



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/08.12.23.58-TDI

**ENGESIS - UM FRAMEWORK TRANSDISCIPLINAR
ORIENTADO A PROCESSOS PARA APOIO À FASE DE
DESIGN DA ENGENHARIA CONCORRENTE EM
MISSÕES ESPACIAIS**

Renato Fernandez

Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Gerenciamento de Sistemas Espaciais, orientada pelos Drs. Germano de Souza Kienbaum, e Maurício Gonçalves Vieira Ferreira, aprovada em 26 de agosto de 2016.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3M944JH>>

INPE
São José dos Campos
2016

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

Fax: (012) 3208-6919

E-mail: pubtc@inpe.br

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

Presidente:

Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação (CPG)

Membros:

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

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

Dra. Carina de Barros Melo - Coordenação de Laboratórios Associados (CTE)

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

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

Dr. Marley Cavalcante de Lima Moscati - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Silvia Castro Marcelino - Serviço de Informação e Documentação (SID) **BIBLIO-**

TECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon

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

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Simone Angélica Del Duca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação (SID)

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

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Marcelo de Castro Pazos - Serviço de Informação e Documentação (SID)

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



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/08.12.23.58-TDI

**ENGESIS - UM FRAMEWORK TRANSDISCIPLINAR
ORIENTADO A PROCESSOS PARA APOIO À FASE DE
DESIGN DA ENGENHARIA CONCORRENTE EM
MISSÕES ESPACIAIS**

Renato Fernandez

Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Gerenciamento de Sistemas Espaciais, orientada pelos Drs. Germano de Souza Kienbaum, e Maurício Gonçalves Vieira Ferreira, aprovada em 26 de agosto de 2016.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3M944JH>>

INPE
São José dos Campos
2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Fernandez, Renato.

F391e ENGESIS - um framework transdisciplinar orientado a processos para apoio à fase de design da engenharia concorrente em missões espaciais / Renato Fernandez. – São José dos Campos : INPE, 2016.

xxvi + 200 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/08.12.23.58-TDI)

Tese (Doutorado em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Gerenciamento de Sistemas Espaciais) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2016.

Orientadores : Drs. Germano de Souza Kienbaum, e Maurício Gonçalves Vieira Ferreira.

1. Engenharia concorrente. 2. Gerenciamento de projetos.
3. Gestão de processos de negócios. 4. Modelagem e simulação.
5. Framework ENGESIS. I.Título.

CDU 629.78:658.5



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/).

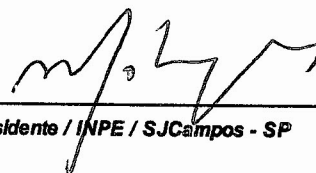
Aluno (a): **Renato Fernandez**

Título: "ENGESIS - UM FRAMEWORK TRANSDISCIPLINAR ORIENTADO A PROCESSOS PARA APOIO À FASE DE DESIGN DA ENGENHARIA CONCORRENTE EM MISSÕES ESPACIAIS"

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

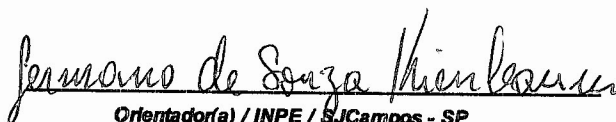
**Engenharia e Tecnologia
Espaciais/Gerenciamento de Sistemas
Espaciais**

Dr. **Marcelo Lopes de Oliveira e Souza**



Presidente / INPE / SJC Campos - SP

Dr. **Germano de Souza Kienbaum**



Orientador(a) / INPE / SJC Campos - SP

Dr. **Maurício Gonçalves Vieira Ferreira**



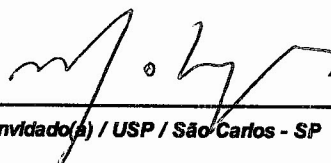
Orientador(a) / INPE / SJC Campos - SP

Dr. **Otávio Santos Cupertino Durão**



Membro da Banca / INPE / SJC Campos - SP

Dr. **Henrique Rozenfeld**



Convidado(a) / USP / São Carlos - SP

Dra. **Emília Villani**



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

Este trabalho foi aprovado por:

maioria simples

unanimidade

São José dos Campos, 26 de agosto de 2016

“No que diz respeito ao desempenho, ao compromisso, ao esforço, à dedicação, não existe meio termo. Ou você faz uma coisa bem feita ou não faz”

Ayrton Senna

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me conceder saúde, vida e inspiração e por guiar meus passos durante toda minha vida.

Ao meu orientador Prof. Dr. Germano de Souza Kienbaum, o meu muito obrigado pelas conversas, incentivo, ajuda, atenção, orientações e contribuições que foram fundamentais na elaboração deste trabalho, estando sempre disponível e solícito durante toda a pesquisa.

Ao meu co-orientador Prof. Dr. Mauricio Gonçalves Vieira Ferreira, pelas orientações e contribuições a este trabalho.

Ao pesquisador do Grupo ENGESIS Prof. Dr. Álvaro Augusto Neto, pela ajuda e contribuições a este trabalho.

Aos membros da banca examinadora, pela predisposição em analisar este trabalho.

Aos colegas de pós-graduação do segundo período acadêmico de 2015 (disciplina CSE-326 - Modelagem e Simulação de Sistemas), do terceiro período acadêmico de 2015 (disciplina CSE-331 - Simulação e Gestão de Processos) e do primeiro período acadêmico de 2016 (disciplina CSE-211 - Modelagem Transdisciplinar para Gestão e Simulação de Processos) do curso de Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais (CSE/ETE), pelo apoio e contribuições recebidas.

A todos os amigos e amigas que conheci no INPE, pessoas especiais que admiro e respeito.

A minha esposa pelo exemplo de dedicação e compreensão, que me serviu de motivação para a conclusão deste trabalho.

Ao IFSP pelo apoio e incentivo recebidos.

RESUMO

A Ciência e Tecnologia Transdisciplinares de Processos (CT²P) é uma abordagem transdisciplinar e inovadora para a modelagem e análise de processos que utiliza de forma integrada técnicas provenientes das áreas autônomas de engenharia de sistemas baseada em modelos, gerenciamento de projetos, gestão de processos de negócios e simulação de sistemas. O objetivo deste trabalho é utilizar a metodologia CT²P para a proposição e desenvolvimento de um *framework* de referência para apoio aos processos de engenharia e gestão da fase de *design* da engenharia concorrente de sistemas. O *framework* criado foi denominado ENGESIS e ele consiste de três elementos: uma estrutura do conhecimento - formada pelos modelos hierárquicos especializados criados a partir de um modelo de referência; um método de implementação - usado para a evolução destes modelos especializados ao longo do ciclo de vida da engenharia do sistema; e um ambiente de apoio – um conjunto de ferramentas, usado para apoio à implementação dos referidos modelos, na forma de aplicativos autônomos, mas que são colocados para atuar de forma integrada e interoperável. A implementação e teste do *framework* ENGESIS é demonstrada por meio de um projeto piloto, cujo foco está direcionado para o desenvolvimento de satélites de pequeno porte. Os resultados obtidos demonstram a capacidade do Framework ENGESIS para a definição dos processos essenciais da fase de design da engenharia concorrente de sistemas em um cenário de desenvolvimento de pequenos satélites, tanto do ponto de vista dos conhecimentos teóricos como do uso de aplicativos computacionais de apoio, que juntos auxiliam em muito a elaboração de projetos desta natureza.

Palavras-chave: Engenharia Concorrente. Gerenciamento de Projetos. Gestão de Processos de Negócios. Modelagem e Simulação. *Framework* ENGESIS.

**ENGESIS: A TRANSDISCIPLINARY PROCESS ORIENTED FRAMEWORK
TO SUPPORT THE PRODUCT DESIGN PHASE OF SYSTEMS
CONCURRENT ENGINEERING IN SPACE MISSIONS**

ABSTRACT

Transdisciplinary Process Science and Technology (T-PROST) is a transdisciplinary and innovative approach for process modelling and analysis, making use of integrated techniques originated from different autonomous areas dealing with complex discrete event processes, namely: model based systems engineering, project management, business process management and simulation modelling. The objective of this work is to make use of the T-PROST methodology to propose and to develop a reference framework, named ENGESIS, to support the technical and management processes of the systems engineering's design phase. The ENGESIS framework comprises three elements: knowledge structure – made by the transdisciplinary hierarchical models created making use of the reference model; implementation method – used for evolving the models along the system's development lifecycle; and the supporting environment – used to support the implementation of the specialized models as integrated and interoperable autonomous applications. The implementation and testing of the ENGESIS framework is demonstrated by means of a pilot project directed to the development of small satellites. The results demonstrate the capability of the ENGESIS Framework to define the essential processes of the design phase of the systems concurrent engineering lifecycle in small satellites project development, both from the point of view of the theoretical knowledge and from that of the use of computational supporting tools.

Keywords: Concurrent Engineering. Project Management. Business Process Management. Simulation Modelling. Framework ENGESIS.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 1.1 – Ilustração sobre o contexto do PCF da APQC e o SEBoK.....	7
Figura 2.1 – Ilustração sobre Ciência e Tecnologia Transdisciplinares de Processos.....	15
Figura 2.2 – Modelagem Unificada dos Processos do CVS (Método de Implementação do Framework CT ² P).	26
Figura 3.1 – Ilustração sobre o PCF da APQC.....	42
Figura 3.2 – Modelo V do CVS.....	44
Figura 4.1 – Macroprocessos da Fase de Design do CVS.....	50
Figura 4.2 – Macroprocessos da Fase de Design do CVS.....	56
Figura 5.1 – Macroprocessos da Fase de Design do CVS.....	62
Figura 5.2 – Macroprocessos da Fase de Design do CVS.....	64
Figura 6.1 – Ilustração de ICOM.	66
Figura 6.2 – Modelo IDEF0 da Fase de Design.	69
Figura 6.3 – Macroprocessos da Fase de Design do CVS.....	72
Figura 6.4 – Rede RTP da Fase de Design do CVS (Definição de Conceitos).73	
Figura 6.5 – Rede RTP da Fase de Design do CVS (Definição de Sistemas). 74	
Figura 6.6 – Rede RTP do Processo AM (Definição de Conceitos)	80
Figura 6.7 – Rede RTP do Processo AV (Definição de Conceitos).....	82
Figura 6.8 – Rede RTP do Processo PL (Definição de Conceitos).	84
Figura 6.9 – Rede RTP do Processo NRS (Definição de Conceitos).....	87
Figura 6.10 – Processo de Definição de Expectativas de Stakeholders.	88
Figura 6.11 – Rede RTP do Processo NRS (Definição de Conceitos)	90
Figura 6.12 – Rede RTP do Processo RS (Definição de Sistemas).....	94
Figura 6.13 – Processo de Definição de Requisitos Técnicos.....	95
Figura 6.14 – Rede RTP do Processo CAL (Definição de Sistemas).....	99

Figura 6.15 – Processos de Decomposição Lógica.	100
Figura 6.16 – Rede RTP do Processo CAF (Definição de Sistemas).....	103
Figura 6.17 – Processos de Decomposição Física.	104
Figura 6.18 – Rede RTP do Processo AS (Definição de Sistemas).	108
Figura 6.19 – Processos de Análise de Decisão.	109
Figura 7.1 – Lista de Presença - 2º Período de 2015.....	118
Figura 7.2 – Lista de Presença - 3º Período de 2015.....	122
Figura 7.3 – Cronograma para o cenário de Micro Satélite com massa de 20 kg.	130
Figura 7.4 – Duração de Atividades para DC e DS.	131
Figura 7.5 – Modelagem da Fase de Design por Processos em BPMN.	134
Figura 7.6 – Protótipo do Macroprocesso Definição de Conceitos.....	138
Figura 9.1 – Arquitetura do Ambiente ENGESIS PLM.	153
Figura A.1 – Fases da Metodologia de Integração de BPR e Melhoria Contínua.	166
Figura A.2 – Arquitetura par Integração de Gestão e Simulação de Sistemas	167
Figura A.3 – Conceitos de Transferência entre Definições de Processos.....	170
Figura A.4 – Esquema da Abordagem Integrada da Simulação e Execução dos Processos no Contexto do Framknow.....	172
Figura A.5 – Abordagem Unificada para Modelagem, Simulação e Gestão por Processos.....	174
Figura A.6 – Áreas de Processos da BPMM por nível de maturidade.....	179
Figura A.7 – Framework Conceitual	180
Figura A.8 – Arquitetura do Conhecimento – T-PROST/BPMMM	182
Figura C.1 – Relações entre os principais Sistemas de Ideias e a Engenharia de Sistemas.....	193

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
Tabela 2.1 – Descrição dos símbolos da notação de modelagem DMUCV.	18
Tabela 2.2 – Metodologia para uso de CT ² P em Engenharia de Sistemas (versões inglês e português).	23
Tabela 7.1 – Classificação de satélites.	112
Tabela 7.2 – Classificação de satélites de acordo com a massa.	113
Tabela 7.3 – Survey de artigos acadêmicos para construção de cenários do projeto piloto.	124

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABC	<i>Activity Based Costing</i>
AEB	Agência Espacial Brasileira
AM	Análise de Missão
APQC	<i>American Productivity and Quality Center</i>
ARIS	<i>Architecture of Integrated Information System</i>
AS	Análise de Sistemas
AV	Análise de Viabilidade
BPD	<i>Business Process Diagrams</i>
BPM	<i>Business Process Management</i>
BPMM	<i>Business Process Maturity Model</i>
BPMMM	<i>Business Process Maturity (Multi) Modelling</i>
BPMN	<i>Business Process Management Notation</i>
BPMS	<i>Business Process Management System</i>
CAD	<i>Computer-Aided Design</i>
CAF	Concepção da Arquitetura Física
CAL	Concepção da Arquitetura Lógica
CAM	<i>Computer-Aided Manufacturing</i>
CDR	<i>Critical Design Review</i>
CE	<i>Concurrent Engineering</i>
CEO	<i>Chief Executive Officer</i>
COTS	<i>Commercial Off-The-Shelf</i>

CSE	Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais
CTP	Ciência Transdisciplinar de Processos
CT ² P	Ciência e Tecnologia Transdisciplinares de Processos
CVO	Ciclo de Vida da Organização
CVP	Ciclo de Vida do Produto
CVS	Ciclo de Vida do Sistema
DC	Definição de Conceitos
DCA	Diagramas de Ciclos de Atividades
DCTA	Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial
DMCU	Diagramas para Modelagem Conceitual Unificada
DMUCV	Diagramas para Modelagem Unificada do Ciclo de Vida
DMUS	Diagrama para Modelagem Unificada em Simulação
DS	Definição de Sistemas
EC	Engenharia Concorrente
ECSS	<i>European Cooperation for Space Standardization</i>
ENGESIS	Engenharia, Gestão e Simulação de Sistemas Espaciais
EPC	<i>Event-driven Process Chain</i>
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
ES	Engenharia de Sistemas
ESBM	Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos
ETE	Engenharia e Tecnologia Espaciais
FIPS	<i>Federal Information Processing Standards</i>
GC	Gestão do Conhecimento

GCVO	Gestão do Ciclo de Vida da Organização
GCVP	Gestão do Ciclo de Vida do Produto
GCVS	Gestão de Ciclo de Vida do Sistema
GP	Gerenciamento de Projetos
GPN	Gestão de Processos de Negócios
GUI	<i>Graphical User Interface</i>
ICOM	<i>Input Control Output Mechanism</i>
IDEF0	<i>Integrated Computer Aided Manufacturing DEFinition for Function Modelling</i>
INCOSE	<i>International Council on Systems Engineering</i>
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IT	<i>Information Technology</i>
MBSE	<i>Model Based Systems Engineering</i>
MDR	<i>Mission Definition Review</i>
MR	Modelo de Referência
MRCV	Modelo de Referência do Ciclo de Vida
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NRS	Necessidades e Requisitos dos <i>Stakeholders</i>
OLM	<i>Organization's Lifecycle Management</i>
OMG	<i>Object Management Group</i>
PCF	<i>Process Classification Framework</i>
PDR	<i>Preliminary Design Review</i>
PERT/CPM	<i>Program Evaluation and Review Technique/Critical Path Method</i>
PL	Planejamento

PLM	<i>Product Lifecycle Management</i>
PM	<i>Project Management</i>
PMBOK	<i>Project Management Body of Knowledge</i>
PME	Pequenas e Médias Empresas
PNAE	Programa Nacional de Atividades Espaciais
PRR	<i>Preliminary Requirement Review</i>
RAD	<i>Role Activity Diagrams</i>
RM	<i>Reference Model</i>
RS	Requisitos de Sistemas
RTP	Rede Transdisciplinar de Processos
SCM	<i>Supply Chain Management</i>
SE	<i>Systems Engineering</i>
SEBoK	<i>Systems Engineering Body of Knowledge</i>
SIM	Modelagem e Simulação de Sistemas, <i>Simulation Modelling</i>
SIMMOD	<i>Simulation Modelling</i>
SLM	<i>System's Lifecycle Management</i>
Sol	<i>System of Interest</i>
SSTL	<i>Surrey Satellite Technology Ltd</i>
TPN	<i>Transdisciplinary Process Network</i>
T-PROST	<i>Transdisciplinary Process Science and Technology</i>
ULMD	<i>Unified Lifecycle Modelling Diagrams</i>
URL	<i>Uniform Resource Locator</i>
WfMC	Workflow Management Coalition

XML *eXtensible Markup Language*
XPDL *XML Process Definition Language*

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Fundamentos Conceituais.....	1
1.2. Domínio do Problema.....	5
1.3. Objetivos	8
1.4. Motivação e Justificativa do Trabalho.....	9
1.5. A Metodologia Utilizada.....	12
1.6. Estrutura do Trabalho.....	12
2 A CIÊNCIA E TECNOLOGIA TRANSDISCIPLINARES DE PROCESSOS	15
2.1. Introdução	15
2.2. Fundamentos da Metodologia	16
2.3. <i>Framework</i> CT ² P	20
2.4. Descrição Detalhada das Fases.....	27
2.4.1. Fase de Definição da Missão	27
2.4.2. Fase de Modelagem Conceitual.....	28
2.4.3. Fase de Desenvolvimento.....	30
2.4.4. Fase de Execução.....	35
2.4.5. Fase de Finalização	36
2.4.6. Fase de Avaliação Global	36
2.4.7. Fase de Revisão Holística.....	37
3 ESCOPO DA PESQUISA	39
3.1. Modelos Genéricos de Referência dos Processos do CVS.....	39
3.1.1. Modelo Genérico de Referência do CVO	40
3.1.2. Modelo Genérico de Referência do CVP	43
3.2. A Fase de <i>Design</i> do Ciclo de Vida da Engenharia de Sistemas	47
3.3. Pesquisas Correlatas	47
4 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	49
4.1. Generalidades	49
4.2. Definição de Conceitos.....	51
4.3. Definição de Sistemas.....	52
4.4. Sequenciamento de Processos.....	54

5	PROPOSTA DO MODELO DE REFERÊNCIA	59
5.1.	Modificações Gerais do Modelo <i>SEBoK</i>	59
5.2.	Adequação às Normas da Engenharia de Sistemas Espaciais.....	60
5.2.1.	Análise de Missão	61
5.2.2.	Análise de Viabilidade	61
5.3.	Adequação ao Gerenciamento de Projetos.....	63
6	IMPLEMENTAÇÃO DO <i>FRAMEWORK</i> ENGESIS.....	65
6.1.	Modelagem Conceitual.....	65
6.1.1.	Criação do Modelo <i>IDEFO</i>	65
6.1.2.	Criação do Modelo de Referência.....	70
6.2.	Definição de Conceitos.....	78
6.2.1.	Análise de Missão	78
6.2.2.	Análise de Viabilidade	81
6.2.3.	Planejamento – Elaboração do Plano de Gerenciamento.....	83
6.2.4.	Necessidades e Requisitos de <i>Stakeholders</i>	86
6.3.	Definição de Sistemas.....	91
6.3.1.	Requisitos de Sistemas.....	92
6.3.2.	Concepção da Arquitetura Lógica	96
6.3.3.	Concepção da Arquitetura Física	101
6.3.4.	Análise de Sistemas.....	105
7	APLICAÇÃO AO PROJETO DE PEQUENOS SATÉLITES.....	111
7.1.	Classes de Satélites	111
7.2.	Generalidades	114
7.3.	Histórico da Realização do Projeto.....	116
7.3.1.	Primeiro Módulo de Curso (CSE-326).....	116
7.3.2.	Segundo Módulo do Curso (CSE-331).....	121
7.4.	Levantamento de Dados para Parametrização dos Modelos	123
7.5.	Modelo Especializado para Engenharia de Sistemas.....	127
7.6.	Modelo Especializado para Gerenciamento de Projetos	128
7.7.	Modelo Especializado para Gestão de Processos de Negócios.....	132
7.8.	Modelo Especializado para Simulação de Sistemas	134
8	ANÁLISE DE RESULTADOS	139
8.1.	Avaliação da Implementação do <i>Framework</i> ENGESIS.....	139
8.2.	Avaliação da Aplicação do <i>Framework</i> ENGESIS.....	141

8.3.	Revisão Holística.....	144
9	CONCLUSÕES E PESQUISAS FUTURAS.....	149
9.1.	Contribuições da Pesquisa.....	149
9.2.	Pesquisas Futuras.....	151
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	157
	APÊNDICE A – PESQUISAS CORRELATAS.....	165
	APÊNDICE B – PROCESSOS DOS GRUPOS DO <i>PCF DA APQC</i>	183
B.1	Desenvolver a Visão e Estratégia.....	183
B.2	Desenvolver e Gerenciar Produtos e Serviços.....	183
B.3	Ofertar Produtos e Serviços.....	186
B.4	Desenvolver Produtos e Serviços.....	186
B.5	Gerenciar o Atendimento a Clientes.....	187
B.6	Desenvolver e Gerenciar o Capital Humano.....	187
B.7	Gerenciar a Tecnologia da Informação.....	188
B.8	Gerenciar Recursos Financeiros.....	188
B.9	Adquirir, Construir e Gerenciar Bens e Equipamentos.....	189
B.10	Gerenciar Saúde, Segurança e Meio Ambiente.....	189
B.11	Gerenciar as Relações Externas.....	190
B.12	Gerenciar o Conhecimento, Melhorias e Mudanças.....	190
	APÊNDICE C – GUIA DE CONHECIMENTO DA ENGENHARIA DE SISTEMAS (<i>SEBoK</i>).....	191
C.1	Parte 1 (<i>Introduction</i>).....	192
C.2	Parte 2 (<i>Systems</i>).....	192
C.3	Parte 3 (<i>Systems Engineering and Management</i>).....	193
C.4	Parte 4 (<i>Applications of Systems Engineering</i>).....	194
C.5	Parte 5 (<i>Enabling Systems Engineering</i>).....	195
C.6	Parte 6 (<i>Related Disciplines</i>).....	196
C.7	Parte 7 (<i>Systems Engineering Implementation Examples</i>).....	196

1 INTRODUÇÃO

1.1. Fundamentos Conceituais

A Ciência e Tecnologia Transdisciplinares de Processos (CT²P), cuja denominação correspondente em inglês é *Transdisciplinary Process Science and Technology (T-PROST)*, é uma abordagem transdisciplinar que propõe a agregação e unificação de quatro disciplinas ou técnicas de modelagem que lidam com processos discretos complexos (KIENBAUM, 2014a).

Processos discretos são aqueles que apresentam mudanças de estado de forma pontual e não contínua no tempo. Os estados de um sistema são representados pelas diversas variáveis de controle e os valores assumidos por elas ao longo da observação do mesmo (KIENBAUM, 2014a).

Neste trabalho o uso da denominação “processo” tem um conceito abstrato e genérico, que precisa ser entendido de acordo com o contexto em que ele é empregado. Para isto adotou-se a seguinte terminologia, que expressa os diferentes significados do termo “processo”, de acordo com seu grau de complexidade e capacidade de subdivisão em componentes mais simples:

CICLO DE VIDA ≥ FASES ≥ ETAPAS ≥ MACROPROCESSOS ≥ PROCESSOS
≥ ATIVIDADES ≥ TAREFAS

Adicionalmente, o símbolo “≥” mostrado acima tem o significado de “equivalente ou sinônimo” quando o elemento anterior se constitui de uma única componente do tipo do elemento seguinte, e tem o sentido de “composto por” quando o elemento anterior é constituído por mais de uma componente do tipo do elemento seguinte.

As disciplinas envolvidas na CT²P são: Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos (ESBM, ou do inglês, *Model Based Systems Engineering - MBSE*); Gerenciamento de Projetos (GP, ou do inglês, *Project Management - PM*); Gestão de Processos de Negócios (GPN, ou do inglês, *Business Process*

Management - BPM); Modelagem e Simulação de Sistemas (SIM e também no inglês, *Simulation Modelling - SIM*).

A Engenharia de Sistemas (ES) é uma abordagem multidisciplinar colaborativa de engenharia para conceber, desenvolver e verificar uma solução balanceada ao longo do ciclo de vida e que atenda às expectativas dos “*stakeholders*” (LOUREIRO, 2010).

Engenharia Concorrente (EC) é uma abordagem sistemática para o projeto simultâneo e integrado de produtos e de seus processos relacionados, incluindo manufatura e suporte. A EC destina-se a fazer com que os desenvolvedores, desde o início, considerem todos os elementos do ciclo de vida do produto desde a concepção até o descarte, incluindo qualidade, custo, cronograma e as necessidades dos usuários (WINNER et al., 1998).

A EC ou Engenharia Simultânea é uma abordagem de engenharia que objetiva definir já na fase de *design* de um produto (concepção e definição de sistemas) todos os seus requisitos, tanto aqueles próprios dessa fase (requisitos do produto) quanto os relativos às fases subseqüentes de seu ciclo de vida, relacionados com seus processos de produção, como sua manufatura, montagem e testes, operação e manutenção, englobando até mesmo a logística e o descarte do produto.

A ESBM é a aplicação formal da modelagem para apoiar os requisitos de sistema, projeto, análise, atividades de verificação e validação começando na fase de *design* e continuando durante o desenvolvimento e demais fases do ciclo de vida (INCOSE, 2015).

GP é a aplicação do conhecimento, habilidades, ferramentas e técnicas às atividades do projeto para atender aos seus requisitos (PMBOK, 2015).

GPN é uma abordagem estruturada e sistemática para a realização de modelagem, análise, execução e controle, gestão e melhoria contínua dos processos utilizados na ES (OMG, 2011).

SIM é o processo de elaborar um modelo de um sistema real e conduzir experimentos com esse modelo tendo como propósito a compreensão do comportamento do sistema ou a avaliação de diversas estratégias (dentro dos limites impostos por um critério ou conjunto de critérios) para a operação do sistema (SHANNON, 1975).

A CT²P consiste na criação de uma visão holística e transdisciplinar para a modelagem de processos da empresa, compreendendo tanto o desenvolvimento de sistemas como os processos de gerenciamento da organização ao longo de todo o ciclo de vida.

A CT²P propõe a reestruturação do próprio conhecimento, e a utilização de um Modelo de Referência (MR) dos processos anteriormente à aplicação das técnicas individuais de cada disciplina. A CT²P tem o objetivo de elaborar, implementar, executar, gerenciar, simular e automatizar modelos dos processos de Engenharia Concorrente (EC ou, do inglês *Concurrent Engineering - CE*), para auxiliar na definição, análise e melhoria dos processos integrados de produção e de gestão de produtos e serviços complexos, por meio da criação de uma metodologia unificada e do desenvolvimento de suas ferramentas de apoio (KIENBAUM, 2014a).

Um estudo desenvolvido com o uso da abordagem CT²P faz uso de três elementos, que em conjunto constituem o que se chama *Framework* CT²P (*T-PROST Framework*): uma **Estrutura do Conhecimento**, formada pelos modelos hierárquicos especializados, criados a partir de um modelo de referência; um **Método de Implementação**, para a evolução destes modelos ao longo do ciclo de vida do sistema; e um **Ambiente de Apoio**, usado para implementação dos referidos modelos na forma de aplicativos autônomos, mas integrados (KIENBAUM, 2014a).

Este trabalho faz uso do *Framework* geral CT²P para a proposição e desenvolvimento de um *framework* de referência, denominado *Framework* ENGESIS, para utilização na fase de *design* da EC de sistemas. Faz-se também uma demonstração e teste de sua aplicação em missões espaciais, usando para esta ilustração, cenários típicos de projeto de desenvolvimento de pequenos satélites.

O *Framework* ENGESIS é aplicável à modelagem e gestão de processos de engenharia e gerenciamento do ciclo de vida de sistemas em geral, pelas organizações responsáveis pelo desenvolvimento de projetos. O propósito principal deste trabalho é o de demonstrar que ele pode ser usado como alternativa de baixo custo e média complexidade no desenvolvimento de projetos típicos do segmento de satélites, em especial aqueles relacionados com satélites de pequeno porte.

A razão pela qual se dá ênfase especial ao segmento de pequenos satélites, ao invés de abranger desde o início sistemas mais complexos, é que esse tipo de projeto pode se beneficiar mais e em curto prazo da utilização do *Framework* ENGESIS.

Este tipo de projeto é geralmente conduzido por universidades e institutos de pesquisa, que normalmente são organizações com menor disponibilidade para desenvolver projetos de grande porte, que implicam em altos investimentos e longas durações de realização.

Algumas universidades têm acesso a ferramentas gratuitas, porém isto pode não ser verdade para universidades que não são de ponta e, além disto, o acesso a ferramentas individuais não satisfaz todas as funcionalidades de gestão cobertas pelo *Framework* ENGESIS e não substitui um ambiente integrado e direcionado como o proposto por ele para esta finalidade.

1.2. Domínio do Problema

O domínio do problema de interesse neste trabalho é a fase de *design* do Projeto de Engenharia de Sistemas, como descrito no SEBoK (*Systems Engineering Body of Knowledge*) (2016).

Dentro do domínio o que se objetiva é definir os processos da fase de *design*, com a finalidade de criar o modelo de referência e transformá-lo em modelos especializados para serem analisados utilizando-se as técnicas provenientes das quatro disciplinas citadas.

Para elaborar o MR dos processos da fase de *design* são utilizadas as definições originalmente apresentadas no SEBoK (2016), em razão de sua generalidade.

Esses modelos de processos criados são em seguida alterados, para adequação aos padrões adotados em gerenciamento de projetos pelo PMBOK (*Project Management Body of Knowledge*) (2014) e aos padrões utilizados em engenharia de sistemas espaciais pela ECSS - *European Cooperation for Space Standardization* e pela NASA - *National Aeronautics and Space Administration*.

Com relação à adequação aos padrões de engenharia espacial, foram feitos dois tipos de alterações:

- 1) utilizou-se como base a ECSS-E-ST-10C (*Space engineering – System engineering general requirements*) (2009) e a ECSS-M-ST-10C (*Space project management – Project planning and implementation*) (2009) para substituição do processo de Análise de Missão (AM) e adição do processo de Análise de Viabilidade (AV) de forma a contemplar o produto, em lugar da organização como originalmente apresentado no SEBoK (2016); e

2) utilizou-se a norma NPR 7123.1B da *NASA Systems Engineering Process and Requirements* (2013) para complementar a equivalência dos processos originais do *SEBoK* (2016) a partir do processo Necessidades e Requisitos de *Stakeholders* (NRS) componente do macroprocesso Definição de Conceitos (DC) e na sequência pelos processos Requisitos de Sistemas (RS), Concepção da Arquitetura Lógica (CAL), Concepção da Arquitetura Física (CAF) e Análise de Sistemas (AS) componentes do macroprocesso Definição de Sistemas (DS), em virtude da compatibilidade entre as duas fontes de referência *NASA* (2013) e *SEBoK* (2016) ser muito grande.

Por fim, utilizou-se o *PMBOK* (2014) para adição do processo Planejamento (PL), componente do macroprocesso DC, de forma a contemplar os padrões de gerenciamento de projetos, especialmente no tocante a escopo, tempo, custos e riscos.

Antes de entrar em detalhes sobre este MR da fase de *design* propriamente dito, é útil situá-lo no contexto de um escopo mais amplo, abrangendo tanto o modelo de Gestão do Ciclo de Vida da Organização (GCVO ou, do inglês, *Organization Lifecycle Management - OLM*), quanto o ciclo de vida completo do sistema, isto é, englobando o ciclo de vida completo da EC, que compreende tanto os processos de produção quanto os de gestão pela organização responsável pelo desenvolvimento.

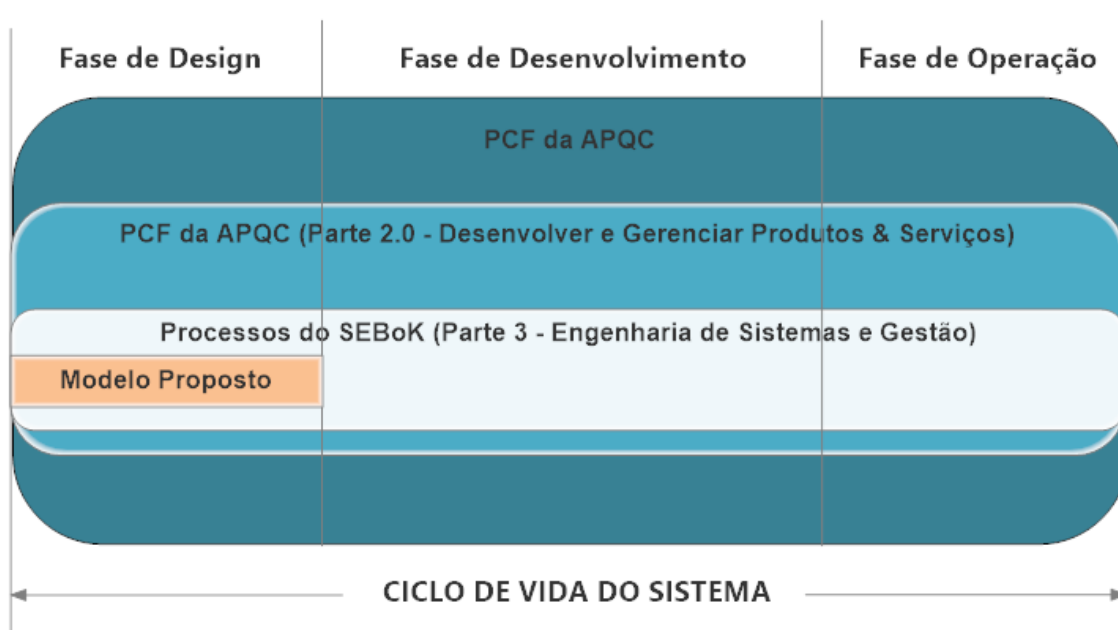
A identificação de modelos genéricos do Ciclo de Vida do Sistema (CVS), no caso de organizações, foi feita a partir da literatura sobre modelos de referência já tradicionais, a saber: o PCF (*Process Classification Framework*) da APQC (*American Productivity and Quality Center*) (APQC, 2014) e o *SEBoK* (2016). Estes modelos são melhor abordados no Capítulo 3.

Os modelos de processos acima citados têm a vantagem de serem bem definidos e contar com comunidades amplas de desenvolvedores e apoiadores,

tendo sido utilizados como ponto de partida para a formulação dos MRs de organizações e produtos em geral.

A visão completa do contexto no qual o MR proposto neste trabalho se insere e a delimitação do escopo da pesquisa aqui apresentada estão ilustradas na Figura 1.1.

Figura 1.1 – Ilustração sobre o contexto do *PCF* da *APQC* e o *SEBoK*.



Fonte: Produção do autor.

A Figura 1.1 ilustra como os conceitos de CVS e MRs são usados neste trabalho.

Os MRs podem ser de dois tipos:

- 1) o MR do Ciclo de Vida da Organização (CVO) é baseado em uma visão holística da organização, englobando todas as fases do CVO, desde sua visão estratégica, passando pelo desenvolvimento do produto, colocação em operação, gerenciamento da operação e do cliente, até o descarte do produto final; e

2) o MR do Ciclo de Vida do Produto (CVP) é uma parte do CVO (Parte 2.0 do *PCF* da *APQC*), e neste caso ele contém a macro Desenvolver e Gerenciar Produtos e Serviços, que engloba os processos de engenharia do produto e de gestão da produção.

O CVS é um conceito geral, não sendo exclusivo somente para o ciclo de vida da organização ou para o ciclo de vida do produto. Desta forma, o conceito CVS pode designar, alternativamente, tanto o CVO como o CVP ou os dois ao mesmo tempo, quando a organização e o produto que ela desenvolve são abordados como um sistema composto de subsistemas.

Para ilustrar em detalhes o MR de processos do ciclo de vida do sistema serão utilizados os processos de engenharia descritos no *SEBoK* (2016), contidos na sua parte 3.

A fase de *design* da EC (*SEBoK*, 2016) é responsável pela execução dos seguintes macroprocessos: DC e DS, os quais estão descritos em detalhes no Capítulo 4.

O macroprocesso DC (*SEBoK*, 2016) é decomposto em dois processos, denominados AM e NRS.

O macroprocesso DS (*SEBoK*, 2016) por sua vez é dividido em quatro outros processos, denominados RS, CAL, CAF e AS.

Estes macroprocessos serão definidos em detalhes no capítulo 4, itens 4.2 e 4.3.

1.3. Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é o de utilizar a abordagem CT²P descrita em Kienbaum (2014a) para a implementação de um *framework* de referência (*Framework* ENGESIS) adequado aos processos da fase de *design* do ciclo de

vida da EC de sistemas, visando modelagem, análise e melhoria contínua destes processos.

Um segundo objetivo geral do trabalho é o de utilizar o *Framework* ENGESIS para demonstrar e testar sua aplicação em cenários reais, direcionados para o desenvolvimento de projetos de pequenos satélites, em especial com relação às suas fases de concepção, projeto preliminar e projeto detalhado.

Um objetivo específico do trabalho é o de utilizar conceitos da EC, que contemplam simultaneamente os processos vinculados ao desenvolvimento do produto e à gestão da produção pela organização.

Um segundo objetivo específico do trabalho é o de fazer uso de normas técnicas da área espacial na formulação geral do modelo e na documentação dos processos descritos.

Um terceiro objetivo específico do trabalho é de natureza complementar e visa subsidiar a concepção e projeto de um ambiente de apoio à metodologia CT²P, que será desenvolvido pelos participantes do grupo de pesquisa ENGESIS, em paralelo aos estudos teóricos aqui apresentados.

Como resultado final do trabalho espera-se contribuir para a maturidade da abordagem denominada CT²P, pela aplicação, exploração e evolução da mesma na gestão do ciclo de vida de sistemas em projetos de EC, em especial tomando como base a aplicação da mesma num contexto de missões espaciais.

1.4. Motivação e Justificativa do Trabalho

O desenvolvimento de pequenos satélites tem aumentado consideravelmente nos últimos anos. O número significativo de novos projetos é decorrente do surgimento de novas oportunidades para a condução de pesquisas científicas e tecnológicas de baixo custo e médio nível de complexidade sobre satélites autônomos no espaço.

Segundo Woellert et al. (2011), o desenvolvimento, operação e análise de dados de *cubesats* podem fomentar a educação científica e impulsionar a utilização da tecnologia em nações emergentes e em desenvolvimento.

Essa plataforma oferece custos excepcionalmente baixos para construção e lançamento e possuem grande disponibilidade de fornecedores para seu lançamento. Esses fatores levaram mais de 80 universidades e diversas nações emergentes a desenvolverem programas nessa área (SWARTWOUT, 2013). Seu pequeno tamanho e peso permite que *cubesats* sejam lançados como carga útil complementar no lançamento de satélites de maior porte.

Segundo a AEB (2013) em seu documento do Programa Nacional de Atividades Espaciais 2012-2021 (PNAE), para capturar as tecnologias niveladoras (que o mundo já domina), avançadas (em desenvolvimento no plano mundial) e as disruptivas que surgem de inovações tecnológicas radicais capazes de induzir mudanças profundas nas estratégias vigentes, deve-se promover mais missões científicas e tecnológicas, mais capacitação de especialistas e mais acesso de baixo custo ao espaço. Precisa-se também usar plataformas orbitais e suborbitais de baixo custo para testar, demonstrar e comercializar novas tecnologias e realizar experimentos científicos. A meta é industrializar e comercializar pequenos satélites, lançados por veículos de fabricação nacional.

Tradicionalmente o desenvolvimento de sistemas espaciais no Brasil vem sendo de responsabilidade de um pequeno número de organizações de grande porte, como AEB, o INPE e o DCTA. Por um lado, essas organizações sempre estiveram preocupadas com sistemas de grande porte e altamente complexos, de modo que seu conhecimento e experiência são direcionados ao desenvolvimento desse tipo de sistemas. Por outro, pesquisas de satélites de baixo custo, de baixo ou médio nível de complexidade científica e tecnológica, requerem ferramentas e técnicas menos sofisticadas em relação as que são

desenvolvidas para sistemas espaciais de grande porte, não sendo apropriadas para uso no segmento de pequenos satélites.

Uma adequação do programa espacial brasileiro a essas novas tendências, com a redução de custos e prazos de desenvolvimento de novos satélites de pequeno porte cujas funcionalidades possam suprir o uso de equipamentos mais complexos e caros, pode ser um elemento muito importante para o crescimento do setor.

A fim de implementar programas espaciais com tais características, envolvendo pequenos satélites de baixo custo, deve-se dar uma ênfase especial a capacitação de recursos humanos, por meio da utilização de estudantes de graduação e pós-graduação, que poderão complementar sua formação através da aprendizagem baseada em projetos e do seu engajamento em projetos reais, conduzidos por universidades e instituições de pesquisa responsáveis pelo programa espacial nacional.

A falta de sistemas equivalentes nesse cenário, que possam ser usados para auxiliar projetos de missões espaciais dessa natureza, acarreta a possibilidade de que o desenvolvimento de projetos de pequenos satélites venha a ser feito de maneira muito amadora, resultando em deficiências no projeto, relacionadas ao escopo, duração, custo e/ou baixa qualidade dos produtos criados.

É nesse contexto que a adoção de uma abordagem transdisciplinar orientada a processos, como ocorre com a metodologia CT²P apresentada neste trabalho, adquire sua maior importância.

