informações os registros de gestão da qualidade.

A Figura 4.12 ilustra o mesmo *diagrama de fluxo* da fabricação de uma cablagem, porém, mostrando as interações com processos de outras áreas da organização.

Figura 4.12 - Exemplo de um diagrama de fluxo da fabricação de uma cablagem com as interações com outros processos.



Fonte: Produção do autor.

4.6 Qualificação e Verificação de processos

Na área espacial, os termos *avaliação*, *verificação* e *qualificação* possuem significados distintos, que variam conforme o contexto de sua aplicação. De acordo com o padrão ECSS (2012), quando o objetivo é analisar a qualidade, a expressão *verificação* é utilizada para processos, *validação* para materiais e

qualificação para partes mecânicas. A expressão *avaliação* é aplicada para materiais, partes mecânicas e processos.

A qualificação de um processo técnico de fabricação consiste, essencialmente, na demonstração de que o processo atende todos os requisitos pertinentes e que pode ser reproduzido a partir de um conjunto de informações. Em geral, tais informações compreendem a definição de partes e materiais de entrada, uma descrição detalhada do ambiente e de todas as atividades para a execução do processo, uma definição de setup, incluindo o ferramental para sua execução e o treinamento de operadores.

Na qualificação, conforme o padrão ECSS, todo processo é submetido a uma análise de criticidade para se adequar aos requisitos da missão. O objetivo da análise crítica é identificar se outros dados são necessários. O fornecedor deverá analisar todos os processos contidos nas suas listas preliminares em relação à criticidade (ECSS, 2019).

Os processos críticos deverão ser identificados no DPL (Declared Processes List) e incluídos na lista de itens críticos, além de ser objeto de uma *solicitação de aprovação* (*Request for Approval* - RFA) e submetidos à aprovação do cliente (ECSS, 2019).

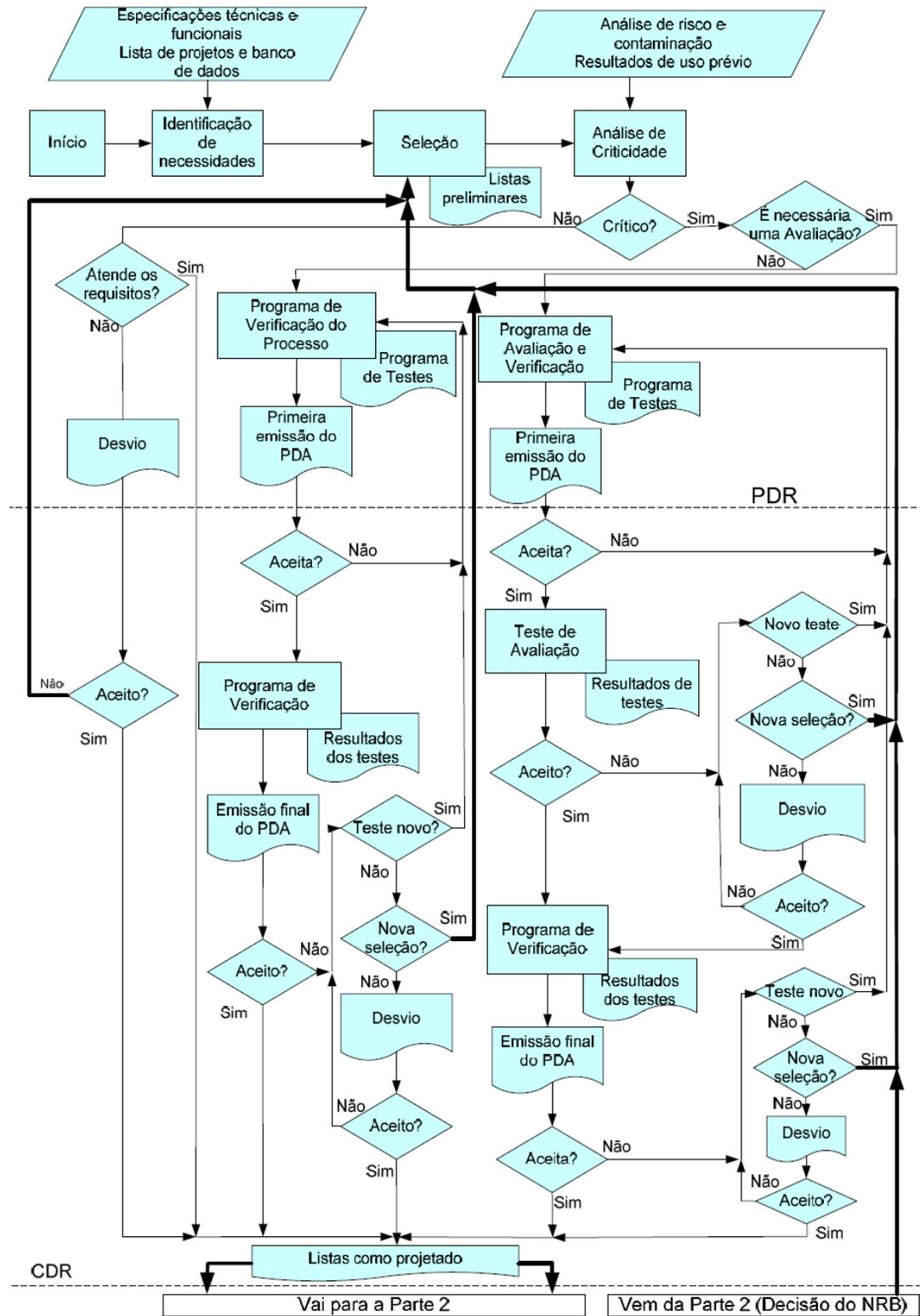
No padrão ECSS, (2019), os *processos especiais* recebem tratamentos diferentes dos *processos críticos* devendo estes ser identificados e controlados.

De acordo com a ECSS (2019), após a análise de criticidade, o fornecedor deverá realizar uma fase de avaliação, seguida de uma fase de verificação para todos os processos críticos (novos ou com mudanças importantes no uso ou na configuração), conforme ilustrado nas Figura 4.13 e Figura 4.14, que apresenta o tratamento dado a partes, materiais e processos no âmbito de um projeto, conforme o padrão ECSS.

Processos confidenciais seguem sistemática semelhante à de outros processos. O fornecedor deverá provar que o processo foi verificado, apresentando, por

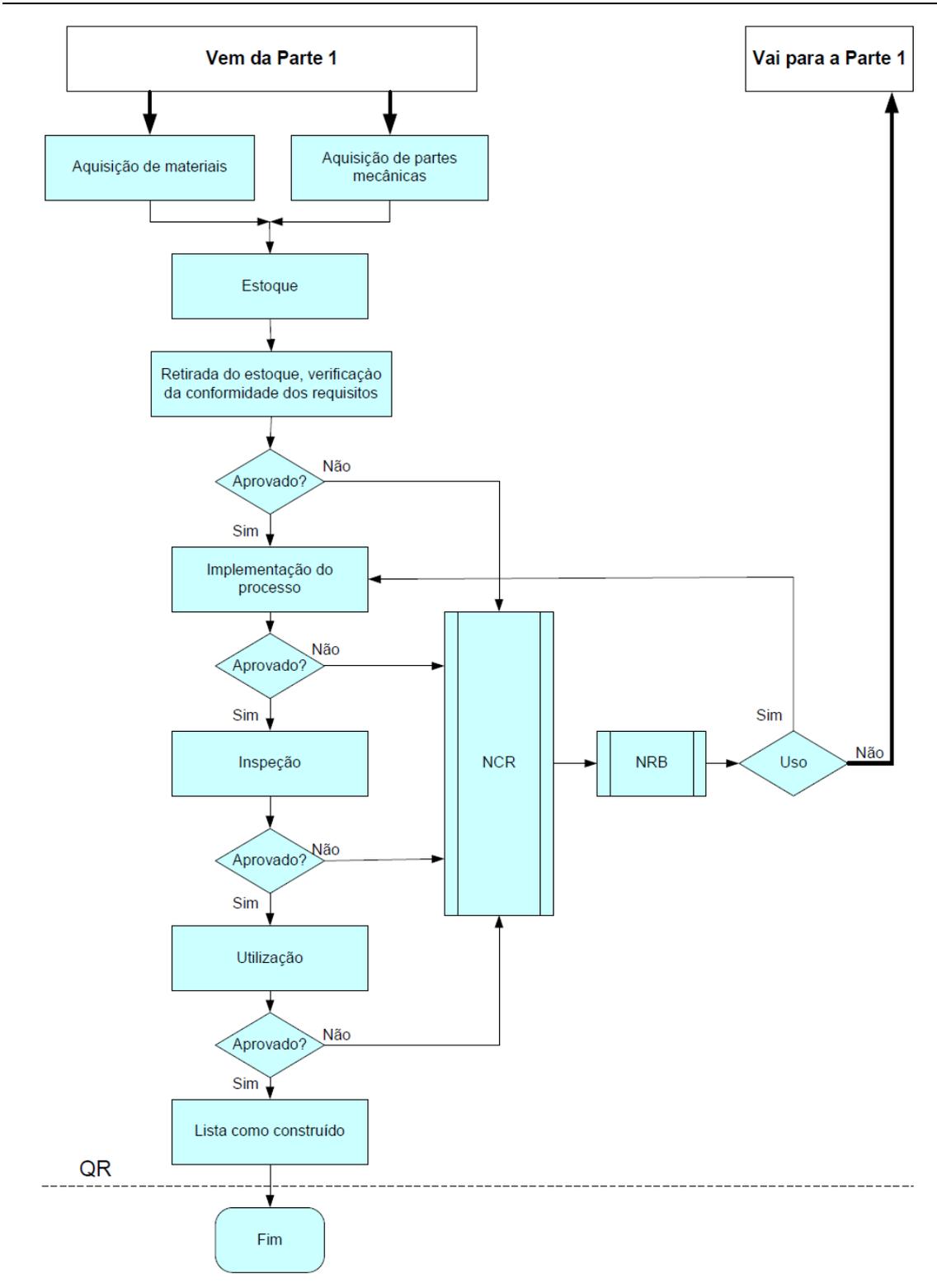
exemplo, um certificado de verificação de agências espaciais ou de outra organização governamental que realize ou possa atestar a realização da verificação em questão (ECSS, 2019).

Figura 4.13 - Fluxograma de materiais, partes mecânicas e processos.