A aplicação do Framework ENGESIS para auxiliar o desenvolvimento de projetos de pequenos satélites pode desempenhar um papel relevante no treinamento de recursos humanos, pois ele aborda tanto as características técnicas específicas, quanto os desafios gerenciais de natureza mais simples, presentes na execução de programas espaciais desse tipo desenvolvido

por universidades e instituições de pesquisa, permitindo o ensinamento dos fundamentos característicos desses projetos de forma sistemática.

Essas organizações podem também fazer uso do Framework ENGESIS como uma alternativa para os ambientes PLMs e BPMs mais complexos, caros e que necessitam ser customizados e integrados com o software legado já disponível nas empresas, o que os tornam inacessíveis para uso em instituições de pesquisa e universidades para projetos do tipo mencionados.

Por fim, em termos de alinhamento com a missão do INPE, pode-se dizer que este trabalho está totalmente alinhado com as atividades do Departamento de Engenharia e Tecnologia Espaciais (ETE) e também com o programa de pós-graduação da ETE, em especial com o curso de Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais (CSE), pois o *Framework* ENGESIS pode ser utilizado diretamente nas atividades de pesquisa, desenvolvimento e ensino realizadas por estes órgãos do INPE.

1.5. A Metodologia Utilizada

Na realização e estruturação deste trabalho foi adotada uma abordagem gradual de construção do seu conteúdo, equivalente ao método de implementação do *Framework* CT²P descrito neste trabalho.

1.6. Estrutura do Trabalho

Este trabalho está estruturado da seguinte forma:

Capítulo 1 – Introdução

O primeiro capítulo consiste nesta Introdução.

Capítulo 2 – Metodologia para Uso de CT²P em Engenharia de Sistemas

Neste capítulo é apresentado o *Framework* geral CT²P, conforme descrito originalmente em Kienbaum (2014a).

Capítulo 3 - Escopo da Pesquisa

Este capítulo consiste em um levantamento bibliográfico para identificação do escopo da pesquisa, envolvendo pesquisas correlatas, modelos de referência e a definição da fase de *design* do CVS.

Capítulo 4 - Definição do Problema

Neste capítulo é feita uma descrição dos processos envolvidos na fase de *design* da EC segundo o modelo originalmente apresentado no *SEBoK* (2016).

Capítulo 5 - Proposta do Modelo de Referência

Neste capítulo é feita a apresentação do MR proposto para a fase de *design* do ciclo de vida de sistemas espaciais, tanto do ponto de vista estrutural (modelo estrutural hierárquico) quanto dinâmico (modelo de processos), contemplando os ajustes sugeridos pelo autor para adequação do modelo *SEBoK* (2016) original aos padrões de sistemas espaciais e inclusão dos processos de análise de viabilidade da ECSS (2009) e do gerenciamento de projetos do *PMBOK* (2014).

Capítulo 6 – Implementação do *Framework* ENGESIS

O MR proposto é modelado na forma de uma Rede Transdisciplinar de Processos (RTP ou, do inglês, *Transdisciplinary Process Network - TPN*), para ser usado nas etapas seguintes de desenvolvimento dos modelos especializados do CVS, utilizando as respectivas notações específicas provenientes de disciplinas diversas, para garantir a consistência destes modelos, bem como a equivalência entre eles. A implementação do *Framework* ENGESIS contempla ainda a criação dos modelos especializados de engenharia, baseados no modelo de referência.

Capítulo 7 – Aplicação ao Projeto de Pequenos Satélites

Neste capítulo faz-se uma demonstração e teste da aplicação do *Framework* ENGESIS ao projeto de pequenos satélites. A demonstração e teste foram realizados na forma de um projeto piloto, que se estendeu ao longo de dois períodos acadêmicos (total de seis meses), e foi conduzido por dez alunos de pós-graduação do curso de Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais (CSE/ETE), com o objetivo de testar a aplicação do *Framework* ENGESIS no contexto de projetos de desenvolvimento de pequenos satélites.

Capítulo 8 – Análise de Resultados

Este capítulo apresenta a análise e a avaliação dos resultados obtidos com a pesquisa, cobrindo a implementação do *Framework* ENGESIS e sua aplicação para o projeto de pequenos satélites, bem como uma revisão holística da abordagem CT²P, na qual as melhorias nela introduzidas e as lições aprendidas são sintetizadas, para estabelecer as novas diretrizes para sua utilização em trabalhos futuros.

Capítulo 9 – Conclusões e Pesquisas Futuras

Este capítulo apresenta as conclusões do trabalho quanto ao grau de atingimento dos objetivos propostos pelo estudo. O capítulo é concluído com algumas sugestões para a realização de pesquisas futuras, sobre temas relevantes para a continuidade e melhoria do *Framework* CT²P e sua aplicação em novos estudos de caso.

2 A CIÊNCIA E TECNOLOGIA TRANSDISCIPLINARES DE PROCESSOS

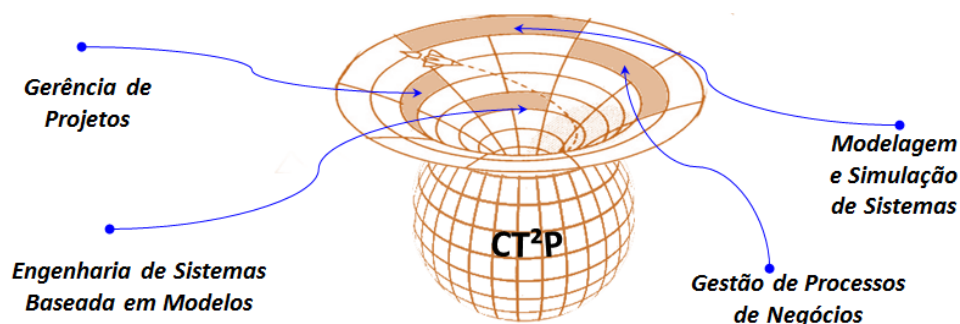
Neste capítulo é apresentada a metodologia denominada Ciência e Tecnologia Transdisciplinares de Processos (CT²P) e os passos para sua aplicação no contexto de desenvolvimento de sistemas complexos, tendo como domínio de aplicação os processos discretos do ciclo de vida de sistemas em geral, conforme ela foi originalmente descrita em Kienbaum (2014a).

2.1. Introdução

A CT²P é a agregação e unificação das quatro disciplinas e suas respectivas técnicas de modelagem - Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos (ESBM), Gerenciamento de Projetos (GP), Gestão de Processos de Negócios (GPN), Modelagem e Simulação de Sistemas (SIM) - para construir uma visão holística e transdisciplinar para a modelagem de processos de uma empresa, compreendendo tanto o desenvolvimento de produtos como os processos de gerenciamento da organização ao longo de todo o ciclo de vida (KIENBAUM, 2014a).

A Figura 2.1 apresenta as principais disciplinas que compõem a CT²P, mostrando a fusão das quatro áreas de estudos que lidam com modelos de processos discretos, que são integradas e unificadas ao centro, formando uma única área de concentração.

Figura 2.1 – Ilustração sobre Ciência e Tecnologia Transdisciplinares de Processos.



Fonte: Adaptada de Silva, L. (2013, p. 27).

A CT²P tem o objetivo de modelar, implementar, simular, automatizar e melhorar continuamente os processos de EC, descritos como a integração dos processos de produção e de gestão de produtos e serviços complexos, por meio da criação de uma metodologia unificada e do desenvolvimento de suas ferramentas de suporte.

2.2. Fundamentos da Metodologia

Os conceitos fundamentais e diferenciais da metodologia CT²P são aqueles relacionados com o Modelo de Referência (MR) transdisciplinar de processos e sua notação específica, denominada Diagramas para a Modelagem Unificada do Ciclo de Vida (DMUCV) de acordo com Fernandez (2016).

O MR de processos em DMUCV é denominado de Rede Transdisciplinar de Processos (RTP).

Fazendo-se uma analogia, o BPD (*Business Process Diagrams*) é uma representação gráfica usando a notação BPMN e a RTP é uma representação gráfica (modelo de referência) usando a notação DMUCV.

O MR descreve o processo de ciclo de vida do sistema em sua estrutura essencial, bem como suas características dinâmicas, com o propósito especial de servir como base comum para o desenvolvimento dos modelos especializados adicionais, a serem criados em cada disciplina autônoma componente da CT²P.

A atual designação DMUCV e seu formato de notação é uma evolução de antigas versões desses diagramas, que se iniciaram com os nomes de Diagramas Hierárquicos do Ciclo de Atividades (H-DCAs, ou do inglês Hierarchical Activity Cycle Diagrams - H-DCA) (Kienbaum, 1994) e prosseguiram com as versões denominadas Diagrama para Modelagem Unificada em Simulação (DMUS) e Diagrama para Modelagem Conceitual Unificada (DMCU). A Tabela 2.1 apresenta a simbologia da notação para a

modelagem transdisciplinar de processos e seus respectivos significados, tanto em seus formatos antigos nas versões DMUS/DMCU, bem como em seu formato atual DMUCV.













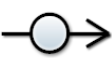




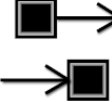




O formato atual da notação de modelagem se assemelha muito ao do conjunto básico dos ícones *BPMN* (*Business Process Management Notation*) (OMG, 2011), com algumas extensões. Por isto é frequente o questionamento da necessidade de "mais um tipo de notação de modelagem de processo ou diagramas gráficos".

A *BPMN* é largamente usada e apoiada por grandes comunidades, tornando-se a notação "padronizada" para a criação de modelos, mas esses modelos já se encontram em seu formato definitivo para uso pelos aplicativos de software apenas da área de gestão de processos de negócios.

Os modelos descritos com *BPMN*, denominados *Business Process Diagrams* (*BPD*) não se destinam a serem convertidos e implementados usando outras notações proprietárias específicas para a representação de modelos de processos, conforme oferecidas por diferentes fabricantes de sistemas (por exemplo, *Event Process Chain – EPC* – usada pelo sistema ARIS (*Architecture of Integrated Information System*) (2016).

O uso da notação DMUCV (Fernandez, 2016) é somente um primeiro passo (a fase de modelagem conceitual) de um processo gradual de modelagem que pode resultar em sua implementação em diferentes categorias de sistemas, cada uma delas relacionada com cada uma das disciplinas autônomas componentes da CT²P.

Tabela 2.1 – Descrição dos símbolos da notação de modelagem DMUCV.

Designação		Descrição
DMUS / DMCU	DMUCV	
		Ponto de início do processo do ciclo de vida de entidades
		Ponto de término do processo do ciclo de vida de entidades
		Repositórios de entidades ou recursos
N/A		Intersecção de entidades ou recursos entre dois processos apresentados em raias ou frames separados
		Macroprocesso
		Processo / Atividade Simples
		Link mostrando o fluxo de controle de qualquer tipo ou número de entidades, recursos, artefatos ou mensagens que estão sendo transferidos
N/A		Conexão entre fronteiras do fluxo de controle de quaisquer tipos de entidades ou recursos. As fronteiras separam raias ou frames e os símbolos descrevem respectivamente o envio e recebimento de mecanismos.
		Link mostrando o fluxo de controle de artefato ou mensagem específica que está sendo transferida e que necessita ser distinguida
N/A		Conexão entre fronteiras do fluxo de controle de artefato ou mensagem específica sendo transferida, que necessitam ser distinguidos. As fronteiras separam raias ou frames e os símbolos descrevem respectivamente o envio e recebimento de mecanismos.
N/A		Link mostrando o sincronismo entre dois processos
N/A		Conector usado para direcionar o fluxo de controle entre os processos para expressar roteamento em junções (ou exclusivo, separação e união), o qual também tem capacidade de processamento
N/A		Bloco utilizado para roteamento, associados com os caminhos percorridos por entidades, recursos, artefatos ou mensagens
	N/A	Fila de entidades/recursos esperando diante de uma atividade prestes a se iniciar
	N/A	Fila de artefatos/mensagens esperando diante de uma atividade prestes a se iniciar

Fonte: Produção do autor.

Algumas características semânticas da DMUCV são inexistentes em qualquer uma das representações de modelo gráfico ou textual de processos tradicionais, como *workflows* ou até mesmo *BPMN*. Estas características dos diagramas DMUCV, no entanto, acabam sendo essenciais para o tipo de lógica e conhecimento representado no modelo de referência.

As características diferenciais da notação DMUCV começam com seu alto nível de abstração e minimalismo, composto somente por treze símbolos diferentes expressando a estrutura completa e a dinâmica dos processos concorrentes do ciclo de vida dos agentes participantes do sistema.

As redes RTPs expressam um conjunto integrado de conceitos, a saber: a decomposição hierárquica dos processos componentes; a variedade de agentes e mensagens e os fluxos de controle dos processos; e o ciclo de vida dos agentes e as interações entre eles.

Os diagramas são criados na forma de módulos encapsulados, que podem ser representados na forma de *frames* ou de raias, descrevendo desde um processo muito simples (tarefa) até um processo muito complexo (macroprocesso).

Adicionalmente a todas essas características, algumas das quais ainda poderiam ser expressas utilizando os diagramas do tipo *BPMN* (OMG, 2011), existe um aspecto inigualável que diferencia DMUCV de todos os outros tipos de diagramas de modelagem de processos existentes.

Esses diagramas não descrevem operações lógicas puras e/ou controles de fluxos (fluxogramas), eles representam essencialmente as atividades fundamentais de transformação, realizadas em tempo real por entidades físicas, bem como as mensagens ou artefatos trocados entre elas.

Os *links* correspondem a entidades reais, que fluem ao longo de seu ciclo de vida (linhas sólidas), bem como a artefatos (linhas pontilhadas) trocados entre as atividades, que são utilizados como entradas para outras atividades.

Cada classe de entidade tem seu processo de ciclo de vida específico, e elas interagem para executar suas atividades comuns, que consomem tempo, e que ficam pausadas até que todos os insumos necessários (entidades e/ou artefatos) estejam disponíveis, e suas condições iniciais internas adicionais para execução sejam satisfeitas.

Um tipo especial de condição inicial é externo ao processo e é representada graficamente, chamada de mecanismo de disparo.

Os fluxos de controle estão sempre associados com algum tipo de entidade, recurso, artefato ou mecanismo de disparo, e eles reativam os processos em um determinado ponto do seu ciclo e do tempo, dando continuidade à execução do seu ciclo de vida completo.

A notação DMUCV segue as mesmas regras de representação do *IDEF0*, onde as entradas ou insumos são representados pelo lado esquerdo, controles e normas utilizados são representados pelo lado de cima, os mecanismos/recursos envolvidos são representados pelo lado de baixo, e por último as saídas ou artefatos gerados no final de cada processo que são representados pelo lado direito.

2.3. Framework CT²P

Um *framework* para a condução de estudos em CT²P (Kienbaum, 2014a) é definido como uma abordagem sistemática de modelagem que compreende os três elementos seguintes: uma arquitetura do conhecimento sobre processo, que contém o conhecimento organizado sobre os modelos estrutural e dinâmico dos processos de desenvolvimento de produtos e serviços complexos; um método para evolução dos modelos, chamado de método de

implementação, abrangendo os processos do ciclo de vida do desenvolvimento do produto e da gestão da organização; e um conjunto de ferramentas de apoio, denominado ambiente de apoio, para auxiliar na condução desses estudos.

As diretrizes principais nas quais o *Framework* CT²P se baseia são as seguintes:

- a) construir um modelo de referência integrado e unificado contendo os processos essenciais de produção e de gestão, isto é, o modelo genérico dos processos da EC, cobrindo todo o ciclo de vida do sistema desde sua concepção até o seu descarte final;
- b) construir modelos especializados de processos do ciclo de vida do sistema específico em desenvolvimento, a partir do modelo de referência citado. Para isto empregam-se diferentes formas de modelos ou visões especializadas de processos, baseadas no domínio de conhecimento dos diversos agentes envolvidos no projeto do sistema, a saber: as visões do engenheiro de sistemas, do gerente do projeto, do gestor de processos de negócios, e do analista especializado em modelagem e simulação de sistemas; e
- c) utilizar estes modelos especializados ao longo do ciclo de vida completo do sistema para executar, gerir e analisar, simultaneamente e de forma integrada, tanto os processos de desenvolvimento do produto quanto os de gestão da produção pela organização executora.

O método de implementação também chamado de modelagem unificada de processos do Ciclo de Vida do Sistema (CVS) é criado pela agregação das diferentes visões de processos originadas dessas disciplinas, aplicadas em conjunto, aos processos de EC.

Esta estrutura de processos e metodologia de modelagem em multicamadas contempla não apenas a decomposição do modelo geral de processos em níveis hierárquicos, mas associa cada disciplina a uma camada, começando com a de engenharia na camada mais interna, passando pelas visões de GP e gestão dos processos de negócios, nas camadas intermediárias, e chegando finalmente a visão de simulação na camada mais externa.

O método para implementação da CT²P pode ser descrito sob a forma de macroprocessos e suas respectivas atividades componentes, denominados: definição da missão (elicitação, definição do problema e planejamento estratégico); modelagem conceitual (criação do modelo *IDEFO* (*Integration Definition for Function Modelling*) e criação do modelo de referência); desenvolvimento dos modelos (modelagem especializada / construção e implementação dos modelos especializados); execução dos modelos (projeto de experimentos / experimentação); finalização (avaliação individual especializada); avaliação global (avaliação conjunta ou integrada); e revisão holística.

A Tabela 2.2 mostra a modelagem unificada do CVS, inicialmente na forma de suas fases ou macroprocessos componentes, e depois por meio da decomposição deste em suas atividades e tarefas simples, evidenciando a transformação gradual do CVS e, em particular, o uso simultâneo das diversas disciplinas para construir o modelo especializado, utilizado para o estudo completo de CT²P.

As diversas disciplinas (ESBM, GP, GPN e SIM) estão representadas através dos quatro tipos numerados de 1 a 4 respectivamente nas tarefas B, C, D, E e F.

Tabela 2.2 – Metodologia para uso de CT²P em Engenharia de Sistemas (versões inglês e português).

TRANSDISCIPLINARY PROCESS SCIENCE AND TECHNOLOGY (T-ProST)				CIÊNCIA E TECNOLOGIA TRANSDISCIPLINARES DE PROCESSOS (CT ² P)		
Unified Lifecycle Modelling	Phases	Activities	Tasks	Fases	Atividades	Tarefas
	Mission Definition	Mission Definition (A0)	Elicitation, Problem Definition and Strategic Planning	Definição da Missão	Definição da Missão (A0)	Elicitação, Definição do Problema e Planejamento Estratégico
	Conceptual Modelling	Analysis (A)	IDEF0 (Integrated DEFinition for Function Modelling) Model Creation, Reference Model Creation	Modelagem Conceitual	Análise (A)	Criação do Modelo IDEF0, Criação do Modelo de Referência
	Model Development	Specialized Model Building (B) Specialized Model Construction/Implementation (C)	B1, B2, B3, B4 C1, C2, C3, C4	Desenvolvimento do Modelo	Bricolagem ou Modelagem Especializada (B) Construção/Implementação dos Modelos Especializados (C)	B1, B2, B3, B4 C1, C2, C3, C4
	Model Execution	Design of Experiments (D) Experimentation (E)	D1, D2, D3, D4 E1, E2, E3, E4	Execução do Modelo	Descrição de Experimentos (D) Experimentação (E)	D1, D2, D3, D4 E1, E2, E3, E4
	Finishing	Finishing (F)	F1, F2, F3, F4	Finalização	Finalização (F)	F1, F2, F3, F4
	Global Assessment	Global Assessment (G)	General Assessment	Avaliação Global	Avaliação Geral (G)	Avaliação Geral
	Holistic Revision	Holistic Revision (H)	Holistic Revision	Revisão Holística	Revisão Holística (H)	Revisão Holística

Fonte: Produção do autor.

A primeira fase, também denominada de macroprocesso – definição da missão – consiste na coleta de dados e na definição do problema ou do sistema, delimitado em seu ambiente, assim como na elaboração de um plano para condução do estudo, com os objetivos e as linhas gerais para sua execução.

A segunda fase, também denominada de macroprocesso – modelagem conceitual – é onde se constrói o modelo transdisciplinar dos processos hierárquicos – MR ou RTP, descrevendo os processos essenciais do sistema, que correspondem às transformações reais que nele ocorrem. Isso torna mais fácil para os diferentes tipos de usuários e modeladores entenderem o comportamento do sistema e, mais tarde, traduzir este modelo lógico em diversos tipos específicos de notações, a fim de realizar as fases de bricolagem e construção dos modelos especializados.

Na Tabela 2.2 os macroprocessos restantes são mostrados com as suas respectivas denominações e definições mais detalhadas, através da decomposição do respectivo macroprocesso em seus componentes, que consistem em atividades simples ou compostas de suas respectivas tarefas elementares.

Os termos utilizados em inglês e português adotam uma ordem alfabética, que ajuda na identificação da sequência temporal segundo a qual estas atividades e tarefas simples são realizadas.

Os quatro tipos numerados de tarefas B, C, D, E e F são aqueles relacionados com as quatro disciplinas que compõem a CT²P (engenharia de sistemas baseada em modelos, gerenciamento de projetos, gestão de processos de negócios e simulação).

Os quatro tipos são tratados separadamente durante as etapas de desenvolvimento do modelo, execução e finalização - modelagem especializada, execução e avaliação individualizada - e seus resultados são integrados na etapa de avaliação global, para produzir uma avaliação completa

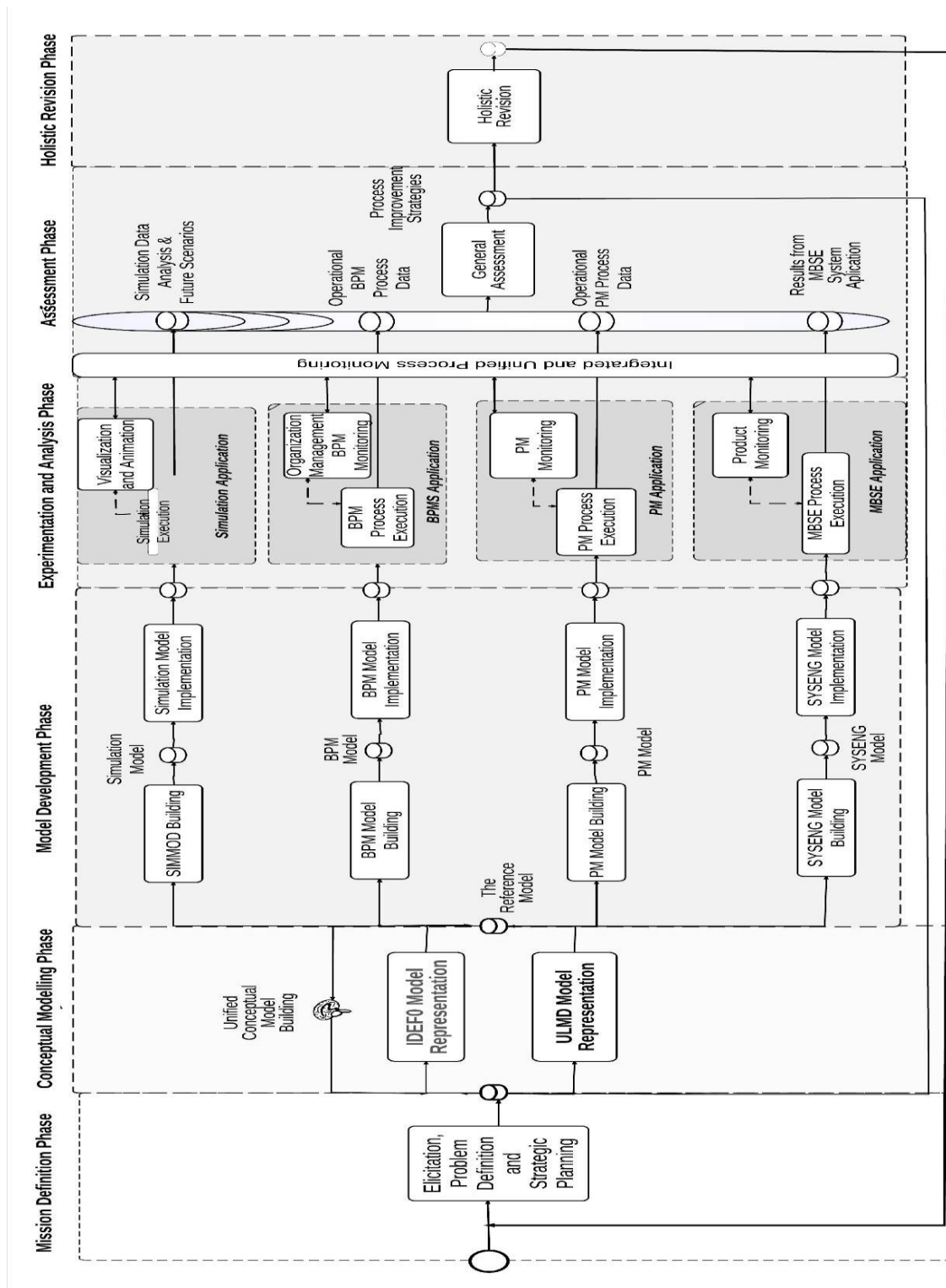
dos modelos especializados criados a partir do modelo transdisciplinar de referência.

Finalmente, a modelagem unificada do ciclo de vida é encerrada com o macroprocesso revisão holística, onde é feita uma revisão holística da própria metodologia e uma síntese dos resultados obtidos com sua aplicação.

A revisão holística busca evoluir a própria abordagem transdisciplinar de processos CT²P por meio das “lições aprendidas”, a partir da aplicação do seu *framework* no estudo de caso que acabou de ser realizado.

A Figura 2.2 mostra uma descrição na forma gráfica do conteúdo da Tabela 2.2, para maior facilidade de visualização e entendimento do método de implementação do *Framework* CT²P.

Figura 2.2 – Modelagem Unificada dos Processos do CVS (Método de Implementação do Framework CT²P).



Fonte: Kienbaum (2014a, p. 13).

2.4. Descrição Detalhada das Fases

As fases ou macroprocessos componentes do método de implementação do *Framework* CT²P mostrado na Tabela 2.2 e Figura 2.2 são descritos em detalhes nos itens a seguir.

2.4.1. Fase de Definição da Missão

A fase de definição da missão consiste na coleta de dados e na definição do problema ou do sistema, delimitado em seu ambiente, assim como na elaboração de um plano para condução do estudo, com os objetivos e as linhas gerais para sua execução.

A generalização do nome da fase e da atividade principal nela executada para definição da missão é utilizada tanto nos casos em que o objeto de estudo for uma organização, como quando ele for um produto, pois a metodologia CT²P serve para definir tanto os processos da organização como do produto.

No caso de o objeto de estudo ser uma organização, a fase de definição da missão antecede a concepção do produto propriamente dito e contempla a organização como um todo.

Em estudos que contemplam as organizações como um todo, a atividade definição da missão está ligada diretamente à identificação dos objetivos institucionais da organização e aos motivos pelos quais ela foi criada, representando a sua razão de ser.

As tarefas componentes da atividade macro são denominadas elicitação, definição do problema e planejamento estratégico e elas são interpretadas de acordo com cada tipo de aplicação ou estudo de caso.

A tarefa de elicitação corresponde ao levantamento das informações sobre o Sistema de Interesse (do inglês, *System of Interest - Sol*).

A tarefa definição do problema consiste na identificação do escopo do problema que se quer estudar, incluindo seus aspectos estruturais (arquitetura) e dinâmicos (processos).

O planejamento estratégico consiste no estabelecimento dos objetivos do estudo e das linhas gerais para a condução do estudo sobre o sistema em questão (ROZENFELD, 2006).

Nos casos em que o objeto de estudo for um tipo de sistema discreto diferente de uma organização, como por exemplo, projetos de desenvolvimento de pequenos satélites, há necessidade de se definir o problema de uma maneira adequada, descrevendo o sistema objeto de estudo e o contexto em que ele se insere, bem como os objetivos a serem alcançados com o estudo de caso em questão.

Na continuação da descrição e modelagem do sistema, a ser realizada na fase de modelagem conceitual, a primeira tarefa da atividade Análise denominada Criação do Modelo *IDEFO*, utilizará todas as informações já obtidas sobre o sistema de interesse que tenham sido levantadas nesta primeira fase, denominada Fase de Definição da Missão.

2.4.2. Fase de Modelagem Conceitual

A fase de modelagem conceitual consiste de uma atividade de análise composta de duas tarefas: a primeira, chamada de criação do modelo *IDEFO*, faz uso da notação *IDEFO* na decomposição hierárquica do CVS sob a forma de processos; e a segunda camada de criação do MR que é o nome dado ao modelo conceitual descrito usando a rede Rede Transdisciplinar de Processos (RTP) dos processos correspondentes de engenharia e gestão da produção.

O modelo *IDEFO* reflete a decomposição hierárquica dos processos de transformação componentes do ciclo de vida do sistema. Na criação do modelo *IDEFO* é feita a decomposição dos macroprocessos descritivos do ciclo de vida

do sistema sem que haja uma preocupação com o sequenciamento dos mesmos.

O objetivo da criação do modelo *IDEFO* é a identificação dos processos hierárquicos em si e de seus parâmetros de interesse, tais como: entradas ou insumos, controles e normas utilizados, os mecanismos/recursos envolvidos, e por último as saídas ou artefatos gerados no final de cada processo.

O MR vai além dos diagramas *IDEFO* e eventuais formas adicionais de descrição do sistema, ao acrescentar todos os aspectos relevantes da rede de processos representativa das operações de transformação realizadas sobre o sistema.

Na criação do MR é acrescentado o sequenciamento das atividades utilizando-se a notação DMUCV, especialmente desenvolvida para uso na CT²P.

A notação DMUCV é uma combinação de outros tipos de representações existentes na literatura, tais como os Diagramas de Ciclo de Atividades (DCAs) (Pidd, 2004) e *Role Activity Diagrams* (RAD) (Ould, 1995).

No MR dos processos do CVS são considerados os processos ou macroatividades no nível mais alto possível, que são decompostos apenas quando se torna necessário detalhar atividades do sistema que precisam ser consideradas em todos os modelos de processos correspondentes às demais disciplinas.

Também é preciso assegurar que alterações feitas em um modelo correspondente a uma disciplina específica que resultem em mudanças no MR, sejam propagadas também para as demais disciplinas, mantendo-se a completude, a consistência e a equivalência entre todas as formas de representações utilizadas.

2.4.3. Fase de Desenvolvimento

A terceira fase da modelagem unificada do ciclo de vida é denominada de fase de desenvolvimento e consiste na transformação e implementação do modelo de referência em diferentes formatos de representação, utilizando ambientes apropriados, a saber: ambiente para engenharia de sistemas baseada em modelos, ambiente para gerenciamento de projeto, ambiente para gestão de processos de negócios e ambiente para simulação de sistemas, utilizando as representações gráficas apropriadas de cada sistema com o qual se deseja efetuar a análise por simulação.

Para cada disciplina envolvida na aplicação do *Framework CT²P*, a fase de desenvolvimento compreende duas atividades, chamadas de bricolagem ou modelagem especializada (*specialized model building*) e construção/implementação dos modelos especializados (*specialized model construction/implementation*).

As duas atividades citadas são realizadas em separado para cada uma das disciplinas, tomando-se como base o modelo de referência e têm as finalidades abaixo descritas.

Bricolagem ou Modelagem Especializada

Na bricolagem ou modelagem especializada produz-se uma descrição multimodelos e multicamadas, em que as técnicas usadas para a construção do modelo em camadas são executadas na seguinte ordem, a partir da camada mais interna para a mais externa: engenharia de sistemas baseada em modelos (*model based systems engineering*), gerenciamento de projetos (*project management*), gestão de processos de negócios (*business process management*) e modelagem e simulação (*simulation modelling*).

A bricolagem ou modelagem especializada é realizada com o apoio das notações e técnicas existentes em cada uma das disciplinas componentes da

CT²P, fazendo uso dos ambientes de apoio já existentes para cada uma das técnicas específicas.

A primeira das disciplinas ou técnicas utilizada na construção dos modelos especializados é a ESBM.

O modelo de engenharia consiste na complementação e transformação do MR em um modelo especializado para acompanhamento de toda a evolução do sistema usando a ESBM ao longo do seu ciclo de vida.

O MR está associado com o modelo genérico, enquanto o modelo de engenharia de sistemas já contempla as especificidades de um determinado produto, sendo ambos os resultados da especificação e representação dos processos principais de transformação realizados pela engenharia de sistemas, denominados de processos essenciais do CVS.

O modelo de engenharia, além das informações originadas do MR (insumos, controles, recursos e produtos referentes às atividades), deve disponibilizar todas as informações adicionais relevantes sobre o fluxo dos processos e sobre os artefatos que são gerados ao longo do CVS, para permitir o monitoramento da configuração e desenvolvimento completo do sistema.

Isto pode compreender, entre outras coisas, à criação de um aplicativo de banco de dados que seja capaz de disponibilizar, de forma fácil e bem-estruturada todas as informações sobre o CVS, começando com o conhecimento sobre o MR e complementando-o com dados do modelo de engenharia.

A implementação do modelo de engenharia pode ser apoiada também por algum tipo de sistema de gestão de configuração e controle, de preferência um que possa exibir, tanto os dados de forma gráfica como os dados vinculados ao modelo, as informações completas sobre o sistema, incluindo o processo de decomposição hierárquica do mesmo e a sequência de execução de seus

processos de *design* e fabricação (no caso do ciclo de vida completo) para fins de monitoração.

Em particular, no *Framework* ENGESIS apresentado neste trabalho, deve-se manter um registro de todos os dados relativos às fases de desenvolvimento do produto - Definição de Conceitos (DC) e Definição de Sistemas (DS), relacionados com a fase de *design* do CVS, e adicionar toda a documentação dos modelos adicionais, por exemplo, as descrições dos artefatos criados pelos processos da ESBM e como eles são criados ao longo do ciclo de vida do desenvolvimento do produto.

A segunda das disciplinas utilizadas para a modelagem e implementação dos modelos especializados a serem construídos na fase de desenvolvimento é o gerenciamento de projetos, que faz uso de notações e técnicas baseadas em diagramas *PERT/CPM* (*Program Evaluation and Review Technique/Critical Path Method*).

O Gerenciamento de Projetos (GP) tem como objetivo planejar e coordenar as atividades necessárias para fornecer um produto satisfatório, serviço ou empreendimento empresarial, dentro dos limites estabelecidos pelo cronograma, orçamento, recursos, infraestrutura e recursos humanos e tecnologia disponíveis.

A modelagem e implementação para GP é vista como a aplicação de técnicas de gerenciamento de projetos fazendo uso de visões orientadas a processos apoiadas por ferramentas de *software* para expandir o modelo de ESBM com as atividades necessárias relacionadas com o gerenciamento do projeto ao longo do ciclo de vida completo do sistema.

O modelo de GP estende o modelo de processo de Engenharia de Sistemas (ES, ou do inglês, *Systems Engineering – SE*) com processos adicionais de GP e esclarece todas as relações entre esses dois tipos de modelos (PYSTER e OLWELL, 2013).

A maneira tradicional de se descrever um projeto é pela representação de uma rede de sequência de atividades por meio de diagramas, conhecidos como *PERT*, uma técnica consagrada e bem documentada, utilizada para o gerenciamento de projetos de engenharia, seja ele de natureza de serviço ou industrial, visando o seu controle de planejamento e execução.

A terceira disciplina utilizada na modelagem especializada é a Gestão de Processos de Negócios (GPN, ou no inglês *BPM - Business Process Management*).

A *BPM* é uma abordagem estruturada e sistemática para a realização de modelagem, análise, execução e controle, gestão e melhoria contínua dos processos utilizados na engenharia de sistema e gestão da produção de produtos e serviços complexos (OMG, 2011).

O conjunto completo de ferramentas de *software* para apoiar a metodologia *BPM* é conhecido como *Business Process Management Systems (BPMS)*. As ferramentas de *BPMS* são usadas durante todo o ciclo de vida do modelo de processos de negócio: modelagem, implementação, execução, automação, monitoramento, análise e melhoria contínua do sistema (OMG, 2011).

Essas ferramentas fornecem um ambiente completo para o desenvolvimento e implantação de uma aplicação que irá atuar como parte dos mecanismos utilizados na operação do sistema real, desempenhando um papel importante nos aspectos relacionados à sua execução, seu monitoramento e controle, contribuindo assim para a sua melhoria contínua.

A quarta e última disciplina utilizada na modelagem especializada é a simulação de sistemas.

A simulação de sistemas pode ser vista como o estudo do comportamento de sistemas reais através do exercício de modelos. Um modelo incorpora características que permitem representar o comportamento do sistema real.

As atividades de transcrição e implementação do modelo de processos do CVS para os vários tipos de ambientes especializados são complexas e exigem bastante tempo para serem realizadas. Ao executá-las o modelador tem que assegurar a consistência e equivalência dos modelos criados nos diferentes ambientes, se ele não dispuser de suporte automatizado para a transcrição e verificação dos diversos modelos que estão sendo criados.

Construção/Implementação dos Modelos Especializados

A construção/implementação dos modelos especializados é a complementação dos modelos específicos de processos elaborados com o uso das ferramentas de modelagem existentes nos diversos ambientes de apoio que estão sendo utilizados e a conclusão do seu conteúdo (introdução dos dados e parametrização).

A construção/implementação dos modelos especializados faz uso de todas as funcionalidades dos ambientes de suporte específicos citados anteriormente para a conclusão do modelo.

Normalmente, estas funcionalidades são fornecidas como extensão das ferramentas de modelagem existentes nos ambientes de apoio para o desenvolvimento dos modelos utilizados na bricolagem ou modelagem especializada.

Estas funcionalidades adicionais permitem a plena implementação dos aplicativos a serem criados dentro dos seus respectivos ambientes de apoio, por exemplo: no caso da engenharia de sistemas baseada em modelos, utiliza-se o aplicativo SmartDraw® (2016) para a documentação exaustiva do modelo de engenharia; no caso de GP, um ambiente como o ProjectLibre® (2015) de uso gratuito, que foi criado com o objetivo de ser uma alternativa ao *software* comercial MS Project® (2013); no caso de gestão de processos, um ambiente como o Bizagi® (2015) de uso gratuito até 20 (vinte) usuários; e no caso de

simulação, um ambiente como o Simprocess® (2015) que tem uma licença acadêmica adquirida pelo INPE.

2.4.4. Fase de Execução

A quarta fase da modelagem unificada do ciclo de vida é denominada de fase de execução, onde tem-se a adição do projeto de experimentos, a experimentação ou execução dos aplicativos dos modelos especializados, individualmente executados, de acordo com os respectivos ambientes nos quais foram desenvolvidos.

Esta fase contempla a elaboração do projeto de experimentos e a experimentação, descritas a seguir:

- a) a elaboração do projeto de experimentos consiste na criação de um plano de ensaios para o modelo, considerando cenários diferenciados, variados parâmetros de controle e/ou condições diversas para sua execução (como tempo de corrida, variáveis aleatórias, entre outros); e
- b) a experimentação consiste na modelagem e execução individual dos aplicativos criados, por meio do ambiente de desenvolvimento específico utilizado para cada um dos modelos especializados.

Um ponto importante é a verificação da implementação dos diferentes modelos, visando manter a consistência entre os modelos criados pelo uso das diversas disciplinas e a validação dos mesmos com relação às especificações do sistema real ao longo de todo o ciclo de vida.

A monitoração da execução dos modelos de processos de acordo com cada disciplina produz os dados necessários para a análise e avaliação individual destes modelos, proporcionando os subsídios para a fase final de avaliação integrada/comparativa e para as conclusões do estudo, conforme a fase de avaliação global que se seguirá à realização da fase de finalização (fase de análise individual), apresentada a seguir.

2.4.5. Fase de Finalização

A quinta fase da modelagem unificada do ciclo de vida é denominada de fase de finalização, onde tem-se a avaliação dos modelos especializados, realizada de forma separada para cada modelo de acordo com sua respectiva disciplina.

Esta avaliação de desempenho do sistema é feita utilizando-se os diversos ambientes especializados e os resultados das experimentações realizadas na etapa anterior, formulando-se as conclusões e estratégias para a melhoria e evolução do sistema do ponto de vista de cada uma das técnicas individuais utilizadas na fase de execução.

2.4.6. Fase de Avaliação Global

A sexta fase da modelagem unificada do ciclo de vida é denominada de fase de avaliação global, que é realizada de forma comparativa ou integrada e disponibiliza algumas medidas de apoio à decisão para superar eventuais problemas detectados, tais como algumas decisões táticas para melhorar o desempenho do modelo e algumas medidas estratégicas de longo prazo para melhoria contínua dos processos, utilizando-se os resultados de cada uma das diversas análises individuais realizadas na fase de finalização.

Esta fase é realizada por meio de uma atividade única, denominada avaliação geral, onde são realizadas as análises conjuntas dos resultados dos modelos de processos especializados, visando a consolidação da avaliação de desempenho geral do sistema, bem como a apresentação das conclusões e estratégias, também consolidadas, para a melhoria e a evolução contínua do mesmo.

Cada uma das técnicas empregadas num determinado estudo de caso tem como alvo uma área de conhecimento diferente e faz uso de formas de representação específicas, sendo que os benefícios do uso concomitante delas

se dão pela complementaridade destas, bem como pela análise conjunta dos resultados obtidos, na busca de uma solução mais completa para o problema.

A ideia é obter benefícios da aplicação conjunta de todas ou de algumas das técnicas de modelagem e análise mencionadas, proporcionando melhoria nos modelos de processos de engenharia e gestão do ciclo de vida de sistemas, pois eles são essenciais para o projeto e desenvolvimento de produtos e serviços complexos.

Os benefícios são decorrentes da complementaridade dessas técnicas e do fato de que elas possuem aspectos em que cada uma delas é especializada e/ou mais eficiente.

Após a fase de avaliação global, a repetição do procedimento de modelagem e execução do ciclo de vida completo do modelo pode ter que ser feita tantas vezes quanto for necessário, até que os resultados atendam aos requisitos inicialmente estabelecidos para a operação satisfatória do sistema.

2.4.7. Fase de Revisão Holística

A sétima e última fase da modelagem unificada do ciclo de vida é denominada de fase de revisão holística, onde é feita uma revisão holística da própria metodologia e uma síntese dos resultados obtidos com sua aplicação, buscando-se evoluir a abordagem transdisciplinar de processos por meio das “lições aprendidas”, a partir do estudo de caso que acabou de ser realizado.

Diversos estudos de caso da aplicação da metodologia em diferentes tipos de sistemas, descritos na forma de modelos de processos, podem ser conduzidos para a demonstração da sua viabilidade e dos benefícios dela resultante.

A fase de revisão holística é realizada para cada estudo de caso e ela consiste numa análise final dos pontos fortes da metodologia, da consistência e uniformidade dos modelos criados e, por fim, dos benefícios e dificuldades

(lições aprendidas) encontradas durante todo o processo de levantamento, desenvolvimento e aplicação.

3 ESCOPO DA PESQUISA

Neste capítulo é feito um levantamento de referências bibliográficas no tocante a três aspectos da pesquisa considerados principais para demonstrar a relevância e originalidade de seu escopo: modelos de referência já existentes para os processos dos ciclos de vida de uma organização; modelos de referência de processos do ciclo de vida do sistema de acordo com a engenharia de sistemas, em especial destacando sua fase de *design*; um levantamento das pesquisas correlatas a este trabalho encontradas na literatura da área, em especial aquelas realizadas no INPE.

3.1. Modelos Genéricos de Referência dos Processos do CVS

Um Modelo de Referência (MR) é uma representação genérica dos processos de negócios das empresas (APQC, 2014).

Um MR genérico é normalmente desenvolvido para segmentos particulares da indústria (setor automobilístico, setor espacial, setor financeiro, etc.) (APQC, 2014).

Cada setor empresarial pode criar seu MR particular de processos por meio da adaptação de um modelo geral de referência para suas próprias especificidades (APQC, 2014).

Por meio do modelo de referência, uma visão uniforme do ciclo de vida do desenvolvimento de um produto pode ser obtida, trazendo todos os *stakeholders* participantes do desenvolvimento desse produto específico para um mesmo nível de conhecimento (APQC, 2014).

Neste trabalho, o termo 'modelo de referência' é utilizado para designar o modelo genérico mais completo representativo dos macroprocessos do Ciclo de Vida do Sistema (CVS), que contempla os objetivos do estudo.

O sistema pode ser entendido como sendo a organização como um todo ou como o produto que está sendo desenvolvido, dependendo do contexto.

3.1.1. Modelo Genérico de Referência do CVO

Quando se trata da organização como um todo, os processos a serem descritos envolvem todo o Ciclo de Vida Organização (CVO), a saber: processos técnicos e processos de gestão e apoio, sendo que cada grupo é composto por suas respectivas categorias de processos, conforme são ilustrados pelo *PCF (Process Classification Framework)* da *APQC (American Productivity and Quality Center, 2014)*. O conjunto completo dos processos do CVO também leva em conta as interfaces com terceiros (cadeia de suprimentos e manutenção).

A *APQC* é uma instituição reconhecida internacionalmente que visa a melhoria dos processos e desempenho das organizações, ajudando-as a se adaptarem às rápidas mudanças dos ambientes, construir novas e melhores maneiras de se trabalhar, e ter sucesso em um mercado competitivo.

O *Framework* para a Classificação de Processos (*PCF*) da *APQC* é uma lista de processos de negócios que as organizações utilizam para definir os processos de trabalho de forma abrangente e sem redundâncias.

O *PCF* serve também como uma ferramenta para apoiar o *benchmarking* (processo contínuo de comparação dos produtos, serviços e práticas empresariais entre os mais fortes concorrentes ou empresas reconhecidas como líderes), visando controlar de forma objetiva e comparar o seu modelo de operação e seu desempenho com outras organizações de seu setor de atividades.

O *PCF* da *APQC* (*APQC, 2014*) é um dos mais conhecidos para contemplar aplicações industriais e as organizações o utilizam para:

- a) compreender melhor como funciona o negócio;

- b) definir os processos que necessitam ser melhorados;
- c) organizar os esforços de melhoria;
- d) discutir o desempenho organizacional utilizando a mesma terminologia em todas as unidades e departamentos de negócio;
- e) alinhar lançamentos e atualizações de Tecnologia da Informação (do inglês, *Information Technology - IT*) para processos semelhantes em toda a organização;
- f) efetuar *benchmark* interno e com outras organizações; e
- g) organizar o conteúdo e o conhecimento corporativo.

Um *framework* de referência para um determinado tipo de indústria é aquele que estende o *PCF* e normalmente introduz novos elementos de processos específicos que são exclusivos daquele tipo de organização. Isso permite que as organizações escolham um *framework* mais adaptado para suas necessidades específicas visando a melhoria de seus processos.

Em alguns casos, os elementos do processo do *PCF* genérico são removidos, renomeados ou alterados.

O *PCF* da *APQC* não determina qual deve ser a rede de atividades para a execução dos processos (uma sequência predeterminada de execução das atividades). De acordo com a *APQC* (2014), existem algumas razões para isso:

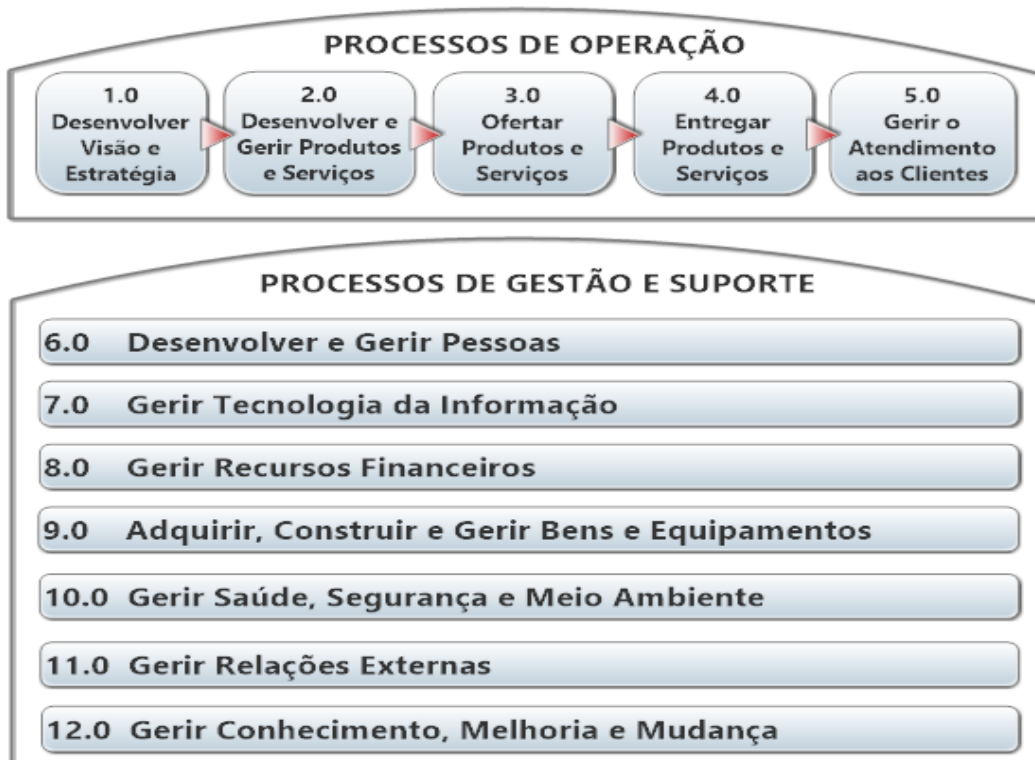
- a) mapas de processos implicam uma ordem específica de operações e relacionamentos entre processos e os criadores do *PCF* teriam que desenvolver e manter essas informações adicionais, que eles acreditam que engessam a criação de valor pelas organizações;
- b) os provedores de *PCF* simplesmente não se importam com os modelos de referências já estruturados dessa forma. Haveria, literalmente,

milhares deles, e os provedores acham que mantê-los em um formato que a maioria das pessoas não visualizará, modificará ou personalizará, seria muito demorado e o processo não seria compensador; e

- c) esse é um exercício que é melhor deixar para o ramo ou usuário específico. Os mapas de processos das organizações são característicos de cada negócio, influenciado pela cultura, parceiros comerciais e influências reguladoras ao longo do tempo. Ao invés de desenvolver uma solução parcial, não totalmente customizada, os provedores do *PCF* genérico preferem ver as organizações desenvolvendo os seus próprios mapas de processos.

O *PCF* descrito resumidamente na Figura 3.1, permite o delineamento e definição dos processos e atividades específicas para a indústria de defesa e aeroespacial.

Figura 3.1 – Ilustração sobre o *PCF* da APQC.



Fonte: Adaptada de APQC (2008, p. 3).

Nesse modelo da APQC, o item 2.0 contempla o Desenvolvimento e Gestão de Produtos e Serviços (*Develop and Manage Products and Services*), sendo a parte que corresponde mais diretamente à visão dos aspectos essenciais (*core process*) dos processos do Ciclo de Vida do Produto (CVP) da área espacial.

Os demais itens referem-se a aspectos complementares do Ciclo de Vida da Organização (CVO), relacionados com a gestão de recursos subsidiários à produção, tais como recursos humanos, tecnologia da informação, recursos financeiros, aquisição, saúde e segurança, interfaces com outras organizações, gerenciamento do conhecimento, melhorias e mudanças. Esses aspectos serão omitidos no MR tratado neste trabalho, para simplificação do mesmo, mas eles poderiam voltar a ser contemplados num estudo mais completo da gestão da organização.

O item 2.0 se divide em dois grupos de processos que são: Gerenciar Portfólio de Produtos e Serviços (*Manage Product and Service Portfolio*) e Desenvolver Produtos e Serviços (*Develop Products and Services*).

O primeiro desses, o processo gerenciar portfólio de produtos e serviços, é uma etapa adicional do planejamento estratégico da empresa, anterior à definição do próprio produto e de sua especificação.

O segundo, o processo desenvolver produtos e serviços, é um correspondente aproximado dos macroprocessos de Definição de Conceitos (DC) e Definição de Sistemas (DS) da fase de *design*, que é o objeto principal do estudo deste trabalho, descritos no Capítulo 5.

O Apêndice B contém a descrição detalhada de todos os processos referentes aos dois grupos acima citados.

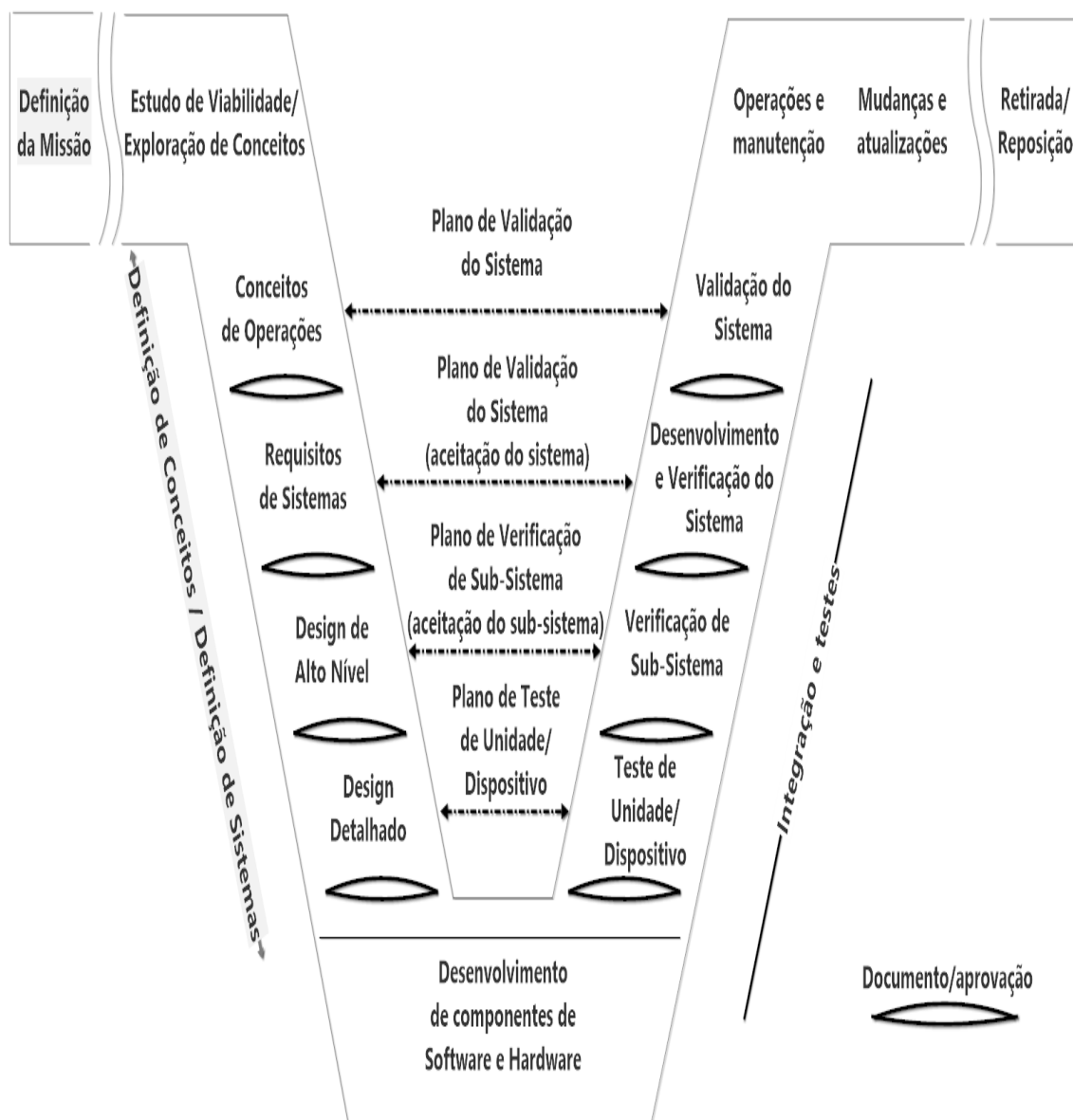
3.1.2. Modelo Genérico de Referência do CVP

Quando se trata do produto, os processos descritos são aqueles relacionados com o CVP, isto é, com os processos envolvendo a engenharia do produto e a

gestão da produção pela empresa, que são: a concepção e a engenharia do produto/serviço; os processos técnicos de produção; os processos de Gerenciamento de Projetos (GP); e os processos adicionais de gestão da produção pela organização.

A descrição gráfica completa do CVS é ilustrada por meio da Figura 3.2, que inclui também a retirada de operação (*retirement*) e reposição (*replacement*).

Figura 3.2 – Modelo V do CVS.



Fonte: Modificado de Kar e Bailey (1996, p. 1230).

Cabe salientar que foram feitas alterações a partir do modelo original, a saber: substituição do processo arquitetura regional por definição da missão; e alteração da identificação do lado esquerdo do V, de decomposição e definição para definição de conceitos e definição de sistemas.

O *SEBoK* (2016) define que o processo do ciclo de vida completo de um sistema é composto por 4 (quatro) macro-processos, ou seja, fase de *design* (compreendendo DC e DS), fase de construção (*system realization*), fase de implantação/operacionalização (*system development and use*) e fase de retirada e descarte (*retirement/disposal*).

A parte 3 do *SEBoK* (2016) fornece uma base para a engenharia de sistemas de produtos (*product systems*), sistemas de serviços (*service systems*), sistemas corporativos (*enterprise systems*) e sistemas de sistemas (*systems of systems*) fornecendo uma visão geral dos usos comuns de modelos de ciclo de vida em Engenharia de Sistemas (ES); discutindo os processos de ES mais utilizados; fornecendo referências adicionais aos métodos comuns, ferramentas e técnicas utilizadas nestes processos; e discutindo os aspectos de gestão da ES, onde o planejamento, medição, risco e qualidade estão entre os tópicos.

A parte 3 do *SEBoK* (2016) descreve os esforços de engenharia de sistemas ao longo do CVS, que abrange a transformação das necessidades específicas dos *stakeholders* em um sistema de produtos ou serviços que satisfaçam a essas necessidades, e proporciona uma visão genérica de como realizar as atividades relacionadas com o ciclo de vida da engenharia de sistemas.

A parte 3 é constituída das seguintes áreas do conhecimento:

- a) modelos do ciclo de vida (*lifecycle models*);
- b) definição de conceitos (*concept definition*);
- c) definição de sistemas (*system definition*);

- d) construção do sistema (*system realization*);
- e) implantação/operacionalização do sistema (*system deployment and use*);
- f) gestão da engenharia de sistemas (*systems engineering management*);
- g) gestão do ciclo de vida de produtos e serviços (*product and service lifecycle management*); e
- h) padrões de engenharia de sistemas (*systems engineering standards*).

As áreas de conhecimento DC e DS, provenientes da parte 3 do *SEBoK* (2016), descrevem os dois macroprocessos componentes da fase de *design* do CVS, que são utilizados neste trabalho como elementos básicos para a criação do MR proposto. Esses macroprocessos tem uma equivalência direta com o modelo V da engenharia de sistemas mostrado na Figura 3.2.

O macroprocesso de DC cobre os aspectos relacionados com a análise de missão, análise de viabilidade e necessidades e requisitos de *stakeholders*, abrangendo desde os conceitos denominados de arquitetura regional (ligados à organização), passando pela análise de viabilidade/alternativas de solução e terminando com os conceitos de operação do sistema.

O macroprocesso DS faz uma decomposição hierárquica dos elementos do sistema para definição dos seus requisitos, sua especificação de alto nível, bem como especificação detalhada dos mesmos.

As demais partes do *SEBoK* (2016) e respectivas áreas de conhecimento referem-se a aspectos complementares de fundamentos de sistemas, aplicação de práticas de ES e execução eficaz das atividades de ES, que impactam a gestão do processo de engenharia de sistemas, mas não serão abordadas em nenhuma das formas de MR tratadas neste trabalho.

As demais partes do *SEBoK* (2016), incluindo as partes 1, 2, 4, 5, 6 e 7 estão descritas em detalhes no Apêndice C.

3.2. A Fase de *Design* do Ciclo de Vida da Engenharia de Sistemas

Segundo o *SEBoK* (2016), a fase de *design* inclui as atividades para conceber um sistema, visto como um conjunto integrado de elementos, proporcionando a avaliação e seleção desses elementos, ajuste de sua arquitetura e atendimento dos seus requisitos. É o conjunto completo de seus elementos / modelos detalhados, com suas características e / ou especificações, descritas em uma forma adequada para sua implementação.

Segundo as normas técnicas ISO/IEC/IEEE 15288 (2015), o objetivo do processo de *design* do sistema é fornecer dados e informações detalhadas e suficientes sobre o sistema e seus elementos do sistema para permitir a aplicação consistente com as entidades de arquitetura, tal como definidos nos modelos e visões da arquitetura do sistema.

No modelo do *SEBoK* (2016) as áreas de conhecimento de DC e DS correspondem diretamente aos dois macroprocessos componentes da fase de *design* do CVS, conforme o modelo de processos proposto neste trabalho, e que se encontra representado na Figura 3.2 anterior pelo braço descendente do modelo V.

3.3. Pesquisas Correlatas

Os trabalhos direcionados para a criação e aplicação de uma abordagem transdisciplinar para a modelagem de processos, que adotam a integração de métodos e técnicas envolvendo o uso simultâneo de diversas disciplinas, foram objeto de um levantamento na literatura da área, sendo os principais encontrados nas publicações de Torres (2002), Travassos (2007), Magalhães (2008), Araújo (2010), Van Looy (2011), Silva, L. (2013), Santos (2013) e Kienbaum (2014a).

Torres (2002) e Van Looy (2011) realizaram suas pesquisas de forma independente e externa, enquanto os demais fizeram seus trabalhos ligados ao Grupo ENGESIS (2010) do INPE.

As pesquisas realizadas internamente ao INPE constituíram estágios da evolução do *Framework* CT²P, e buscavam a utilização de conceitos da Engenharia Concorrente (EC) nos processos, tratando simultaneamente processos relacionados ao desenvolvimento do produto e à gestão da produção pela organização, que é um dos objetivos específicos deste trabalho.

No Apêndice A as pesquisas mencionadas são revistas brevemente, destacando-se ainda sua correlação com o tema da pesquisa aqui apresentado.

4 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Este capítulo apresenta a atividade denominada definição do problema, que faz parte da fase definição da missão – composta de elicitação, definição do problema e planejamento estratégico – e que tem por finalidade a identificação e a descrição detalhada do problema, como ponto de partida para a aplicação da metodologia CT²P em qualquer estudo de caso.

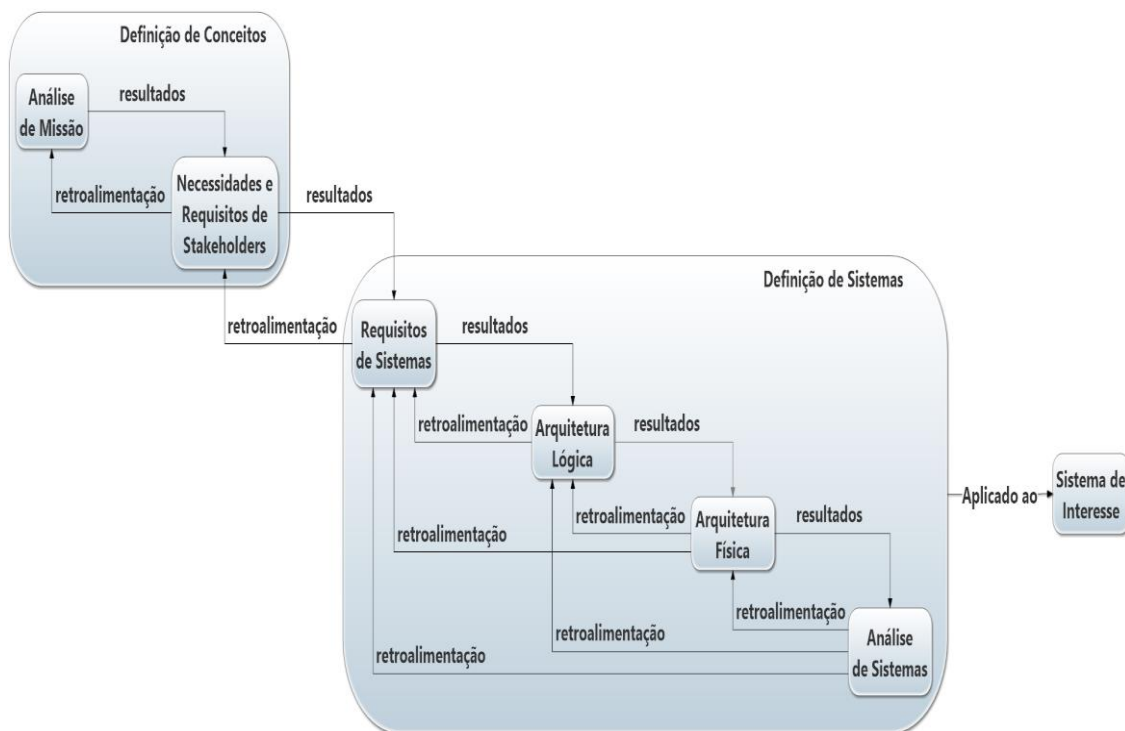
4.1. Generalidades

Num primeiro momento, este trabalho adota como referência o modelo de processos para engenharia de sistemas do *SEBoK* (2016), que será submetido a algumas revisões, visando sua adequação às normas de engenharia de sistemas espaciais e complementação com os procedimentos oriundos da técnica de GP.

A fase de *design* do processo do ciclo de vida da Engenharia de Sistemas (ES) é a fase do projeto em que o sistema está sendo concebido e especificado e, de acordo com *SEBoK* (2016), ela compreende os dois seguintes macro processos principais: (1) o macroprocesso de Definição de Conceitos (DC), que pode ser dividido, por sua vez, em dois processos designados pela Análise de Missão (AM) e Necessidades e Requisitos de *Stakeholders* (NRS); e (2) macroprocesso de Definição de Sistemas (DS), composto por sua vez de quatro processos denominados, Requisitos de Sistemas (RS), Concepção da Arquitetura Lógica (CAL), Concepção da Arquitetura Física (CAF) e Análise de Sistemas (AS), conforme ilustrado na Figura 4.1.

A Figura 4.1 detalha a fase de *design* do Ciclo de Vida da ES com seus processos principais, sua decomposição, seu sequenciamento e as realimentações entre esses processos, de acordo com o formato mostrado na imagem original obtida das descrições dos processos de ciclo de vida de ES, documentadas no manual *SEBoK* (2016).

Figura 4.1 – Macroprocessos da Fase de *Design* do CVS.



Fonte: SEBoK (2016, p. 258).

O Modelo de Referência (MR) genérico proposto neste trabalho para representar esses processos de desenvolvimento e gerenciamento de produtos e serviços é principalmente baseado na descrição do modelo dos processos do ciclo de vida da ES, apresentados em detalhe na parte 3 do SEBoK (2016).

Qualquer organização que tenha a ES como o *driver* principal de seus processos de produção podem fazer uso dos conceitos e definições de Ciclo de Vida do Sistema (CVS) e Ciclo de Vida Organização (CVO) dados no SEBoK (2016) para descrever sua fase de *design* do sistema de acordo com o MR mencionado acima.

Durante a execução do modelo, várias iterações e/ou realimentações (ciclos, retornos) são realizadas, até que o resultado final seja alcançado, isto é, a definição e a especificação completa do sistema de interesse sejam alcançadas.

4.2. Definição de Conceitos

Segundo Pyster e Olwell (2013), a DC é o conjunto de processos em que o contexto do problema, as necessidades e requisitos do negócio ou dos *stakeholders* são minuciosamente examinados nos processos de AM e de NRS, respectivamente.

De acordo com o *SEBoK* (2016), a análise de missão foca nas necessidades e requisitos do negócio ou da empresa, ou seja, na definição do problema ou da oportunidade existente - frequentemente chamado de contexto do problema -, bem como compreende as restrições sobre os limites do sistema selecionado - frequentemente chamado de contexto da solução.

A análise de missão é um tipo de análise estratégica ou operacional relacionada com as necessidades, lacunas de capacidade, ou oportunidades e soluções que podem ser aplicadas a qualquer organização que desenvolve sua estratégia para consequentemente atingir os seus objetivos de negócios.

O objetivo do processo AM é entender um problema ou oportunidade de mercado, analisar o contexto da solução, e iniciar o ciclo de vida de uma solução em potencial que poderia resolver o problema ou aproveitar uma oportunidade.

O processo NRS tem como objetivo elicitar um conjunto de necessidades relacionadas a uma nova missão (ou até mesmo alterada) de um produto para transformar estas necessidades em requisitos claros, concisos e verificáveis.

Os processos de AM e NRS e suas interações estão descritos em detalhes no Capítulo 6 deste trabalho.

4.3. Definição de Sistemas

Segundo Pyster e Olwell (2013), a DS começa com uma decisão de um patrocinador que pode ser um indivíduo ou uma organização em investir recursos em um sistema novo ou melhorado.

O macroprocesso DS é composto pelo conjunto de atividades da ES que visam:

- a) determinar e priorizar os requisitos de *stakeholders* para o sistema;
- b) selecionar e classificar os principais *stakeholders* e os requisitos do sistema;
- c) desenvolver o conceito de cenários de operações do sistema;
- d) planejar o ciclo de vida e desenvolver as arquiteturas lógica e física do sistema;
- e) executar a análise do sistema a fim de escolher a melhor alternativa; e
- f) demonstrar o grau de compatibilidade e viabilidade da solução resultante.

As atividades agrupadas e descritas como processos genéricos que são realizadas de forma sequencial ou paralela, compõem ciclos a serem executados em uma única passagem ou por meio de diversas retroalimentações.

Essas atividades são agrupadas em processos genéricos denominados RS, CAL, CAF e AS.

O processo RS tem como objetivo transformar a visão do *stakeholder*, com relação às suas necessidades e desejos, em uma visão técnica do produto que atenda às necessidades operacionais do usuário. Este processo cria uma representação do sistema para atender aos requisitos dos *stakeholders*. Isto

resulta em requisitos de sistema mensuráveis que especificam, do ponto de vista do fornecedor, as características de desempenho que o sistema deve possuir para que as necessidades dos *stakeholders* sejam satisfeitas.

O processo RS deve estabelecer um conjunto de objetivos gerais que o sistema deverá cumprir.

O processo CAL tem por objetivo definir, selecionar e sintetizar a arquitetura lógica de um sistema visando avaliar a funcionalidade e comportamento do sistema e fornecer um panorama para verificar se um sistema futuro irá satisfazer os requisitos do sistema em todos os cenários operacionais.

O desenvolvimento da arquitetura lógica ajuda a identificar as funções do sistema e os fluxos da informação.

A arquitetura lógica trabalha em torno dos fluxos de dados e deve ser independente das tecnologias a serem utilizadas para desenvolver o sistema.

O processo CAF tem como objetivo definir, selecionar e sintetizar uma arquitetura física de um sistema que possa apoiar a arquitetura lógica e satisfazer os requisitos do sistema.

A arquitetura física deverá ter propriedades específicas destinadas a direcionar os desejos e necessidades dos *stakeholders* e satisfazer os requisitos do sistema (ISO / IEC 26702 2007).

A arquitetura do sistema resultante é avaliada através da análise do sistema e quando concluída torna-se a base para a realização do sistema.

Finalmente, o processo de AS, também chamado de processo de análise de decisão segundo a NASA (2007), tem por objetivo ajudar a avaliar as questões técnicas, alternativas e suas incertezas para apoiar a tomada de decisão.

A análise do sistema pondera as vantagens e desvantagens das soluções de sistemas propostos, relacionadas com as seguintes etapas: como os sistemas

propostos satisfazem as necessidades estabelecidas pelos *stakeholders*; qual o custo relativo do seu desenvolvimento; duração para a conclusão prevista de cada atividade componente do desenvolvimento do produto e outras controvérsias que possam ocorrer durante o desenvolvimento. Isso pode exigir um refinamento mais apurado da DC, visando assegurar que todas as necessidades e desejos dos *stakeholders* sejam considerados na arquitetura de solução proposta.

O processo de AS é composto das seguintes atividades: (1) fornecer uma base rigorosa para a tomada de decisão técnica, resolução de conflitos de requisitos e avaliação de alternativas de soluções físicas; (2) determinar o progresso com relação ao atendimento aos requisitos do sistema; (3) apoiar à gestão de riscos; e (4) assegurar que as decisões sejam tomadas apenas após a avaliação dos custos, cronograma, desempenho e efeitos dos riscos na engenharia ou re-engenharia de um sistema (ANSI / EIA, 1998).

Os processos RS, CAL, CAF e AS e suas interações estão descritos em detalhes no Capítulo 6 deste trabalho.

4.4. Sequenciamento de Processos

Com relação ao sequenciamento dos processos representados no modelo da fase de *design* do Ciclo de Vida do Produto (CVP) pode-se estabelecer as diretrizes abaixo especificadas.

O macroprocesso DC deverá ser executado primeiro e, após a sua conclusão, deverá ser iniciada a execução do macroprocesso Definição de Sistemas.

Na DC os processos AM (com 8 (oito) atividades) e NRS (com 9 (nove) atividades) devem ser executados nesta ordem, sendo que após a execução do processo NRS pode ocorrer o retorno para o processo AM, visando efetuar-se correções ou melhorias antes da continuidade para o macroprocesso DS.

Nos processos AM e NRS poderão ocorrer sucessivas iterações, de acordo com o que está descrito na Figura 4.1, para a completa execução dos fluxos das atividades, até a conclusão das mesmas. Esses dois processos podem ser executados por uma mesma equipe ou até por duas equipes diferentes, cada qual responsável por um processo específico.

O macroprocesso DS será executado após a conclusão da execução do macroprocesso DC, como dito anteriormente. Tal macroprocesso engloba a execução dos processos RS, composto por 14 (catorze) atividades, CAL, composto por 5 (cinco) atividades, CAF, composto por 7 (sete) atividades e AS composto por 9 (nove) atividades.

Os processos componentes da DS serão executados de forma sequencial, exceto os processos CAL e CAF, que serão executados de forma paralela, por uma mesma equipe ou até mesmo por duas equipes diferentes, trabalhando de forma sincronizada, cada qual responsável por um processo específico. Nestes processos também poderão ocorrer sucessivas retroalimentações na execução dos fluxos das atividades, conforme mostrado na Figura 4.2, até a conclusão dos mesmos.

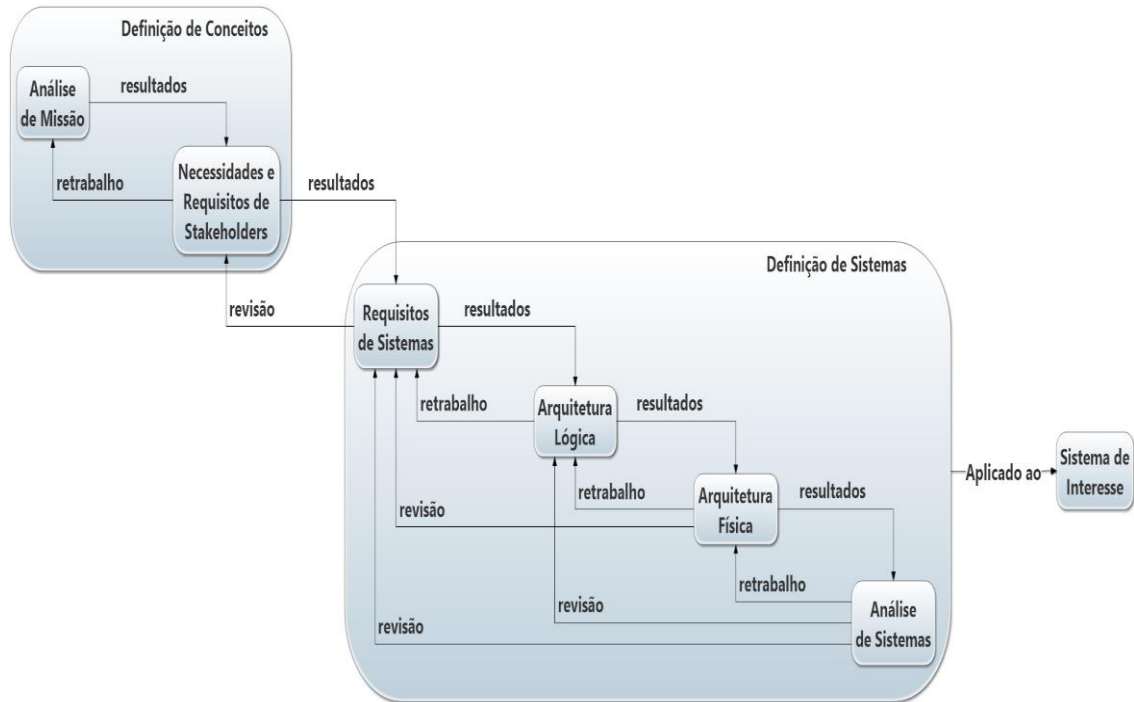
As retroalimentações do modelo são diferenciadas em três tipos, denominados Iteração (RA1), Retrabalho (RA2) e Revisão (RA3).

RA1: para mostrar as repetições da execução de um processo, com vistas a sua complementação, até a obtenção do seu produto final.

RA2: retroalimentação entre um processo e o seu antecessor, visando nova execução, com fins de correção ou melhoria gradual dentro da mesma etapa do projeto.

RA3: retroalimentação entre processos não sequenciais a princípio já concluídos, para fins de conduzir uma revisão mais elaborada dentro de uma mesma etapa ou entre diferentes etapas do projeto.

Figura 4.2 – Macroprocessos da Fase de *Design* do CVS.



Fonte: Adaptada de SEBoK (2016, p. 258).

A seguir são apresentadas as retroalimentações RA2 do modelo, também denominadas retrabalho:

- a) NRS para AM;
- b) CAL para RS;
- c) CAF para CAL; e
- d) AS para CAF.

A seguir são apresentadas as retroalimentações RA3 do modelo, também denominadas revisões:

- a) RS para NRS;
- b) CAF para RS;

c) AS para CAL; e

d) AS para RS.

A sequência temporal para a realização dos processos durante a execução do ciclo de vida do sistema se dá de acordo com o fluxo descrito pelas setas mostradas na Figura 4.2 e adotando-se ainda a convenção de que o fluxo de controle é passado sempre para o processo seguinte, mesmo que nenhuma alteração no produto e/ou artefatos produzidos seja realizada em um ou vários processos subsequentes, que serão percorridos sempre como um todo.

5 PROPOSTA DO MODELO DE REFERÊNCIA

Este capítulo dá início a uma sequência de capítulos, que se estende do 5 ao 7, para apresentação das principais contribuições originais do trabalho, sendo que neste capítulo faz-se a proposta do modelo final referente à fase de *design* do Ciclo de Vida do Sistema (CVS) no contexto de Engenharia Espacial.

Nas seções que se seguem tomou-se como base o CVS da fase de *design* da engenharia de sistemas segundo o *SEBoK* (2016) e fez-se sua adequação ao contexto da engenharia e tecnologia espaciais considerando-se as normas da *ECSS* (2009) e *NASA* (2013), e complementado-o também com os procedimentos oriundos da técnica de gerenciamento de projetos do *PMBOK* (2014).

A razão destes ajustes é que de um lado busca-se manter a generalidade do *Framework* ENGESIS, para que o mesmo seja aplicado aos processos de engenharia de sistemas da forma genérica apresentada no *SEBoK* (2016) e, de outro, procura-se fazer uma adequação para sua aplicação num contexto de interesse para as missões espaciais pela introdução de padrões *ECSS* (2009) e *NASA* (2013) e pela inclusão de técnicas de gerenciamento de projetos do *PMBOK* (2014).

5.1. Modificações Gerais do Modelo *SEBoK*

O Modelo de Referência (MR) dos processos da fase de *design* da Engenharia Concorrente (EC) proposto neste trabalho é baseado nos processos de ciclo de vida da EC do *SEBoK* (2016) mencionado, mas é importante destacar alguns ajustes relacionados com aspectos que foram considerados essenciais para os objetivos a serem atingidos pelo projeto de pesquisa aqui desenvolvido.

A primeira principal modificação realizada tratou do significado do processo designado como Análise de Missão (AM).

No modelo original do *SEBoK* (2016) esse processo refere-se ao MR da organização, com a sua visão estratégica e sua inserção no seu segmento de mercado, enquanto que neste trabalho esse processo deve estar relacionado diretamente ao produto ou, em outras palavras, deve referir-se a análise da missão do produto, como expressado em outros padrões de engenharia, como os da *ECSS* (2009) e *NASA* (2013), por exemplo.

Além disso, decidiu-se dividir o processo de AM em duas partes, denominadas AM e Análise de Viabilidade (AV), para o cumprimento das normas da *ECSS* (2009), que foi escolhida como a norma preferível a ser seguida, devido à especialização já existente por parte do pessoal interno do INPE envolvido em missões espaciais.

Além destas modificações, deve-se observar alguns ajustes adicionais feitos no MR original, a saber: (1) inclusão do processo de análise de sistemas (AS) dentro do principal processo de Definição de Sistemas (DS), que não foi representado no modelo original, embora já fazia parte da descrição textual do MR do *SEBoK* (2016); e (2) introdução de diferentes designações (iterações, retrabalhos e revisões) para os diversos tipos de *loops* existentes no modelo original.

5.2. Adequação às Normas da Engenharia de Sistemas Espaciais

A proposta do modelo apresentada neste trabalho foi fundamentada nos processos do *SEBoK* (2016) com relação a fase de *design* do ciclo de vida que originalmente trata os processos de AM, Necessidades e Requisitos de *Stakeholders* (NRS), Requisitos de Sistemas (RS), Concepção da Arquitetura Lógica (CAL), Concepção da Arquitetura Física (CAF) e Análise de Sistemas (AS) em sua Parte 3 – Engenharia e Gestão de Sistemas (*Systems Engineering and Management*).

Esta forma de proceder permite que o modelo represente da forma mais genérica e detalhada possível o ciclo de vida do produto na engenharia de

sistemas, contudo, para que o mesmo possa ser adequado a missões espaciais, tornando-o mais compatível com as normas de engenharia de sistemas espaciais, tais como as normas ECSS-E-ST-10C (*Space engineering – System engineering general requirements*) da ECSS (2009), ECSS-M-ST-10C (*Space project management – Project planning and implementation*) da ECSS (2009) e NPR 7123.1B (*NASA Systems Engineering Process and Requirements*) da NASA (2013), foram implementadas algumas modificações, especialmente no que diz respeito aos processos AM e AV, para o cumprimento especificamente das normas ECSS-E-ST-10C e ECSS-M-ST-10C, conforme descritos abaixo.