Fonte: Adaptado de ECSS (2019).

Figura 4.14 - Fluxograma de materiais, partes mecânicas e processos (continuação).



Fonte: Adaptado de ECSS (2019).

A avaliação para cada processo crítico deve considerar minimamente o seguinte:

- a) os limites de uso;
- b) os valores, determinados por amostras de teste ou amostras de tecnologia, de parâmetros relevantes e suas tolerâncias; e
- c) critérios de aceitação (ECSS, 2019).

Conforme o padrão ECSS, quando uma avaliação é realizada, o fornecedor deve fornecer um plano de avaliação na revisão preliminar de projeto (PDR) e um relatório de avaliação antes da revisão crítica de projeto (CDR) (ECSS, 2019).

No padrão ECSS, o fornecedor deve implementar para cada processo crítico um programa de verificação e garantir que os processos satisfaçam os requisitos da missão. O status de verificação de cada processo crítico deve ser estabelecido na revisão crítica de projeto (CDR), levando em consideração os resultados de testes, bem como da revisão da documentação correspondente. O programa de verificação e correspondente relatório devem ser aprovados pelo cliente (ECSS, 2019).

O padrão ECSS (2019) estabelece que os processos não devem receber aprovação e constar da lista de processos declarados, antes que a totalidade dos requisitos das fases de avaliação e verificação estejam satisfeitos ou sido objeto de *desvios (waiver)* aceitos.

Com efeito, no caso de não aprovação, o fornecedor responsável pelo item deve:

- a) selecionar outros processos, ou
- b) propor um programa de avaliação modificado e reenviar para aprovação, ou
- c) se as ações 1 e 2 não produzirem resultados positivos, iniciar um procedimento de desvio (ECSS, 2019).

De acordo com o padrão ECSS, processos que apresentem não conformidades, seja no final da análise de criticidade ou dos testes de avaliação e verificação, devem ser objeto de uma solicitação de desvio (ECSS, 2019).

4.7 Garantia do produto referente a processos e fases de um programa

Utilizando como referência as fases do ciclo de vida preconizadas pela ECSS (2019), estabelecem-se atividades da garantia do produto relativamente a materiais, partes e processos, conforme descrito a seguir.

a) Fase de viabilidade (fase A)

Na fase A, as tarefas de garantia do produto objetivam:

- identificar as principais restrições do programa referentemente materiais, partes e processos;
- definir a política de qualidade correspondente; e
- planejar as tarefas de garantia do produto para a fase de definição do projeto.

b) Fase de projeto preliminar (fase B)

Na fase B, as tarefas são da qualidade objetivam:

- definir ou identificar requisitos;
- identificar os principais itens críticos e planejar ações correspondentes para a fase C;
- planejar as tarefas de garantia do produto para o desenvolvimento, projeto detalhado, fabricação, integração e teste; e
- apoiar a revisão preliminar de projeto.

c) Fases de projeto detalhado e de *produção e qualificação* (fases C e D)

Nas fases C e D, as tarefas de garantia da qualidade objetivam:

- identificar materiais, peças mecânicas e processos;
- emitir listas preliminares;
- identificar itens críticos;
- estabelecer ou rever a RFA;

- apoiar a identificação obrigatória dos pontos de inspeção;
- estabelecer programa de avaliação, realizar testes ou revisar os resultados de testes;
- estabelecer programas de validação, qualificação e verificação (por exemplo, realizar testes ou rever os resultados dos testes);
- apoiar o processamento de não conformidades;
- estabelecer as listas “*como projetado*” (as-designed);
- apoiar a revisão crítica do projeto;
- apoiar a revisão de qualificação;
- estabelecer as listas finais “*como fabricado*” (as-built);
- suporte à liberação de fabricação de hardware de voo;
- apoiar a revisão final de aceitação.

d) Fase de utilização (fase E)

Na fase E, as tarefas de garantia da qualidade objetivam:

- apoiar a investigação de anomalias na fase operacional; e
- atualizar as listas de materiais, partes mecânicas e processos para incorporar os novos itens que foram adicionados ou alterados como resultado das atividades de correção ou aceitação (via *waiver*) de não conformidades. Em particular, as listas de materiais, partes mecânicas ou processos, devem incluir os itens que realmente voaram e suas cargas úteis (ECSS, 2019 p. 65).

4.8 Controle e uso de processos

O controle de processos deve assegurar que todos os processos usados na fabricação do modelo de qualificação e de voo sejam detalhadamente documentados, com critérios de rejeição e aceitação (ECSS, 2019).

Em linhas gerais, o controle de processos tem por objetivo garantir que todo processo “... *esteja apto para ser utilizado na fabricação do modelo de qualificação ou de voo ...*”, seja “... *documentado e repetitivo ...*”, gere “...

produtos que atendam requisitos de projeto ...” e que tenham “... modificações necessárias sempre atualizadas ...” (ECSS, 2019).

Se identificada a necessidade de avaliação, como um dos resultados da análise de criticidade do processo, o processo é submetido à fase de avaliação antes da fase de verificação. Na fase de avaliação, serão considerados os limites de seu uso, os valores de parâmetros relevantes, determinados através de amostras de teste ou amostras de tecnologia, e suas tolerâncias e critérios de aceitação (ECSS, 2019).

Para processos que não estejam em conformidade com os requisitos do projeto, seja no final da análise de criticidade ou dos testes de avaliação e verificação, o fornecedor deverá apresentar um pedido de desvio (*waiver*), de acordo com padrões internos, previamente definidos. Os processos definidos como não críticos não necessitam de solicitação de aprovação. Entretanto, estes processos também devem ser controlados (ECSS, 2019).

O controle de processos, estabelecido no padrão da ECSS, prevê, ainda, ações suplementares de controle, como descritas a seguir.

4.8.1 Controle de status de verificação

O status de verificação do processo, conforme indicado na Tabela 4.3, é atribuído conforme padrões internos.

O fornecedor deverá confirmar que todos os processos críticos foram verificados anteriormente à fabricação de modelos de qualificação e de voo.

Qualquer modificação, mudança de condição de aplicação ou de configuração de aplicação levará a uma reavaliação da conformidade do processo.

Tabela 4.3 - Controle de status de verificação de processo.

Código	Descrição
A	Aprovado. Todos os processos com esta classificação podem ser utilizados sem restrições
X	Aprovado via solicitação de aprovação (<i>Request For Approval</i>). Estes processos foram submetidos a programas de avaliação e verificação.
W	Aprovado com concessão. Estes processos não atendem a todos os requisitos do projeto, mas são utilizados por razões especiais. Como diretriz, seu uso deve ser reduzido na medida do possível.
P	Pendente de uma decisão. Processos para os quais um relatório de verificação ou um pedido de desvio encontra-se sob avaliação do cliente.
O	Aberto. Novos processos, para os quais, investigações, avaliações e verificações se encontram em andamento.
R	Rejeitado.
D	Descartado. Esta classificação aplica-se a processos aprovados em outros projetos, mas que se encontram em desuso.

Fonte: Adaptado de ECSS (2019).

4.8.2 Reverificação do processo

Em circunstâncias em que não haja unanimidade em um grupo revisor (review board) acerca do status de algum processo, é indicado que se realize uma reverificação do processo, mediante nova solicitação de aprovação.

4.8.3 Implementação de processos

Anteriormente ao instanciamento prático de um processo, o fornecedor deve garantir que o treinamento de operador(es) tenha ocorrido e que o ambiente, meios e documentação tenham sido disponibilizados de forma adequada. Deverá ser assegurado que:

- a fabricação e as ferramentas de controle de qualidade associadas ao processo estejam adequadas, calibradas, mantidas adequadamente e usadas sob condições ambientais e de limpeza, em conformidade com os requisitos aplicáveis;
- a equipe de execução esteja treinada e certificada;
- as especificações de processos, fabricação e procedimentos de inspeção e normas de mão de obra estejam disponíveis, incluindo a definição de operações de fabricação e a existência de critérios de aceitação.

4.8.4 Rastreabilidade de processos, processamento de não conformidades, alertas e pontos de inspeção obrigatórios

A rastreabilidade, o processamento de não conformidades os alertas e os pontos de inspeção obrigatórios (Mandatory Inspection Points) devem ser definidos em conformidade com requisitos e padrões internos, previamente definidos.

De acordo com o padrão ECSS, um alerta é uma “... *notificação formal aos usuários, informando-os de falhas ou não conformidade ...*” (ECSS, 2019). Na prática, programas de alertas são instituídos em âmbito intraorganizacionais, de modo a comunicar, de forma expedita, a ocorrência de problemas com partes, materiais e processos. Tais programas objetivam minimizar, ou, quando possível, erradicar, a ocorrência de problemas de natureza recorrente, associados a partes, materiais e processos. Possibilitam, assim, o incremento da confiabilidade de equipamentos desenvolvidos no âmbito de programas multi-organizacionais. Relatórios de alerta são preparados quando um item de uso amplo, ou seja, de uso intra- e inter-organizacionail, apresenta uma não conformidade que poderá afetar outros usuários. Tais relatórios são distribuídos aos participantes do programa de alerta¹.

4.9 Classificações técnicas de processos de fabricação

Para executar o controle dos processos técnicos de fabricação, é necessário que se estabeleça uma classificação para processos.

Para a classificação de processos, seguir-se-á uma abordagem em que a identidade de cada processo é definida pelo tipo de operação dominante a que a(s) entrada(s) do processo é(são) submetida(s).