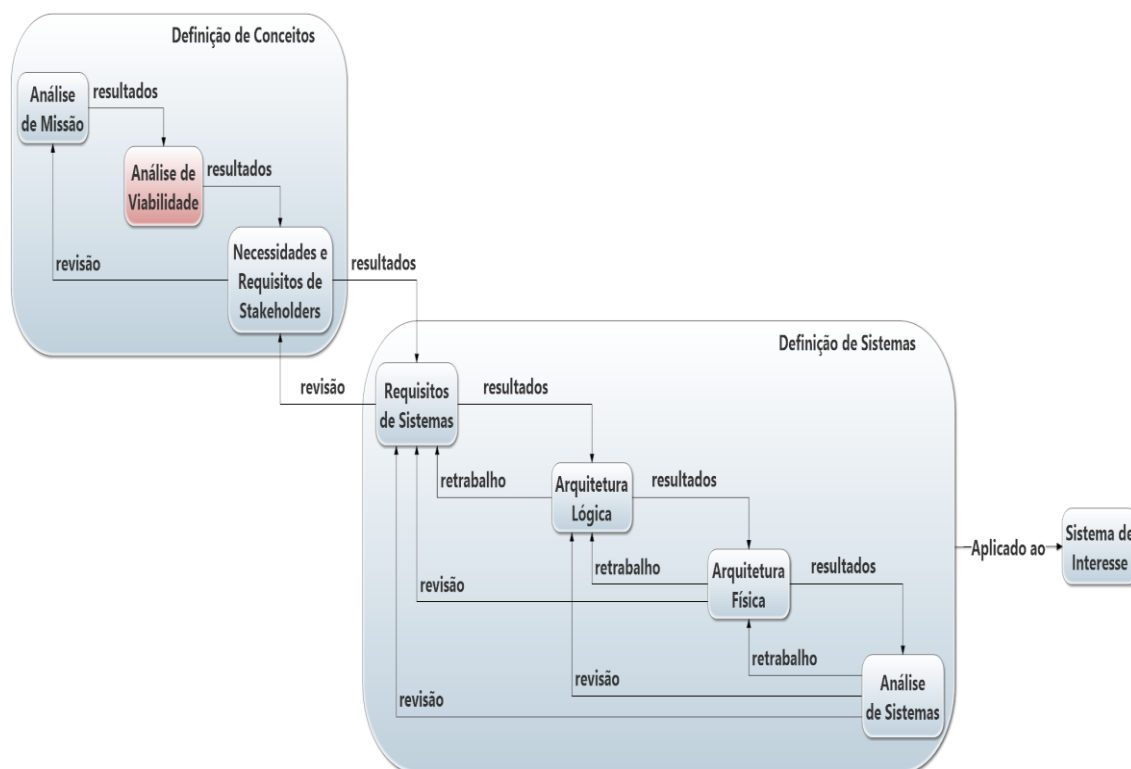
5.2.1. Análise de Missão

De acordo com os padrões ECSS (2009), o processo de AM consiste na execução de um número de atividades definidos em uma lista, resumidas a seguir: (1) elaborar a declaração de missão contendo a identificação e caracterização de suas necessidades e objetivos, sua *performance* esperada, confiabilidade e requisitos de segurança, bem como as restrições operacionais com respeito ao meio ambiente operacional e físico; (2) desenvolver as especificações dos requisitos técnicos preliminares; (3) identificar possíveis alternativas de conceitos de missão; (4) fazer uma avaliação preliminar do plano estratégico idealizado com base no mercado e na análise econômica; e (5) realizar uma análise de risco preliminar.

5.2.2. Análise de Viabilidade

O processo de AV foi incorporado ao modelo, considerando as normas descritas na ECSS referentes ao gerenciamento, à engenharia de sistemas, e à avaliação da qualidade do produto em projetos espaciais e suas aplicações, a saber: ECSS-E-ST-10C – Engenharia Espacial: Requisitos Gerais da Engenharia de Sistemas (ECSS, 2009); e ECSS-M-ST-10C – Gerenciamento do Projeto Espacial: Planejamento e Implementação (ECSS, 2009), conforme ilustrado na Figura 5.1.

Figura 5.1 – Macroprocessos da Fase de *Design* do CVS.



Fonte: Modificado de SEBoK (2016, p. 258).

A AV estuda a viabilidade ou não da criação de um potencial Sistema de Interesse - *System of Interest* - que poderia resolver um problema ou realizar uma oportunidade para o desenvolvimento de um novo produto, serviço ou empresa.

A AV tem ainda como objetivo elaborar planos preliminares de engenharia, gestão e garantia de produto, e com base nestes especificar os requisitos técnicos para determinar se o projeto é viável tecnicamente, se é viável dentro do prazo e custo estimados, quais as possibilidades de sucesso e consequentemente se o projeto pode ter continuidade ou não.

A AV consiste na execução de uma lista de atividades, resumidas no seguinte: (1) estabelecer um plano de projeto preliminar para a engenharia, gerenciamento e a avaliação de qualidade do produto; (2) elaborar os conceitos de sistema - operação e sua arquitetura - e compará-los com as necessidades

identificadas, para determinar seus níveis de incertezas e riscos; (3) estabelecer a árvore de funções; (4) avaliar a viabilidade dos planos programáticos e técnicos, por meio da identificação das restrições associadas com a implementação, tais como custos, cronograma, organização, operações, manutenção, produção e disposição; (5) identificar tecnologias críticas e propor atividades de pré-desenvolvimento; (6) quantificar e caracterizar elementos críticos para conduzir análise de viabilidade técnica e econômica; (7) propor conceitos sistêmicos, operacionais e soluções técnicas, incluindo o modelo inicial e a abordagem para sua verificação na subsequente fase de desenvolvimento; e (8) avaliar os riscos.

5.3. Adequação ao Gerenciamento de Projetos

Na definição do Guia *PMBOK* (2014), gerenciamento de projetos é “a aplicação de conhecimentos, habilidades, ferramentas e técnicas às atividades do projeto, a fim de atender aos requisitos dos *stakeholders*”.

O Gerenciamento de Projetos (GP) tem como objetivo planejar e coordenar as atividades de trabalho necessárias para fornecer um produto satisfatório, serviço ou empreendimento empresarial dentro das restrições do cronograma, orçamento, recursos, infraestrutura e recursos humanos disponíveis e tecnologia. É visto também como a aplicação das técnicas e ferramentas da área de GP para ampliar o modelo de engenharia com as atividades relacionadas à gestão do desenvolvimento de produtos durante o ciclo de vida completo do desenvolvimento do produto (*PMBOK*, 2014).

O Guia *PMBOK* (2014) é considerado o manual de referência por excelência em gerenciamento de projetos, e contém as práticas fundamentais que gerentes de projetos precisam para atingir elevados padrões de excelência em projetos.

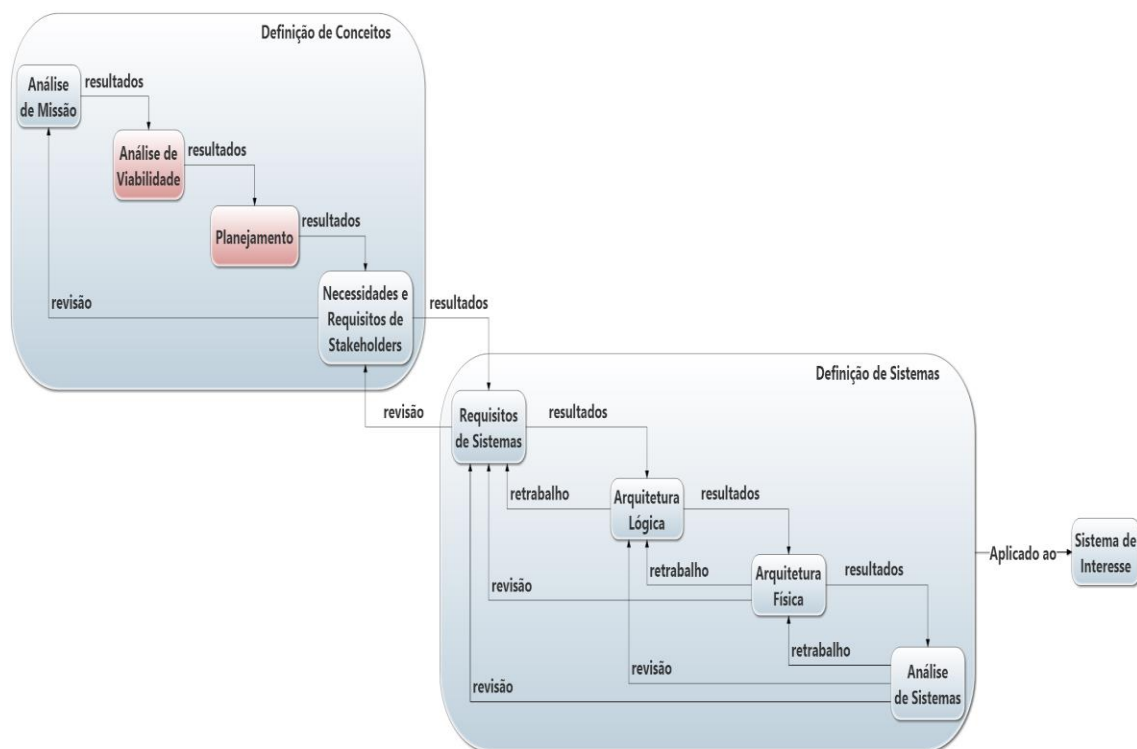
Diante disso, para adaptar o modelo aos preceitos lá estabelecidos, foi incorporado um processo chamado de Planejamento (PL), composto de

algumas atividades, consideradas as mais relevantes entre as dez áreas de conhecimento do gerenciamento de projetos, denominado grupo de processo de Iniciação e as quatro áreas de conhecimento adicionais seguintes: escopo, tempo, custos e riscos, como elas são tratadas nos capítulos 4, 5, 6, 7 e 11 respectivamente do *PMBOK (2014)*, as quais estão descritas em detalhes no Capítulo 6.

Como consequência das mudanças introduzidas para ajustar o modelo aos padrões do GP, a composição final do macroprocesso DC resultou nos seguintes processos: AM, AV, PL e NRS, conforme apresentado na Figura 5.2.

A segunda macro DS não sofreu nenhuma alteração, e manteve seu formato original de acordo com o *SEBoK (2016)*, conforme pode ser observado na Figura 5.2.

Figura 5.2 – Macroprocessos da Fase de *Design* do CVS.



Fonte: Modificado de *SEBoK (2016, p. 258)*.

6 IMPLEMENTAÇÃO DO *FRAMEWORK* ENGESIS

Este capítulo dá sequência à apresentação das principais contribuições originais deste trabalho, a implementação do *Framework* ENGESIS, complementando a apresentação do Modelo de Referência (MR) proposto com sua modelagem conceitual usando a Rede Transdisciplinar de Processos (RTP) e com a criação dos modelos de engenharia genéricos para a fase de *design* de sistemas espaciais em geral.

6.1. Modelagem Conceitual

A sistematização e a evolução gradual do modelo são as principais preocupações da fase de modelagem conceitual.

A definição do problema original, apresentada no *SEBoK* (2016), com seus ajustes às normas de sistemas espaciais e às normas de gerenciamento de projetos, é transformada gradativamente em modelos de processos (processos operacionais ou técnicos e de gestão) que são denominados modelos de referências.

A modelagem conceitual se caracteriza pela análise e criação formal do modelo de processos, usando a notação Diagramas para Modelagem Unificada do Ciclo de Vida (DMUCV), resultando em modelos no formato de RTP.

A modelagem conceitual compreende as tarefas de criação do modelo *IDEFO* (*Integration Definition for Function Modelling*) e criação do modelo de referência, que são modelos genéricos para uso em engenharia de sistemas, reutilizáveis em aplicações envolvendo produtos de natureza semelhante.

6.1.1. Criação do Modelo *IDEFO*

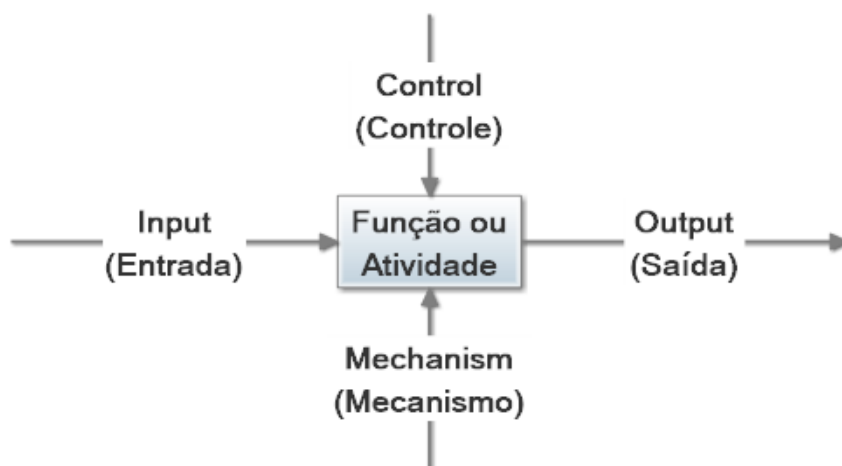
O *IDEF* é uma ferramenta de modelagem funcional que foi desenvolvida em 1972 a partir de uma necessidade da força aérea americana, que trabalhava com diversas indústrias aeroespaciais. Como cada uma dessas indústrias

trabalhava de sua maneira, era difícil controlar e documentar todos esses processos. Assim sendo, estudos foram feitos para que se tivesse uma linguagem que compreendesse vários critérios e atendesse todas essas indústrias (PRASAD, 1996).

O *IDEF* é uma família integrada de métodos para modelagem baseada em representações de diagramas, incluindo uma larga variedade de técnicas, sendo que todas essas técnicas estão formalizadas no FIPS (do inglês, *Federal Information Processing Standards*) (KUMAGAI, 2013). As diversas formas de componentes da família *IDEF* são chamadas de *IDEF0*, *IDEF1*, *IDEF3*, *IDEF4*, *IDEF5* e *IDEF9*.

Os diagramas *IDEF0*, que é o primeiro conjunto de padrões do *IDEF*, descrevem os processos de transformação de forma hierárquica formados por atividades e seus parâmetros de controle, *Input* (entrada), *Control* (controle), *Output* (saídas) e *Mechanism* (mecanismos) que em inglês recebem o acrônimo *ICOM*, conforme mostrado na Figura 6.1.

Figura 6.1 – Ilustração de *ICOM*.



Fonte: Federal Information Processing Standards Publications (1993, p. 11).

A entrada designa os insumos a serem convertidos pela atividade; o controle indica regras e padrões de como e quando a entrada deve ser processada e

executada; o mecanismo representa os recursos envolvidos nessa atividade (pessoas, equipamentos, máquinas ou outras organizações); e a saída apresenta o resultado obtido a partir da operação de transformação executada.

O *ICOM* é uma representação gráfica, de uma componente do sistema (uma tarefa ou um conjunto de tarefas) e suas conexões (entradas, controles, saídas e mecanismos) expressam o tipo de interligação entre essa componente e as demais, que em conjunto formam uma descrição completa do processo de transformação realizado pelo sistema ao longo do seu ciclo de vida.

O *ICOM* não inclui apenas dados e informações, mas também tudo que pode ser descrito como sendo parte de um processo (esquema, estimativa, regulamentos, produtos, entre outros).

Cabe salientar, no entanto, que o *IDEFO* não foi concebido para modelar aspectos temporais, isto é, ele não contempla a questão do sequenciamento na execução dos processos.

O *IDEFO* permite descrever, através de uma hierarquia de diagramas, o modelo funcional do sistema, ou seja, o contexto do problema na forma de processos, que se pretende analisar ou implementar.

Cada atividade ou função do *IDEFO* pode ser decomposta em vários níveis. Esses subníveis seguem as mesmas convenções.

Portanto um modelo completo de *IDEFO* é uma representação hierárquica do processo composta por atividades ou funções em quantos níveis forem necessários.

A seguir é apresentada na Figura 6.2 o modelo *IDEFO* da fase de *design* do Ciclo de Vida do Sistema (CVS), cobrindo os macroprocessos Definição de Conceitos (DC) (Análise da Missão (AM) / Análise de Viabilidade (AV) / Planejamento (PL) / Necessidades e Requisitos de *Stakeholders* (NRS)) e Definição de Sistemas (DS) (Requisitos de Sistemas (RS) / Concepção da

Arquitetura Lógica (CAL) / Concepção Arquitetura Física (CAF) / Análise de Sistemas (AS)).

A Figura 6.2 apresenta apenas o nível 0 (zero), porém o MR completo identifica todos os processos componentes de forma hierárquica e seus respectivos parâmetros de interesse, tais como as entradas, saídas, recursos utilizados e controles e normas às quais eles estão submetidos.

As interações do tipo Retrabalho (RA2) e Revisão (RA3) entre os processos da Figura 6.2, estão relacionadas abaixo:

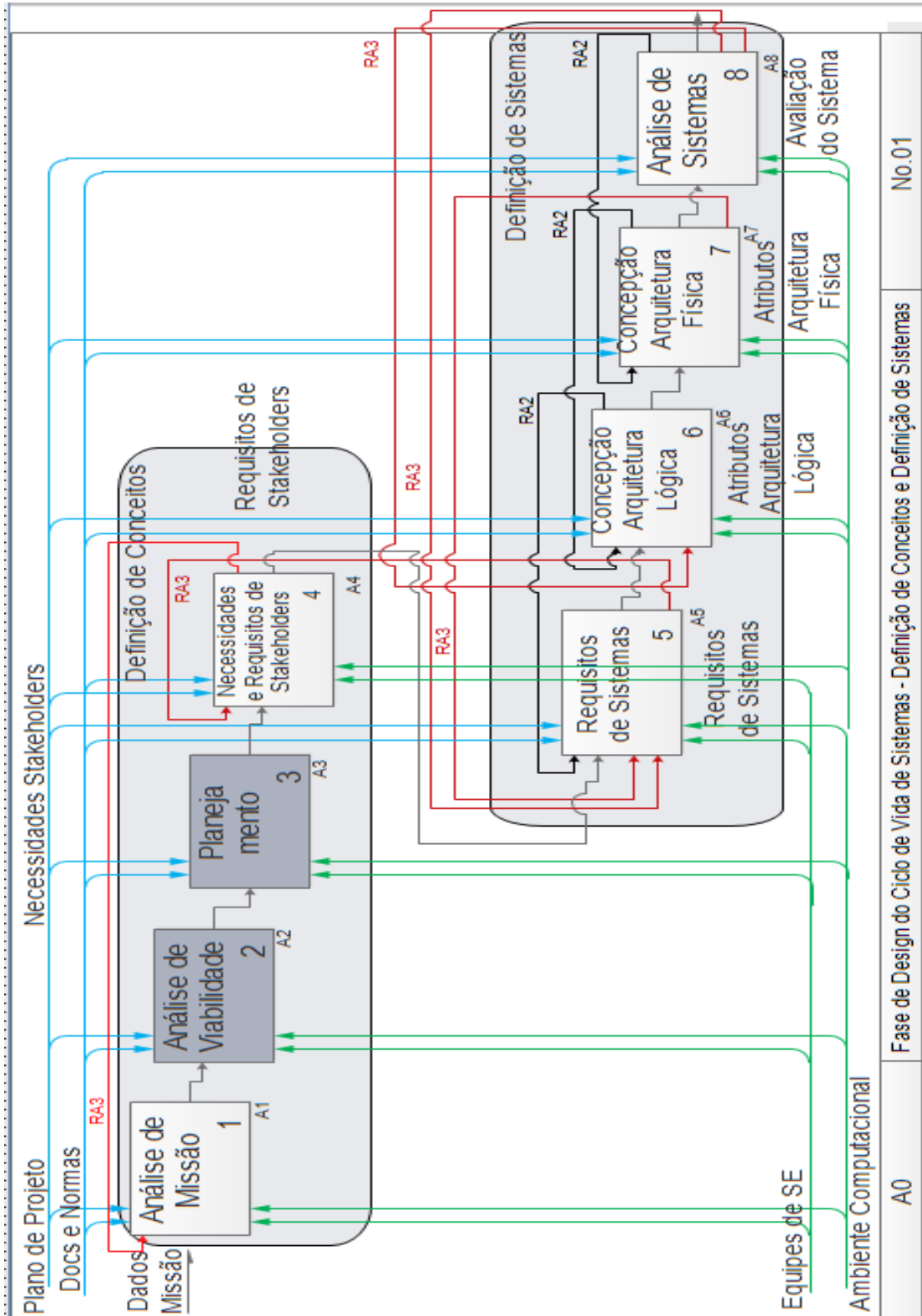
RA2:

- a) CAL para RS;
- b) CAF para CAL; e
- c) AS para CAF.

RA3:

- a) NRS para AM;
- b) RS para NRS;
- c) CAF para RS;
- d) AS para CAL; e
- e) AS para RS.

Figura 6.2 – Modelo IDEF0 da Fase de Design.



Fonte: Produção do autor.

Em geral nos diagramas *IDEFO* as setas/interligações devem ser entendidas como entradas e saídas dos diversos macroprocessos e/ou de suas etapas, elas não implicam necessariamente em sequenciamento temporal entre os processos.

No caso dessas interações do tipo RA2 e RA3, entretanto, a realização dos processos durante a execução do CVS se dá de acordo com o fluxo descrito pelas setas mostradas no diagrama *IDEFO*, pois há dependência de artefatos produzidos por um processo (saída) para que outro processo seja iniciado (receba um insumo).

6.1.2. Criação do Modelo de Referência

Um MR do Ciclo de Vida (MRCV) do processo pode ser também designado com a denominação de RTP, que é uma representação do sistema que inclui os processos e seu sequenciamento, as raias com os agentes, os testes para verificação de continuidade do fluxo de atividades ou retorno para algum ponto do mesmo para fins de correção ou melhoria gradual do processo.

Como dito anteriormente, o BPD (*Business Process Diagrams*) é uma representação gráfica usando a notação BPMN e a RTP é uma representação gráfica (modelo de referência) usando a notação DMUCV.

As redes RTPs são usadas para o desenvolvimento do modelo de referência, a partir do qual são criadas as representações diversificadas (modelos específicos de cada disciplina ou área de conhecimento) do processo unificado.

As redes RTPs são uma evolução dos diagramas denominados Diagramas para Modelagem Unificada em Simulação (DMUS), apresentados por Travassos (2007) e Diagramas para Modelagem Conceitual Unificada (DMCU) de Santos (2013).

Originalmente, os diagramas DMUS e DMCU foram criados a partir da união de conceitos em diagramas do tipo *DCA* (Pidd, 2004) e diagramas do tipo *RAD*

(Ould, 1995), utilizados na Gerência de Projetos (GP), simulação de sistemas discretos e gerenciamento de processos, respectivamente.

Além da agregação de conceitos provenientes dessas áreas, os diagramas DMUS e DMCU já possuíam conceitos extras, tais como repositório de recursos (recursos do sistema disponíveis para a realização das atividades), bem como a diferenciação entre fluxo de controle e o caminho percorrido por cada tipo de entidade ao longo do seu ciclo de vida, mostrando a concorrência entre os processos por elas realizados e as interações entre eles.

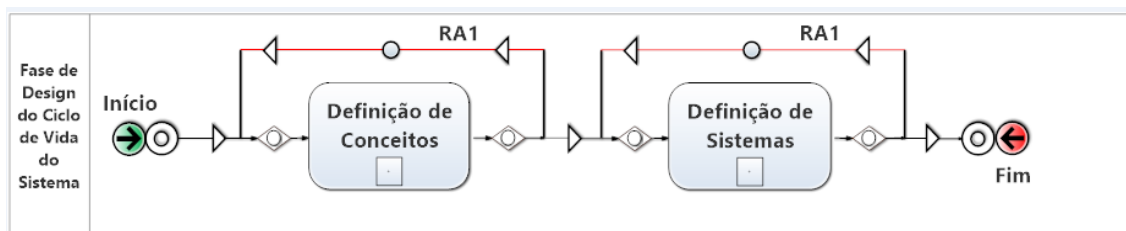
As redes RTPs apresentadas neste trabalho representam uma extensão dos diagramas citados acima, com a inclusão de alguns novos símbolos e modificação de outros já existentes, proporcionando uma notação gráfica semelhante aos diagramas *RADs* e *BPMN*, mas com especificidades únicas para descrever os complexos processos discretos a serem modelados utilizando-se a abordagem CT²P.

A construção do MR utilizando as redes RTPs, descritas em detalhes na Tabela 2.2 no Capítulo 2, corresponde à última atividade da fase de modelagem conceitual e à transição para a fase de desenvolvimento, onde serão criados os modelos especializados completos do ciclo de vida dos processos do sistema.

A Figura 6.3 retrata a modelagem dos processos da fase de *design* do CVS, composta pelos macroprocessos DC e DS, utilizando a notação DMUCV.

Na Figura 6.3 é mostrado o tipo de *loop* RA1. Internamente pode-se ter também a decomposição destes macroprocessos em suas componentes básicas, sendo a DC constituída por AM / AV / PL / NRS e a DS constituída por RS / CAL / CAF / AS.

Figura 6.3 – Macroprocessos da Fase de *Design* do CVS.



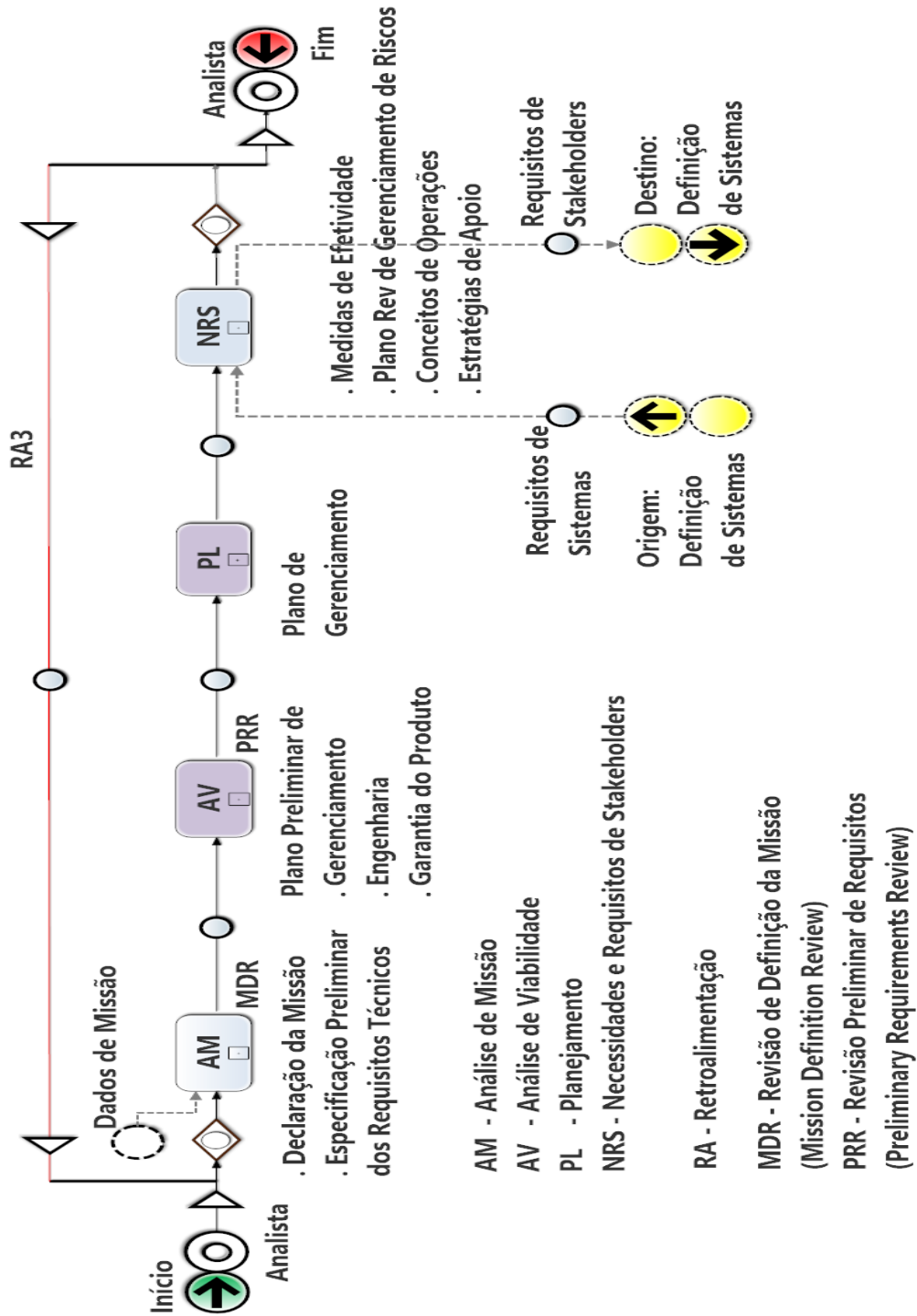
Fonte: Produção do autor.

As Figuras 6.4 e 6.5 a seguir mostram a decomposição interna dos macroprocessos DC e DS, utilizando-se a notação DMUCV, mostrando apenas o nível macro do Modelo de Referência, que retrata os processos, as entradas e saídas de cada processo, o sequenciamento de execução dos processos, os recursos humanos, as interações entre os processos e as conexões entre os macroprocessos.

Os macroprocessos DC e DS podem sofrer sucessivas iterações, durante a execução dos processos da fase de *design* do CVS, podendo os mesmos serem executados ainda por uma mesma equipe ou por várias equipes diferentes, responsável por aquela atividade específica.

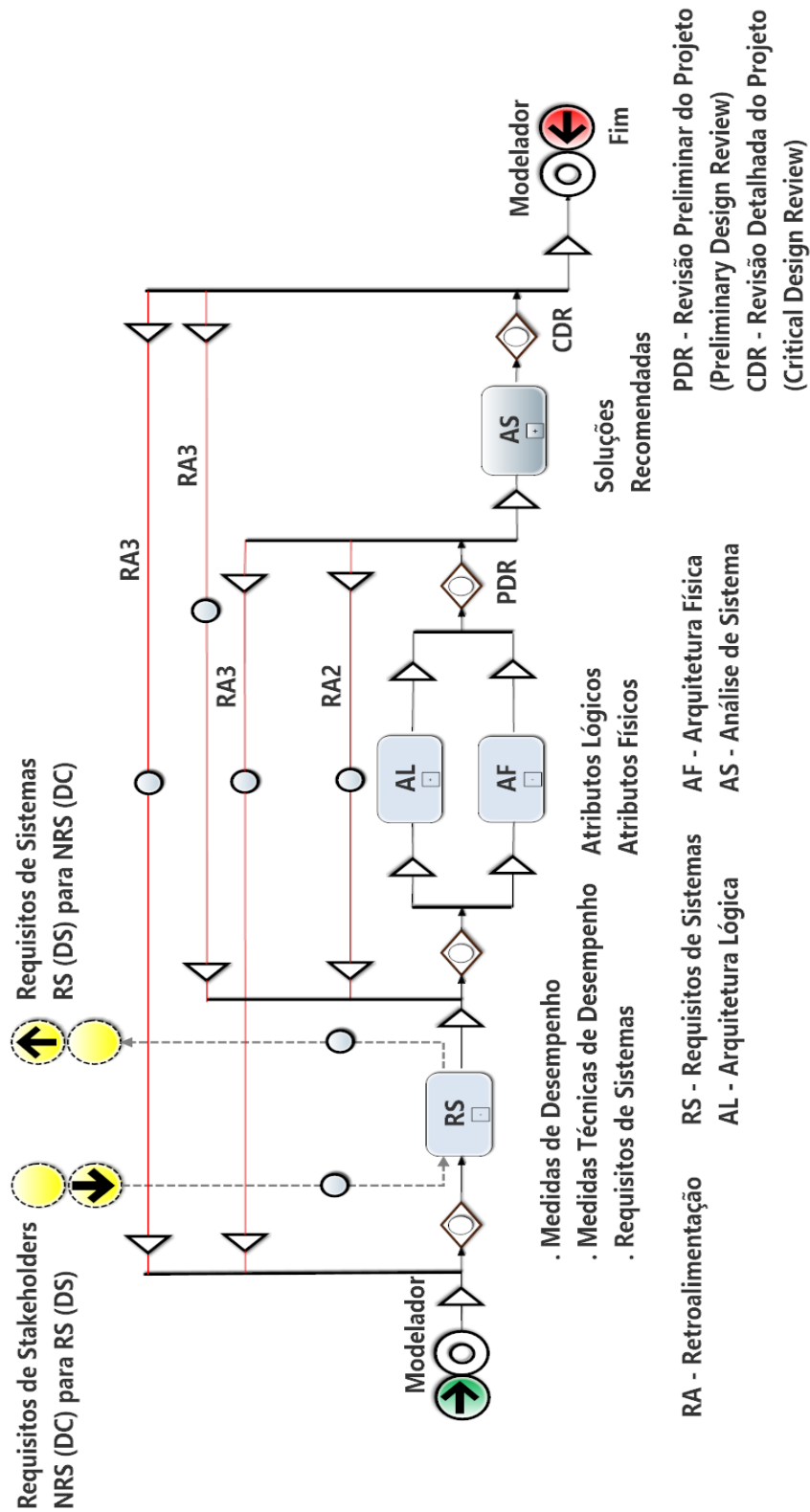
No conjunto estes macroprocessos e seus componentes constituem o MR da fase de *design* do CVS, que será utilizado como base para a criação de todos os modelos específicos (modelo de engenharia, modelo de GP, modelo de gestão de processos e modelo de simulação de sistemas) objetos de estudos da CT²P.

Figura 6.4 – Rede RTP da Fase de *Design* do CVS (Definição de Conceitos).



Fonte: Produção do autor.

Figura 6.5 – Rede RTP da Fase de *Design* do CVS (Definição de Sistemas).



Fonte: Produção do autor.

Na Figura 6.4 são mostrados ainda:

- a) a interação RA3 do macroprocesso NRS para AM;
- b) a conexão entre fronteiras do fluxo de controle de NRS da DC para RS da DS, disponibilizando-se o artefato requisitos de *stakeholders*; e
- c) a conexão entre fronteiras do fluxo de controle de RS da DS para NRS da DC, disponibilizando-se o artefato requisitos de sistemas.

Os resultados produzidos por cada processo do MR são apresentados a seguir.

- a) AM: declaração da missão e especificação preliminar dos requisitos técnicos;
- b) AV: planos preliminares de gestão, engenharia e garantia do produto;
- c) PL: plano de gestão;
- d) NRS: medidas de efetividade; plano revisado de gestão de riscos, conceitos de operações e estratégias de apoio;

Na Figura 6.5 são mostrados ainda:

- a) as interações RA2 e RA3:
 - a. RA2
 - i. entre os processos CAL e CAF, uma vez que estes processos são executados em paralelo; e
 - b. RA3
 - i. CAL ou CAF para RS;
 - ii. AS para CAL ou para CAF; e
 - iii. AS para RS.

- c. a conexão entre fronteiras do fluxo de controle de NRS da DC para RS da DS, disponibilizando-se o artefato requisitos de *stakeholders* juntamente com sua entidade;
- d. a conexão entre fronteiras do fluxo de controle de RS da DS para NRS da DC, disponibilizando-se o artefato requisitos de sistemas juntamente com sua entidade.

Os resultados produzidos por cada processo do MR são apresentados a seguir.

- a) RS: medidas de desempenho, medidas técnicas de desempenho e requisitos de sistemas;
- b) CAL: atributos lógicos;
- c) CAF: atributos físicos; e
- d) AS: soluções recomendadas.

Cabe salientar que para efeito de padronização das representações das interações das Figuras 6.4 e 6.5, as retroalimentações dos tipos RA2 e RA3, entre os processos não sequenciais dentro de uma mesma fase, são interligadas pela parte de cima dos processos.

As revisões tão importantes e necessárias são realizadas no final de cada fase do MR.

Dessa forma a Revisão de Definição da Missão (MDR - *Mission Definition Review*) é executada no final do processo AM, a Revisão Preliminar de Requisitos (PRR- *Preliminary Requirement Review*) é executada no final do processo AV, a Revisão Preliminar de Projeto (PDR – *Preliminary Design Review*) é executada após o término da execução de ambos os processos CAL e CAF e finalmente a Revisão Detalhada do Projeto (CDR - *Critical Design Review*) é executada no final do processo AS.

Nota-se que o símbolo de conexão usado para direcionar o fluxo de controle entre os processos, apresentado após os processos CAL e CAF, também tem a funcionalidade de capacidade de processamento, executando dessa forma a Revisão Preliminar do Projeto (PDR – *Preliminary Design Review*).

O MR completo aborda todas as atividades componentes dos processos de forma hierárquica com seus respectivos ciclos de vida das entidades. A construção do modelo utilizando a notação DMUCV encerra a fase de modelagem conceitual, que é seguida da fase de desenvolvimento, onde são criados os modelos especializados de processos, começando pelo modelo de engenharia.

O modelo de engenharia consiste, num primeiro momento, apenas na documentação exaustiva do MR com todas as normas ou itens das normas relacionadas a cada atividade (controles), suas entradas (insumos), suas saídas (artefatos e mensagens gerados), e os recursos necessários para sua execução (recursos humanos utilizados, máquinas, etc.).

Após esta documentação exaustiva, caso se disponha de um sistema do tipo Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos (ESBM) para fazer a descrição completa do tipo bricolagem (supõe funcionalidades gráficas hierárquicas) e o acompanhamento da evolução do sistema ao longo de seu ciclo de vida, ele será usado para a implementação completa do modelo de engenharia.

Neste trabalho não foi testado nenhum sistema do tipo ESBM, foi realizada apenas a criação dos modelos de engenharia no sentido mencionado acima, com a complementação do MR com todas as informações de engenharia disponíveis sobre os processos.

Dado que os modelos de engenharia já têm como base os modelos de referência de seu respectivo processo, as seções a seguir são utilizadas para descrever, concomitantemente, tanto os modelos de referência detalhados das atividades, quanto seus respectivos modelos de engenharia.

6.2. Definição de Conceitos

Nesta seção são apresentadas as redes RTPs da macro DC, a saber: AM, AV, PL e NRS. Todos estes modelos já são apresentados de acordo com a adequação feita aos padrões de gerenciamento de projetos, de acordo com o *PMBOK* e com os padrões da engenharia de sistemas espaciais, e de acordo com as normas *ECSS* e *NASA* mencionadas na proposta do modelo.

Originalmente no *SEBoK* (2016) o processo AM se refere à organização. Nessas referências a AM é definida como sendo o processo que contem as atividades destinadas a definirem o domínio do problema, identificar os *stakeholders*, desenvolver conceitos preliminares operacionais, e distinguir as condições e restrições que limitem o domínio da solução.

No contexto deste trabalho, o domínio do problema refere-se ao produto em desenvolvimento, havendo necessidade de se direcionar o processo para o produto, como é feito nas normas de engenharia de sistemas espaciais.

As normas *ECSS* (2009) situam a AM na fase 0 (zero) e ainda um processo de AV na fase A, sendo ambos voltados para o produto, razão pela qual decidiu-se substituir o processo AM do *SEBoK* (2016) por estes dois processos descritos nas normas *ECSS-E-ST-10C* (Engenharia Espacial) (2009) e *ECSS-M-ST-10C* (Gestão de Projetos Espaciais) (2009).

6.2.1. Análise de Missão

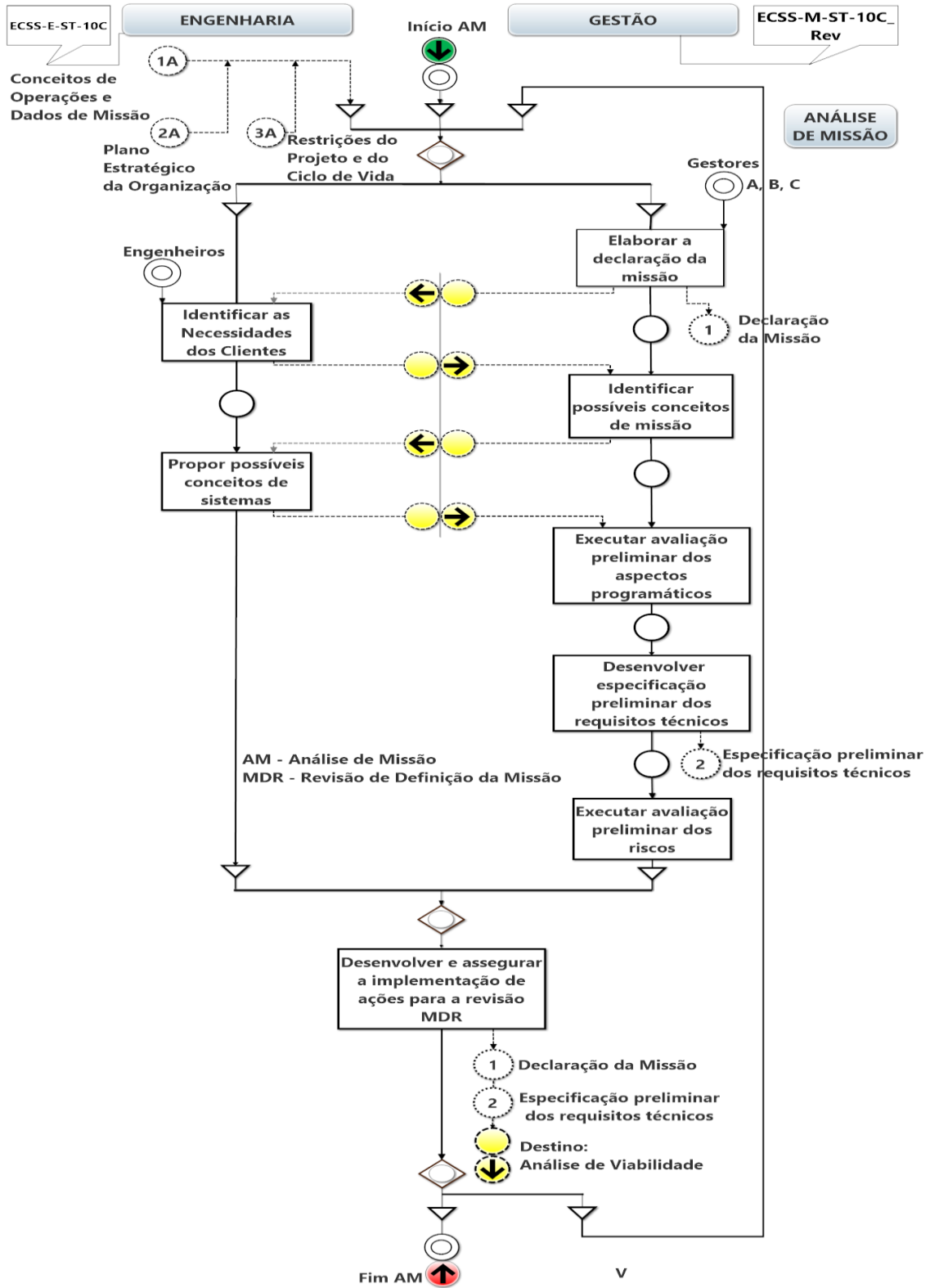
O processo AM é composto por 8 (oito) atividades, sendo que a identificação (E) para a área de Engenharia e (M) para a área de Gestão, apresentadas ao final de cada uma das atividades, referem-se às normas *ECSS-E-ST-10C - Space engineering - System engineering general requirements* e *ECSS-M-ST-10C - Space project management - Project planning and implementation*, destinadas a serem aplicadas em conjunto para a gestão, engenharia e garantia do produto em projetos e aplicações espaciais.

A lista completa destas atividades se encontra a seguir:

- a) elaborar a declaração de missão com a identificação e a caracterização de suas necessidades e objetivos, o seu desempenho esperado, requisitos de confiabilidade e segurança, restrições operacionais com relação ao ambiente físico e operacional (M);
- b) identificar as necessidades dos clientes (E);
- c) identificar possíveis conceitos de missão alternativa (M);
- d) propor possíveis conceitos de sistemas (E);
- e) fazer uma avaliação preliminar do plano estratégico desenvolvido a partir de análise econômica e de mercado (M);
- f) desenvolver as especificações dos requisitos técnicos preliminares (M);
- g) fazer uma análise preliminar dos riscos (M); e
- h) desenvolver e assegurar a implementação de ações para a revisão MDR (E).

Cabe salientar que o sequenciamento das atividades, considerando-se as duas normas, foi determinado pelo autor, conforme mostrado na Figura 6.6.

Figura 6.6 – Rede RTP do Processo AM (Definição de Conceitos)



Fonte: Produção do autor.

6.2.2. Análise de Viabilidade

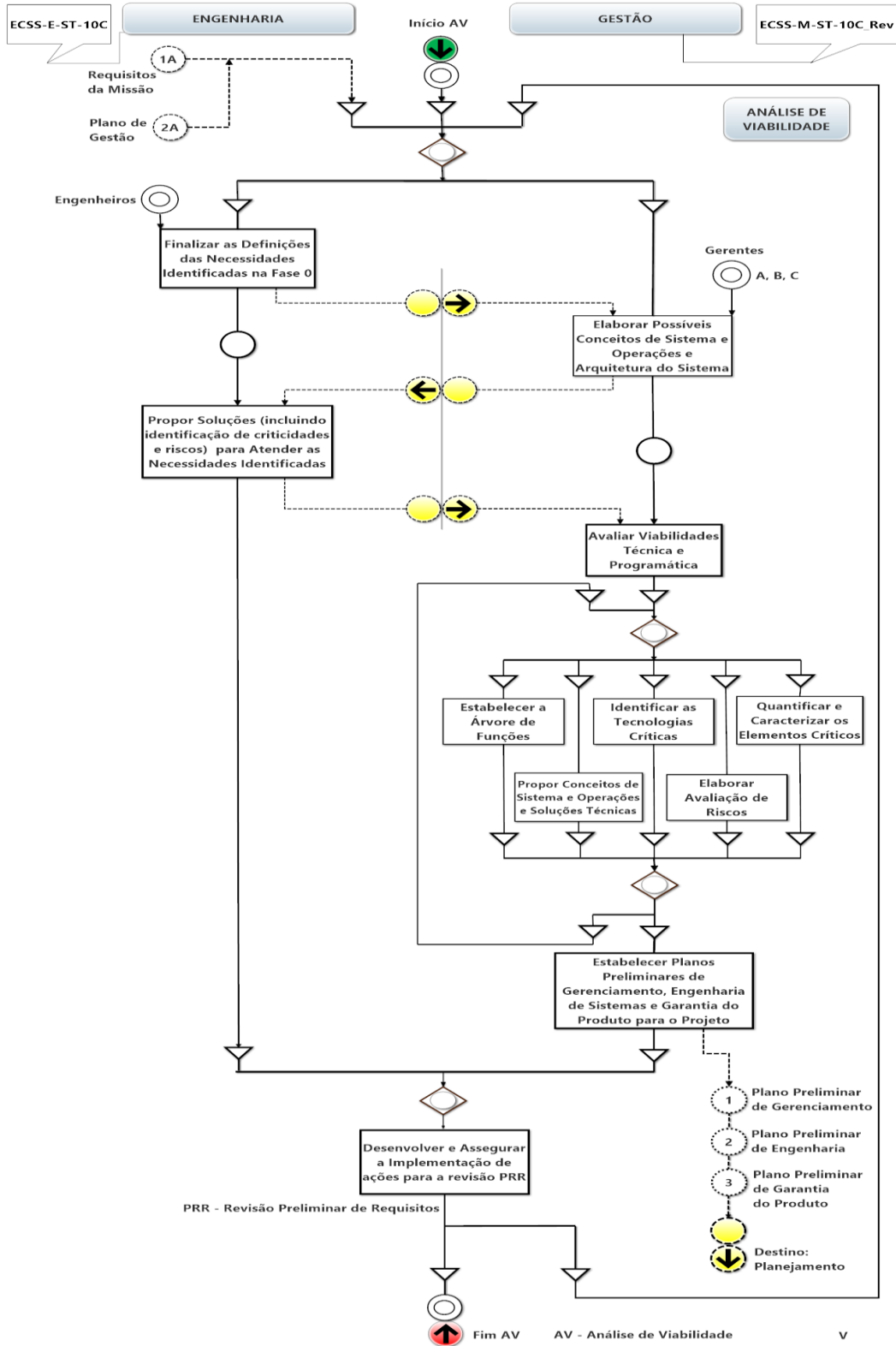
O processo AV foi incorporado ao modelo, também tomando-se por base as normas ECSS-E-ST-10C e ECSS-M-ST-10C.

O processo AV é composto por 11 (onze) atividades, mencionadas a seguir e mostradas na Figura 6.7:

- a) finalizar a identificação das necessidades da fase 0 (zero) (E);
- b) elaborar possíveis conceitos de sistema e operações e a arquitetura do sistema (M);
- c) propor soluções (incluindo identificação de criticidades e riscos) para atender às necessidades identificadas (E);
- d) avaliar a viabilidade técnica e programática (M);
- e) estabelecer a árvore de funções (M);
- f) identificar as tecnologias críticas (M);
- g) quantificar e caracterizar os elementos críticos (M);
- h) propor conceitos de sistema e operações e soluções técnicas (M);
- i) elaborar avaliação de riscos (M);
- j) estabelecer os planos preliminares de gestão, de engenharia de sistema e garantia do produto para o projeto (M); e
- k) desenvolver e assegurar a implementação de ações para a revisão PRR (*Preliminary Requirement Review*) (E).

Cabe salientar que o sequenciamento das atividades, considerando-se as duas normas, foi determinado pelo autor.

Figura 6.7 – Rede RTP do Processo AV (Definição de Conceitos).



Fonte: Produção do autor.

6.2.3. Planejamento – Elaboração do Plano de Gerenciamento

O Gerenciamento de Projetos (GP) tem como objetivo planejar e coordenar as atividades de trabalho necessárias para fornecer um produto satisfatório, serviço ou empreendimento empresarial dentro das restrições do tempo, orçamento, recursos, infra-estrutura e recursos humanos disponíveis e tecnologia.

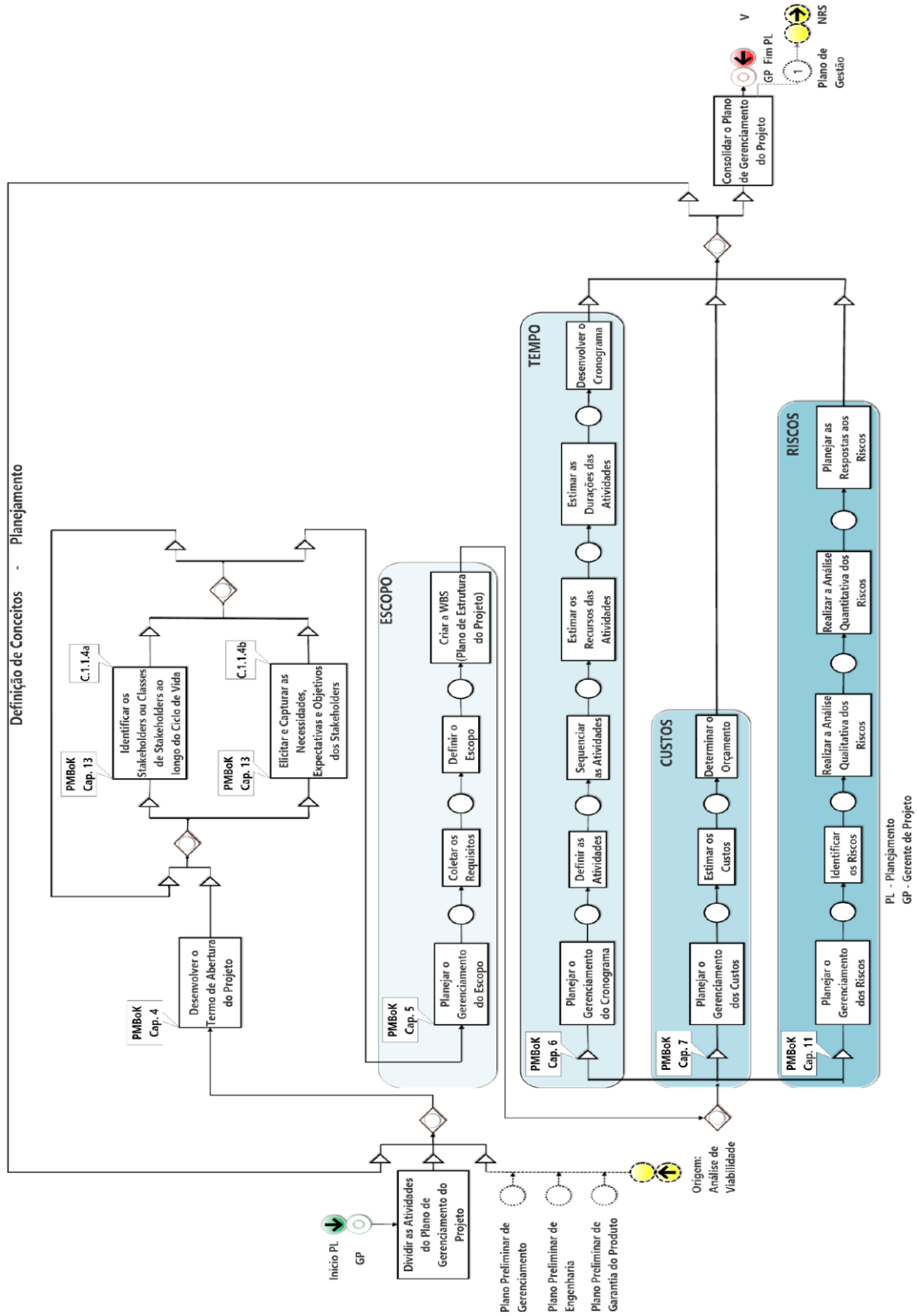
O Guia *PMBOK* (2014) é considerado o manual de referência por excelência em gerenciamento de projetos, que documenta as práticas fundamentais que gerentes de projetos precisam para atingir elevados padrões de excelência em projetos.

Os modelos originais *SEBoK* (2016) e as normas *ECSS* (2009) utilizadas para a descrição do macroprocesso Definição de Conceitos não mencionam a necessidade de elaboração de um plano de gerenciamento, o que foi considerado uma omissão, uma vez que a disciplina GP precisa ser aplicada ao longo de todo o ciclo de vida de desenvolvimento do produto e, conseqüentemente, um plano de gerenciamento precisa ser elaborado desde o início do projeto.

O MR proposto neste trabalho procura suprir a lacuna identificada acima e adequar-se aos preceitos estabelecidos no Guia *PMBOK* (2014), por meio da incorporação de um processo chamado de Planejamento, responsável pela criação do plano de GP, composto pelos processos julgados os mais relevantes, entre as dez áreas de conhecimento da GP.

O processo de Planejamento descrito neste trabalho considera os grupos de processos de Iniciação e de Planejamento do *PMBOK* (2014), limitado às áreas de conhecimento Escopo, Tempo, Custo e Risco, como elas são tratadas nos capítulos 4, 5, 6, 7 e 11 respectivamente, conforme mostradas na Figura 6.8.

Figura 6.8 – Rede RTP do Processo PL (Definição de Conceitos).



Fonte: Produção do autor.

Os processos de elaboração do plano de gerenciamento compreendem as atividades componentes dos grupos de processos de Iniciação e Planejamento do *PMBOK* (2014), conforme contempladas no modelo proposto neste trabalho, cobrindo as áreas de conhecimento Escopo, Tempo, Custo e Risco, contendo 21 (vinte e uma) tarefas, denominadas a seguir:

Iniciação – Capítulo 4

1 - Desenvolver o *Project Charter* (Termo de Abertura do Projeto); 2 - Identificar os *Stakeholders* ou Classes de *Stakeholders* ao longo do Ciclo de Vida; e 3 - Elicitar e Capturar as Necessidades, Expectativas e Objetivos dos *Stakeholders*

Escopo – Capítulo 5

1 - Planejar o Gerenciamento do Escopo; 2 - Coletar os Requisitos; 3 - Definir o Escopo; e 4 - Criar a *WBS* (Plano de Estrutura do Projeto).

Tempo – Capítulo 6

1 - Planejar o Gerenciamento do Cronograma; 2 - Definir as Atividades; 3 - Sequenciar as Atividades; 4 - Estimar os Recursos das Atividades; 5 - Estimar as Durações das Atividades; e 5 - Desenvolver o Cronograma.

Custo – Capítulo 7

1 - Planejar o Gerenciamento dos Custos; 2 - Estimar os Custos; e 3 - Determinar o Orçamento.

Risco – Capítulo 11

1 - Planejar o Gerenciamento dos Riscos; 2 - Identificar os Riscos; 3 - Realizar a Análise Qualitativa dos Riscos; 4 - Realizar a Análise Quantitativa dos Riscos; e 5 - Planejar as Respostas aos Riscos.

6.2.4. Necessidades e Requisitos de *Stakeholders*

O processo NRS tem como objetivo consolidar a elicitaco de um conjunto de necessidades relacionadas a uma misso nova ou até mesmo alterada de um produto, para transformar essas necessidades em requisitos claros, concisos e verificveis.

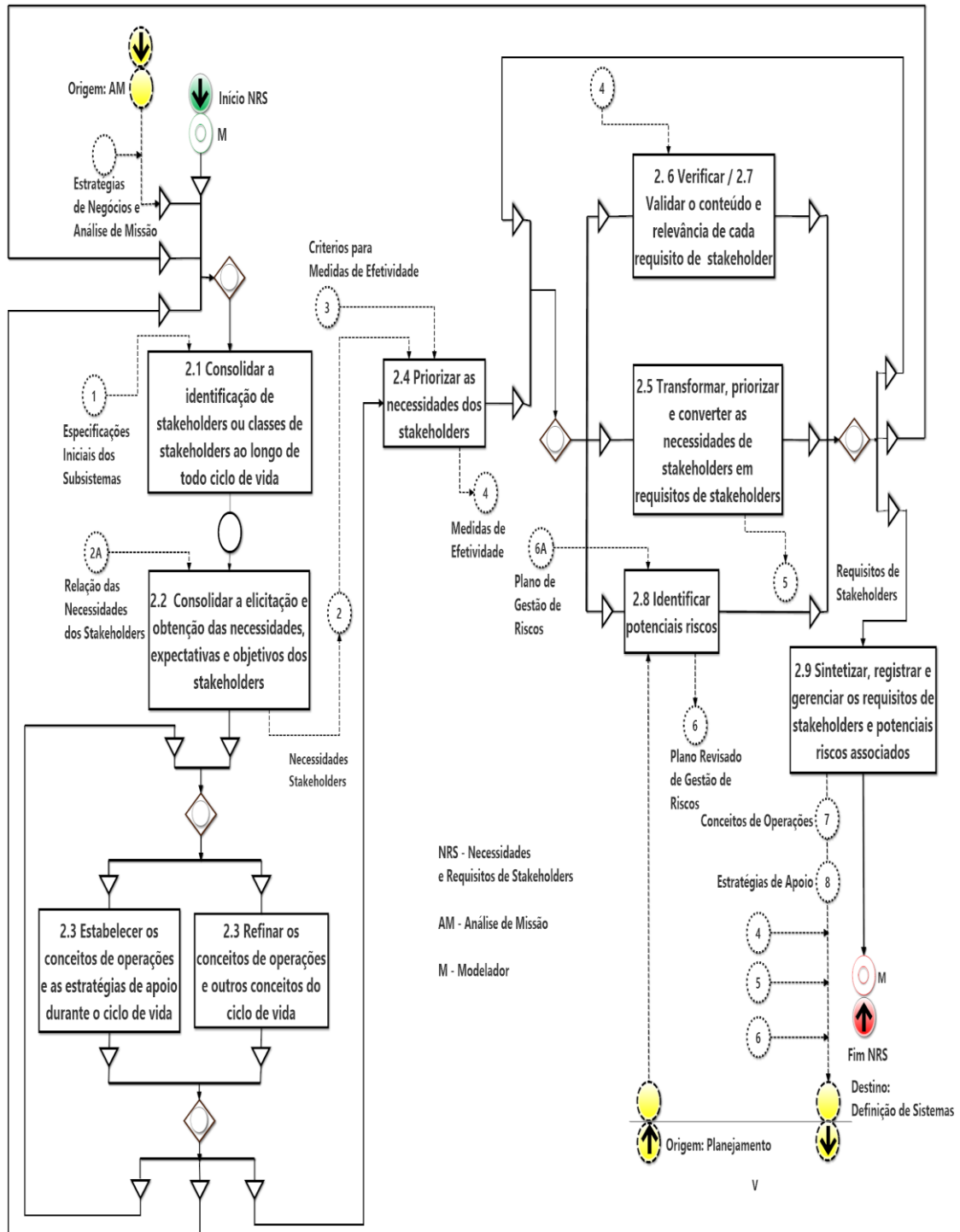
O processo NRS  composto por 9 (nove) atividades, mencionadas a seguir e mostradas na Figura 6.9, que retrata o MR de acordo com o *SEBoK* (2016).

- a) consolidar a identificao de *stakeholders* ou classes de *stakeholders* ao longo de todo ciclo de vida;
- b) consolidar a elicitaco e obteno das necessidades, expectativas e objetivos dos *stakeholders*;
- c) estabelecer os conceitos de operao e as estratégias de apoio durante o ciclo de vida;
- d) refinar os conceitos de operao e outros conceitos do ciclo de vida;
- e) priorizar as necessidades dos *stakeholders*;
- f) verificar / validar o contedo e relevncia de cada requisito de *stakeholder*;
- g) transformar, priorizar e converter as necessidades de *stakeholders* em requisitos de *stakeholders*;
- h) identificar potenciais riscos; e
- i) sintetizar, registrar e gerenciar os requisitos de *stakeholders* e potenciais riscos associados.

Figura 6.9 – Rede RTP do Processo NRS (Definição de Conceitos).

Definição de Conceitos

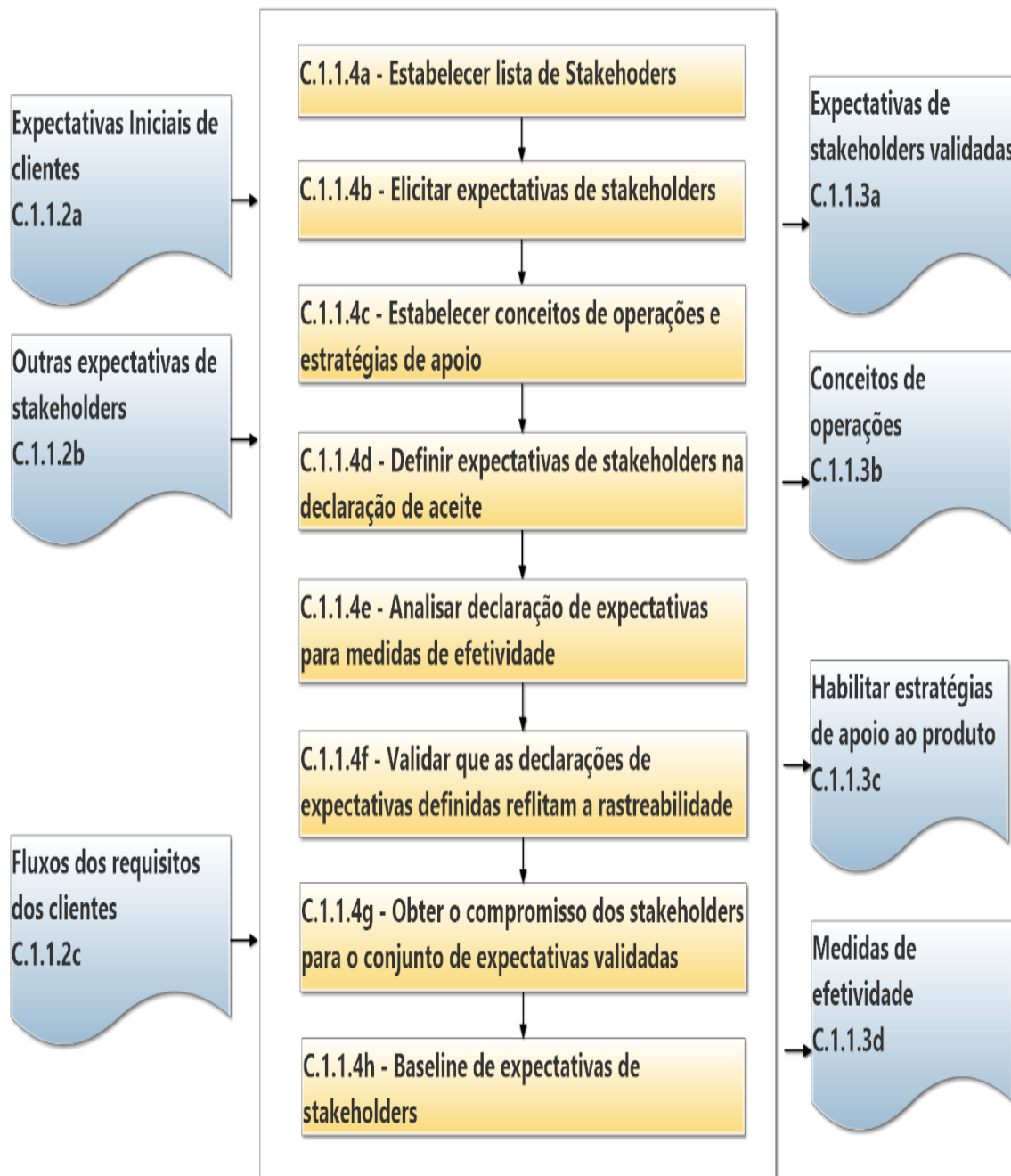
Necessidades e Requisitos de Stakeholders



Fonte: Produção do autor.

O Processo de Definição de Expectativas de *Stakeholders* descrito na norma *NPR (NASA Procedural Requirements) 7123.1B (2013) - Práticas para Processos Técnicos Comuns (Practices for Common Technical Processes)* encontra-se ilustrado na Figura 6.10.

Figura 6.10 – Processo de Definição de Expectativas de *Stakeholders*.



Fonte: NPR 7123.1B (2013, p. 61).

A comparação entre os modelos *NASA - NPR 7123.1B (2013)* e *SEBoK (2016)* para o processo NRS é mostrado na Figura 6.11 resultando no modelo de engenharia, que é criado a partir do modelo *SEBoK (2016)*, acrescido das informações para documentação completa do processo de engenharia.

A comparação com os modelos *NASA* será feita a partir deste ponto para todas as demais atividades a serem apresentadas, uma vez que o presente processo é o primeiro para o qual a *NASA* possui descrição detalhada (os demais anteriores são originais da *ECSS* e não possuem correspondentes *NASA*).

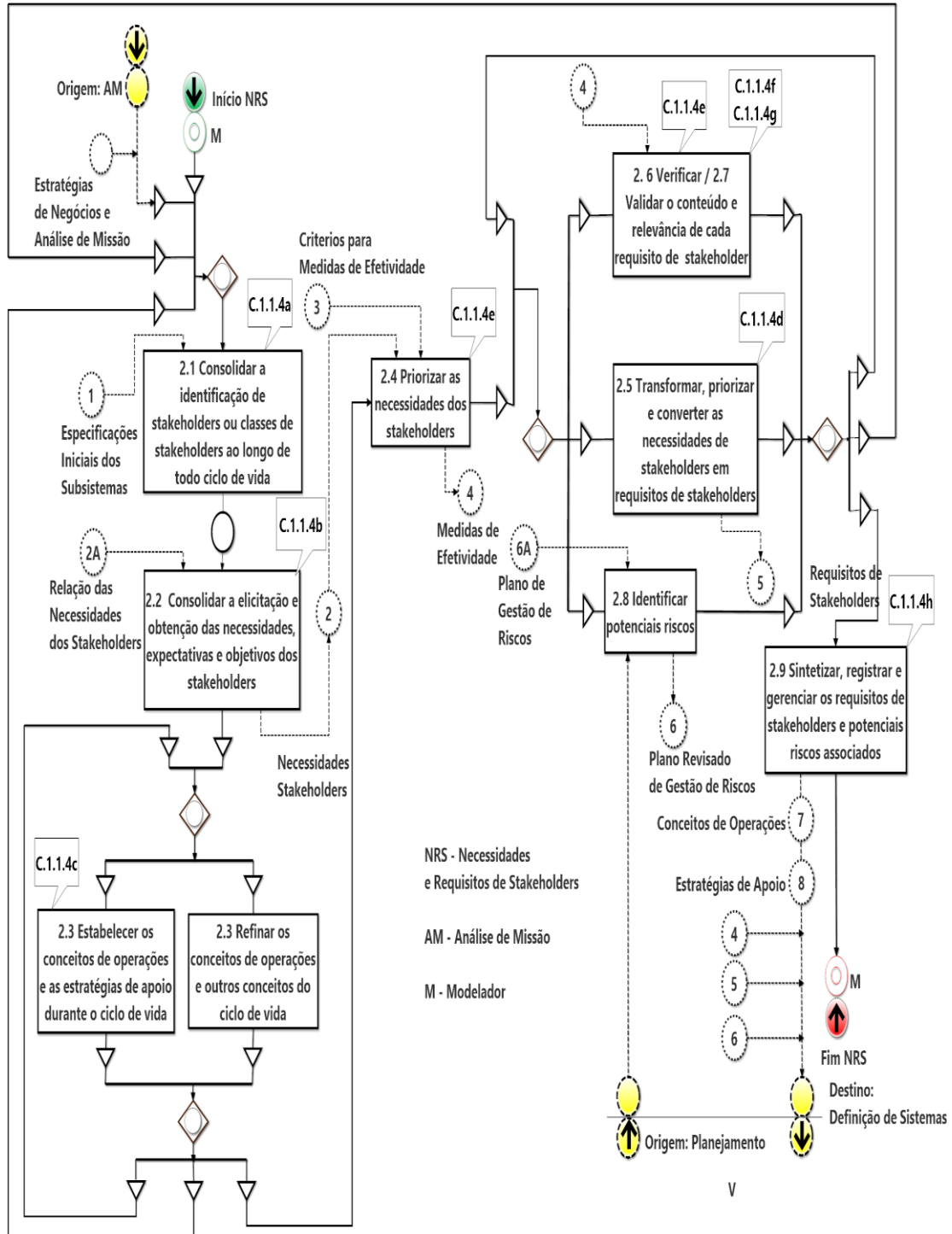
A compatibilidade entre as duas fontes de referência *NASA (2013)* e *SEBoK (2016)* é muito grande, em contraste com aquela existente entre os padrões *ECSS (2009)* e *SEBoK (2016)*, que é quase inexistente, uma vez que as normas *ECSS* não fazem uma descrição detalhada das suas atividades em termos de suas redes de atividades componentes.

Cabe salientar que o sequenciamento das atividades, considerando-se o *SEBoK* e as normas da *NASA*, foi determinado pelo autor.

Figura 6.11 – Rede RTP do Processo NRS (Definição de Conceitos)

Definição de Conceitos

Necessidades e Requisitos de Stakeholders



Fonte: Produção do autor.

Através da utilização de método comparativo entre as normas do *SEBoK* (2016) e da *NASA* (2013) foram determinadas as entradas e saídas do processo de NRS, mostradas na Figura 6.11 e detalhadas a seguir:

Entradas

- a) expectativas iniciais do cliente (C.1.1.2a);
- b) expectativas de outros *stakeholders* (C.1.1.2b); e
- c) requisitos de clientes (C.1.1.2c).

Saídas

- a) expectativas de *stakeholders* validadas (C.1.1.3a);
- b) conceitos de operações (C.1.1.3b);
- c) produtos ativos e estratégias de apoio (C.1.1.3c); e
- d) medidas de efetividade (C.1.1.3d).

A seguir são apresentados os modelos de engenharia dos processos componentes do macroprocesso DS.

6.3. Definição de Sistemas

As atividades de DS são realizadas para descrever em detalhes um sistema para satisfazer uma necessidade identificada.

As atividades serão agrupadas e descritas como processos genéricos que serão executados de forma simultânea e/ou sequencial dependendo do modelo de ciclo de vida selecionado (PYSTER e OLWELL, 2013).

Nessa seção são apresentados as redes RTP e sua documentação detalhada na forma de modelo de engenharia dos processos componentes da macro DS, a saber: RS, CAL, CAF e AS.

Durante e/ou no final de qualquer iteração, pontos de verificação serão realizados para garantir que todos os requisitos do sistema foram mapeados tanto para a arquitetura como para o projeto.

6.3.1. Requisitos de Sistemas

O processo RS tem como objetivo transformar a visão do *stakeholder*, com relação às suas necessidades e desejos, em uma visão técnica do produto que atenda às necessidades operacionais do usuário.

Este processo cria uma representação do sistema para atender aos requisitos dos *stakeholders*.

Isto resulta em requisitos de sistema mensuráveis que especificam, do ponto de vista do fornecedor, as características de desempenho que o sistema deve possuir para que as necessidades dos *stakeholders* sejam satisfeitas.

O processo RS deve estabelecer um conjunto de objetivos gerais que o sistema deverá cumprir.

Os requisitos do sistema são todos os requisitos que descrevem as funções que o sistema, como um todo, deve cumprir para satisfazer as necessidades e requisitos dos *stakeholders*, e são expressos em uma combinação apropriada de declarações textuais, visões e requisitos não funcionais; estes últimos expressando os níveis de segurança, seguridade, confiabilidade, *performance*, entre outros que serão necessários.

De acordo com o *SEBoK* (2016), requisitos de sistemas desempenham papéis importantes na engenharia de sistemas, uma vez que:

- a) levam a definição da arquitetura do sistema e as atividades do projeto;
- b) levam a definição da integração do sistema e as atividades de verificação;

- c) atuam como referência para validação e aceitação dos *stakeholders*; e
- d) fornecem um meio de comunicação entre os diversos técnicos que interagem ao longo do projeto.

Os requisitos de sistemas são baseados em torno da identificação e síntese das funções exigidas para qualquer solução do sistema e associados ao desempenho e outras medidas de qualidade.

Os requisitos de sistemas fornecem a base para avaliação das soluções candidatas e verificação do sistema concluído.

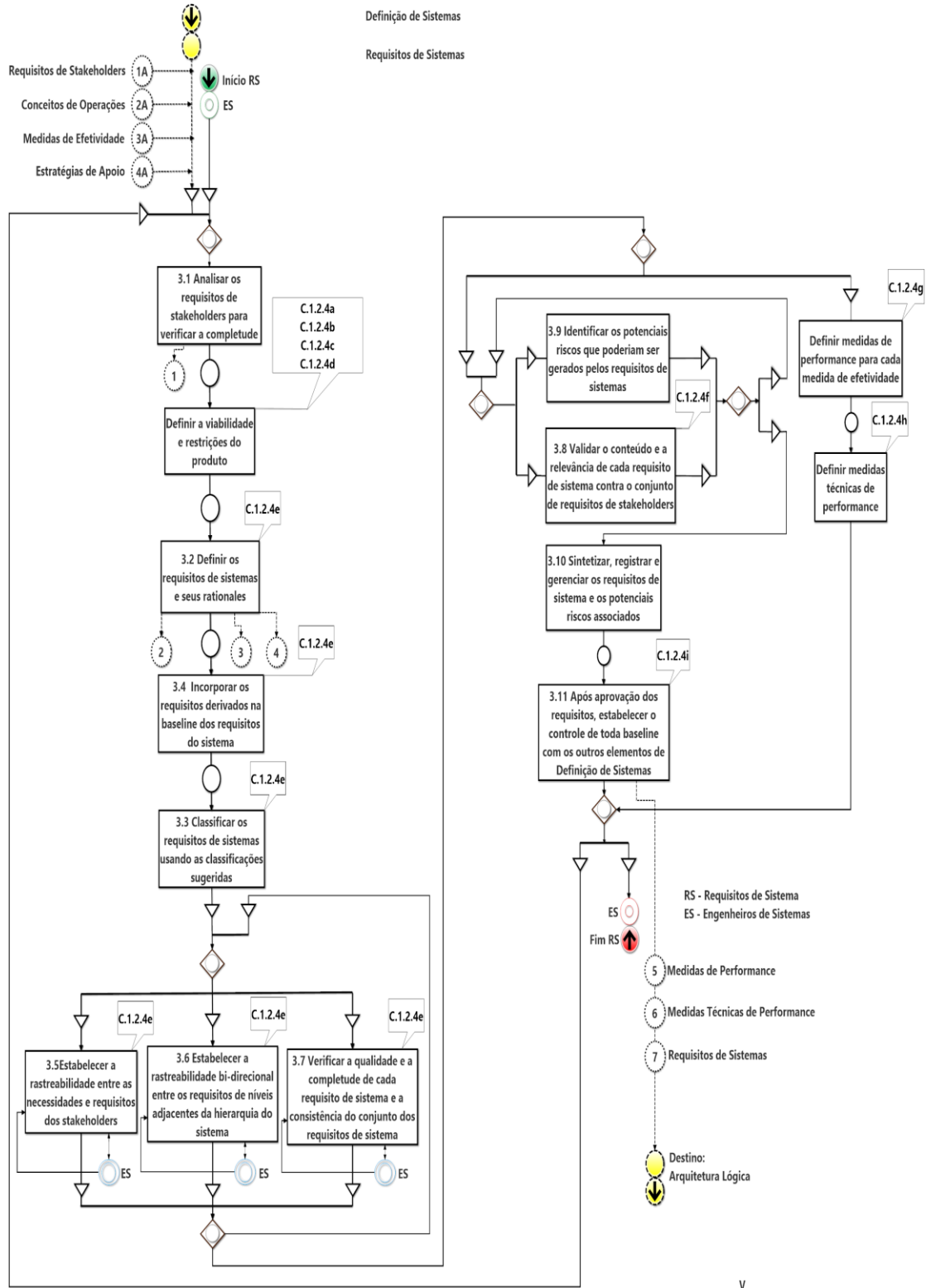
Os requisitos do sistema são expressos em linguagem técnica, a qual é útil para que se tenha uma arquitetura inequívoca, consistente, coerente e verificável.

Naturalmente, uma proximidade com os *stakeholders* é necessária para assegurar que a tradução de seus desejos e necessidades seja precisa, bem como a rastreabilidade dos requisitos seja efetuada.

Assim sendo, o processo RS que é o primeiro processo que compõe o macroprocesso Definição de Sistemas, deverá ser executado através das atividades que se seguem, para que a visão técnica do produto seja elaborada (PYSTER e OLWELL, 2013).

A Figura 6.12 retrata as atividades dos requisitos de sistemas, cuja ordem e sequência fica determinada pelo fato de se ter ao final do processo citado, a produção de um conjunto de requisitos de sistemas com qualidade, completude e consistência, visando o atendimento pleno das necessidades e desejos dos *stakeholders*.

Figura 6.12 – Rede RTP do Processo RS (Definição de Sistemas).

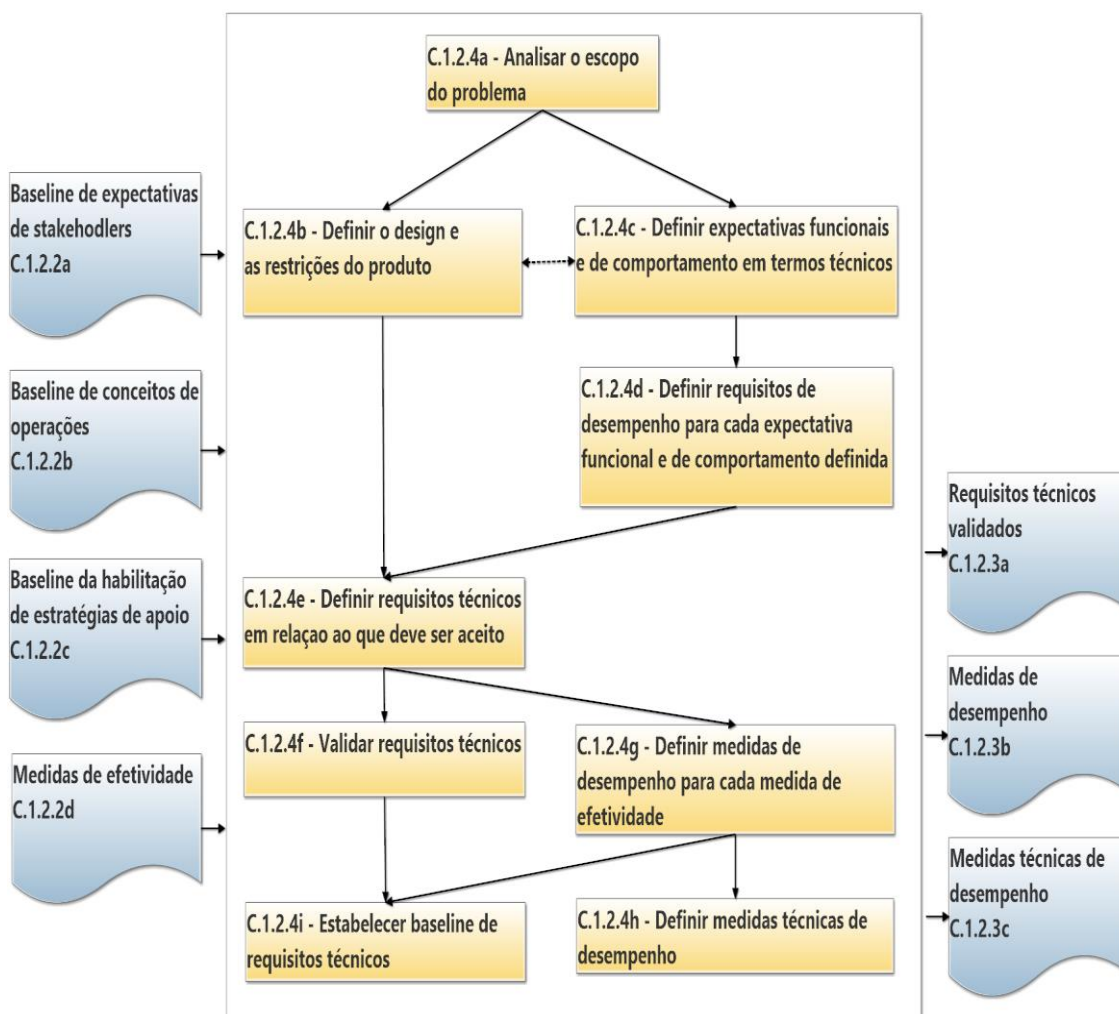


Fonte: Produção do autor.

Para tornar o modelo de requisitos de sistemas compatível com os padrões de engenharia de sistemas espaciais, fez-se uma revisão utilizando-se os requisitos e processos de engenharia da NASA - NPR 7123.1B (2013), conforme mostrado na Figura 6.12 onde a equivalência dos processos originais SEBoK (2016) com seus análogos da norma NASA estão explicitadas.

O Processo de Definição de Requisitos Técnicos descrito na norma NPR (NASA Procedural Requirements) 7123.1B (2013) – Práticas para Processos Técnicos Comuns (*Practices for Common Technical Processes*) encontra-se ilustrado na Figura 6.13.

Figura 6.13 – Processo de Definição de Requisitos Técnicos.



Fonte: NPR 7123.1B (2013, p. 64).

Através da utilização de método comparativo entre as normas do *SEBoK* (2016) e da *NASA* (2013) foram determinadas as entradas e saídas do processo de Necessidades e Requisitos de Sistemas como sendo as seguintes:

a) entradas

- a. expectativas de *stakeholders* da *baseline* (C.1.2.2a);
- b. conceitos de operações da *baseline* (C.1.2.2b);
- c. estratégias de apoio da *baseline* (C.1.2.2c); e
- d. medidas de efetividade (C.1.2.2d).

b) saídas

- a. requisitos técnicos validados (C.1.2.3a);
- b. medidas de desempenho (C.1.2.3b); e
- c. medidas técnicas de desempenho (C.1.2.3c).

6.3.2. Concepção da Arquitetura Lógica

O objetivo do processo CAL é avaliar a funcionalidade e o comportamento do sistema, enquanto o mesmo estiver em produção, assim como, definir, selecionar e sintetizar a arquitetura lógica de um sistema para fornecer um panorama para verificar se um sistema futuro irá satisfazer os requisitos do sistema em todos os cenários operacionais (PYSTER e OLWELL, 2013).

A arquitetura lógica de um sistema é composta por um conjunto de princípios e conceitos técnicos relacionados, que suportam o funcionamento lógico do sistema.

A arquitetura funcional ou lógica é um conjunto de funções e suas sub-funções que define as transformações realizadas pelo sistema para completar sua missão (*SEBoK*, 2016).

A fim de definir o conjunto completo de funções do sistema, deve-se identificar, a partir dos requisitos do sistema, todas as funções necessárias para o sistema e os seus requisitos derivados, bem como as entradas e saídas correspondentes das referidas funções. De um modo geral, existem dois tipos de funções:

- a) funções que são produzidas diretamente a partir dos requisitos funcionais e de interfaces (entradas e saídas), sendo que essas funções expressam os serviços esperados de um sistema, necessários para satisfazer às necessidades do referido sistema; e
- b) funções que são derivadas e geradas a partir das soluções alternativas de arquitetura física e dependem do resultado do projeto; além disso, elas dependem da escolha da tecnologia para implementar os elementos da arquitetura lógica.

Assim sendo, o processo CAL que é o segundo processo que compõe o macroprocesso DS, deverá ser executado através das atividades que se seguem, para se obter o panorama que irá verificar se um sistema futuro irá satisfazer aos requisitos do sistema em todos os cenários operacionais (*PYSTER e OLWELL*, 2013).