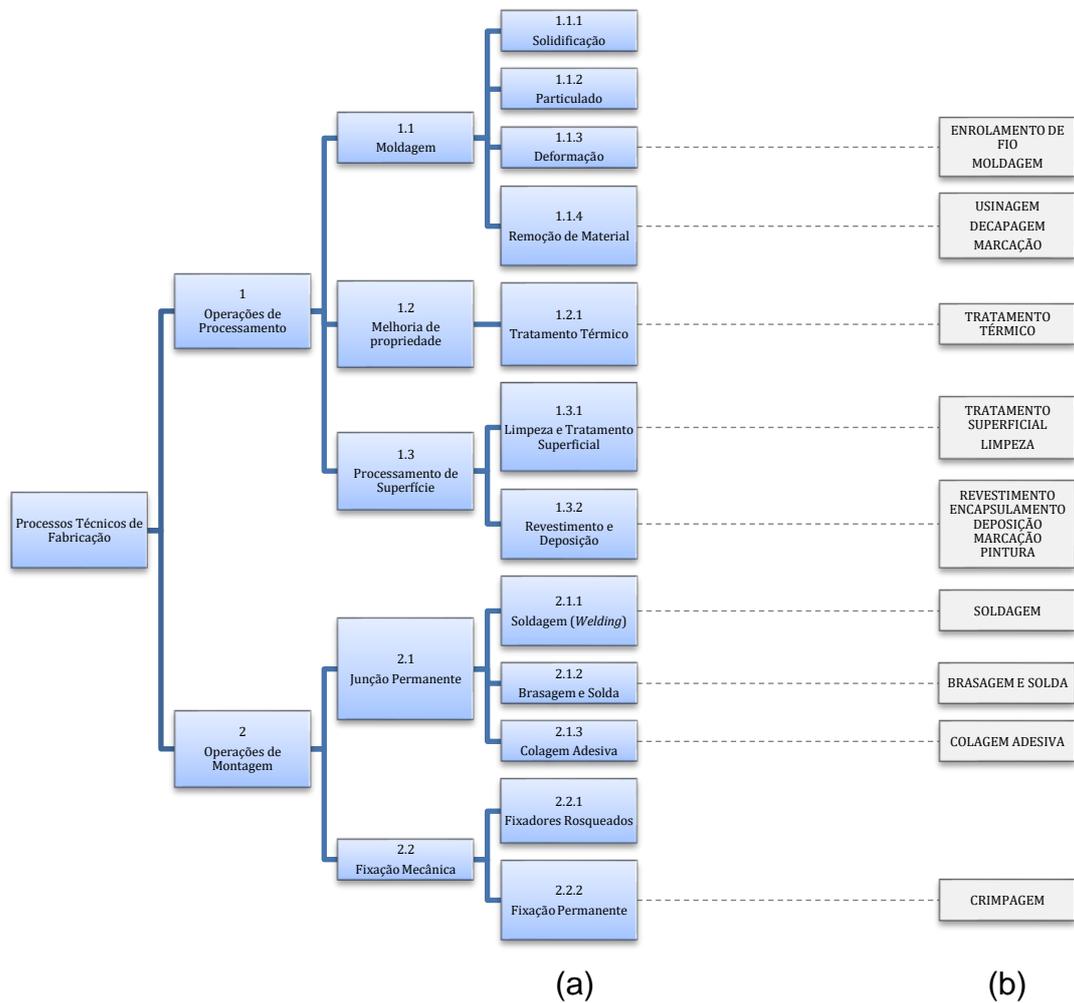
¹ Lockheed Missiles and Space Corporation, Parts, Materials, and Processes Experience Summary, Vol. 1, Scientific and Technical International Office-NASA, Washington, 1973

Nas Figura 4.15 e Figura 4.16, estão ilustradas as classificações de processos de fabricação propostas por Groover (2019), padrão ECSS (2019) e Grupo da Engenharia do Produto (GEP) do INPE.

A Figura 4.16 mostra uma comparação entre a classificação proposta por Groover e lista de processos padrão ECSS. No quarto nível, observa-se que a classificação Groover apresenta um número de subdivisões superior àquele apresentado pela classificação ECSS. Especificamente, a classificação ECSS não contempla as categorias *Solidificação* e *Particulado* sob a categoria *Moldagem* e a categoria *Fixadores Rosqueados* sob a categoria *Fixação Mecânica* e *Fixadores Rosqueados*.

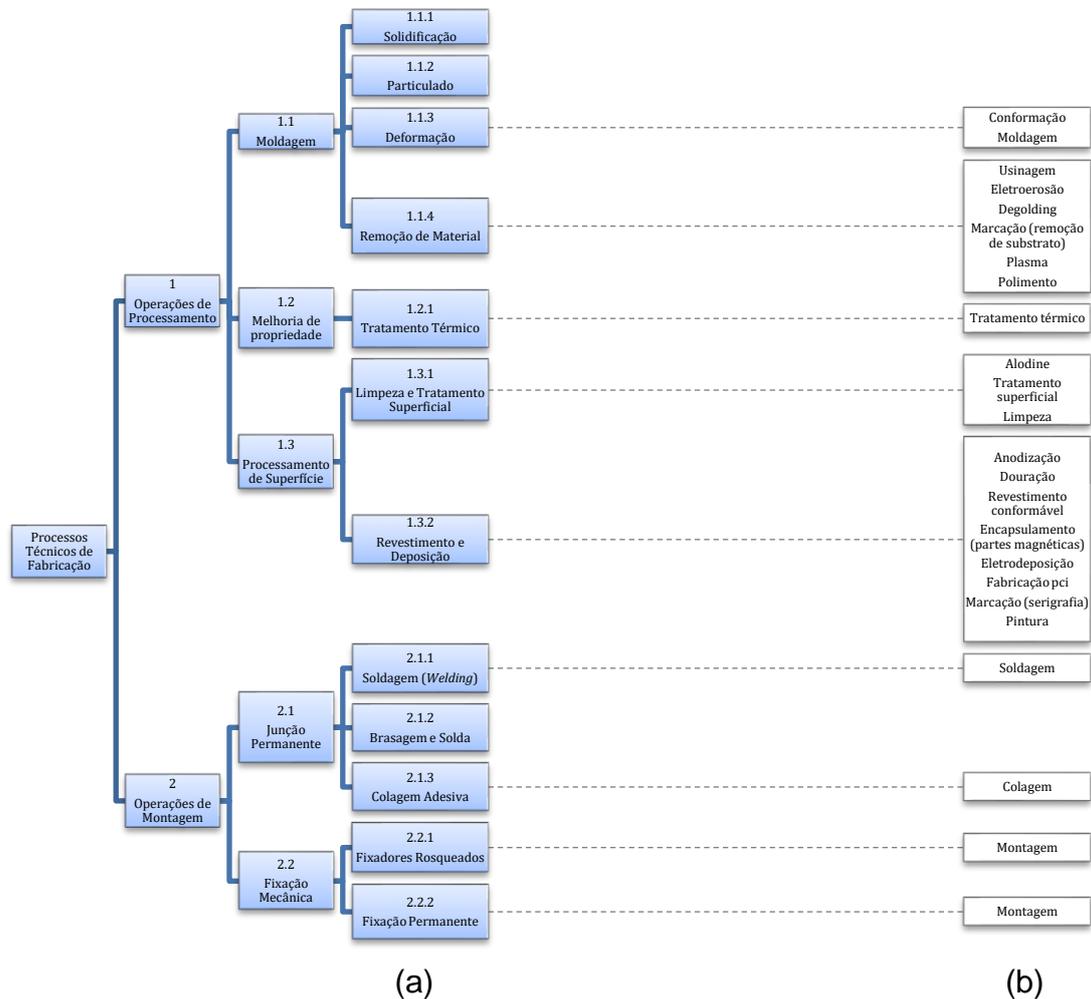
Na segunda comparação mostrada na Figura 4.16, as classificações propostas por Groover e INPE, também há completa aderência entre as duas classificações nos três primeiros níveis. No quarto nível, observa-se que a classificação Groover apresenta um número de subdivisões superior àquele apresentado pela classificação INPE. Especificamente, a classificação INPE não contempla as categorias *Solidificação* e *Particulado* sob a categoria *Moldagem* e a categoria *Brasagem e solda* sob a categoria *Fixação Permanente*.

Figura 4.15 - Comparação da classificação de processos de fabricação entre Groover (a) e ECSS (b).



Fonte: Adaptado de Groover (2019) e ECSS (2019).

Figura 4.16 - Comparação da classificação de processos de fabricação entre Groover (a) e GEP do INPE (b).



Fonte: Adaptado de Groover (2019) e INPE (2018).

Como exemplo de aplicação da classificação de processos técnicos proposta neste trabalho serão analisadas a seguir, as informações disponibilizadas pela empresa Micropress para a fabricação de Printed Circuit Board (PCB).

De acordo com a Micropress (2020), para fabricar uma PCB de placa dupla face, são necessários dezenove processos relacionados na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 - Processos necessários para a fabricação de PCB de placa dupla face.

01	<i>Laminado base</i> ¹
02	Furação
03	Metalização direta
04	Laminação do <i>dry-film</i>
05	Exposição fotográfica do <i>dry-film</i>
06	Revelação do <i>dry-film</i> (2ª metalização)
07	Proteção com estanho
08	Remoção do <i>dry-film</i>
09	Corrosão do cobre
10	Remoção do estanho
11	Máscara de solda fotográfica
12	Exposição da máscara de solda
13	Revelação da máscara de solda
14	Máscara de componentes fotográfica
15	Exposição da máscara de componentes
16	Revelação da máscara de componentes
17	Acabamento da superfície
18	Acabamento mecânico
19	<i>Teste elétrico</i> ²

Fonte: Adaptado de Micropress (2020).

Observações:

1 – Seguindo a identificação de processos técnicos de fabricação proposta neste trabalho, “*laminado base*” pode ser considerado o elemento de entrada do processo, portanto, não possui correlação com a classificação de processos técnicos de fabricação;

2 – Seguindo a definição de processos técnicos de fabricação proposta neste trabalho, testes não transformam o material de trabalho, portanto, não possuem correlação com a classificação de processos técnicos de fabricação.

Complementando as informações contidas na Tabela 4.4, a Figura 4.17 ilustra o fluxo dos processos de fabricação de uma PCB de placa dupla face que será utilizada como referência para o exemplo de uma aplicação da classificação de processos proposta neste trabalho.

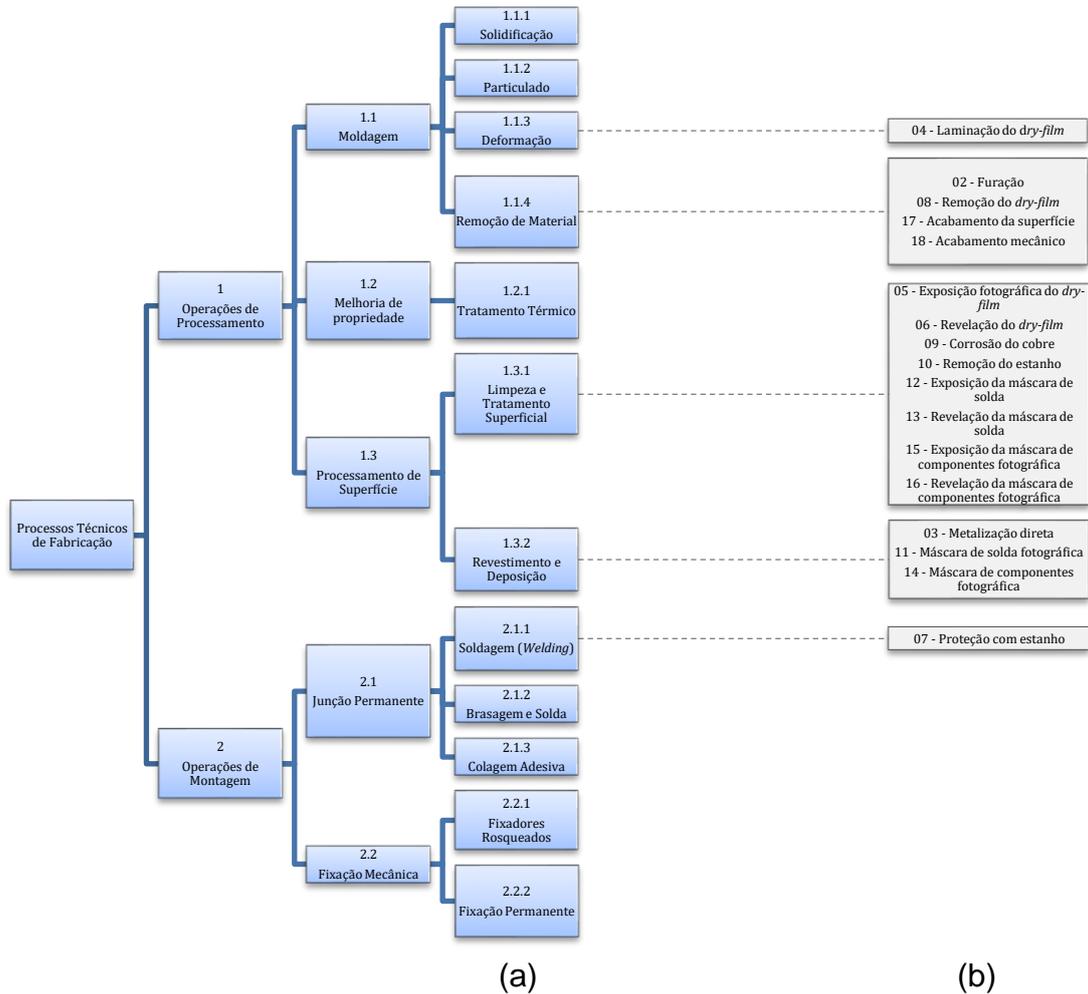
Figura 4.17 - Fluxo de processos de fabricação de Placa de Circuito Impresso dupla face.



Fonte: Adaptado de Micropress (2020).

Como exemplo de aplicação da classificação técnica de processos de fabricação, a Figura 4.18 apresenta uma comparação entre os processos de fabricação de PCI de dupla face da Micropress e a classificação de processos proposta por Groover.

Figura 4.18 - Comparação da classificação de processos de fabricação de Groover (a) e processos de fabricação de PCI dupla face da Micropress (b).



Fonte: Adaptado de Groover (2019) e Micropress (2020).

Como resultado desta comparação, observa-se que a classificação Groover apresenta um número de subdivisões suficientes para classificar processos de fabricação de PCI de maneira simplificada, conforme ilustrado na Figura 4.18.

5 PROCESSO DE FABRICAÇÃO NO ÂMBITO DO PROGRAMA ESPACIAL BRASILEIRO

No Brasil, as atividades espaciais são desenvolvidas pelo chamado Sistema Nacional de Desenvolvimento de Atividades Espaciais (SINDAE), envolvendo órgãos de governo, empresas e instituições de ensino². Há que se destacar o papel desempenhado pelos principais órgãos setoriais do SINDAE, responsáveis pelo avanço nas tecnologias para acesso ao espaço. O Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DCTA), através do Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE), e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) são reconhecidos, nacionalmente, como responsáveis pelos avanços tecnológicos em foguetes e satélites, respectivamente.

As organizações nacionais se amoldaram à realidade e aos desafios enfrentados em cada projeto espacial, principalmente através de adaptações aos padrões da ECSS e NASA.

O tratamento de processos de fabricação de sistemas espaciais no Brasil, com base em avaliação do histórico de projetos dos últimos cinco anos do INPE e IAE, apresenta similaridade, principalmente, com o tratamento preconizado pelo padrão ECSS.

No âmbito do DCTA, e principalmente do Instituto de Aeronáutica e Espaço, utilizam-se, principalmente, os padrões da NASA e ECSS como referência para padronização de seus processos técnicos de fabricação, inexistindo um padrão interno à organização. O uso de padrões internacionais como referência dota a organização com versatilidade, para que esta se adeque rapidamente às frequentes mudanças e à diversidade de projetos.

O Serviço de Engenharia da Qualidade do INPE possui padrões internos, desenvolvidos no âmbito do próprio INPE, os quais definem, para materiais e processos, os requisitos a serem seguidos na fabricação de produtos espaciais,

² <http://www.aeb.gov.br/programa-espacial-brasileiro/politica-organizacoes-programa-e-projetos/sistema-nacional-de-desenvolvimento-de-atividades-espaciais/>

contratados ou fabricados internamente. O SEQ-INPE, através do Grupo da Engenharia do Produto (GEP), implementa uma sistemática para o tratamento de processos de fabricação, baseada em definições e procedimentos. O GEP-INPE dispõe de *procedimentos, descrições de requisitos de documentos* (DRD) e requisitos de processos para apoiar a implementação desta sistemática (ECSS, 2019). Todos os processos utilizados em projetos devem ser apresentados de acordo com os requisitos de processos adotados pelo GEP-INPE (INPE, 2018).

Todo processo de fabricação, utilizado na fabricação de algum equipamento, deve ser listado na lista de partes, materiais e processos correspondente ao referido equipamento. Todo processo deve ser descrito seguindo um padrão, que define os elementos *entradas, saídas, facilitadores, controles e passo-a-passo*.

Conforme o GEP-INPE, *processo de fabricação* é definido como “... conjunto de atividades inter-relacionadas, definidas, repetitivas e mensuráveis que agregam valor ao transformar entradas em saídas ...”. Entre os processos de fabricação, destacam-se os *processos especiais*, cuja definição é dada por “... (processos para os quais não é) possível evidenciar uma determinada característica ou funcionalidade a não ser por meio de ensaio destrutivo ...” (INPE, 2018).

Requer-se que todo *processo especial* seja submetido a uma *qualificação de processo*, que consiste, essencialmente, em demonstrar, através de testes em corpos de prova, a conformidade de um *processo especial* a requisitos previamente definidos (INPE, 2018).

Conforme a sistemática acima referida, a lista de processos submetida por um fornecedor é avaliada pelo GEP-INPE, de modo a identificar o status de cada processo.

Processos são, então, classificados em processos *especiais* e convencionais: para os processos convencionais, exige-se que possuam uma descrição completa, como acima referida, de modo que apresentem garantia de

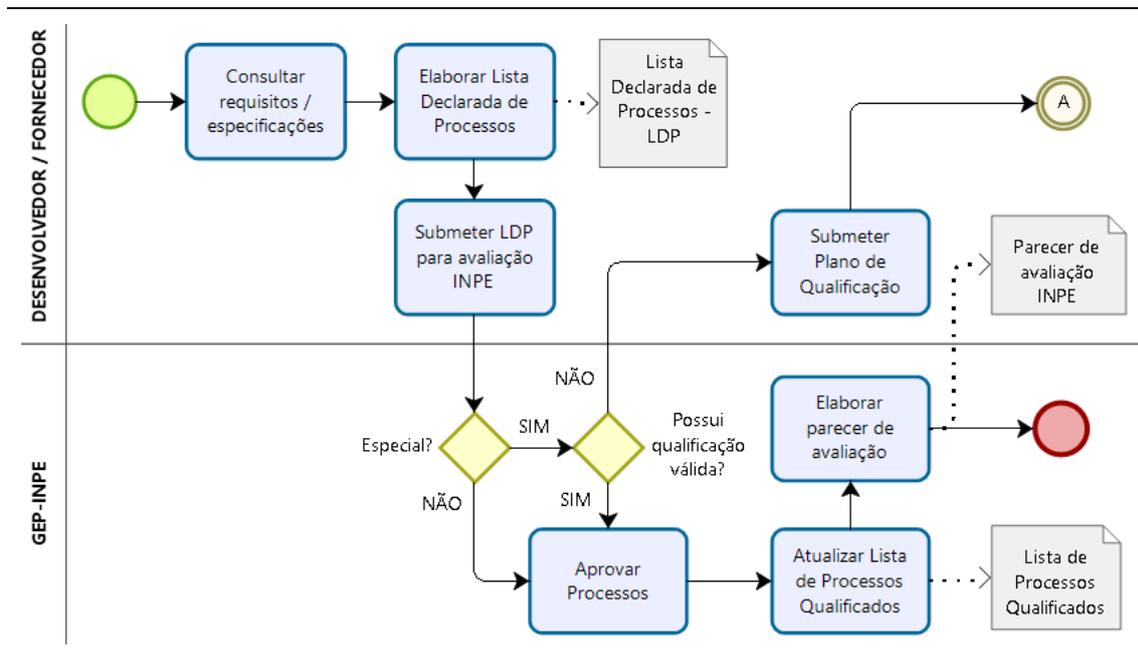
reprodutibilidade; já, os processos *especiais* são subdivididos entre aqueles que possuem qualificação prévia e aqueles que não a possuem.

Para o primeiro grupo, avalia-se se apresentam documentação completa, que inclui a descrição do processo, o relatório de qualificação, um parecer sobre a atualização técnica do processo e a situação do processo referentemente a possíveis alertas. Dependendo desta análise e da validade da qualificação do processo, o processo poderá, eventualmente, ser destinado a nova qualificação.

Referentemente aos processos especiais sem qualificação prévia, estes passam a ser objeto de uma *análise detalhada*, que tem como entradas o *plano de qualificação*, submetido pelo fornecedor, e a localização do processo em questão no *diagrama de fabricação* do equipamento. Uma vez aprovado o plano de qualificação pelo GEP-INPE, após eventuais iterações, o plano é implementado através da confecção de corpos de prova, que, submetidos a testes e, eventualmente, posterior DPA (*Destructive Physical Analysis*), devem demonstrar que o processo atende todos os requisitos aplicáveis, incluindo reprodutibilidade.