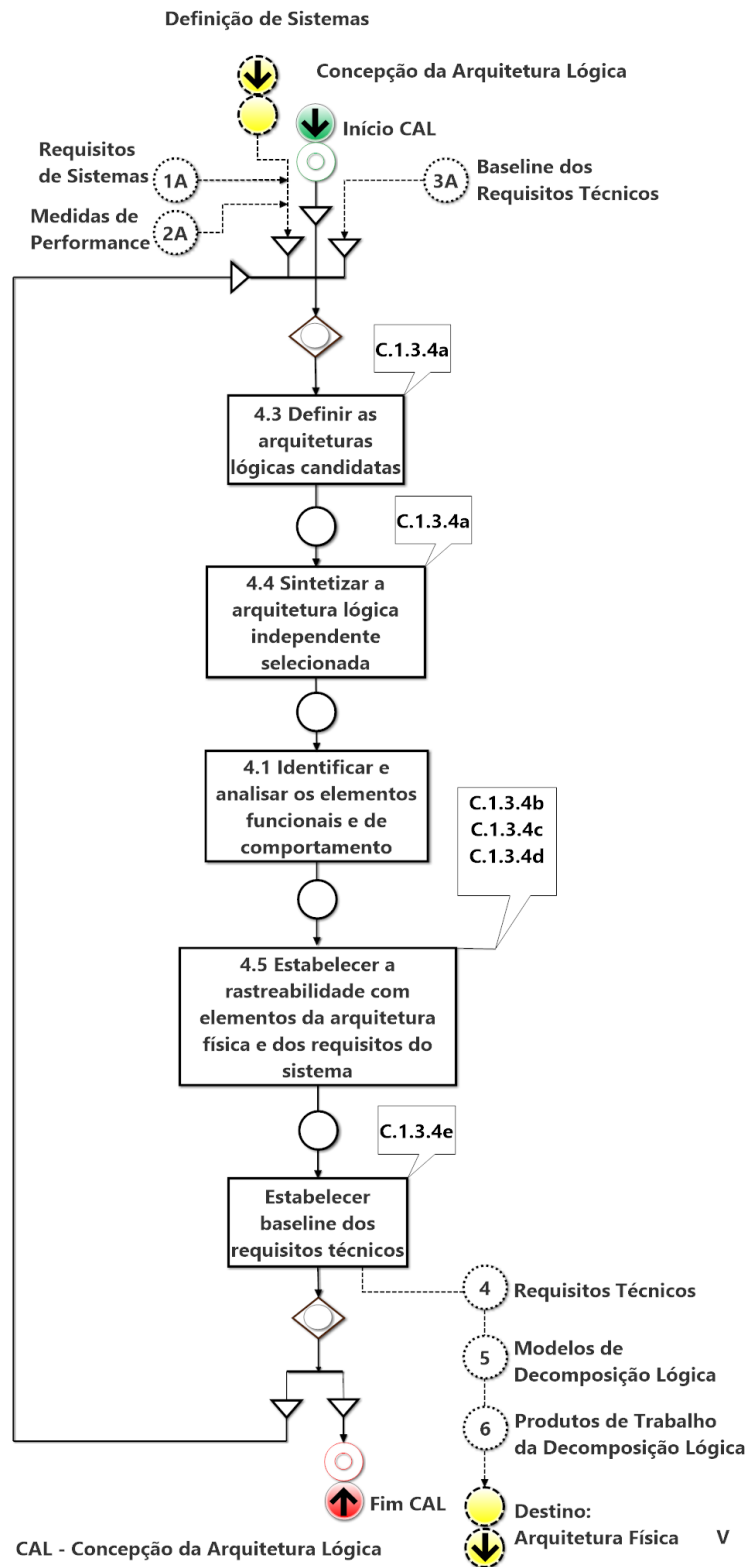
O processo CAL tem por objetivo definir, selecionar e sintetizar a arquitetura lógica de um sistema visando avaliar a funcionalidade e comportamento do sistema e fornecer um panorama para verificar se um sistema futuro irá satisfazer aos requisitos do sistema em todos os cenários operacionais.

O desenvolvimento da arquitetura lógica ajuda a identificar as funções do sistema e os fluxos da informação.

A arquitetura lógica trabalha em torno dos fluxos de dados e deve ser independente das tecnologias a serem utilizadas para desenvolver o sistema.

A Figura 6.14 retrata as atividades da CAL, cuja ordem e sequência fica determinada pelo fato de se ter ao final do processo citado, a definição da arquitetura lógica selecionada dentre as várias candidatas.

Figura 6.14 – Rede RTP do Processo CAL (Definição de Sistemas).

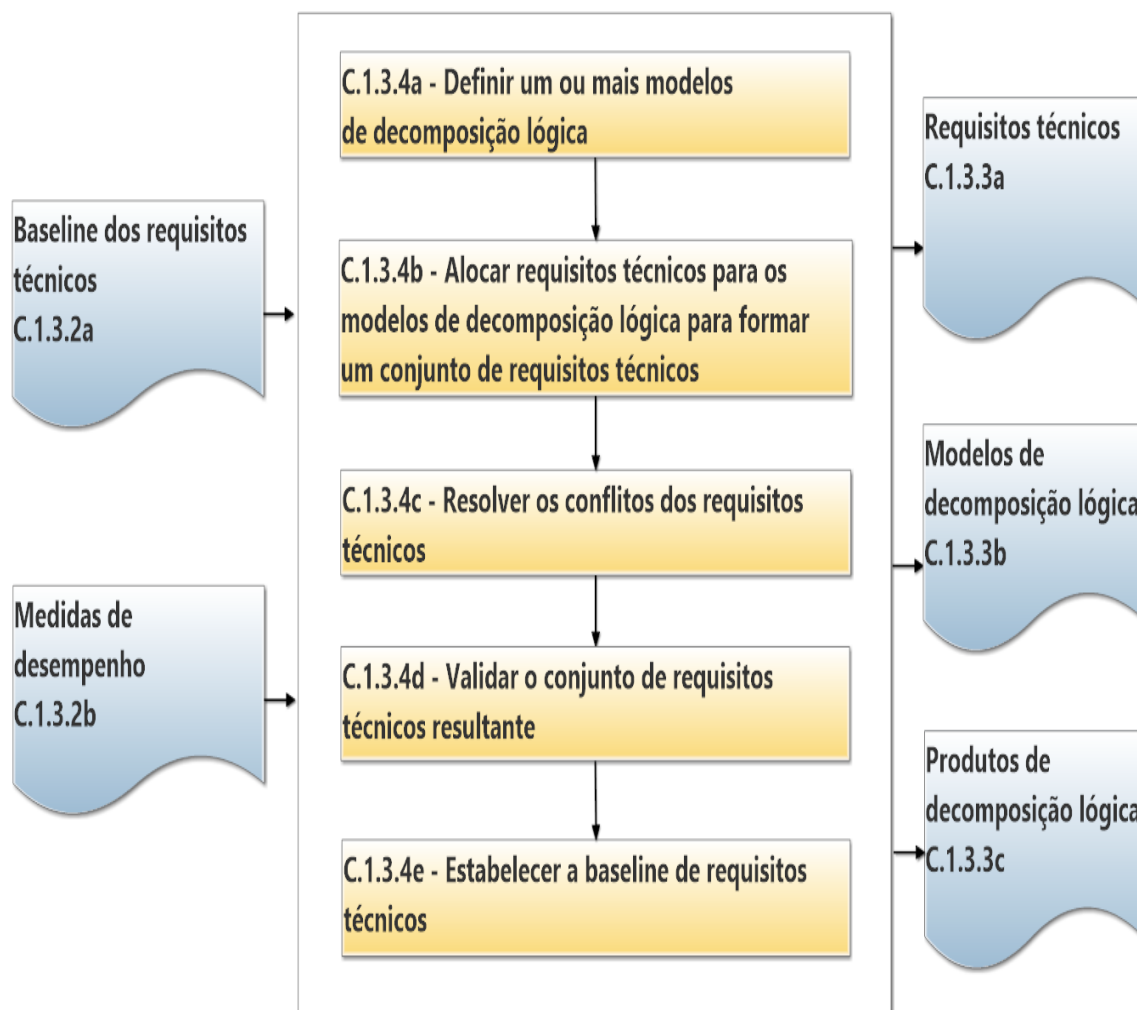


Fonte: Produção do autor.

Para tornar o modelo de CAL compatível com os padrões de engenharia de sistemas espaciais, fez-se uma revisão utilizando-se os requisitos e processos de engenharia da NASA - NPR 7123.1B (2013), conforme mostrado na Figura 6.14 onde a equivalência dos processos originais SEBoK (2016) com seus análogos da norma NASA estão explicitadas.

O Processo de Decomposição Lógica descrito na norma NPR (NASA Procedural Requirements) 7123.1B (2013) – Práticas para Processos Técnicos Comuns (*Practices for Common Technical Processes*) encontra-se ilustrado na Figura 6.15.

Figura 6.15 – Processos de Decomposição Lógica.



Fonte: NPR 7123.1B (2013, p. 67).

Através da utilização de método comparativo entre as normas do *SEBoK* (2016) e da *NASA* (2013) foram determinadas as entradas e saídas do processo de CAL como sendo as seguintes:

a) entradas

- a. requisitos técnicos da *baseline* (C.1.3.2a); e
- b. medidas de *performance* (C.1.3.2b).

b) saídas

- a. requisitos técnicos derivados (C.1.3.3a);
- b. modelos de decomposição lógica (C.1.3.b); e
- c. produtos da decomposição lógica (C.1.3.3c).

6.3.3. Concepção da Arquitetura Física

A CAF tem como objetivo definir, selecionar e sintetizar uma arquitetura física de um sistema que possa apoiar a arquitetura lógica e satisfazer os requisitos do sistema.

A arquitetura física deverá ter propriedades específicas destinadas a direcionar os desejos e necessidades dos *stakeholders* e satisfazer os requisitos do sistema (ISO / IEC 26702 2007).

Uma vez que uma arquitetura lógica seja definida, elementos físicos concretos têm de ser identificados para que possam apoiar as características funcionais, comportamentais e temporais, bem como as propriedades relacionadas aos requisitos de sistema não-funcionais (por exemplo, restrição de substituição por obsolescência, apoio continuado ao produto, entre outros) (PYSTER e OLWELL, 2013).

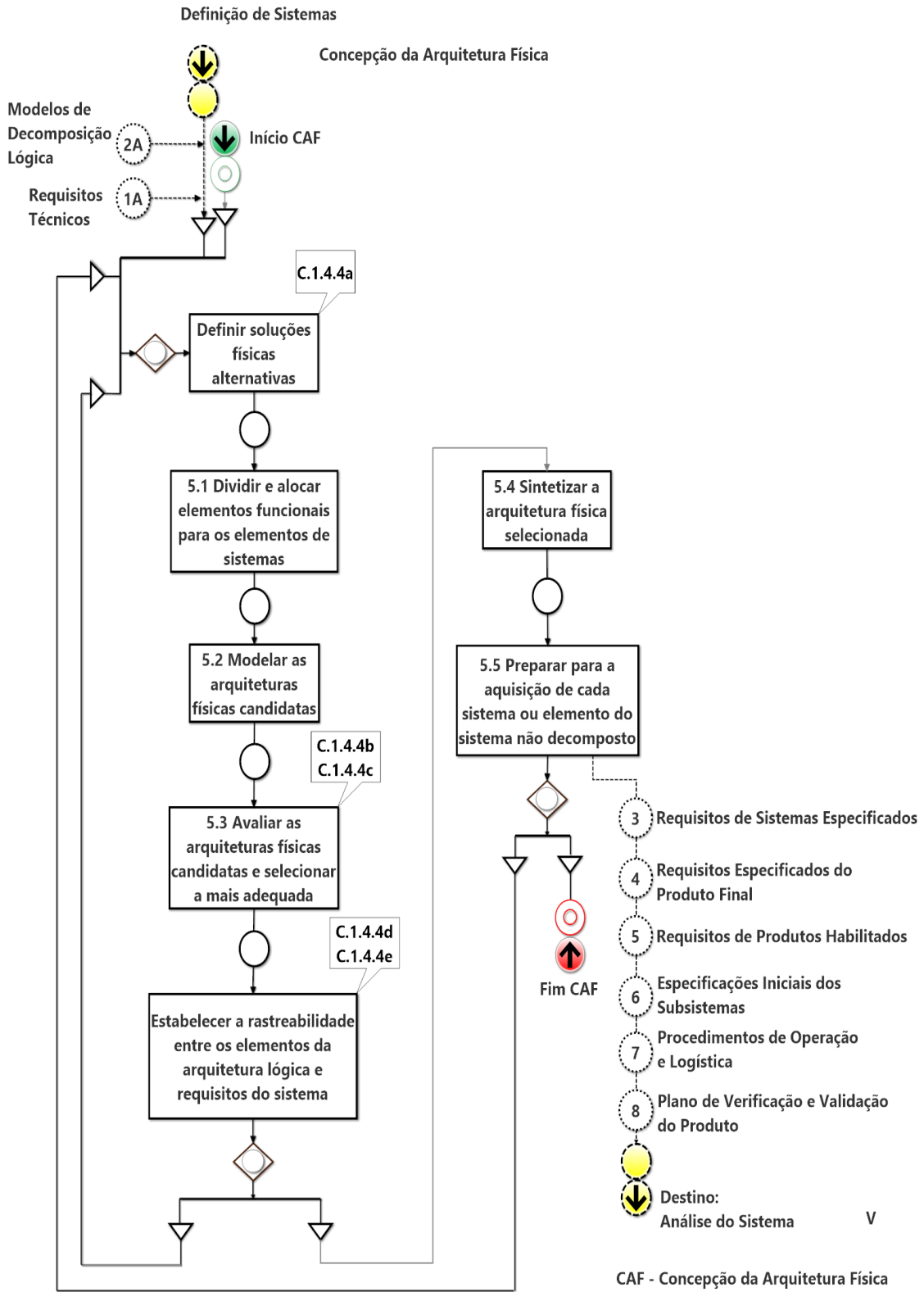
A arquitetura física é um arranjo de elementos físicos, que fornece a solução projetada para um produto, serviço ou empresa. Destina-se a satisfazer os elementos da arquitetura lógica e os requisitos de sistema (ISO / IEC 26702 2007).

A arquitetura física do sistema resultante é avaliada através da análise do sistema e quando concluída torna-se a base para a realização do sistema.

Neste contexto, o processo CAF que é o terceiro processo que compõe o macroprocesso Definição de Sistemas, deverá ser executado através das atividades que se seguem, para se obter o arranjo de elementos físicos, visando fornecer a solução projetada para um produto, serviço ou empresa (PYSTER e OLWELL, 2013).

A Figura 6.16 retrata as atividades da CAF, cuja ordem e sequência fica determinada pelo fato de se ter ao final do processo citado, a avaliação das arquiteturas físicas candidatas e a definição da arquitetura física selecionada.

Figura 6.16 – Rede RTP do Processo CAF (Definição de Sistemas).

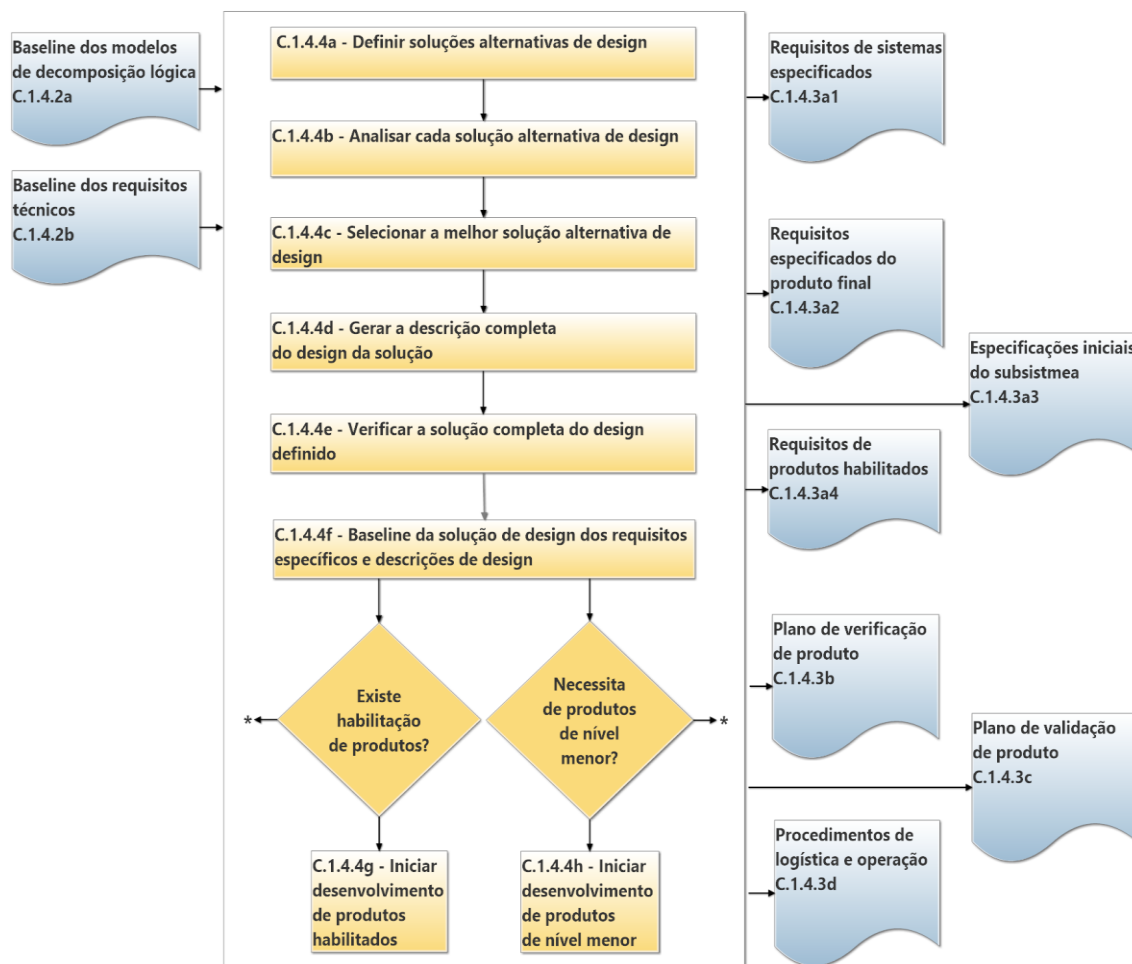


Fonte: Produção do autor.

Para tornar o modelo CAF compatível com os padrões de engenharia de sistemas espaciais, fez-se uma revisão utilizando-se os requisitos e processos de engenharia da NASA - NPR 7123.1B (2013), conforme mostrado na Figura 6.16 onde a equivalência dos processos originais SEBoK (2016) com seus análogos da norma NASA estão explicitadas.

O Processo de Decomposição Física descrito na norma NPR (NASA Procedural Requirements) 7123.1B (2013) – Práticas para Processos Técnicos Comuns (*Practices for Common Technical Processes*) encontra-se ilustrado na Figura 6.17.

Figura 6.17 – Processos de Decomposição Física.



* Para Processo de Implementação

Fonte: NPR 7123.1B (2013, p. 72).

Através da utilização de método comparativo entre as normas do *SEBoK* (2016) e da *NASA* (2013) foram determinadas as entradas e saídas do processo de CAF como sendo as seguintes:

a) entradas

- a. modelos de decomposição lógica da *baseline* (C.1.4.2a) e
- b. requisitos técnicos derivados da *baseline* (C.1.4.2b).

b) saídas

- a. requisitos de sistemas especificados (C.1.4.3a1);
- b. requisitos especificados do produto final (C.1.4.3a2);
- c. especificações dos sub-sistemas (C.1.4.3a3);
- d. requisitos para os produtos habilitados (C.1.4.3a4);
- e. plano de verificação de produto (C.1.4.3b);
- f. plano de validação de produto (C.1.4.3c); e
- g. procedimentos para logística e operação (C.1.4.3d).

6.3.4. Análise de Sistemas

A análise do sistema permite aos desenvolvedores realizar de forma objetiva, avaliações quantitativas dos sistemas, a fim de selecionar e / ou atualizar a arquitetura do sistema mais eficiente, mesmo que a arquitetura mais adequada tenha sido selecionada no processo CAF.

Avaliações devem ser realizadas todas as vezes em que escolhas técnicas ou decisões sejam efetuadas, visando verificar e manter a conformidade com os requisitos do sistema (PYSTER e OLWELL, 2013).

A análise do sistema fornece uma abordagem rigorosa para a tomada de decisão técnica. Ela é usada para realizar estudos de *trade-off*, e inclui também modelagem e simulação, análise de custos, análise de riscos e análise de eficácia (SEBoK, 2016).

Uma das principais tarefas de um engenheiro de sistemas é avaliar os dados de engenharia e artefatos criados durante o processo de engenharia de sistemas. As avaliações estão no centro da análise de sistemas, proporcionando meios e técnicas para:

- a) definir critérios de avaliação com base nos requisitos de sistema;
- b) avaliar características do *design* de cada solução em comparação com os critérios de avaliação; e
- c) decidir sobre as soluções apropriadas.

O processo de AS é utilizado para:

- a) fornecer uma base rigorosa para a tomada de decisão técnica, resolução de conflitos de requisitos, e avaliação de soluções alternativas físicas;
- b) determinar o progresso com relação ao atendimento dos requisitos do sistema;
- c) gestão de riscos; e
- d) assegurar que as decisões sejam tomadas apenas após a avaliação dos custos, cronograma, desempenho e efeitos de risco na engenharia ou re-engenharia de um sistema (ANSI / EIA, 1998).

O processo de AS, também chamado de processo de análise de decisão segundo a NASA (2007), tem por objetivo ajudar a avaliar as questões técnicas, alternativas e suas incertezas para apoiar a tomada de decisão.

O processo de AS pondera as vantagens e desvantagens das soluções de sistemas propostos, relacionadas com as seguintes etapas: como os sistemas propostos satisfazem às necessidades estabelecidas pelos *stakeholders*; qual o custo relativo do seu desenvolvimento; duração para a conclusão prevista de cada atividade componente do desenvolvimento do produto e outras controvérsias que possam ocorrer durante o desenvolvimento.

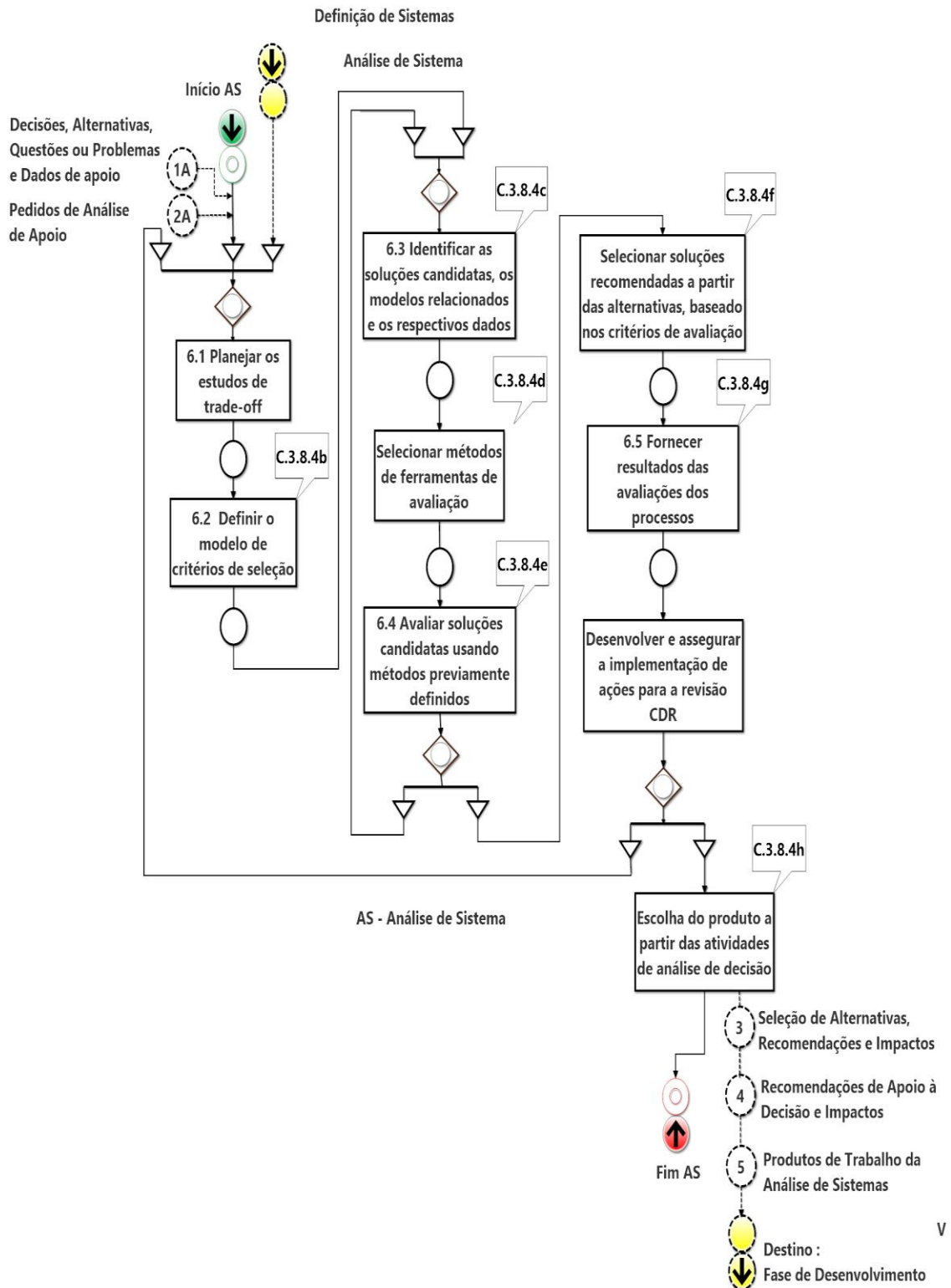
Isso pode exigir um refinamento mais apurado da DC, visando assegurar que todas as necessidades e desejos dos *stakeholders* sejam considerados na arquitetura de solução proposta.

Como qualquer processo da DS, o processo de AS é iterativo. Cada atividade é realizada várias vezes com o objetivo de melhoria contínua de cada visando a precisão da análise.

O processo AS é o quarto e último processo que compõe o macroprocesso Definição de Sistemas e deverá ser executado através das atividades que se seguem, para se proporcionar resultados referentes aos processos de critérios de avaliação das soluções, escalas de comparação, pontuação das soluções, seleção da avaliação e, possivelmente, recomendações e argumentos relacionados às soluções (PYSTER e OLWELL, 2013).

A Figura 6.18 retrata as atividades da análise do sistema, cuja ordem e sequência fica determinada pelo fato de se ter ao final do processo citado, os resultados referentes aos critérios de avaliação das soluções.

Figura 6.18 – Rede RTP do Processo AS (Definição de Sistemas).

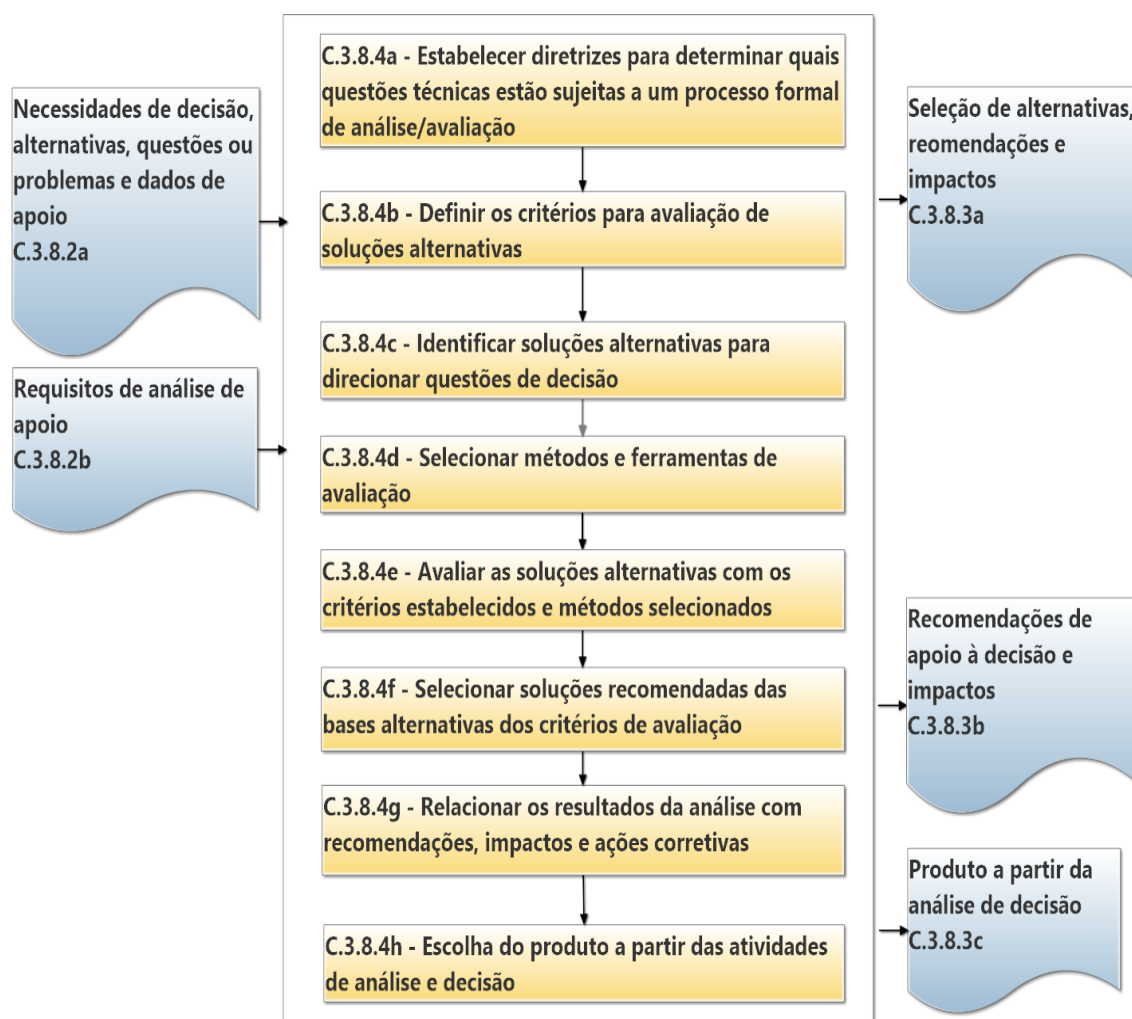


Fonte: Produção do autor.

Para tornar o MR referente ao processo de AS compatível com os padrões de engenharia de sistemas espaciais, fez-se uma revisão utilizando-se os requisitos e processos de engenharia da NASA - *NPR 7123.1B* (2013), conforme mostrado na Figura 6.18 onde a equivalência dos processos originais *SEBoK* (2016) com seus análogos da norma NASA estão explicitadas.

O Processo de Análise de Decisão descrito na norma NPR (*NASA Procedural Requirements*) 7123.1B (2013) – Práticas para Processos Técnicos Comuns (*Practices for Common Technical Processes*) encontra-se ilustrado na Figura 6.19.

Figura 6.19 – Processos de Análise de Decisão.



Fonte: NPR 7123.1B (2013, p. 113).

Através da utilização de método comparativo entre as normas do *SEBoK* (2016) e da *NASA* (2013) foram determinadas as entradas e saídas do processo de AS como sendo as seguintes:

a) entradas

- a. necessidades de decisão, alternativas, questões ou problemas e dados de apoio (C.3.8.2a); e
- b. requisitos de análise de apoio (C.3.8.2b).

b) saídas

- a. seleção de alternativas; recomendações e impactos (C.3.8.3a);
- b. recomendações de apoio à decisão e impactos (C.3.8.3b); e
- c. produto a partir da análise de decisão (C.3.8.3c).

Através das descrições detalhadas dos macroprocessos DC e DS e de seus respectivos processos e atividades, pode-se observar que os modelos criados permitem sua aplicação em qualquer nível de decomposição em que o sistema estiver sendo tratado, por meio de sucessivas repetições.

Numa primeira passagem, podem-se aplicar os modelos do ponto de vista mais macro possível, contemplando as componentes macro do sistema. Depois de desta primeira passagem, os modelos podem ser utilizados para a definição dos subcomponentes deste sistema macro, e assim por diante, até o atendimento de toda a escala hierárquica da decomposição desejada para o mesmo.

A concepção e a especificação de todo o sistema e seus subsistemas componentes é feita pela repetição dos processos da fase de *design* do CVS, composta de seus processos macros DC e DS, conforme descritos anteriormente.

7 APLICAÇÃO AO PROJETO DE PEQUENOS SATÉLITES

Este é mais um capítulo de apresentação das principais contribuições originais do trabalho, relacionada com a calibração e teste da aplicação do *Framework* ENGESIS num cenário voltado para pequenos satélites, realizada por meio de um trabalho de equipe, sob supervisão do orientador e coordenação e monitoramento pelo doutorando, cujos resultados foram documentados inicialmente na forma de um relatório técnico, aqui reproduzido de forma resumida.

A calibração refere-se à inserção de dados nos modelos para que estes reflitam, tanto quanto possível, cenários reais de aplicação a projetos de pequenos satélites. Parte dos dados foram obtidos em artigos acadêmicos da área espacial no tocante a pequenos satélites, conforme apresentados em detalhes no item 7.4. As durações das atividades foram estimadas usando-se uma projeção para o tempo total do ciclo de vida do projeto e, a partir desta, dos tempos previstos para suas fases de definição de conceitos e definição de sistemas, conforme será explicado em detalhes no item 7.6.

7.1. Classes de Satélites

De acordo com Kramer e Cracknell (2008), há várias formas de se classificar os satélites como, por exemplo, por função, por tipo de órbita, custo, dimensões, massa e etc. A classificação pela massa torna-se, no entanto, muito útil devido a sua relação direta com os custos de lançamento, os quais representam uma parcela significativa do custo total das missões (em torno de US\$20.000/kg para satélites pequenos, de acordo com Rogers et al, (2014). Segundo os autores, a primeira classificação conhecida de satélites de acordo com a massa foi proposta em 1991 por Martin N Sweeting, do *Surrey Satellite Technology Ltd (SSTL)*, conforme mostrado na Tabela 7.1.

Tabela 7.1 – Classificação de satélites.

Classificação	Massa (kg)
Satélites Grandes	> 1.000
Satélites Pequenos	500 – 1.000
Mini Satélites	100 - 500
Micro Satélites	10 - 100
Nano Satélites	< 10

Fonte: Sweeting (1991).

Posteriormente, a classificação originalmente proposta por Sweeting foi revisada com a introdução de mais duas classes de satélites (Pico Satélites, com massa entre 100 g e 1 kg e Femto Satélites, com massa entre 1 g e 100 g) e a alteração da classe Mini Satélites, que passou a incluir satélites de 100 kg a 1000 kg. Com a alteração na classe Mini Satélite, o termo “satélite pequeno” passou a ser utilizado para cobrir todos os satélites com massa inferior a 1000 kg. (KRAMER E CRACKNELL, 2008). Embora, de acordo com os autores, essas modificações tenham sido adotadas por diversas organizações e autores, não há na literatura consenso com relação à questão.

De acordo com Capó-Lugo e Bainum (2012), outras classificações podem ainda ser encontradas, conforme mostrado na Tabela 7.2.

Tabela 7.2 – Classificação de satélites de acordo com a massa.

Classificação	Massa (kg)
Satélites Grandes	> 1.000
Satélites Médios	500 – 1.000
Mini Satélites / Satélites Pequenos	100 - 500
Micro Satélites	10 - 100
Nano Satélites	1 - 10
Pico Satélites	0,1 – 1
Femto Satélites	< 0,1

Fonte: Capó-Lugo e Bainum (2012).

Neste trabalho será considerada a classificação mostrada na Tabela 7.2.

De acordo com a NASA (2014), “Naves espaciais pequenas tem se tornado mais atraentes devido a custos de desenvolvimento mais baixos e a menores tempos de fornecimento. Existe uma relação natural de compromisso entre tamanho e funcionalidade de uma nave, mas o avanço nas tecnologias de miniaturização e integração tem diminuído o escopo desse balanço. Integrando efetivamente componentes individuais pode aumentar substancialmente a funcionalidade e a densidade do sistema reduzindo assim massa e volume desnecessários”.

Neste mesmo contexto, Rogers et al (2014) defendem a utilização de satélites pequenos e propõem o emprego de satélites com uma única carga útil, os quais denominam *SensorSats*. De acordo com os autores, satélites com uma carga útil evitam a complexidade do projeto com múltiplas cargas úteis tais como interferência entre os requisitos de calibração, tamanho, temperatura e potência.

7.2. Generalidades

A calibração e teste da aplicação do *Framework* ENGESIS a projetos de desenvolvimento de pequenos satélites se deu por meio da realização de um projeto piloto, no qual os modelos de referência representados pelos macroprocessos de Definição de Conceitos (DC) e Definição de Sistemas (DS) usando a notação DMUCV e de engenharia, representado pelo modelo *IDEFO*, da fase de *design* do Ciclo de Vida do Sistema (CVS) foram transformados nos demais modelos especializados, com vistas a sua posterior implementação, execução e análise, inicialmente de forma individual e depois integrada.

O projeto piloto consistiu na realização das seguintes fases da metodologia CT²P:

Fase de definição da missão com suas tarefas elementares de elicitação, definição do problema e planejamento estratégico. Para a execução desta fase utilizou-se a literatura disponível para a área de projetos de desenvolvimento de pequenos satélites.

Segundo a *ECSS* (2009), os *stakeholders* desta fase são: gestor do projeto, cliente de mais alto nível e representantes dos usuários finais.

Fase de modelagem conceitual com suas tarefas elementares de criação do modelo *IDEFO* e criação do Modelo de Referência (MR), conforme apresentados no item 6.1.1 e 6.1.2 respectivamente. Esta fase consistiu na adoção dos modelos de referência descritos no *Framework* ENGESIS e em

uma simplificação dos processos de gerenciamento de projetos, que passaram a contemplar apenas uma macroatividade para cada uma das quatro áreas principais de conhecimento definidas como relevantes, que foram: escopo, tempo, custo e risco. As demais áreas de conhecimento do *PMBOK* não foram consideradas, em virtude da natureza simplificada desses projetos, conforme apresentado no item 6.2.3.

Fase de desenvolvimento que compreendeu o desenvolvimento dos modelos especializados, mas que foi limitada à realização das atividades do tipo B (Bricolagem). Para esta fase, adotou-se o MR do *Framework* ENGESIS, bem como seu modelo de engenharia, para servir como base para a bricolagem dos demais modelos especializados componentes da metodologia CT²P, isto é, para o Gerenciamento de Projetos (GP), Gestão de Processos de Negócios (GPN) e simulação de sistemas (SIM).

As demais atividades de construção dos modelos especializados, bem como as demais fases da aplicação do *Framework* ENGESIS ao projeto de pequenos satélites, ainda se encontram em desenvolvimento, e serão objetos de estudo e apresentação no trabalho de Silva, E. (2016), que tem prazo de conclusão previsto ainda para o ano de 2016.

O desenvolvimento dos modelos especializados de processos do CVS para as disciplinas componentes da CT²P (Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos (ESBM), GP, GPN e SIM) foi efetuado por quatro equipes diferentes de trabalho, cada uma voltada para um tipo de modelo especializado.

A aplicação da metodologia CT²P no desenvolvimento dos modelos de processos resultou na realização de um trabalho em equipe, pois uma vez identificada a necessidade de quaisquer alterações, ajustes ou correções por parte de algum componente de quaisquer dos grupos, de imediato a equipe responsável pela manutenção dos modelos as efetuava no MR e nos seus respectivos modelos especializados.

Dessa forma as equipes de trabalho fizeram uso de uma base de conhecimento integrada ao longo do desenvolvimento de todo o projeto.

7.3. Histórico da Realização do Projeto

O projeto piloto aqui apresentado foi iniciado na disciplina CSE-326 - Modelagem e Simulação de Sistemas, ministrada no segundo período acadêmico de 2015, e foi concluído na disciplina CSE-331 - Simulação e Gestão de Processos, ministrada no terceiro período acadêmico de 2015, ambas do Curso de Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais (CSE), do programa de pós-graduação do Departamento de Engenharia e Tecnologia Espaciais (ETE).

As disciplinas mencionadas acima, foram ministradas pelo Prof. Germano de Souza Kienbaum e tiveram como objetivo, a utilização da metodologia transdisciplinar para uso da CT²P, por um período de 06 (seis) meses, para apoiar a criação e a implementação do *Framework* ENGESIS, conforme a proposta formulada neste trabalho.

7.3.1. Primeiro Módulo de Curso (CSE-326)

Abaixo é apresentado o passo-a-passo da criação e transformação do MR nos diversos tipos de modelos especializados, levando-se em conta cada uma das quatro disciplinas envolvidas num estudo de CT²P: a ESBM, a GP, a GPN e a SIM.

Para cada um dos modelos especializados são cobertas somente as tarefas elementares correspondentes à atividade Bricolagem (B), de acordo com cada disciplina, da seguinte forma:

- a) ESBM - tarefa B1;
- b) GP - tarefa B2;
- c) GPN - tarefa B3; e

d) SIM - tarefa B4.

As ferramentas utilizadas nesta etapa foram:

- *software* SmartDraw® para a documentação do modelo de engenharia de sistemas;
- *software* ProjectLibre® para a criação do modelo de GP;
- *software* Bizagi® para a criação do modelo de GPN; e
- *software* Simprocess® para a criação do modelo de SIM.

Cabe salientar que os modelos especializados serão desenvolvidos com *software* de uso gratuito sempre que possível, visando assim a diminuição de custos para a utilização da metodologia transdisciplinar para uso da CT²P.

A turma era formada por 10 (dez) componentes, conforme mostrado na Figura 7.1, sendo 08 (oito) estudantes de pós-graduação, e mais 02 (dois) professores que atuavam como gerentes, sendo estes os Profs. Germano de Souza Kienbaum (*CEO BPM/SIM*) e Álvaro Augusto Neto (*CEO PLM/ENG*).

A turma foi dividida em dois grupos com o objetivo de desenvolver seus trabalhos com focos diferenciados, sendo um deles voltado mais para a gestão do ciclo de vida do produto (*PLM*) e o outro para a gestão dos processos de produção pela organização (*BPM*).

A gestão do ciclo de vida do produto envolvia mais diretamente as disciplinas de engenharia de sistemas e gerenciamento de projetos, mas cada grupo devia fazer uso das quatro disciplinas durante o desenvolvimento do projeto completo.

Figura 7.1 – Lista de Presença - 2º Período de 2015.