Para um melhor entendimento, a Figura 5.1 ilustra, através de um diagrama de fluxo, os passos que devem ser seguidos para avaliação da *Listra Declarada de Processos* (LDP) para uso em programas espaciais do INPE. O resultado desta avaliação indicará para cada processo da LDP, a necessidade ou não de implementar um *Plano de Qualificação* (INPE, 2018).

Figura 5.1 - Fluxograma da avaliação de LDP conforme padrões do GEP do INPE.



Fonte: Adaptado de INPE (2018).

Detalhando, adicionalmente, a qualificação de processos *especiais* de fabricação, no âmbito do INPE, observa-se que a organização fornecedora de um equipamento, ou elemento de nível superior, deverá apresentar um *Plano de Qualificação* conforme os requisitos descritos em SESEQ-E-DDD-00007 V02 - *Plano de Qualificação de Processos*.

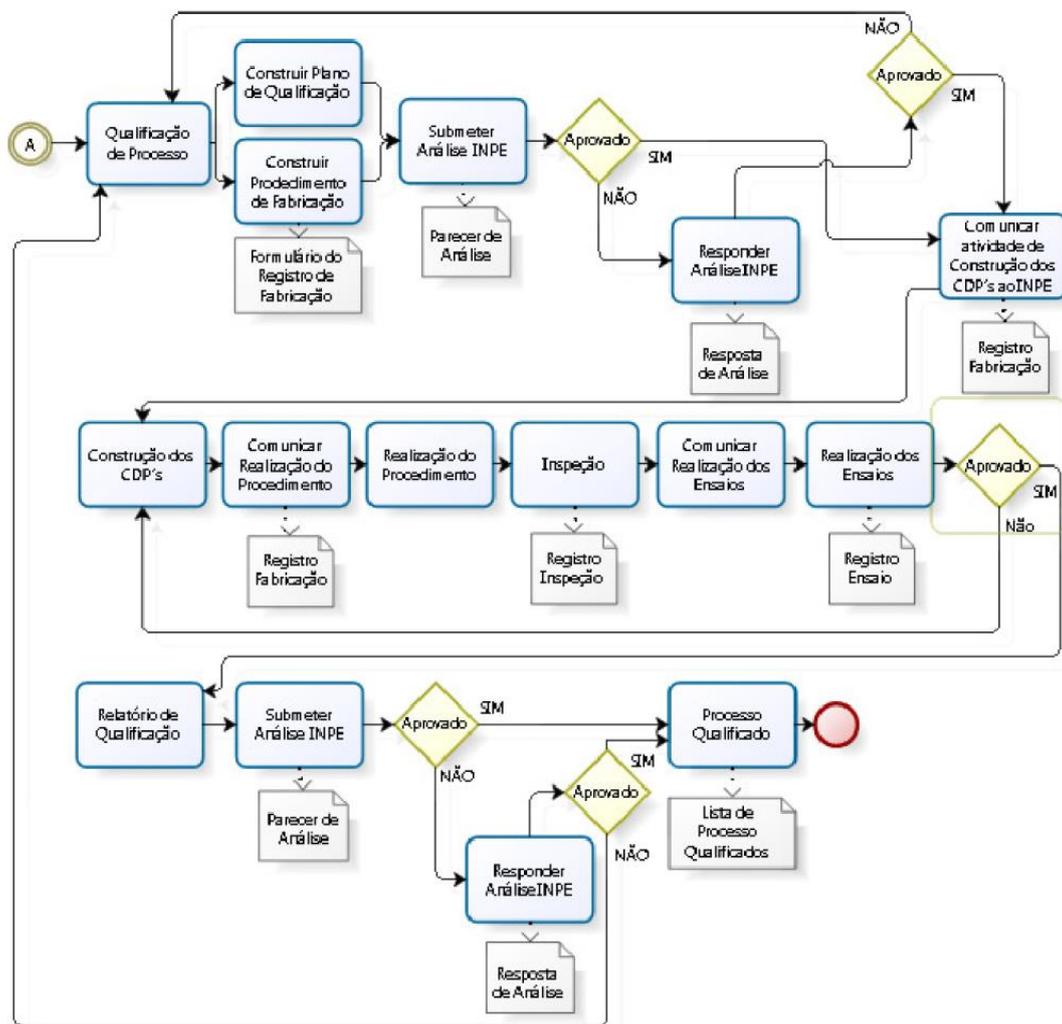
Conforme a referida DRD, o plano deverá conter, ao menos, os seguintes elementos:

- Identificação do documento;
- Apresentação do documento;
- Documentos aplicáveis;
- Documentos de referência;
- Definições e acrônimos;
- Mão de obra;
- Materiais, partes mecânicas e componentes;
- Equipamentos;

- Condições do ambiente;
- Identificação, manuseio, transporte, embalagem e armazenamento;
- Fluxograma de qualificação;
- Ensaio;
- Requisitos de aceitação;
- Corpos de prova;
- Procedimento de fabricação;
- Relatório de qualificação;
- Avaliação de desvios e falhas; e
- Requalificações (ECSS, 2019).

A Figura 5.2 ilustra, através de um diagrama de fluxo, os passos que devem ser seguidos para obter a qualificação de um processo.

Figura 5.2 - Fluxograma da qualificação de processos conforme padrões do GEP do INPE.



Fonte: Adaptado de INPE (2018).

Finalmente, no âmbito da sistemática para o tratamento de processos em projetos, observa-se que enquanto que na fase de projeto a lista de processos deverá constar do pacote de dados *“as-designed”*, após a fabricação do modelo de qualificação do equipamento em referência, a referida lista deverá constar do pacote de dados *“as-built”*.

Observa-se que a formalização do tratamento de processos, no âmbito de um projeto, constitui-se em elemento essencial para o sucesso da filosofia de qualificação de sistemas espaciais. Sem que se garanta a reprodutibilidade de processos, em nível muito elevado, torna-se praticamente impossível garantir

que um modelo de voo tenha a mesma aderência a requisitos demonstrada para um modelo de qualificação. Assim, considerando os custos envolvidos no desenvolvimento, fabricação e integração de sistemas espaciais, pode-se desperdiçar esforços ponderáveis, inclusive a própria missão como um todo, caso não se implemente uma sistemática robusta para o tratamento de processos de fabricação.

De acordo com relatos do GEP-INPE, foram desenvolvidos alguns programas de satélites, como o CBERS3&4 e AMAZONIA1, os quais utilizaram e compartilharam processos técnicos de fabricação. Neste contexto, foi avaliada a aderência dos requisitos dos processos técnicos qualificados por um programa de maneira a utilizá-lo novamente em outro. A Tabela 5.1 mostra alguns dos processos técnicos qualificados por duas empresas para o programa CBERS3&4 e alguns reutilizados no programa AMAZONIA1.

Tabela 5.1 - Processos técnicos qualificados para o programa CBERS3&4 e reutilizados no programa AMAZÔNIA1.

Processos Qualificados para o Programa CBERS3&4	Processos reutilizados no Programa AMAZONIA1	
	Omnisys	Equatorial
Processo de Aplicação de Alodine em Superfícies de Alumínio	X	X
Processo de Preparação e Aplicação da Resina CV-2946	X	X
Processo de Preparação e Utilização do Adesivo EC2216	X	X
Processo de Soldagem de Componentes SMT	X	X
Processo para Pré-formação de Componentes Flat-Pack na Máquina Fancort	X	X
Processo para Soldagem de Conectores SMA em Cabos Coaxiais Semirrígidos	X	-
Processo de Colagem de Absorvedores de Microondas	X	-
Processo de Aplicação de Interfiller	X	-
Processo de Preparação e Utilização do silicone CV-2500	-	-
Processo de Preparação e Utilização epóxi STYCAST 2850FT Black	-	-
Processo de Preparação e Utilização epóxi EPO-TEK 930	-	-
Processo de Preparação e Utilização RTV566	-	-
Processo de limpeza de componentes em PCI	-	-
Processo de marcação e identificação com tinta MAP-PU	-	-
Processo de pintura com tinta Z-306	-	-
Processo de tratamento térmico de alívio de tensão de peças da liga de alumínio 6061	-	-

Fonte: Adaptado de INPE (2018).

Observa-se que os processos qualificados para o programa CBERS3&4 extrapolam a necessidade de processos no âmbito do programa AMAZONIA1. Durante a avaliação da lista de processos declarados, foram revisitados os

requisitos destes processos frente à sua aplicação em equipamentos e seu uso no espaço. Dado que materiais e ambientes são equivalentes, a garantia do produto do INPE considerou-os adequados ao reuso, sem que uma nova qualificação se fizesse necessária. Assim, há evidente economia de escala na adoção de processos qualificados em um programa por outro programa da mesma organização. Contudo, é possível inferir, pelo exemplo, que seria possível uma redução de custos ainda maior no licenciamento ou compartilhamento dos processos de uma empresa por outra empresa.

6 UTILIZAÇÃO DE UMA BASE DE DADOS DE PROCESSOS NO ÂMBITO DO PROGRAMA ESPACIAL BRASILEIRO

As informações referentes a processos técnicos qualificados são de grande relevância para projetos futuros. Com a implementação de uma base de dados de processos técnicos, que disponibilize informações sobre processos já utilizados em missões, até a data presente, viabiliza-se o uso destas informações, de forma parcial ou integral, em missões futuras, proporcionando economias de tempo e custo, bem como ganhos em confiabilidade.

Observa-se que o reúso de processos técnicos de fabricação entre programas e projetos somente torna-se viável com o estabelecimento de uma base de dados de processos, que permita o armazenamento e o acesso a informações, tais como: descrições de processos, registros relativos à qualificação de processos especiais, o histórico de utilização de um dado processo, a relação de alertas associados a um dado processo, registros acerca das diversas versões de um processo, entre outras.

De modo a que se possa estabelecer uma base de dados de processos, por sua vez, há a necessidade de que se introduza uma classificação e uma identificação de processos, que seja comum às missões e projetos desenvolvidos no âmbito de uma organização ou conjunto de organizações, de modo que as informações possam ser organizadas e recuperadas no âmbito da base de dados de processos.

Serão descritas, a seguir, propostas para a classificação e identificação de processos, visando sua aplicação na base de dados de processos para viabilizar o reúso de processos. Ao final desta seção, será descrita a proposta para a organização de informações sobre processos em uma base de dados de processos.

6.1 Proposta de classificação de processos técnicos na área espacial

Os processos técnicos de fabricação podem ser classificados inicialmente conforme o tipo de transformação no material de trabalho.

A Tabela 6.1 apresenta o arcabouço de classificação de processos de fabricação, originalmente proposto por Groover, o qual busca classificar processos técnicos de fabricação conforme o principal tipo de transformação que ocorre no material de trabalho.

Tabela 6.1 - Proposta de classificação de processos técnicos de fabricação conforme tipo de transformação do material de trabalho.

Processos Técnicos de Fabricação	1. Operações de Processamento	1.1. Moldagem	1.1.1. Solidificação
			1.1.2. Particulado
			1.1.3. Deformação
			1.1.4. Remoção de material
		1.2. Melhoria de propriedade	1.2.1. Tratamento Térmico
		1.3. Processamento de superfície	1.3.1. Limpeza e tratamento superficial
	1.3.2. Revestimento e deposição		
	2. Operações de montagem	2.1. Junção permanente	2.1.1. Soldagem – <i>Welding</i>
			2.1.2. Brasagem e Solda
			2.1.3. Colagem adesiva
2.2. Fixação mecânica		2.2.1. Fixadores rosqueados	
	2.2.2. Fixação permanente		

Fonte: Adaptado de Groover (2019).

Níveis adicionais de classificação poderão ser agregados ao arcabouço da Tabela 6.1, com detalhamento adicional, a partir das informações extraídas dos elementos de cada processo.

Cada processo classificado de acordo com o tipo de transformação, como descrito na última coluna da Tabela 6.1, poderá experimentar variações na sua execução, ou seja, variações que se expressam em modificações de um ou mais elementos (entradas, atividades (passo-a-passo), saídas, controles e facilitadores) de sua descrição. O gerenciamento destas variações em uma base de dados poderá mostrar-se de difícil governabilidade, dada a possibilidade de

existência de um número elevado de processos que, eventualmente, exibam a mesma classificação (mesmo tipo de transformação do mesmo material de trabalho).

Para evitar este problema, faz-se necessária a utilização de recursos de classificação que possibilitem ordenar os processos de acordo com parâmetros adicionais de classificação. Os níveis adicionais de classificação, específicos para um dado processo, poderão estar baseados em outros parâmetros, além do tipo de transformação do material de trabalho.

Para concretizar uma proposta nesta linha, adotar-se-á a expressão “*conceito do processo*” para designar o tipo de transformação do material de trabalho, como descrito na última coluna da Tabela 6.1, e o termo “instanciamento” para designar possíveis variações em um ou mais elementos do mesmo processo.

Assim, fazendo-se uso da classificação dada na Tabela 4, juntamente com dois dígitos adicionais para designar diferentes instanciamentos de um dado conceito de processo, acredita-se que seja possível cobrir o universo de possibilidades encontrado em situações práticas.

Utilizando-se esta classificação, acredita-se que processos já poderiam ser identificados em uma base de dados de forma prática e apropriada. O identificador de elementos individuais no âmbito de uma base de dados pode, porém, conter campos extras, além dos necessários à recuperação de registros, facilitando a disponibilização de informações adicionais sobre elementos, o que dinamiza o uso da base de dados, entre outras virtudes, como, por exemplo, facilitar o trabalho de inspeção por parte da garantia da qualidade.

Na próxima seção, discute-se uma proposta para o identificador de processos no âmbito de uma base de dados de processos.

6.2 Proposta de identificação de processos técnicos na área espacial

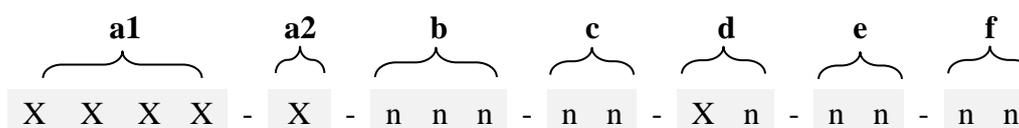
A seguir, discutiremos uma proposta para a chave primária, que identifica de forma única um determinado processo na base de dados.

Como é usual no design de bases de dados, a chave primária é normalmente composta por uma combinação de atributos dos elementos, que além de identificar exclusivamente um determinado registro, disponibiliza informações úteis sobre o registro, agilizando a recuperação de informações da base de dados.

Com base na experiência, propõe-se que a chave primária contenha, entre outros atributos, a identificação do proprietário institucional do processo, a classificação do processo, como já discutido acima, e o status de qualificação do processo.

A Figura 6.1 apresenta a proposta de identificação de cada processo técnico de fabricação.

Figura 6.1 - Proposta de identificação de processos de fabricação.



Legenda:

(a1) desenvolvedor (XXXX);

(a2) grau de sigilo da informação (X): O – Ostensivo; R – Reservado; S – Secreto; U – Ultrassecreto;

(b) classificação técnica do processo de acordo com a última coluna da Tabela 6.1;

(c) sequência numérica do instanciamento do processo;

(d) status (X) de acordo com o status de aprovação proposto na Tabela 6.4; existência de alertas relacionado com o processo (n): 0 – não possui alertas; 1 – possui um ou mais alertas;

(e) número de utilizações do processo em projetos;

(f) outros: campo disponível para futuras identificações.

Fonte: Produção do autor.

Para um melhor entendimento da proposta de identificação com 6 (seis) elementos (“a”, “b”, “c”, “d”, “e” e “f”), indicados na Figura 6.1, a seguir é dada uma descrição detalhada de cada campo.

a1. Identificação do desenvolvedor do processo

A identificação do desenvolvedor do processo e dono da propriedade intelectual é, certamente, de grande utilidade no manuseio da informação sobre processos, em projetos. O acesso e a divulgação de informações sobre processos podem ser restringidos, devido a interesses comerciais, por exemplo. É importante que tais restrições tenham visibilidade imediata.

a2. Grau de sigilo da informação

- Informações relativas a processos técnicos de fabricação podem ser consideradas como “*segredo industrial*”, devido ao seu valor competitivo para a organização detentora da propriedade intelectual, e têm seu acesso, portanto, restringido. Para que tais “*segredos*” sejam preservados, estabelecem-se contratos ou acordos de confidencialidade, definidos como “... *instrumentos legais para assegurar que segredos industriais não sejam revelados ...*” (LIMA, 2018). Contratos de desenvolvimento, sempre que necessário, incluem termos ou cláusulas sobre propriedade intelectual e transferência de tecnologia.

- No âmbito das organizações públicas, prevalece o exposto na Lei de Acesso à Informação (BRASIL, 2011), segundo a qual em projetos de desenvolvimento podem ser geradas informações sobre processos “... *cuja divulgação ou acesso irrestrito possam ... (entre outras consequências) ... prejudicar ou causar risco a projetos de pesquisa e desenvolvimento científico ou tecnológico, assim como a sistemas, bens, instalações ou áreas de interesse estratégico nacional ...*” (BRASIL, 2011). Observa-se, assim, no âmbito da área pública, a existência de razões de segurança e geopolíticas para eventuais restrições de acesso a dados de processos, em adição àquelas tratadas no item acima.

Em razão dos fatores acima elencados, propõe-se que as informações relativas a processos técnicos de fabricação sejam classificadas de acordo com os graus de sigilo listados e definidos na Tabela 6.2.

Tabela 6.2 - Classificação de informações de acordo com o grau de sigilo.

Código	Descrição
O	“ Ostensivo ”, quando seu conteúdo for considerado público e/ou não houver restrição de acesso.
R	“ Reservado ”, quando seu conteúdo requerer acesso restrito por 5 anos.
S	“ Secreto ”, quando seu conteúdo requerer acesso restrito por 15 anos.
U	“ Ultrasseguro ”, quando seu conteúdo requerer acesso restrito por 25 anos.

Fonte: Adaptado de BRASIL (2011).

- Finalmente, observa-se que de modo a evitar entraves ao acesso a informações classificadas, a legislação corrente prevê que “... a autorização de acesso poderá ser cedida às empresas vinculadas e a outras empresas e órgãos ...” que fazem parte do projeto ou programa “... mediante contrato ou convênio com cláusula de manutenção de sigilo” (BRASIL, 2013).

b) *Classificação técnica do processo de acordo com o tipo de transformação do material de trabalho (última coluna da Tabela 6.1)*

- O conteúdo proposto para este campo foi objeto de discussão na Seção 6.1. Aqui, nos limitaremos a reproduzir as possíveis alternativas para este campo, como ilustrado na Tabela 6.3.

Tabela 6.3 - Classificação de acordo com a última coluna da Tabela 6.1.

1.1.1.Solidificação
1.1.2.Particulado
1.1.3.Deformação
1.1.4.Remoção de material
1.2.1.Tratamento Térmico
1.3.1.Limpeza e tratamento superficial
1.3.2.Revestimento e deposição
2.1.1.Soldagem – <i>Welding</i>
2.1.2.Brasagem e Solda
2.1.3.Colagem adesiva
2.2.1.Fixadores rosqueados
2.2.2.Fixação permanente

Fonte: Adaptado de Groover (2019).

c) *Sequência numérica do instanciamento do processo*

- O conteúdo proposto para este campo foi, como o item acima, objeto de discussão na Seção 6.1. Os dois dígitos previstos para este campo designam diferentes instanciamentos de um dado conceito de processo.

d) *Status de qualificação do processo e alertas associados*

- Do ponto de vista da garantia da qualidade e de setores envolvidos com atividades de fabricação, é de grande relevância que o status de qualificação de um dado processo seja imediatamente visível. Assim, a inclusão deste indicador no identificador do processo é bastante natural.

Propõe-se a adoção de uma classificação compatível com o exposto na Seção 4.8.1, mas com redução de níveis, como apresentado na Tabela 6.4.

Tabela 6.4 - Controle de status de qualificação de processo.