**CURSO DE POS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E TECNOLOGIA
ESPACIAIS**

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM ENGENHARIA E GERENCIAMENTO DE SISTEMAS
ESPACIAIS**

CSE-326 MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE SISTEMAS

LISTA DE PRESENÇA 2º PERÍODO 2015

**DOCENTES: Prof. Germano de Souza Kienbaum
Prof. Álvaro Augusto Neto**

NOME DO ALUNO	GRUPO	E-MAIL
Eduardo Gartenkraut	PLM	edugartenkraut@gmail.com
	Simulação	
Erique Siqueira	PLM	erique.siqueira@gmail.com
	Gerente Projetos	
Kelson Silva RELATOR BPM	BPM	kelson@jetsoft.br
	Gestor Processos	
Márcio Fábio Raposo Rodrigues	BPM	instrutorvip@gmail.com
	Gestor Processos	
Ricardo Franco	PLM	ricardofranco.rf@gmail.com
	Engenheiro	
Renato Fernandez	BPM	renato_fernandez@hotmail.com
	Engenheiro	
Rogério Giacometti RELATOR PLM	PLM	rogerio.giacometti@gmail.com
	Gerente Projetos	
Sérgio Rebouças	BPM	reb@ita.br
	Simulação	
Germano de Souza Kienbaum (6552)	CEO BPM/SIM	kienbaum@uol.com.br kienbaum@lac.inpe.br
Álvaro Augusto Neto	CEO PLM/ENG	prof.alvaro@uol.com.br

Fonte: Kienbaum (2015).

Para a área de produto (*PLM*) foram indicados os seguintes estudantes:

- a) Ricardo Franco, para atuar como Engenheiro;
- b) Rogério Giacometti, relator do grupo, para atuar com Gerente de Projeto;
- c) Erique Siqueira, para atuar como Gestor de Processos; e
- d) Eduardo Gartenkraut, para atuar com Simulação.

Para a área de gestão (*BPM*) foram indicados os seguintes estudantes:

- a) Renato Fernandez, para atuar como Engenheiro;
- b) Márcio Fábio Raposo Rodrigues, para atuar como Gerente de Projetos;
- c) Elaino Kelson Teixeira da Silva, relator do grupo, para atuar como Gestor de Processos; e
- d) Sérgio Rebouças, para atuar com Simulação.

Cabe salientar que o perfil profissional dos estudantes foi considerado e teve uma relação direta com as funções que os mesmos desempenharam em suas respectivas áreas.

O primeiro módulo do curso, denominado CSE-326, ocorreu no segundo período acadêmico de 2015 e teve como objetivo a aplicação da metodologia para uso da CT²P, no que se refere às fases abaixo relacionadas:

- a) Definição da Missão;
 - a. atividade (A0) – definição da missão - com suas tarefas elementares elicitação, definição do problema e planejamento estratégico.
- b) Modelagem Conceitual; e

a. atividade (A) – análise - com suas tarefas elementares criação do modelo *IDEFO* e criação do modelo de referência.

c) Desenvolvimento do Modelo:

a. atividade (B) - bricolagem ou modelagem especializada – com suas tarefas individuais para elaboração dos modelos especializados de ESBM, GP, GPN e SIM.

Os artefatos desenvolvidos pelo projeto realizado durante esse primeiro módulo do curso compreenderam:

- a) a utilização do MR unificado e integrado dos processos de produção e gestão da organização, contemplando os macroprocessos DC e DS, por todos os componentes dos grupos, fazendo uso do aplicativo Smartdraw®; A simplificação do MR do processo de gerenciamento, para contemplar apenas quatro macro atividades, uma para cada área de conhecimento: escopo, tempo, riscos e custos.
- b) a utilização do modelo de engenharia fazendo uso do aplicativo Smartdraw® para conhecimento das suas atividades;
- c) a elaboração do modelo de gerenciamento referente ao MR contemplando escopo, prazo, custos, riscos e *stakeholders*, pelo grupo de GP, fazendo uso do aplicativo ProjectLibre®;
- d) a elaboração do modelo de gestão de processos de negócios, pelo grupo de GPN, fazendo uso do aplicativo Bizagi® e Bonita®; e
- e) a elaboração do modelo de simulação correspondente ao nível detalhado do modelo de referência, correspondente apenas ao macroprocesso de DC, pelo grupo de SIM, fazendo uso do aplicativo Simprocess®.

7.3.2. Segundo Módulo do Curso (CSE-331)

O segundo módulo do curso, denominado CSE-331 - Simulação e Gestão de Processos - ocorreu no terceiro período acadêmico de 2015, também com 10 (dez) componentes, conforme mostrado na Figura 7.2, e teve por objetivo a continuidade da aplicação da metodologia CT²P, conforme definido na Tabela da Metodologia para uso de CT²P (Tabela 2.2 do Capítulo 2), no que se refere às atividades apresentadas a seguir:

- a) (C) – construção/implementação dos modelos especializados;
- b) (D) – descrição de experimentos;
- c) (E) – experimentação/execução do modelo;
- d) (F) – finalização - com análise individual de resultados; e
- e) (G) - avaliação global - com análise final de resultados.

Para a área de produto (*PLM*) foram indicados os seguintes estudantes:

- a) Eduardo Gartenkraut e Márcio Fábio Raposo Rodrigues para atuarem como Engenheiros;
- b) Rogério Giacometti e Rodrigo Britto Maria para atuarem como Gerentes de Projeto;
- c) Marcelo de Almeida Coicev e Erique Siqueira para atuarem com Simulação.

Para a área de gestão (*BPM*) foram indicados os seguintes estudantes para atuarem como Gestores de Processos:

- a) Elaino Kelson Teixeira da Silva e Renato Fernandez.

Figura 7.2 – Lista de Presença - 3º Período de 2015.



**CURSO DE POS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E TECNOLOGIA
ESPACIAIS**

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM ENGENHARIA E GERENCIAMENTO DE SISTEMAS
ESPACIAIS**

CSE-331 SIMULAÇÃO E GESTÃO DE PROCESSOS

LISTA DE PRESENÇA 3º PERÍODO 2015

DOCENTES: Prof. Germano de Souza Kienbaum
Prof. Álvaro Augusto Neto

NOME DO ALUNO	GRUPO	E-MAIL
Marcelo de Almeida Coicev	PLM_I	
Erique Siqueira	PLM_I	erique.siqueira@gmail.com
Kelson Silva	BPM_I	kelson@jetsoft.br
Renato Fernandez	BPM_I	renato_fernandez@hotmail.com
Rogério Giacometti	PLM_II	rogerio.giacometti@gmail.com
Rodrigo Brito Maria	PLM_II	
Eduardo Gartenkraut	PLM_III	edugartenkraut@gmail.com
Márcio Fábio R. Rodrigues	PLM_III	instrutorvip@gmail.com
Germano de Souza Kienbaum (6552)	BPM/SIM	kienbaum@uol.com.br
		kienbaum@lac.inpe.br
Álvaro Augusto Neto	PLM/ENG	prof.alvaro@uol.com.br

Fonte: Kienbaum (2015).

Os artefatos desenvolvidos pelo projeto realizado durante o segundo módulo do curso compreenderam:

- a) a parametrização do modelo de referência, pelo grupo de Engenharia, com a introdução de dados sobre prazos e recursos;
- b) a parametrização do modelo de gerenciamento de projeto, pelo grupo de GP, com a introdução de dados do modelo de engenharia, tais como durações, recursos e custos associados às atividades;
- c) a parametrização dos modelos especializados no Bonita® e Bizagi® pelos grupos de GPN e GP; com a complementação do modelo *BPMN* com outras funcionalidades destinadas à automatização do modelo; e
- d) definição dos dados de entrada para o modelo de simulação, pelo grupo de SIM, que fez uso das funcionalidades pré-existentes no ambiente para execução de experimentos e análise dos resultados.

7.4. Levantamento de Dados para Parametrização dos Modelos

Para a construção dos quatro cenários diferenciados para o projeto piloto, foram utilizados diversos artigos acadêmicos da área espacial no tocante a pequenos satélites, conforme mostrados na Tabela 7.3, apresentando o nome do artigo, os autores (no máximo três) e o respectivo ano de publicação.

Tabela 7.3 – Survey de artigos acadêmicos para construção de cenários do projeto piloto.

NOME DO ARTIGO ACADÊMICO	AUTORES	ANO
A Space Standard Application to University-Class Microsatellites: The UNISAT experience	Filippo Graziani Fabrizio Piergentili Fabio Santoni	2009
Flight results of the COMPASS-1 picosatellite mission	A. Scholz W.Ley B.Dachwald	2010
CubeSat: A new Generation of Picosatellite for Education and Industry Low-Cost Space Experimentation	Hank Heidt Jordi Puig-Suari Augustus S. Moore	2000
TUGSAT-1/BRITE-Austria - The first Austrian nanosatellite	O. Koudelka G. Egger B. Josseck	2009
Design of Tokyo Tech nano-satellite Cute-1.7 + APD II and its operation	Hiroki Ashida Kota Fujihashi Shinichi Inagawa	2010
Evolution from education to practical use in University of Tokyo's nano-satellite activities	Shinichi Nakasuka Nobutada Sako Hironori Sahara	2010
Design of the fault tolerant command and data handling subsystem for ESTCube-1	Kaspars Laizans Indrek Sünter Karlis Zalite	2014
NanoSpace-1: The impacts of the first Swedish nanosatellite on spacecraft architecture and design	Fredrik Bruhn Johan Kohler Lars Stenmark	2003
A satellite for demonstration of Panel Extension Satellite (PETSAT)	Yoshiki Sugawara Hironori Sahara Shinichi Nakasuka	2008
Status and trends of small satellite missions for Earth observation	Rainer Sandau	2010
Mission results for Sapphire, a student-built satellite	Michael Swartwout Christopher Kitts Robert Twiggs	2008
A CubeSat catalog design tool for a multi-agent architecture development framework	Monica Jacobs Daniel Selva	2015
A Survey of Camera Modules for CubeSats – Design of Imaging Payload of ICUBE-1	Khurram Khurshid Rehan Mahmood Qamar ul Islam	2013
ESTCube-1 nanosatellite for electric solar wind sail in-orbit technology demonstration	Silver Latt Andris Slavinskis Erik Ilbis	2014

(continua)

NOME DO ARTIGO ACADÊMICO	AUTORES	ANO
Design of the fault tolerant command and data handling subsystem for ESTCube-1	Kaspars Laizans Indrek Sünter Karlis Zalite	2014
E-sail test payload of the ESTCube-1 nanosatellite	Jouni Envall Pekka Janhunen Petri Toivanen	2014
Large membrane “Furoshiki Satellite” applied to phased array antenna and its sounding rocket experimente	Shinichi Nakasuka Ryu Funase Kenji Nakada	2006
A survey and assessment of the capabilities of Cubesats for Earth observation	Daniel Selva David Krejci	2012
Cubesats: Cost-effective science and technology platforms for emerging and developing nations	Kirk Woellert Pascale Ehrenfreund Antonio J. Ricco	2011
EDA solutions to new-defect detection in advanced process technologies	Erik Jan Marinissen Gilbert Vandling Sandeep Kumar Goel	2015
Optimizing an infrared camera for observation of atmospheric gravity waves from a CubeSat platform	Rønning, S.S. Bakken, M. Birkeland, R.	2015
Satellite ground station emulator: an architecture and implementation proposal	D. Schor W. Kinsner A. Thoren	2009

(conclusão)

Fonte: Produção do autor.

Uma síntese desta pesquisa é apresentada através de uma planilha excel, cujas colunas estão descritas a seguir e que pode ser acessada no Google Drive a partir da URL - <https://drive.google.com/open?id=0B0pZSTt3aC-bUXdteENRb0hEMUU>.

- a) nome do artigo;
- b) denominação do satélite;
- c) nome da instituição responsável pela construção do satélite;
- d) tipo do satélite (pico, nano ou micro);

- e) massa em kg;
- f) dimensões em cm;
- g) categoria da missão (educacional);
- h) objetivos da missão; (sensoriamento remoto, propulsão usando vento solar e monitoramento de irradiação solar)
- i) *payloads* do satélite;
- j) sub-sistemas do satélite;
- k) tempo de duração do projeto;
- l) verba disponível para o projeto;
- m) custo do projeto ;
- n) recursos utilizados no projeto;
- o) gestores do projeto;
- p) riscos do projeto;
- q) órbitas utilizadas pelos satélites;
- r) altitudes de atingimento dos satélites;
- s) veículo lançador dos satélites; e
- t) observações gerais.

Todos os artigos acadêmicos utilizados para a pesquisa de pequenos satélites encontram-se disponíveis no diretório REFERENCES / SMALLSATS / NEW REFERENCES no www.dropbox.com do grupo de trabalho ENGESIS.

7.5. Modelo Especializado para Engenharia de Sistemas

Adotou-se o modelo de engenharia de sistemas anteriormente descrito e implementado no *Framework* ENGESIS, que foi submetido a discussão por todos os participantes, tendo sido o modelo revisto sob coordenação do doutorando Renato Fernandez, responsável pelos modelos de referência e engenharia de sistemas.

O modelo especializado para engenharia de sistemas criado a partir do MR compreende:

- a) as atividades componentes dos macroprocessos DC e DS, baseando-se no *framework* do *SEBoK* (2016) e nas normas da engenharia de sistemas espaciais *ECSS* (2009) e *NASA* (2013); e
- b) as atividades e tarefas resultantes dos processos de análise de viabilidade, iniciação e planejamento introduzidos na macro DC a partir das normas *ECSS* (2009) e do guia *PMBOK* (2014).

O modelo de engenharia vai além dos aspectos descritos na modelagem conceitual, pois o modelo conceitual é de cunho genérico (sistemas espaciais em geral), enquanto o modelo de engenharia já contempla o produto específico em desenvolvimento (no caso deste trabalho, o projeto de pequenos satélites).

Neste trabalho foram utilizadas as normas da *NASA* (2013) como balizadoras para as especificações dos artefatos relacionados com as entradas e saídas dos processos dos modelos de engenharia espacial, uma vez que se pretende atender de forma geral, além do INPE, outras instituições/organizações, que lidam com missões espaciais, incluindo universidades e institutos de pesquisa envolvidos com projetos de *cubesats* ou satélites de pequeno porte até microssatélites.

Além dos processos e seus artefatos de entrada e de saída, o modelo de engenharia disponibiliza ainda informações sobre o monitoramento de

configuração, bem como sobre o fluxo dos processos e sobre os artefatos que são gerados ao longo do CVS, além de identificar todos os processos componentes de forma hierárquica e seus respectivos parâmetros de interesse, tais como as entradas, saídas, recursos utilizados, controles e normas aos quais eles estão submetidos.

Por fim, os modelos de engenharia precisam usar dados reais e serem validados em relação aos pequenos satélites existentes, utilizando-se para isto os dados disponíveis na literatura e revisando-os com base nos próprios modelos de GP, GPN e SIM, para se identificar: (1) a consistência dos modelos e de seu sequenciamento de atividades; (2) se os tempos das execuções encontravam paralelos com dados da literatura disponível, garantindo dessa forma que não houve subestimativa de tempo ou existência de gargalo de execução em determinadas atividades; (3) a identificação de riscos com base nos projetos descritos na literatura.

7.6. Modelo Especializado para Gerenciamento de Projetos

A maneira tradicional de se descrever um projeto é através da representação de uma seqüência de atividades, por meio de diagramas conhecidos como *PERT (Program Evaluation and Review Technique)*, uma técnica conhecida e bem documentada, utilizada para o gerenciamento de projetos de engenharia, seja ele de um serviço ou de natureza industrial, visando o seu controle de planejamento e execução.

A modelagem para gerenciamento de projetos é vista como a aplicação de técnicas de GP que faz uso de uma visão orientada a processos apoiado por ferramentas de *software* para estender o modelo de engenharia de sistemas com as atividades necessárias relacionadas com a gestão de desenvolvimento de produto ao longo de todo Ciclo de Vida do Produto (CVP).

Para auxiliar na documentação do modelo de processos para gerenciamento de projetos, utilizou-se também a ferramenta ProjectLibre®, que é um *software*

livre e aberto para gerenciamento de projeto, não requerendo instalação, bastando abri-lo no navegador, sendo uma alternativa ao *software* Microsoft Project®.

Com a utilização dessa ferramenta, podem-se documentar as informações referentes aos envolvidos no projeto, aos custos, aos prazos das atividades e ao sequenciamento das atividades acompanhado pela identificação de atividades predecessoras para cada atividade.

O ambiente de apoio Projectlibre® permite também a visualização de detalhes de uso dos recursos, mostrando graficamente o custo de cada recurso ao longo de todo o projeto.

O modelo especializado para GP, voltado para aplicação em um microssatélite, apresenta a seguinte estrutura hierárquica de processos:

- a) macroprocessos
 - a. DC e DS
- b) processos
 - a. AM, AV, PL e NRS componentes do macroprocesso DC;
 - b. RS, CAL, CAF e AS componentes do macroprocesso DS;
- c) atividades e respectivas durações em horas e dias;
- d) sequenciamento das atividades, a partir das relações de precedência entre elas; e
- e) recursos alocados para cada atividade.

A Figura 7.3 mostra o modelo especializado para gerenciamento de projetos, cujas durações de atividades foram estimadas tomando-se como base um microssatélite com massa de 20 kilogramas.

Figura 7.3 – Cronograma para o cenário de Micro Satélite com massa de 20 kg.

	Nome	Trabalho	Duração	Início	Fim
1	Fase de Design do Satélite	4.544,8 horas	130 dias	04/01/16 09:00	01/07/16 18:00
2	Definição de Conceitos	2.755,2 horas	85 dias	04/01/16 09:00	29/04/16 18:00
3	Análise de Missão	568,8 horas	14 dias	04/01/16 09:00	21/01/16 18:00
14	Análise de Viabilidade	770,4 horas	14 dias	22/01/16 09:00	10/02/16 18:00
28	Planejamento	896 horas	30 dias	11/02/16 09:00	23/03/16 18:00
57	Necessidades e Requisitos de Stakeholders	520 horas	27 dias	24/03/16 09:00	29/04/16 18:00
68	Definição de Sistemas	1.789,6 horas	45 dias	02/05/16 09:00	01/07/16 18:00
69	Requisitos de Sistemas	808 horas	16 dias	02/05/16 09:00	23/05/16 18:00
85	Concepção da Arquitetura Lógica	324 horas	14 dias	24/05/16 09:00	10/06/16 18:00
92	Concepção da Arquitetura Física	337,6 horas	15 dias	24/05/16 09:00	13/06/16 18:00
102	Análise de Sistemas	320 horas	14 dias	14/06/16 09:00	01/07/16 18:00

Fonte: Maria (2015, p. 53).

No projeto de curso em questão foram considerados ainda outros cenários possíveis de desenvolvimento, conforme citados abaixo:

- a) pico satélite com massa de 01 (um) kg para uma missão de sensoriamento remoto;
- b) nano satélite com massa de 05 (cinco) kg para uma missão de propulsão usando vento solar;
- c) nano satélite com massa de 10 (dez) kg para uma missão de monitoramento de irradiação solar; e

d) micro satélite com massa de 20 (vinte) kg para uma missão de sensoriamento remoto.

A atribuição das durações das atividades foi feita considerando-se uma equipe de 20 (vinte) estudantes de pós-graduação de uma Universidade, com prazo de 12 (doze) meses, ou seja, 02 (dois) semestres, para desenvolvimento do projeto de pequenos satélites.

Dentre esses 20 (vinte) estudantes, 03 (três) podiam atuar também como gerentes do projeto. Para os 17 estudantes restantes, foram considerados 07 (sete) estudantes de Doutorado e 10 (dez) estudantes de Mestrado.

Comparando-se as estimativas de tempo, para as etapas de DC e DS, considerando-se os 04 (quatro) cenários do projeto de curso, para uma equipe de 20 (vinte) engenheiros, foi estimado um prazo de 04 (quatro) meses para o cenário 1 – pico satélite, 05 (cinco) meses para os cenários 2 e 3 – nano satélite e 06 (seis) meses para o cenário 4 – micro satélite, conforme mostrado na Figura 7.4.

Figura 7.4 – Duração de Atividades para DC e DS.

Satélite	Tipo	DC + DS (meses)	DC + DS (dias úteis)	DC (dias úteis)	DS(dias úteis)
Brazuca-1	Pico	4	85	55	30
Brazuca-2	Nano-1	5	100	65	35
Brazuca-3	Nano-2	5	110	70	40
Brazuca-4	Micro	6	130	85	45

Fonte: Maria (2015, p. 53).

Com relação aos recursos alocados para desenvolvimento das atividades, foi considerada uma equipe de 20 (vinte) engenheiros, sendo que 03 (três) deles atuariam na função de gerentes, quando necessário.

Para o grupo de 17 (dezesete) engenheiros, estudantes de pós-graduação, foi considerada uma equipe de 10 (dez) estudantes de Mestrado e 07 (sete) estudantes de Doutorado.

O custo referente aos recursos humanos foi estimado utilizando-se o valor de referência da bolsa CAPES, sendo R\$ 2.200,00 para estudantes de Doutorado (R\$15,00 por hora) e R\$ 1.500,00 para estudantes de Mestrado (R\$10,00 por hora). Os gerentes tiveram o valor hora estimado em R\$90,00 (noventa reais).

7.7. Modelo Especializado para Gestão de Processos de Negócios

A GPN é uma abordagem estruturada e sistemática para a análise, melhoria, controle e gestão dos processos para aumentar a qualidade dos produtos e serviços (JESTON, 2014).

A GPN utiliza as melhores práticas de gestão, tais como: o mapeamento dos processos, a modelagem, o monitoramento através de indicadores de desempenho entre outros (JESTON, 2014).

O objetivo é a melhoria contínua dos processos para se atingir os resultados esperados, considerando-se o ciclo de vida completo do desenvolvimento do produto (JESTON, 2014).

O conjunto completo de ferramentas de *software* para apoiar a metodologia GPN é conhecido como *Business Process Management Systems (BPMS)* (JESTON, 2014).

As ferramentas *BPMS* são aplicadas durante todo o ciclo de vida do modelo de processos de negócios: modelagem, implementação, execução, automação, monitoramento, análise e melhoria contínua do sistema.

Elas fornecem um ambiente completo para o desenvolvimento e implantação de um aplicativo que irá atuar como parte de mecanismos utilizados na operação do sistema real, desempenhando um papel importante nos aspectos

relacionados à sua execução, monitoramento e controle, e contribuindo para a sua melhoria contínua.

A seguir tem-se a modelagem da fase de *design* utilizando a notação *Business Process Management Notation (BPMN)*, conforme ilustrado na Figura 7.5, com a designação dos macroprocessos DC e DS, onde são contemplados os processos AM / AV / PL / NRS e RS / CAL / CAF / AS respectivamente.

Para o modelo especializado de GPN foi utilizada a ferramenta Bizagi® também de uso gratuito para até 20 (vinte) usuários, que é voltada para modelagem descritiva, analítica e de execução, de processos de negócio utilizando a notação *BPMN* em consonância com toda a disciplina de GPN.

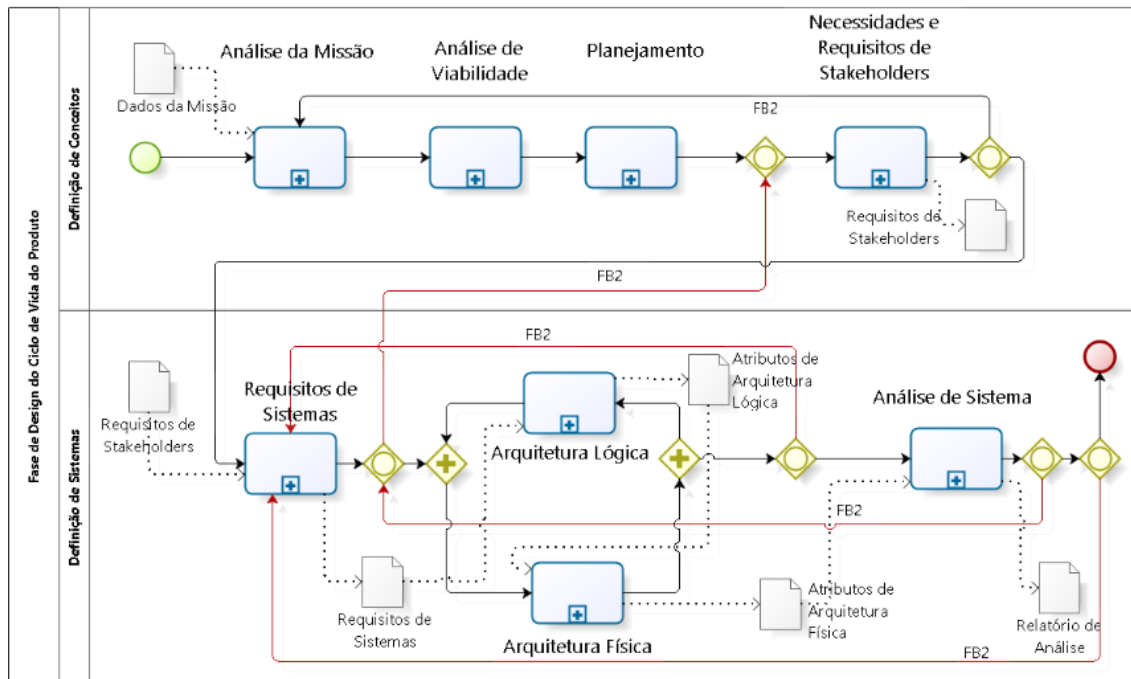
Além de permitir a modelagem dos fluxos de trabalho, suporta a elaboração de uma documentação bastante rica em relação ao processo e permite a publicação de toda essa documentação em alguns formatos diferentes de arquivo, inclusive no formato *Web*.

O *software* Bizagi® permite ainda a simulação dos fluxos de trabalho a fim de facilitar a análise de melhorias tanto em relação ao tempo quanto em relação ao custo das atividades desenvolvidas.

Com o uso do *software* Bizagi®, a partir do MR, deve-se construir os macroprocessos DC e DS com os respectivos processos; atividades e respectivas durações de tempo; e recursos alocados para cada atividade.

Através da utilização do *software* Bizagi® para execução dos processos, tem-se o controle total sobre o andamento das atividades, podendo-se identificar a qualquer momento o *status* das mesmas.

Figura 7.5 – Modelagem da Fase de *Design* por Processos em BPMN.



Fonte: Produção do autor.

7.8. Modelo Especializado para Simulação de Sistemas

A SIM é o processo de elaborar um modelo de um sistema real e conduzir experimentos com esse modelo tendo como propósito a compreensão do comportamento do sistema ou a avaliação de diversas estratégias (dentro dos limites impostos por um critério ou conjunto de critérios) para a operação do sistema (SHANNON, 1975).

A SIM pode ser vista como o estudo do comportamento de sistemas reais através do exercício de modelos.

Um modelo incorpora características que permitem representar o comportamento do sistema real.

Os benefícios da simulação de sistemas, aliados à agilidade oferecida pelos meios computacionais, têm sido largamente utilizados como ferramenta auxiliar na solução de problemas diversos.

De modo geral, o uso da simulação é recomendado principalmente em dois casos.

Primeiro, quando a solução de problemas é muito cara ou mesmo impossível através de experimentos.

Segundo, quando os problemas são muito complexos para tratamento analítico.

Com o uso da simulação, principalmente quando se observam características estocásticas, sistemas podem ter seu comportamento representado com maior fidelidade e realismo.

Modelos de simulação podem ser considerados como uma descrição do sistema real.

O exercício (execução) de modelos de simulação em computador tem potencial para fornecer resultados mais precisos sem que seja preciso interferir no sistema real.

Tais resultados, quando analisados estatisticamente, produzem informações que podem contribuir grandemente na tomada de decisões que visam a solução de problemas.

Em CT²P, o uso que se faz de modelagem e simulação (*Simulation Modelling*) segue a definição tradicional dessa disciplina com a observação de que o modelo de processos em questão é uma representação de um agregado dos processos de desenvolvimento de produtos com os processos de gestão de organização, cobrindo todo o ciclo de vida de desenvolvimento do produto.

O modelo completo para simulação da fase de *design* do CVP considera todas as atividades componentes do macroprocesso DC (AM / AV / PL / NRS) e DS (RS / CAL / CAF / AS).

No caso deste trabalho, apenas a fase de DC do CVP foi modelada e estudada.

Assim como os demais modelos, o modelo de processos para a simulação do sistema é criado a partir do MR, descrito por meio da notação DMUCV.

Com base nas redes RTPs (processos componentes do MR na notação DMUCV), o modelo de simulação (simulador) é formado pela transformação dessa rede usando a representação específica de um dado fabricante.

Na tarefa B4 apenas a bricolagem ou criação do modelo gráfico de processos é realizada.

A complementação dos dados, a definição de tamanho de corridas e demais parâmetros serão realizadas apenas na tarefa C4, com a utilização das funcionalidades existentes no ambiente de simulação escolhido, sendo que ela é realizada apenas em relação a um determinado estudo de caso.

Para fins de criação do modelo de simulação, deve-se utilizar sempre a rede RTP do processo correspondente e não o modelo de gestão descrito em *BPMN*, pois o primeiro conterá sempre o “estado da arte” do modelo de processos do sistema, com as informações essenciais que devem ser utilizadas na criação dos demais modelos especializados.

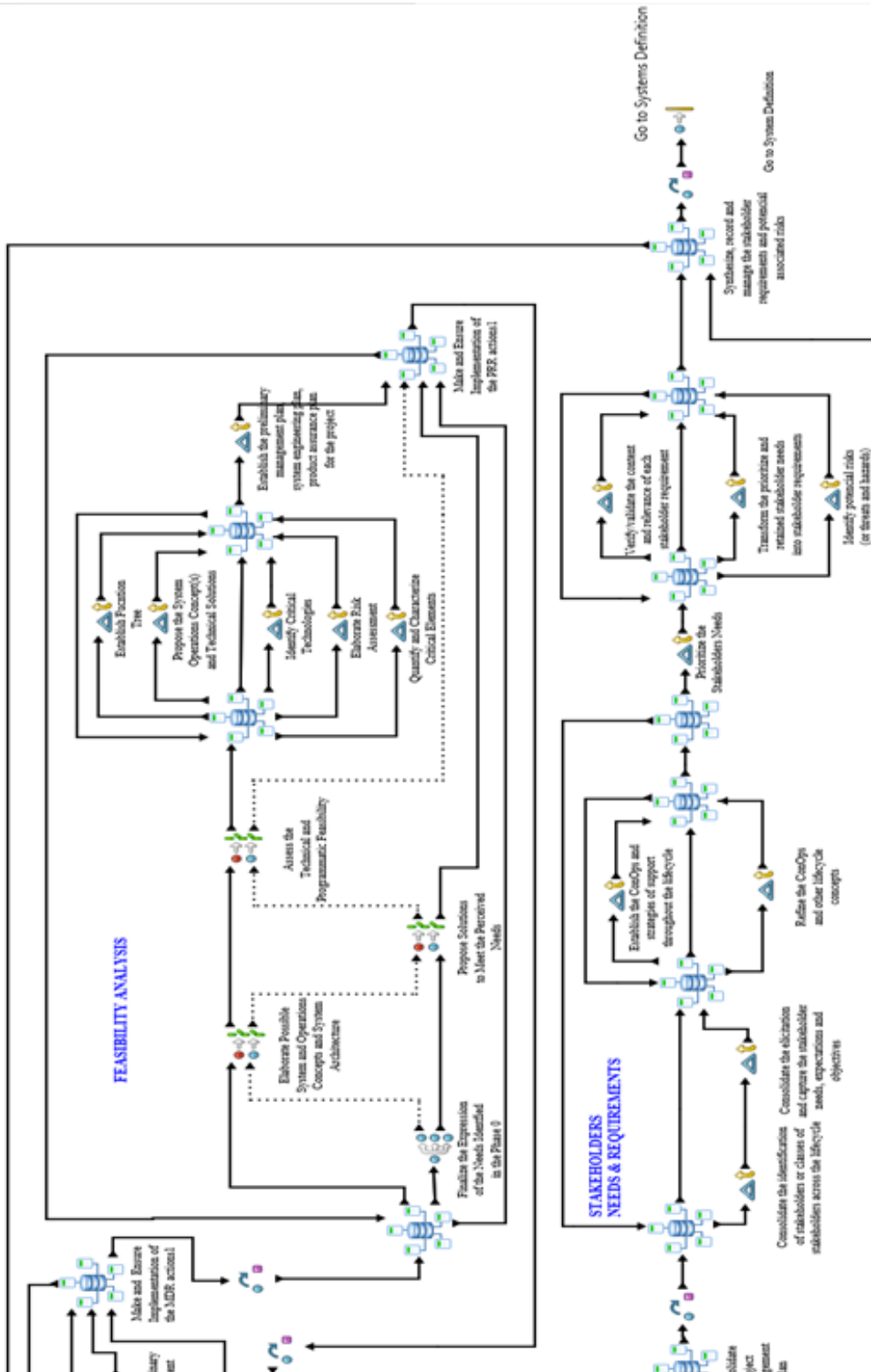
A partir da rede RTP dos processos, eles são mapeados na ferramenta de simulação Simprocess® que possui interface gráfica, para modelagem hierárquica que combina o poder de mapeamento de processos, simulação de eventos discretos e *Activity Based Costing* (ABC) (SIMPROCESS, 2015).

As aplicações resultantes (simuladores) podem ser usadas de forma equivalente a um Sistema de Apoio à Decisão para análise e tomada de decisão sobre os sistemas de processos complexos.

A implementação do modelo especializado de simulação de sistemas utilizou a ferramenta Simprocess® para a simulação dos processos hierárquicos e integrados componentes do macroprocesso DC, que tem licença de uso adquirida pelo INPE.

A Figura 7.6 mostra o protótipo do modelo de SIM, contemplando o macroprocesso DC.

Figura 7.6 – Protótipo do Macroprocesso Definição de Conceitos.



Fonte: Maiolino e Aranha (2016, p. 23).

8 ANÁLISE DE RESULTADOS

Neste capítulo é apresentada uma análise integrada dos resultados, denominada de avaliação global, que se encontra dividida em dois tópicos, sendo que o primeiro faz uma avaliação dos aspectos teóricos da formulação e implementação do *Framework* ENGESIS e o segundo faz uma avaliação de sua aplicação ao projeto de pequenos satélites. Conclui-se com uma revisão holística sobre as lições aprendidas e a melhoria da própria metodologia, em função de sua aplicação na pesquisa aqui realizada.

8.1. Avaliação da Implementação do *Framework* ENGESIS

O *Framework* geral CT²P descrito em Kienbaum (2014a) foi utilizado para a criação do *Framework* ENGESIS para o Ciclo de Vida do Sistema (CVS) da área espacial, e posteriormente teve seu uso ilustrado num contexto restrito à fase de *design* da engenharia de sistemas e dirigido ao desenvolvimento de projetos de pequenos satélites.

A principal diferença e contribuição original entre o *Framework* geral CT²P e o *Framework* ENGESIS para a engenharia concorrente de sistemas está no grau de especialização com o qual a metodologia é empregada. Para isto foram modelados todos os processos da fase de *design* da engenharia concorrente de sistemas, e feitas as adequações para os padrões da engenharia espacial e gerenciamento de projetos. Os modelos de processos propostos são totalmente originais deste trabalho, bem como a aplicação dos mesmos no contexto de projetos de desenvolvimento de pequenos satélites.

No tocante às diferenças na aplicação da metodologia CT²P em relação ao uso isolado das disciplinas que a compõem, a principal diferença, além da sistematização dos seus procedimentos, é a criação de um modelo de processos transdisciplinar e seu uso como uma base comum para o desenvolvimento de seus modelos de processos especializados individuais. Isso é feito através da realização de uma modelagem sistemática denominada

modelagem unificada dos processos do ciclo de vida do sistema usando uma notação inovadora de diagramação denominada Diagrama para Modelagem Unificada do Ciclo de Vida (DMUCV).

A razão para se limitar o escopo da pesquisa e sua aplicação às missões espaciais envolvendo pequenos satélites, ao invés de sistemas mais complexos, consiste no fato de que em curto prazo este segmento é o que mais pode se beneficiar pela adoção da metodologia e ferramentas propostas na abordagem CT²P.

Apesar dos avanços alcançados neste trabalho, deve-se considerar que a metodologia e suas ferramentas de apoio ainda se encontram em evolução, e precisaram ser testadas num contexto mais simples, antes de sua aplicação a estudos de casos propriamente ditos e também antes de ser considerada madura o suficiente para ser aplicada em projetos de maior porte.

Mesmo com estas limitações, foi possível avaliar o *Framework* ENGESIS através da realização de um projeto piloto, desenvolvido nos cursos CSE/ETE para a calibração e teste de sua aplicação a sistemas espaciais. Apesar do pequeno prazo disponível para sua operacionalização, foi possível ampliar a base de conhecimentos sobre o tema, tanto na quantidade quanto na qualidade, sobre a condução de projetos desse tipo, nos quais eles não possuíam nenhuma experiência anterior, conforme informado pelos próprios alunos de pós-graduação.

Considerando-se ainda o potencial de escalabilidade do *Framework* ENGESIS visando sua aplicação em sistemas mais complexos, e complementação dos modelos para abranger todos os processos do ciclo de vida da engenharia de sistemas espaciais, pode-se projetar seu uso em missões espaciais envolvendo satélites de maior porte, tendo em vista as carências existentes atualmente no sentido de implementar uma metodologia e ambiente de apoio para a melhoria dos processos de engenharia e gestão em missões espaciais em geral.

8.2. Avaliação da Aplicação do *Framework* ENGESIS

A avaliação da aplicação do *Framework* ENGESIS em missões espaciais para sua demonstração e teste, bem como para subsidiar pesquisa em andamento com vistas à concepção e ao projeto de um ambiente computacional de apoio à metodologia são analisados a seguir.

O projeto piloto descrito no capítulo 7 evidenciou o potencial do uso da abordagem para produzir um grande salto inicial na quantidade e qualidade dos conhecimentos adquiridos pelos participantes na condução de projetos que envolvam missões espaciais com pequenos satélites, bem como na criação de um ambiente computacional de apoio à metodologia CT²P, composto por ferramentas do tipo “prateleira”, equivalente ao termo inglês *Commercial Off-The-Shelf* (COTS), colocadas para trabalhar de forma integrada e interoperável.

Um conjunto de ferramentas passíveis de serem integradas e usadas para apoio à metodologia CT²P pode ser definido como um *PLM* genérico de apoio ao *Framework* ENGESIS se suas ferramentas de *software* componentes possuírem as funcionalidades típicas das quatro disciplinas componentes da CT²P, bem como as funcionalidades necessárias para a documentação, monitoramento e controle dos modelos especializados e sua evolução ao longo de seu ciclo de vida, em especial no tocante à fase de *design* da engenharia de sistemas.

Até a conclusão deste trabalho, um ambiente deste tipo estava em desenvolvimento por Silva, E. (2016), tomando-se inicialmente os resultados gerados pelo mesmo projeto de classe citado, que a seguir foi sucedido por um novo projeto de classe realizado nos segundo e terceiro períodos letivos de 2016, este último com o objetivo de projetar e implementar o ambiente de apoio à metodologia, que foi denominado ENGESIS PLM.

Cabe ressaltar que nenhum dos dois projetos acima referidos, seja o projeto piloto relatado neste trabalho ou o atual projeto piloto em andamento para dar apoio ao projeto e à implementação do ambiente ENGESIS PLM em desenvolvimento por Silva, E. (2016), tem a natureza de um *estudo de caso* para aplicação do *Framework* ENGESIS.

Um *estudo de caso* propriamente dito só poderá ser realizado após a conclusão de ambos os trabalhos, com a aplicação do *Framework* ENGESIS aos macroprocessos DC e DS e com a conclusão e disponibilização do ambiente de apoio ENGESIS PLM para uso da equipe que for realizar o *estudo de caso* em questão.

O ENGESIS PLM poderá ser usado em lugar de eventuais sistemas *PLM* proprietários, que são complexos, caros e difíceis de se personalizar, e, portanto, não são adequados para Pequenas e Médias Empresas (PME) ou instituições de pesquisa e ensino com limitados recursos orçamentários.

Os sistemas *PLM* proprietários conhecidos pelos participantes do curso CSE/ETE, que poderiam ter sido usados para executar funções semelhantes, foram tidos como demasiadamente complexos, muito caros e difíceis de serem customizados. A razão para isto é que esses sistemas não são projetados para o nível menos exigente de complexidade, tanto em relação aos requisitos técnicos de engenharia como aos aspectos gerenciais, envolvidos em desenvolvimentos de projetos de pequenos satélites.

Ao invés da utilização de sistemas deste tipo, o projeto piloto, realizado na forma de projeto de curso, fez uso das seguintes ferramentas: O SmartDraw® para apoiar a documentação do modelo de engenharia de sistemas; o Projectlibre® para apoiar a aplicação de gerenciamento de projetos; BizAgi® e BONITA® para apoiar a aplicação de técnicas de *BPM*; e o SIMPROCESS® para construir modelos de simulação e realizar as suas respectivas análises dos resultados.

Os modelos especializados feitos com o ProjectLibre® (2015), Bonita® (2015), Bizagi® (2015) e Simprocess® (2015) foram complementados com cenários para experimentação, tendo sido submetidos a execução e análise individual, sendo estes resultados submetidos posteriormente a uma avaliação global.

Os modelos acima mencionados foram executados considerando-se 04 (quatro) cenários de aplicação a pequenos satélites, sendo 1 pico, 2 nanos e 1 micro, e seus resultados foram analisados e documentados no relatório final do curso.

Os resultados obtidos neste projeto piloto foram de natureza preliminar e estão relatados no capítulo 7, considerando-se que os modelos especializados continuam em desenvolvimento, e só serão completados com a implementação da fase de definição de sistemas, prevista para ocorrer até o final do ano de 2016.

A principal razão para a escolha das ferramentas citadas foi a disponibilidade das mesmas na forma de código-fonte aberto ou de baixo custo de licenças comerciais e acadêmicas.

Elas podem ser facilmente substituídas por sistemas semelhantes, uma vez que a grande maioria delas pode lidar com a implementação dos modelos especializados descritos nas categorias de Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos (ESBM), Gerenciamento de Projetos (GP), Gestão de Processos de Negócios (GPN) e Simulação (SIM) apresentadas neste trabalho.