Código	Descrição
A	Aprovado. Todos os processos com esta classificação possuem qualificação comprovada e podem ser utilizados sem restrições.
X	Aprovado via solicitação de aprovação (<i>Request For Approval</i>). Estes processos foram submetidos a programas de avaliação e verificação.
W	Aprovado com concessão. Estes processos não atenderam a todos os requisitos do projeto, mas são utilizados por razões especiais. Como diretriz, seu uso deve ser reduzido na medida do possível.
O	Aberto. Processos para os quais: um relatório de verificação ou um pedido de desvio encontra-se sob avaliação do cliente de um determinado projeto ou investigações e avaliações relevantes se encontram em andamento. Estes processos podem ter sido aprovados ou não em projetos anteriores.
R	Rejeitado. Processos rejeitados por não atenderem requisitos ou pela maturidade tecnológica insuficiente para ser usado em um projeto. Recomenda-se que mesmo rejeitados, as informações destes processos sejam armazenadas na base de dados para possibilitar seu uso quando houver compatibilidade destes processos aos requisitos de outros projetos, ou ainda, uma eventual possibilidade de prosseguir com desenvolvimentos destes processos na busca de maiores níveis de maturidade tecnológica. Estes processos não foram aprovados para uso em projetos anteriores.

Fonte: Adaptado de ECSS (2019).

- Da mesma forma que a visibilidade imediata do status de qualificação de um processo é de grande relevância, o conhecimento imediato de eventuais alertas pendentes sobre um processo pode ser considerado indispensável.
- O conteúdo proposto para este campo foi objeto de discussão na Seção 4.8.4. Propõe-se a adoção de uma classificação como apresentado na Tabela 6.5.

Tabela 6.5 - Controle de alertas de processo.

Código	Descrição
0	Não possui registros de alertas. Todos os processos com esta identificação não possuem registros de alertas.
i	Possui um ou mais alertas Estes processos possuem registros de um ou mais alertas que devem ser considerados.

Fonte: Produção do autor.

e) *Número de utilizações de acordo com o histórico de uso*

- Deverá ser informado o histórico de uso de cada processo, descrevendo os programas, projetos e produtos em que o processo foi utilizado.

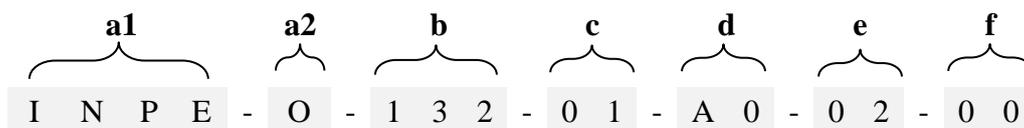
- Propõe-se a utilização de um identificador numérico para cada utilização.

f) *outros*

- Outras informações peculiares e relevantes, que não se enquadrem em nenhum dos campos anteriores, poderão ser registradas neste campo.

A Figura 6.2 apresenta um exemplo de identificação de um dado processo técnico de fabricação fazendo uso do esquema identificação acima proposto.

Figura 6.2 - Exemplo de identificação de processo de fabricação de revestimento e deposição.



Legenda:

(a1) desenvolvedor (INPE);

(a2) grau de sigilo Ostensivo (O);

(b) classificação técnica de revestimento e deposição (132);

(c) sequência numérica do instanciamento do processo;

(d) aprovada sem restrições (A) e não possui registro de alertas (0);

(e) número de versões de aplicação: possui registros de duas utilizações no histórico de uso (02);

(f) outros: campo disponível para futuras identificações.

Fonte: Produção do autor.

6.3 Proposta de organização de processos em uma base de dados de processos

Considerando os conceitos de processos técnicos e seguindo a classificação e identificação de processos qualificados para uso espacial, e fazendo uso da identificação de processos proposta, propõe-se a criação de uma base de dados de processos para viabilizar o reúso de processos técnicos de fabricação. A base de dados seria mantida atualizada, com processos que tenham tido seu uso

aprovado mediante programas de qualificação empreendidos por organizações da área espacial reconhecidas nacionalmente.

Através do uso de recursos computacionais, propõe-se o desenvolvimento de um sistema que permita gerenciar as informações referentes aos processos técnicos de fabricação armazenados na base. Assim, informações detalhadas de cada processo ficariam acessíveis, tendo como palavras-chave os identificadores propostos na Figura 6.1. Tal sistema informatizado, permitiria, rapidamente, o acesso a informações relativas a datas de revisões, histórico e alertas de uso, propriedade intelectual, além de outras informações relevantes acerca de cada processo, respeitando eventuais restrições de acesso e uso deste sistema.

Adicionalmente, além de permitir o controle amplo dos processos técnicos de fabricação praticados por organizações da área espacial e indústrias atuantes no setor, a base de dados de processo permitiria uma homogeneização de critérios de aceitação de processos.

A manutenção da base de dados de processos proposto propiciaria, também, realizar a seleção de processos dentre aqueles cadastrados na base de dados para uso em novos projetos ou programas, possibilitando o reúso destes processos.

A seleção dos processos “... *deve assegurar a confiabilidade, inspecionabilidade, susceptibilidade de retrabalho ...*” do material de trabalho do processo e a “*reprodutibilidade*” (ECSS, 2019).

De acordo com o padrão ECSS (ECSS, 2019), os processos devem ser escolhidos entre os processos já verificados, conforme a seguinte ordem de preferência e prioridade:

- a) processos considerados como “*melhores práticas*” por agências espaciais ou outras organizações governamentais de certificação, para condições idênticas de uso;

- b) processos para os quais são obtidos resultados de avaliação e verificação satisfatórios, em amostras representativas da aplicação, com uma margem de segurança suficiente em relação às condições de uso; e
- c) processos já utilizados pelo mesmo fornecedor para outros programas espaciais nas mesmas condições de uso.

Cabe salientar que o reúso do processo não visa eliminar a necessidade de novos desenvolvimentos de técnicas de fabricação, mas sim otimizar recursos e aprimorar a confiabilidade de projetos.

6.4 Consequências positivas no reúso de processos técnicos de fabricação com o auxílio de uma base de dados

Dentre as principais consequências positivas advindas do reúso de processos, com o auxílio de uma base de dados, destacam-se os listados abaixo.

- a) O estabelecimento de uma base de dados de processos, permitirá o licenciamento de processos e a criação de uma rede de desenvolvedores de produtos espaciais entre diversas organizações nacionais. Propiciará, também, o aumento no controle de alertas de uso, atualizações, revisões e versões de aplicação dos processos;
- b) Não haverá a necessidade de submeter todos os processos a programas de qualificação, considerando que muitos processos já foram utilizados no passado por outros desenvolvedores. Com isso, aqueles processos que forem objeto de reutilização dispensam a necessidade de submissão a um programa completo de qualificação, considerando que já foram qualificados para uso.
- c) O reúso de processos, normalmente, promove a redução do volume de recursos materiais e humanos empregados no desenvolvimento de sistemas, promovendo, em consequência, a redução de custo e tempo relacionados ao desenvolvimento do produto.

- d) O reúso de processos em um novo projeto, desde que sejam mantidas condições equivalentes de uso, reduz o risco do projeto, pois garante que a confiabilidade já alcançada nos produtos do projeto anterior seja mantida para os produtos deste novo projeto. A base de dados é essencial para que seja acompanhado o histórico de uso de cada processo.
- e) Outra possível aplicação da base de dados de processos, seria o estabelecimento de oportunidades de licenciamento e cessão de tecnologias, no presente caso na forma de processos, entre organizações e empresas atuantes na área espacial. Como visto nas Seções 4.5 e 4.6, o fornecedor de um dado equipamento a uma missão, ao apresentar a documentação referente às revisões iniciais, deve apresentar uma lista com todos os processos de fabricação a serem utilizados na fabricação do equipamento em referência. Em ocasiões em que não disponha de todos os processos necessários à fabricação e que tenha que completar a lista, por exemplo, com processos classificados como especiais, poderia considerar, possivelmente com alguma vantagem, o licenciamento ou a cessão de processos, identificados através da base de dados de processos. A realização deste tipo de possibilidade poderia resultar em ganhos em termos de tempo, custo e confiabilidade para os programas beneficiados.
- f) Como exemplo final da aplicação de uma base de dados de processos técnicos, mencionamos o possível uso dessa base de dados na seleção de fornecedores de equipamentos, com o objetivo de mitigar o risco associado aos contratos industriais. Consideramos que, após o estabelecimento de uma base de dados de processos suficientemente grande e variada, que seja considerada como referência para uma determinada organização, seria possível estabelecer uma medida de até que ponto uma lista de processos apresentada por um determinado desenvolvedor se desvia da referência definida pelos processos presentes na base de dados: quanto maior o desvio, maior o risco associado ao contrato de um determinado fornecedor. Ao fazer uso dessa abordagem, uma organização poderá melhorar a eficácia de seus

processos licitatórios, alocando, de maneira substanciada, um risco para cada possível licitante, permitindo, assim, uma melhor tomada de decisão nas compras de maneira similar à “... *metodologia para a utilização de processos na avaliação de riscos em contratações industriais* ...” proposta por Gondo (GONDO, 2012 p. 143).

O reúso de processos não deve ser motivo para desacelerar os desenvolvimentos relacionados a novas técnicas de fabricação.

Espera-se da organização que implemente o reúso um rigor maior no controle de documentação e contratações mais seguras, lastreadas em informações técnicas acumuladas a partir de projetos.

O reúso de processos exige a manutenção de uma base de dados para gerenciar e manter informações atualizadas de vários desenvolvedores. No padrão ECSS, recomenda-se que todos os processos internos sejam revistos a cada quatro anos. No INPE, os processos técnicos de fabricação em uso por seus fornecedores são verificados pelo serviço de Garantia da Qualidade do INPE a cada dois anos.

7 CONCLUSÕES

Esta dissertação objetivou o desenvolvimento de um padrão de identificação e classificação dos diferentes processos técnicos utilizados na fabricação, com a apresentação de propostas de padronização mais abrangentes e aderentes à área espacial, visando o reuso desses processos em projetos e programas futuros.

Na Introdução, foram apresentados os conceitos relativos ao controle, à qualificação e ao uso de processos, de modo a garantir uma linha de base de fabricação com a reprodutibilidade desejada, a importância da confiabilidade do produto espacial foi contextualizada e foram descritos os conceitos gerais de fabricação, bem como os principais momentos da evolução histórica do conceito de processo em sistemas de manufatura.

Foi empreendida ampla revisão da literatura, em que foram revisados os conceitos e entendimentos acerca de processos para a área espacial. Foram, também, revisados: os conceitos de abordagem de processos; a definição de processo na área espacial, com especialização para processos de fabricação; e a definição e descrição dos elementos de um processo técnico de fabricação.

Na breve digressão sobre o estado da arte, foram apresentadas as iniciativas da CIRP e SME, acerca da divulgação e atualização de processos, possibilitando que atores em nível global possam divulgar seus conhecimentos e manter seus processos alinhados com o estado da arte.

Entre outros resultados da pesquisa, observou-se que os requisitos para seleção e uso de processos aplicados no INPE e no IAE são aderentes aos padrões preconizados pela ECSS, podendo este padrão ser considerado como estado da arte no âmbito dos programas e projetos espaciais brasileiros.

Para alcançar os objetivos propostos, efetuou-se um estudo detalhado de normas, padrões e outras referências sobre processos de fabricação na área espacial. O estudo das seguintes referências foi apresentado no Capítulo 3: NASA, ECSS, PMBOK, INCOSE e AS 9100 (ISO 9001).

Os padrões ECSS e NASA são reconhecidos internacionalmente e possuem grande influência no controle e disciplinamento do uso de processos por organizações nacionais (INPE e IAE).

Durante o estudo, constatou-se que a agência europeia (ESA), através dos padrões da ECSS, disponibiliza informações acerca de conceitos, requisitos e procedimentos para a qualificação de processos em grande nível de detalhes.

A agência americana (NASA) dispõe de um sistema informatizado (MAPTIS), gerenciado pela própria agência. Este sistema é acessível externamente por parceiros e evidencia as boas práticas no gerenciamento de informações de processos para uso em novos projetos.

No Capítulo 4, foram apresentados em detalhes: as definições de processo; um modelo de ciclo de vida de projetos na área espacial; processos de fabricação e suas divisões em operações de processamento e de montagem. Foram descritas as diferenças entre diagrama, mapa e modelo de processos e exposto, em detalhes, o conceito de “*diagrama de fabricação*”. Um dos objetivos do *diagrama de fabricação* é garantir que o modelo de voo possa ser fabricado de forma equivalente ao modelo de qualificação, ou seja, garantir a repetitividade de produção do modelo de qualificação.

A execução dos processos constantes do *diagrama de fabricação* de determinado item de voo, mais especificamente, a execução integral do conjunto de processos técnicos aprovados para uso mediante plano de verificação e atualizados na lista de processos declarados do respectivo item de voo, busca garantir que modelos de voo sejam funcional e construtivamente equivalentes aos modelos de qualificação. O diagrama de fabricação presta-se, também, a possibilitar a rastreabilidade nos casos de falha de sistema ou equipamento.

Foram abordados, ainda, a qualificação de processos, a relação entre atividades de garantia do produto e fases do programa e controle de uso de processos.

Foram apresentadas, também, comparações entre a estrutura de classificação de processos proposta neste trabalho, a estrutura de classificação preconizada pela ECSS e a estrutura adotada pelo INPE.

A descrição do uso corrente de processos técnicos de fabricação no âmbito do programa espacial brasileiro, mais especificamente, o tratamento de processos empreendido pelo INPE e DCTA foi apresentado no Capítulo 5. Neste capítulo, foi descrito um exemplo de aplicação da reutilização de processos qualificados em programas espaciais.

No Capítulo 6, foi apresentada uma proposta de padronização e reúso de processos com o auxílio de uma base de dados de processos.

No âmbito da área de garantia do produto, os requisitos para padronização e controle de processos técnicos de fabricação buscam garantir que os requisitos do produto sejam atendidos, através de aumento da confiabilidade e da reprodutibilidade do produto, através das operações de fabricação.

A identificação, classificação e controle de processos são atividades que geram resultados estáveis e atendem requisitos, garantindo reprodutibilidade. Constituem-se em uma das principais iniciativas para a melhoria contínua dentro das organizações. Tais iniciativas são essenciais, igualmente, para o reúso de processos entre diferentes projetos e programas.

Para viabilizar o reúso de processos previamente qualificados, este trabalho desenvolveu, também, uma proposta de criação e gerenciamento de uma base de dados de processos.

Buscou-se explorar a possibilidade de reúso de processos técnicos de fabricação, em projetos e programas de agências e organizações, a partir da implementação de uma base de dados de processos de fabricação.

O reúso de processos requer alguns cuidados devido à possibilidade de desacelerar equivocadamente os desenvolvimentos de novas técnicas de fabricação, específicas para um determinado projeto. Dentre as principais

vantagens advindas do reúso de processos, como o exemplo da reutilização de processos técnicos no Programa AMAZÔNIA1, apresentado no capítulo 5, destacam-se a redução da quantidade de recursos materiais e humanos no desenvolvimento do sistema e o aumento da confiabilidade alcançados com o aproveitamento de processos qualificados entre projetos ou programas espaciais.

Como recomendações para trabalhos futuros, propõe-se detalhar em maior nível as propostas de padronização e reúso de processos, descritas neste trabalho.

Propõe-se, também, que se busquem informações, diretamente junto a programas e projetos na área espacial, dentro das organizações nacionais da área espacial, em suficiente detalhe para que se possam detalhar os requisitos de uma base de dados de processos técnicos de fabricação, como proposto neste trabalho.

Finalmente, propõe-se que seja efetuado estudo acerca de atualizações nos padrões e normas de referência, adotados por organizações nacionais, no que se refere ao controle e uso de processos, buscando inovações que venham a aprimorar o tratamento dispensado a processos técnicos de fabricação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **ABNT NBR ISO 9000**: Sistema de gestão da qualidade - fundamentos e vocabulário. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **ABNT NBR ISO 9001**: sistemas de gestão da qualidade - requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIATION OF BUSINESS PROCESS MANAGEMENT PROFESSIONALS - ABPMP CBOK. . **ABPMP BPM CBOK V3.0**: guia para o gerenciamento de processos de negócio - corpo comum de conhecimento. Brasília: ABPMP, 2013.

BRASIL. MINISTÉRIO DA DEFESA. **Gestão por processo no DCTA**. Brasília: Ministério da Defesa, 2018.

BRASIL. PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **Lei nº 9.279 de 14 de maio de 1996**: regula direitos e obrigações relativos à propriedade industrial. Brasília: Casa Civil, 1996.

BRASIL. PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **Lei nº 9.610 de 19 de fevereiro de 1998**: altera, atualiza e consolida a legislação sobre direitos autorais e dá outras providências. Brasília: Casa Civil, 1998.

BRASIL. PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **Lei nº 12.527 de 18 de novembro de 2011**: regula o acesso à informação Brasília: Casa Civil, 2011.

CIRP. **The international academy for production engineering**. Disponível em: <https://www.cirp.net/>. Acesso em: 17 nov. 2019.

CLARK, K.; HAYES, R. **Recapturing America's manufacturing heritage**. Berkeley: California Management Review, 1988.

CRUZ, J. M. **Fordismo**. Disponível em: https://www.infoescola.com/administracao/_fordismo. Acesso em: 11 nov. 2019.

DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA AERONÁUTICA - DCTA. **FCA 200-6** - guia prático da execução das medidas do decreto de tratamento de informações classificadas no comando da aeronáutica. Brasília: DCTA, 2013.

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION - ECSS. **ECSS-E-ST-10-11C**: human factors engineering. Noordwijk, The Netherlands: ECSS, 2008.

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION - ECSS. **ECSS-M-ST-10C**: space project - project planning and. Noordwijk, The Netherlands: ECSSm 2009.

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION - ECSS. **ECSS-S-ST-00-01C**: glossary of terms. Noordwijk, The Netherlands: ECSS, 2012.

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION - ECSS. **ECSS Standards**. 2019. Disponível em: <https://ecss.nl/standards/ecss-document-tree-and-status/>.

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION - ECSS. **ECSS-Q-ST-70C**: space product assurance - material, mechanical parts and processes. Noordwijk, The Netherlands: ECSS, 2019.

EDWARDS, W. B. **The story of Colt's Revolver**: the biography of Col. Samuel Colt. Harrisburg, Pennsylvania: Stackpole Company, 1953.

FLEURY, A.; VARGAS, N. **Aspectos conceituais**: uma abordagem interdisciplinar e sete estudos sobre a realidade brasileira. São Paulo: Atlas, 1983.

GONDO, S. M. **Proposta de metodologia para o tratamento de processos na fabricação de plataformas orbitais no âmbito do Programa Espacial Brasileiro**. Dissertação de (Mestrado em Engenharia e Tecnologia Espaciais) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2012.

GROOVER, M. P. **Fundamental of modern manufacturing, materials, processes and systems**. River Street, Hoboken: John Wiley & Sons, 2019.

INTERNATIONAL COUNCIL ON SYSTEMS ENGINEERING - INCOSE. **Systems engineering handbook**. 4.ed. San Diego, Califórnia: John Wiley & Sons, 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **SESEQ-E-DDD-00007 V02**: plano de qualificação de processos. São José dos Campos: INPE, 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **SESEQ-E-PRC-00005 V02**: procedimento de processos do Grupo de Engenharia do Produto. São José dos Campos: INPE, 2018.

KAPOOR, S. **Journal of Manufacturing Process**. Disponível em: <https://www.journals.elsevier.com/journal-of-manufacturing-processes>. Acesso em: 17 nov. 2019.

LIMA, E. P. O segredo industrial e a sua proteção mediante o contrato de confidencialidade. **JUSBRASIL**, 14 de junho de 2018. Disponível em: <https://www.jusbrasil.com.br>: <https://edmilsonlimaadvogadosadvbr.jusbrasil.com.br/artigos/589499355/o-segredo-industrial-e-a-sua-protecao-mediante-o-contrato-de-confidencialidade?ref=feed>. Acesso em: 17 set. 2019.

MARTINS, P. G. **Administração da produção**. São Paulo: Saraiva, 2013.

MICROPRESS. **Fluxograma de processos**. Disponível em:
<https://www.micropress.com.br/fluxograma-de-processos>.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION - NASA. **NASA-STD-6016A**: standard materials and processes requirements for spacecraft. Washington D.C: NASA Headquarters, 2016.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION - NASA. **MAPTIS**. Disponível em: <https://maptis.nasa.gov/>. Acesso em: 12 nov. 2019.

PROJECT MANAGEMENT BODY OF KNOWLEDGE - PMBOK. **Um guia do conhecimento em gerenciamento de projetos**. 6.ed. Newtown Square, Pensilvânia: Project Management Institute, 2017.

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS - SAE. **AS9100D**: quality management systems - requirements for aviation, space, and defense organizations. Washington: SAE, 2016.