As restrições quanto ao escopo, prazo e recursos financeiros utilizados foram impostas para tornar o trabalho adequado às condições inerentes à sua realização na forma de pesquisas acadêmicas. Mesmo levando-se em conta estas limitações, as pesquisas realizadas resultaram em contribuições muito expressivas, a serem relatadas no capítulo 9 sobre as conclusões e pesquisas futuras, tendo atingido os objetivos originalmente estabelecidos para o trabalho.

8.3. Revisão Holística

O *Framework* ENGESIS e a calibração e teste de sua aplicação em projetos de desenvolvimento de pequenos satélites são as maiores contribuições originais do trabalho, porém a sistematização da criação dos modelos transdisciplinares resultou em outros ganhos significativos, tanto no tocante à notação para representação dos modelos de referências, quanto para evolução da própria metodologia CT²P.

Os aspectos mais relevantes a serem abordados numa revisão holística e as respectivas contribuições obtidas em cada um deles encontram-se listados abaixo.

Grau de Maturidade

Na forma como ela se encontra atualmente, a abordagem transdisciplinar CT²P pode ser aplicada a qualquer categoria de processos a eventos discretos complexos que possa ser tratada com a notação DMUCV, além de ser escalável e capaz de ser usada em contextos mais amplos, abrangendo todo o CVS, ou até mesmo a gestão de processos de negócios da organização como um todo.

Uma dificuldade constatada referiu-se à existência de uma sobrecarga de trabalho, ligada à tentativa de se aplicar uma abordagem transdisciplinar utilizando-se ferramentas autônomas já existentes, o que acarreta um esforço adicional por parte dos desenvolvedores para a verificação da consistência e a manutenção da compatibilidade destes modelos durante todo o seu ciclo de vida.

Esta sobrecarga é tida, no entanto, apenas como uma antecipação de problemas futuros, que poderiam permanecer sem solução, caso se tivesse optado pela aplicação independente das técnicas e pela obtenção e interpretação dos seus resultados de forma tradicional.

Espera-se ainda que o inconveniente mencionado possa ser reduzido em estudos futuros desse tipo, pelo uso de procedimentos de verificação formal e de mecanismos de *software* para melhorar a consistência e compatibilidade dos modelos especializados de processos desenvolvidos.

Um ambiente de apoio genérico permitirá a aplicação em plenitude tanto do Framework CT²P em problemas envolvendo processos discretos em geral, quanto do *Framework* ENGESIS para modelagem e gestão dos processos do CVS na engenharia concorrente de sistemas, com base nas técnicas de ESBM, GP, GPN e SIM.

A criação de uma variedade de novos ambientes de apoio, por sua vez, irá requerer a escolha de um conjunto diversificado de aplicações de *software* e o tempo necessário para sua integração por meio do uso do editor gráfico do Simprocess®, combinado com um módulo de conversão entre os padrões de representação de modelos por elas utilizados, conforme a arquitetura do ENGESIS PLM projetada por Silva E. (2016).

A aplicação da metodologia CT²P para sua evolução contínua exigirá a realização de pesquisas futuras com o uso de diferentes ambientes computacionais do tipo ENGESIS PLM, que venham a ser criados para atender às especificidades de cada novo estudo de caso.

Uma síntese do histórico de aplicação da metodologia em alguns estudos de caso e as melhorias obtidas por essas aplicações é apresentada a seguir.

Estudos de Caso Realizados

Versões anteriores da notação *ULMD*, denominadas Diagramas para Modelagem Unificada em Simulação (DMUS) e Diagramas para a Modelagem Conceitual Unificada (DMCU), já haviam sido usadas para descrever e conduzir alguns estudos de caso de uma variedade de problemas de eventos discretos, tais como um problema de aciaria usado como um projeto de curso, que é um

exemplo de um processo de produção em série típico de área de estudo de Simulação.

Um outro exemplo de aplicação foi o de um processo de construção de uma casa, típico da área de estudo de GP, que foi modelado e estudado como um problema híbrido de GP e SIM, mostrando a diversidade dos sistemas que podem ser representados usando a notação.

Neste trabalho apresentou-se o uso da metodologia para a proposta de um *framework* de referência para uso na modelagem e gestão dos processos de engenharia e gerenciamento do CVS e ilustrou-se sua aplicação na fase de design da engenharia concorrente de sistemas envolvendo o desenvolvimento de projetos de pequenos satélites. Também foram descritas as potencialidades da metodologia para a criação de ambientes genéricos de apoio à mesma, em especial sobre o projeto e desenvolvimento do *PLM* genérico ENGESIS PLM, com vistas a sua aplicação na área espacial.

Evolução da Própria Metodologia

As principais contribuições originais significativas com relação à própria metodologia CT²P obtidas com esta pesquisa são destacadas abaixo.

A notação DMUCV foi melhorada no que se refere aos símbolos para utilização nos modelos de processos em relação às anteriores (DMUS e DMCU), além de contemplar situações tais como conexão entre fronteiras do fluxo de controle entre quaisquer tipos de entidades, recursos, artefatos ou mensagens específicas e sincronismo entre processos que antes não estavam sendo considerados.

A metodologia CT²P tornou-se mais formal, gradual e sistemática, tornando-se mais amadurecida e capaz de ser aplicada em um cenário real para apoiar o desenvolvimento de projetos de pequenos satélites.

As fases do método de implementação ou modelagem unificada do ciclo de vida do sistema sofreram alterações, com a adição de novas fases (definição da missão e revisão holística) e a adoção de novas denominações, atribuindo-se letras em ordem alfabética (A0 a H) para demonstrar a sequência temporal de execução das atividades e tornar sua aplicação mais mneumônica.

As revisões acima referidas serão utilizadas nas aplicações futuras da metodologia em novos estudos de caso, proporcionando sua evolução contínua rumo a uma maturidade definitiva, bem como na criação de ambientes genéricos de apoio, para aplicação em novos estudos de caso.

9 CONCLUSÕES E PESQUISAS FUTURAS

Neste capítulo são apresentadas as conclusões do trabalho com as principais contribuições realizadas pela pesquisa, de acordo com os objetivos gerais e específicos inicialmente formulados. As linhas gerais para a condução de novas pesquisas sobre aspectos relevantes, não abordados no trabalho dadas às limitações de escopo e prazo mencionadas, bem como para a aplicação da abordagem em novos estudos de caso encerram o trabalho.

9.1. Contribuições da Pesquisa

O primeiro dos objetivos gerais deste trabalho foi a utilização da abordagem CT²P para a criação e implementação de um *Framework* de referência (*Framework* ENGESIS) para apoio aos processos da fase de *design* da engenharia concorrente de sistemas em missões espaciais, visando a modelagem, análise e melhoria contínua destes processos.

O referido objetivo foi plenamente atingido no tocante à criação do modelo de referência e dos modelos especializados do macroprocesso definição de conceitos, e parcialmente realizado no tocante ao macroprocesso definição de sistemas, com a implementação do seu modelo de referência e de engenharia de sistemas, de acordo com o *SEBoK* e suas adequações aos padrões de engenharia espacial e gerenciamento de projetos.

O macroprocesso de definição de conceitos compreendeu os processos de análise de missão, análise de viabilidade, planejamento e necessidades e requisitos de *stakeholders*. O macroprocesso de definição de sistemas compreendeu os processos de requisitos de sistemas, concepção da arquitetura lógica, concepção da arquitetura física e análise de sistema.

A complementação da implementação do *Framework* ENGESIS, compreendendo os demais modelos especializados correspondentes ao macroprocesso definição de sistemas - requisitos de sistemas, concepção da

arquitetura lógica, concepção da arquitetura física e análise de sistemas - está planejada para ser executada durante o terceiro período acadêmico do ano de 2016 da pós-graduação da CSE/ETE.

O segundo objetivo geral do trabalho foi demonstrar a aplicação do *Framework* ENGESIS em cenários reais de aplicação, direcionados para o desenvolvimento de pequenos satélites.

O segundo objetivo geral foi atingido parcialmente, por meio da realização das fases definição da missão, modelagem conceitual e desenvolvimento dos modelos, limitados às atividades de bricolagem para cada modelo especializado por meio de um projeto piloto.

O projeto piloto para aplicação do *Framework* ENGESIS a um projeto de pequenos satélites foi realizado na forma de projetos de curso ao longo de dois períodos acadêmicos, tendo seus resultados apresentados neste trabalho.

O primeiro objetivo específico deste trabalho foi a utilização dos conceitos da EC, que contemplam simultaneamente os processos técnicos do ciclo de vida da engenharia do sistema e aqueles vinculados à gestão da produção pela organização.

A engenharia de sistemas foi coberta pelo uso de modelos *SEBoK* e suas adequações aos sistemas espaciais e ao gerenciamento de projetos. Os processos de gestão da produção foram contemplados pelo uso das disciplinas de gerenciamento de projetos, gestão de processos de negócios e simulação, de acordo com o *Framework* ENGESIS formulado.

O segundo objetivo específico deste trabalho foi o uso de normas técnicas da área espacial na formulação geral do modelo e na documentação dos processos descritos.

O segundo objetivo específico também foi plenamente atingido com o estudo e aplicação das normas de engenharia de sistemas espaciais (*ECSS* e *NASA*)

aos modelos, complementados com os procedimentos oriundos da técnica de gerenciamento de projetos (*PMBOK*).

O terceiro objetivo específico deste trabalho foi de natureza complementar e visou subsidiar a concepção e projeto de um ambiente de apoio à metodologia CT²P.

O referido objetivo foi atingido, tendo sido realizado o projeto preliminar do ambiente de apoio ENGESIS PLM, sendo que sua implementação está sendo objeto de um trabalho adicional de mestrado em andamento de Silva, E., o qual complementarará o *Framework* ENGESIS aqui implementado com o apoio computacional necessário para a condução de projetos de desenvolvimento de pequenos satélites.

O ambiente de apoio ENGESIS PLM permitirá a modelagem e análise de processos da fase de *design* da engenharia de sistemas com a aplicação de ferramentas básicas do tipo Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos (ESBM), Gerenciamento de Projetos (GP), Gestão de Processos de Negócios (GPN) e Modelagem e Simulação de Sistemas (SIM), em substituição aos sistemas *PLM* complexos, que são caros e difíceis de personalizar.

Por fim, a revisão holística do *framework* geral CT²P foi realizada pela melhoria da notação DMUCV e melhor sistematização do processo de modelagem unificada do ciclo de vida, resultando em uma contribuição importante para a melhoria do seu grau de maturidade e sua aplicação em futuros estudos de caso.

9.2. Pesquisas Futuras

O presente trabalho representa um passo adiante no sentido de fornecer um *framework* de referência para aplicação aos processos de engenharia e gestão das fases de concepção e projeto do ciclo de vida de sistemas em missões espaciais.

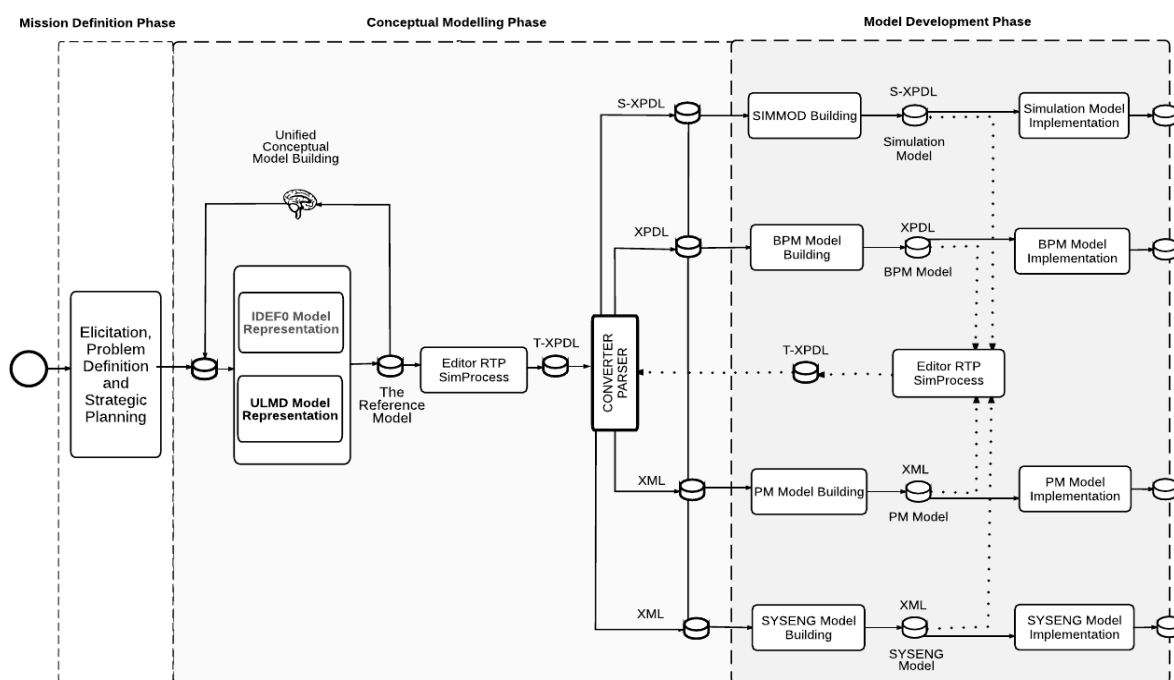
Para a continuidade e melhoria do *Framework* ENGESIS e sua aplicação em novos estudos de caso, vários pontos de interesse já estão em andamento ou podem vir a ser explorados no futuro por outros trabalhos que sigam a mesma linha da presente abordagem.

Dentre os tópicos que se destacam com relação direta com este trabalho, encontra-se o trabalho de mestrado de Silva, E. já em andamento, que tem por objetivo projetar e a implementar um ambiente de apoio à gestão dos processos do ciclo de vida do produto em engenharia concorrente e demonstrar sua aplicação em projetos de sistemas em missões espaciais.

O ambiente, denominado ENGESIS PLM, visa à melhoria do planejamento, execução e gestão dos processos do ciclo de vida do produto, a interoperabilidade entre as ferramentas que o apoiam, utilizando como base uma metodologia multifacetada orientada a processos e um conjunto de técnicas e aplicativos integrados.

A arquitetura do ambiente de apoio ENGESIS PLM, conforme mostrada na Figura 9.1, é composta pela integração de diversas ferramentas, provenientes das disciplinas de GP, GPN e SIM.

Figura 9.1 – Arquitetura do Ambiente ENGESIS PLM.



Fonte: Silva, E (2016).

As principais características do ambiente de apoio ENGESIS-PLM são apresentadas a seguir:

- a) permitir a conversão dos modelos de processos na forma de uma Rede Transdisciplinar de Processos (RTP) em arquivos com formatos abertos de comunicação (XPDL, CSV, XML), possibilitando a leitura por ferramentas de características distintas, garantindo a integração e interoperabilidade entre sistemas;
- b) prover uma interface para leitura/exportação do modelo de processos RTP por meio de arquivos no formato XML, que será integrada ao sistema *dotProject*, permitindo a execução e o gerenciamento do projeto com base nas informações do modelo de referência; e

- c) permitir a importação para o Bizagi® Modeler do modelo hierárquico de processos criado com o Simprocess, para que o mesmo possa ser completado por meio da ferramenta BIZAGI® Suite, gerando um aplicativo para automatização, controle e monitoramento do processo real em execução.

A integração entre as diversas ferramentas se dá por meio da importação dos arquivos criados pelo conversor denominado Jet-Converter em seus respectivos formatos abertos, provendo a interoperabilidade entre os sistemas que compõem o ambiente de apoio ENGESIS PLM.

O aplicativo Jet-Converter, desenvolvido por Silva, E., converte os arquivos *T-XPDL* criados pelo RTP *GUI Simprocess®*, em arquivos padrão *OMG XPDL 2.2*, e em padrões abertos *XML* e *CVS*, para suprir à deficiência existente na integração direta entre as ferramentas individuais.

O trabalho de mestrado cobre adicionalmente as atividades listadas a seguir:

- a) construção e implementação (C) com as tarefas elementares C1 (ESBM), C2 (GP), C3 (GPN) e C4 (SIM);
- b) descrição de experimentos (D) com as tarefas elementares D1 (ESBM), D2 (GP), D3 (GPN) e D4 (SIM);
- c) experimentação (E) com as tarefas elementares E1 (ESBM), E2 (GP), E3 (GPN) e E4 (SIM);
- d) finalização (F) com as tarefas elementares F1 (ESBM), F2 (GP), F3 (GPN) e F4 (SIM); e
- e) avaliação global (G) com as tarefas elementares G1 (ESBM), G2 (GP), G3 (GPN) e G4 (SIM).

Com o ambiente ENGESIS PLM pretende-se dar continuidade a diversos estudos de casos, desenvolvidos na forma de uma parceria com outras instituições de pesquisa de ensino superior (IES).

Outra linha de pesquisa que pode vir a ser explorada em estudos futuros está relacionada com o uso de outros tipos de *frameworks* para descrição dos processos organizacionais de empresas, diferentes da APQC, tais como o *MIT Handbook* (Malone, Crowston e Herman, 2003) e o *Zachman's Framework* (Zachman, 2008) e pode ser empreendida por outros trabalhos de mestrado e doutorado.

O uso desses *frameworks*, bem como o próprio PCF da APQC, seria destinado à modelagem de processos organizacionais de forma bem abrangente cobrindo o ciclo de vida completo de desenvolvimento dos produtos, conforme preconizados na literatura respectiva da área.

Finalmente, os trabalhos atualmente em andamento e seus desdobramentos futuros serão objeto de um livro de referência co-editado por todos os participantes das pesquisas, denominado *Handbook on Process Science and Technology*, em inglês, cuja primeira edição está prevista para ocorrer até o final de 2016. Uma nova edição do livro, prevista para ser publicada no final de cada ano, reportará os futuros avanços obtidos para melhoria da metodologia e sua aplicação a novos estudos de caso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN PRODUCTIVITY AND QUALITY CENTER (APQC). **About APQC**, 2014. Disponível em: <<http://www.apqc.org/>>. Acesso em: 13 mar. 2014.

ANSI/EIA. **Processes for engineering a system**. Philadelphia, PA, USA: American National Standards Institute (ANSI)/Electronic Industries Association (EIA), ANSI/EIA-632. 1998.

APQC. **Aerospace and defense process classification framework**. Version 5.0.2-en-AD. Houston, Texas. 2008. Disponível em: <<https://www.google.com.br/#q=APQC.+Aerospace+and+Defense+Process+Classification+Framework.+Version+5.0.2-en-AD.+Houston%2C+Texas.+2008.>>. Acesso em: 21 jul. 2016.

ARAÚJO, D. G.; SENNE, E. L. F.; JUNIOR, J. M.; RIBEIRO, A. M. Framework – um framework para o gerenciamento de projetos assistido por simulação de processos baseado em padrões. Universidade de Taubaté. São Paulo, SP. **Revista Ciências Exatas** – Universidade de Taubaté (UNITAU) – Brasil – v. 16, n. 2, 2010. Disponível em: <<http://periodicos.unitau.br/ojs-2.2/index.php/exatas/article/viewFile/1283/862>>. Acesso em: 15 jun. 2014.

ARIS COMMUNITY. **Tamboré, Barueri, SP, Brasil**. Disponível em: <<http://www.ariscommunity.com/event-driven-process-chain>>. Acesso em: 28 jun. 2016.

BIZAGI – **BPM suite overview**. Disponível em: <<http://www.bizagi.com/en/bpm-suite>>. Acesso em: 21 dez. 2015.

BONITA **BPM 7.1.2. community edition**. Disponível em : <<http://www.bonitasoft.com/products-v2#versions-community/>>. Acesso em: 23 out. 2015.

CAPÓ-LUGO, P. A.; BAINUM, P. M. **Orbital mechanics and formation flying: a digital control perspective**. Cambridge, UK: Woodhead Publishing Limited, 2011.

DURAI, S. **Industry requirements and the benefits of product lifecycle management**. 2006. 140 p. MSc Thesis (Degree of Master of Science) - School of Industrial & Manufacturing Science. Department of Manufacturing, Cranfield University, 2006. Disponível em: <<http://www.openthesis.org/documents/Industry-requirements-benefits-product-lifecycle-499020.html>>. Acesso em: 19 jun. 2016.

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION (ECSS).
Space engineering system engineering general requirements. 3. ed.
Noordwijk, The Netherlands : ECSS-E-ST-10C, 2009.

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION (ECSS).
Space project management project planning and implementation. 3. ed.
Rev. 1. Noordwijk, The Netherlands : ECSS-M-ST-10C, 2009.

ENGESIS. Diretório dos Grupos de Pesquisa do CNPq. **About ENGESIS**,
2010. Disponível em:
<http://dgp.cnpq.br/dgp/faces/consulta/consulta_parametrizada.jsf>. Acesso
em: 24 jul. 2015.

FEDERAL INFORMATION PROCESSING STANDARDS PUBLICATIONS
(FIPS PUBS). **Integration Definition for Function Modeling (IDEF0)**.
Disponível em: <<http://softeng.polito.it/01CIT/slides/IDEF0.pdf>>. Acesso em: 10
jun. 2016.

FERNANDEZ, R.; KIENBAUM, G. S.; AUGUSTO NETO, A.; SILVA, E. K. T. D.
T-PROST: a transdisciplinary process modelling methodology and its
application to the systems engineering lifecycle in space missions. In: LATIN
AMERICAN IAA CUBESAT WORKSHOP, 2., Florianópolis, SC. . 2016.
Florianópolis, Brazil

Federal Information Processing Standards Publications (FIPS PUBS).
Integration Definition for Function Modeling (IDEF0). Disponível em:
<<http://softeng.polito.it/01CIT/slides/IDEF0.pdf>>. Acesso em: 04 jun. 2016.

HELMS, R. W. **Product data management as enabler for concurrent
engineering**. Eindhoven: BETA Research institute, Eindhoven University of
Technology. Disponível em: <<http://alexandria.tue.nl/extra2/200211339.pdf>>.
Acesso em: 07 mai. 2016.

INTERNATIONAL COUNCIL ON SYSTEMS ENGINEERING (INCOSE).
System engineering handbook - a guide for system life cycle process and
activities. 4. Ed. Wiley, 2015.

ISO/IEC/IEEE. **Systems and software engineering** - system life cycle
processes. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization
(ISO)/International Electrotechnical Commission (IEC) / Institute of Electrical
and Electronics Engineers. ISO/IEC/IEEE 15288, 2015. Disponível em:
<http://www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=6371>. Acesso em: 12 jan.
2013.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDS / INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL COMMISSION (ISO/IEC). **ISO/IEC 26702:2007** system

engineering – application and management of the systems engineering process. Geneva, Switzerland, 2007.. Disponível em: <http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=43693>. Acesso em: 12 jan. 2013.

JESTON, J. **Business process management: practical guidelines to successful implementations**. 3. ed. Ed. Routledge, 2014. 688 p.

KAR, P.; BAILEY, M. Characteristics of Good Requirement. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF THE INCOSE, 6., 1996. v. 6, p. 1225-1233. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/j.2334-5837.1996.tb02142.x/abstract>>. Acesso em: 18 jan. 2014.

KIENBAUM, G. S.; PAUL, R. J. H-ACDNET: an object-oriented graphical user interface for simulation modelling of manufacturing systems. **Simulation Practice and Theory**, v.2, p.141 - 157, 1994. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0928486994900094>>. Acesso em: 21 jul. 2016.

KIENBAUM, G. S. **A Framework for process science and technology**. Loughborough: Loughborough University, 2014a. Technical Report

KIENBAUM, G. S.; AUGUSTO NETO, A. ; FERNANDEZ, R.; SILVA, E. K. T. D.; COICEV, M.D. A.; GARTENKRAUT, E.; MARIA, R. B.; RODRIGUES, M. F. R. An environment to support PLM in small satellites project development. In: LATIN AMERICAN IAA CUBESAT WORKSHOP, 2., 2016. Florianopolis, Brazil. Proceedings... IAA, 2016b

KRAMER, H. J.; CRACKNEL, A. P. An overview of small satellites in remote sensing. **International Journal of Remote Sensing**. v. 29, n. 15, August 2008, p. 4285–4337. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/01431160801914952>>. Acesso em: 14 set. 2016.

KUMAGAI, S. **Designing collaborative work process in IDEF0 using Interface Model**. Yamatake, Kanagawa. Japão: Advanced Technology Center, 2013.

LOUREIRO, G. Lessons learned in 12 years of space systems concurrent engineering. In: INTERNATIONAL ASTRONAUTICAL CONGRESS, 61., 2010, Prague, CZ. **Proceedings**...Prague: International Astronautical Federation (IAF), 2010

MAGALHÃES, A. F. D. **Um ambiente de apoio à gerência de projetos utilizando gestão de processos**. 2008. 93 p. Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José

dos Campos, 2013. Disponível em: <<http://mtc-m16c.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/10.17.15.14/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 19 mar. 2016.

MAIOLINO, J. V.; ARANHA, P. R. R. **Relatório técnico da disciplina CSE211-** modelagem transdisciplinar para gestão e simulação de processos. São José dos Campos: INPE, 2016. Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais. Área de Concentração em Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais.

MALONE, T. W.; CROWSTON, K.; HERMAN, A. **Organizing business knowledge:** the MIT process handbook. Cambridge, MA: MIT Press, 2003. Disponível em: <<http://ccs.mit.edu/ph>>. Acesso em: 03 jul. 2016.

MARIA, R. B. **Relatório técnico da disciplina CSE331-** Simulação e gestão de processos. São José dos Campos: INPE, 2015. Curso de Pós-graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais. Área de Concentração em Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais.

MODEL-Based Systems Engineering (MBSE). Disponível em : <<http://www.omgwiki.org/MBSE/doku.php>>. Acesso em: 07 abr. 2015.

MS PROJECT **Products.office**. Microsoft, 2013. Disponível em: <<https://products.office.com/en-us/project/project-and-portfolio-management-software>>. Acesso em: 07 mai. 2013.

NAIDOO, T.; MUEHLEN, M. Z. The state of standards and their practical application. In: AIIM CONFERENCE AND EXPOSITION. 17, May, 2005, Philadelphia. **Proceedings...** Philadelphia: AIIM, 2005.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **NASA Procedural Requirements – NPR 7123.1B.** Systems Engineering Processes and Requirements. Washington, DC, 2013. 157 p.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **Systems engineering handbook.** Whashington, DC, 2007. 360 p. (NASA/SP-2007-6105 Rev 1).

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **Small Spacecraft Technology State of the Art (NASA/TP–2014–216648/REV1).** NASA Ames Research Center, Moffett Field, California: Mission Design Division Staff. 2014. 211p.

OBJECT MANAGEMENT GROUP (OMG). **Business Process Maturity Model (BPMM)** – Version 1.0. 482 p. 2008. Disponível em: <<http://www.omg.org/spec/BPMM/>>. Acesso em: 26 jul. 2014.

OBJECT MANAGEMENT GROUP (OMG). **Business Process Model and Notation (BPMN)**. Version 2.0. 508 p. 2011. Disponível em: <<http://www.omg.org/spec/BPMN/>>. Acesso em: 26 jul. 2014.

OULD, M. A. **Business process: modelling and analysis for re-engineering and improvement**. Wiley, 1995. 224 p.

PIDD, M. **Computer simulation in management science**. 5. ed. Chichester, UK: John Wiley & Sons, 2004.

PRASAD, B. **concurrent engineering fundamentals. integrated product and process organization**. New Jersey: Prentice Hall Inc, 1996. 478 p.

PROJECTLIBRE USER GUIDE - Version 0.3.3. Disponível em: <<http://www.projectlibre.org/>>. Acesso em: 23 out. 2015.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE (PMI). **A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)** 5. ed. Newton Square: Project Management Institute, 2014. 589 p.

PYSTER, A.; OLWELL, D. (eds). **The guide to the Systems Engineering Body of Knowledge (SEBoK)**, v. 1.2. Hoboken, NJ: The Trustees of the Stevens Institute of Technology. Disponível em: <<http://www.sebokwiki.org>>. Acesso em: 13 nov. 2014.

ROGERS, A. Q.; HUANG, P. M.; WELLS, V. E.; DARRIN, M. A.; SUTER, J. J. **Small Satellite Initiatives: Building On Success**. 30th Space Symposium, Technical Track, May 19-22, 2014. Colorado Springs, Colorado, United States of America. Disponível em: <http://www.spacefoundation.org/sites/default/files/downloads/A.Rogers_30th_Space_Symposium_Tech_Track.pdf>. Acesso em: 14 set. 2016.

ROZENFELD, H. **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo**. 1. ed. Editora Saraiva, 2006. 545 p.

SANTOS, C. A. M. B. D. **Modelagem conceitual unificada de processos e sua aplicação aos processos de serviço para a garantia do produto em missões espaciais**. 2013. 127 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia Espaciais) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2013. Disponível em: <<http://mtc-m16d.sid.inpe.br/rep/sid.inpe.br/mtc-m19/2013/11.26.15.18?mirror=sid.inpe.br/mtc->

[m19@80/2009/08.21.17.02.53&metadatarpository=sid.inpe.br/mtc-m19/2013/11.26.15.18.46](http://mtc-m19@80/2009/08.21.17.02.53&metadatarpository=sid.inpe.br/mtc-m19/2013/11.26.15.18.46)>. Acesso em: 23 jun. 2014.

SEBoK – **Guide to the Systems Engineering Body of Knowledge (SEBoK)**, version 1.6. 2016. 1.029 p.

SHANNON, R. E. **Systems simulation: the art and science**. Englewood Cliffs, N.J: Prentice-Hall, 1975.

SILVA, E. K. T. D. **Um ambiente transdisciplinar orientado a processos para apoio à gestão de projetos de pequenos satélites**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia Espaciais) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. (em andamento).

SILVA, L. A. D. **Uma abordagem unificada para modelagem, simulação e gestão por processos e sua aplicação aos serviços de integração e testes de produtos complexos**. 2013. 137 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia Espaciais) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2013. Disponível em: <<http://mtc-m16d.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m19/2013/01.07.11.42/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 23 jun. 2014.

SIMPROCESS - **Product overview and user's manual**. Release 5.2. Caci inc. Federal, 2015. Disponível em: <<http://simprocess.com/about-SIMPROCESS/SIMPROCESS-documentation>>. Acesso em: 03 jun. 2015.

SMARTDRAW. **The smartest way to draw anything**. Disponível para download em: <<http://www.smartdraw.com/downloads/>> . Acesso em: 22 fev. 2014.

SWARTWOUT, M. The first one hundred cubesats: a statistical look. **Journal of Small Satellites**, v. 2, n. 2, p. 213-233, 2013. Disponível em: <<http://www.jossonline.com/Papers9f99.html>>. Acesso em: 24 jul. 2016.

TORRES, J. B. N. **Um modelo dinâmico de apoio a gestão organizacional baseado na modelagem de processos utilizando componentes de software**. 2002. 286 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2002. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/82771>>. Acesso em: 16 mar. 2014.

TRAVASSOS, P. R. N. **Uma abordagem integrada para gestão e simulação de processos e sua aplicação à gerência de projetos**. 2007. 176 p. (INPE-14819-TDI/1259). Tese (Doutorado em Computação Aplicada) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2007. Disponível em:

<<http://mtc-m16b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2007/06.12.18.51/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 06 mar. 2014.

Van LOOY, A.; DE BACKER, M.; POELS, G. **Defining business process maturity**: a journey towards excellence, total quality management & business excellence. Universiteitsbibliotheek Gent, 2011. p. 1119-1137.

WINNER, R. I.; PENNEL, P. J.; BERTRAN, H. E.; SLUSARCZUK, M. M. G. **The Role of Concurrent Engineering in Weapons Acquisition**. Washington, DC: Inst.of Defense Analysis, Dec., 1988. (IDA rpt. R388).

WOELLERT, K.; EHRENFREUND, P.; RICCO, A.J.; HETZFELD, H. Cubesats: Cost-effective science and technology platforms for emerging and developing nations. **Advances in Space Research**, v. 47, n. 4, p. 663-684, 2011. doi:10.1016/j.asr.2010.10.009.

WORKFLOW MANAGEMENT COALITION (WFMC). **Terminology & glossary**. Document Number -TC-1011, Document Status - Issue 3.0, February 1999, Disponível em: <www.wfmc.org>. Acesso em: 25 abr. 2013.

ZACHMAN, J. A. **The Zachman framework**. Zachman International, Inc., 2008. Disponível em: <<https://www.zachman.com/about-the-zachman-framework>>. Acesso em: 03 jul. 2016.

APÊNDICE A – PESQUISAS CORRELATAS

As principais pesquisas que apresentam linhas similares a este trabalho, que abordam a integração de métodos e técnicas envolvendo o uso simultâneo de diversas disciplinas, foram encontradas nas publicações de Torres (2002), Travassos (2007), Magalhães (2008), Araújo (2010), Silva, L. (2013), Santos (2013), e Van Looy (2014), sendo que do segundo ao quinto autores estiveram ligados ao Grupo ENGESIS (2010) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e os demais realizaram suas pesquisas de forma independente e externa ao mesmo.

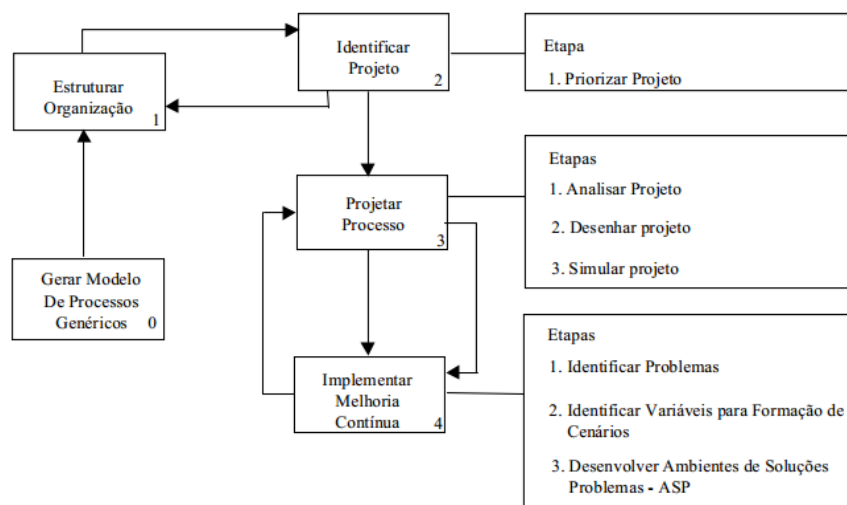
As pesquisas realizadas internamente ao INPE constituíram estágios da evolução do *Framework* CT²P, e buscavam a utilização de conceitos da EC nos processos, tratando simultaneamente processos relacionados ao desenvolvimento do produto e à gestão da produção pela organização, que é um dos objetivos específicos deste trabalho.

A seguir elas são revistas brevemente por ordem cronológica, destacando-se ainda sua correlação com o tema da pesquisa aqui apresentado.

Torres (2002) propôs um modelo de integração de Reengenharia de Processos de Negócio (BPR, do inglês, *Business Process Re-engineering*) e melhoria contínua baseado no modelo de processos de negócios utilizando a tecnologia de componentes de *software*.

A Figura A.1 mostra as diversas fases e etapas da metodologia de integração de BPR e Melhoria Contínua.

Figura A.1 – Fases da Metodologia de Integração de BPR e Melhoria Contínua.



Fonte: Torres (2002, p. 133)

O modelo de Torres (2002) é dividido em três partes.

A primeira propõe uma arquitetura para selecionar as técnicas que melhor se adequem ao projeto (*design*) do processo.

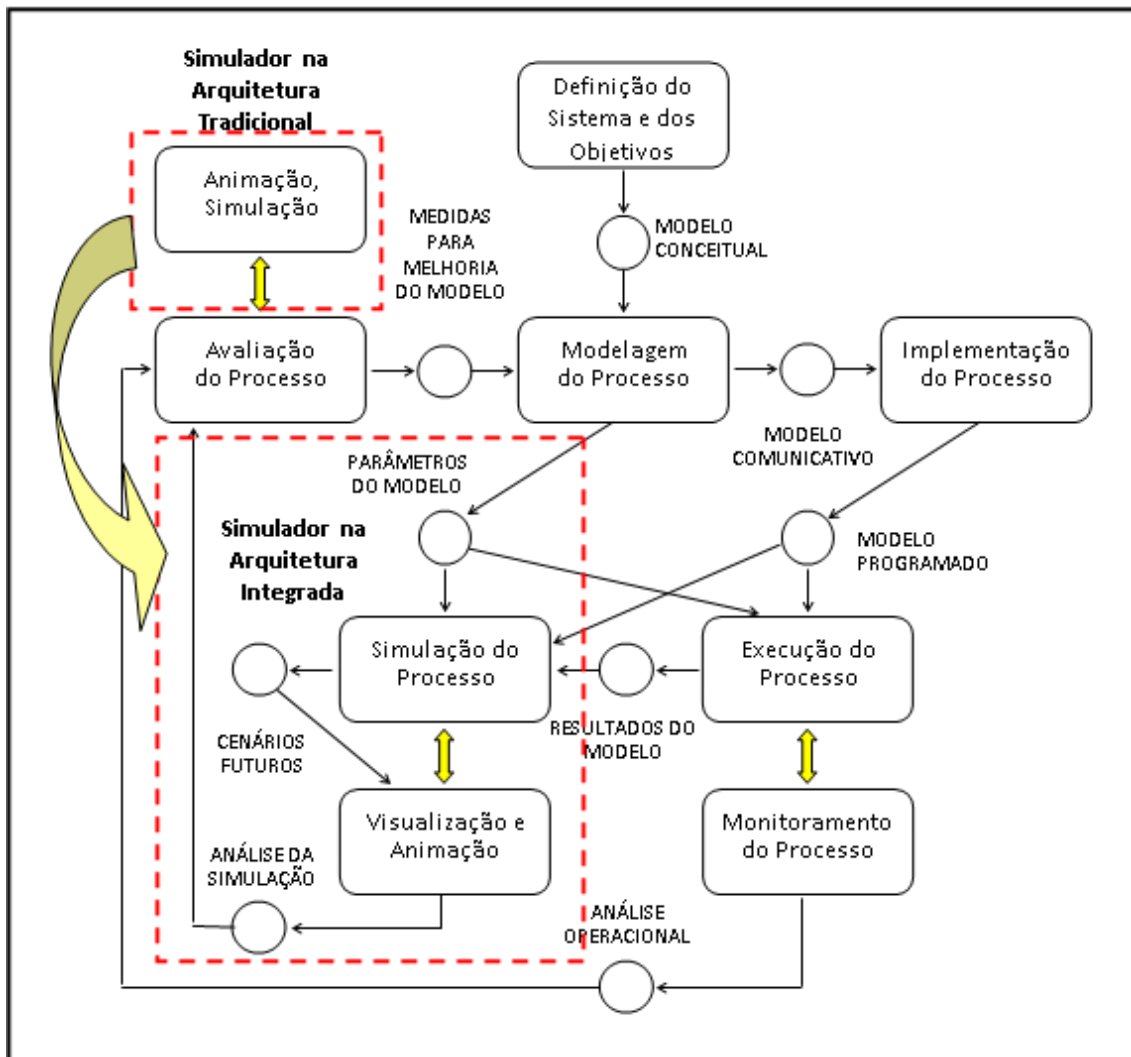
Uma metodologia de integração dessas duas abordagens (BPR e Melhoria Contínua) é a segunda proposta do modelo, enquanto um ambiente computacional é a terceira proposta que deve dar suporte a arquitetura e a metodologia.

O modelo deve ser utilizado em todo o ciclo de vida de um projeto de processo de negócio desde a análise, passando pelo seu *design* e simulação, e realizando, por último, seu controle de forma dinâmica.

Travassos (2007) apresentou os primeiros fundamentos conceituais para a elaboração de uma abordagem unificada, capaz de integrar metodologias e técnicas de modelagem, de simulação e de gestão automática de processos, a qual recebeu a denominação de Abordagem Integrada para Simulação e Gestão Automática de Processos.

A concepção de Travassos (2007) está representada na Figura A.2, que retrata a modelagem para gestão de processos e para simulação de sistemas como uma etapa única do ciclo de vida do sistema, consistindo na criação de um modelo unificado de processos, a partir do qual se explora o uso das duas técnicas de forma simultânea.

Figura A.2 – Arquitetura par Integração de Gestão e Simulação de Sistemas



Fonte: Travassos (2007, p. 47)

A Figura A.2 compara ainda a arquitetura de sistemas requerida para a integração da simulação de sistemas com a gestão de processos com a arquitetura tradicionalmente existente, que utilizava simulação apenas como uma ferramenta adicional de análises dentro do ciclo de vida do modelo de processos objeto do estudo.

O trabalho de Travassos (2007) é um precursor da atual metodologia CT²P, porém ele se limitava a tratar os aspectos da gestão de processos industriais, de construção e de serviços, embora já fizesse uso simultâneo de técnicas provenientes do gerenciamento de projetos, da gestão de processos e da simulação de sistemas.

A abordagem transdisciplinar CT²P evoluiu de forma gradual ao longo de todo o período transcorrido entre os trabalhos de Travassos (2007) e Kienbaum (2014), passando a incluir em sua forma atual quatro disciplinas, a saber: Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos, Gerenciamento de Projetos, Gestão de Processos de Negócios, e Simulação.

A área de Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos só foi incluída em sua versão mais recente (Kienbaum, 2014) e ela está sendo explorada pela primeira vez neste trabalho para a realização de um projeto piloto específico, direcionada para a gestão dos processos da fase de projeto do ciclo de vida de sistemas em missões espaciais.

Uma segunda diferença fundamental entre o presente trabalho e o apresentado por Travassos, é que o *Framework* CT²P atual estendeu o domínio de aplicação da abordagem para além dos problemas típicos de produção industrial, da construção e dos serviços, podendo ser aplicado em contextos envolvendo a engenharia de sistemas diversos e a criação de processos de serviços em geral, e passou a abranger as organizações como um todo, revelando potencial para sua utilização em EC num contexto de missões espaciais.

O fato do projeto piloto aqui apresentado limitar-se à fase de *design* do ciclo de vida do sistema deve-se apenas às limitações de escopo e prazo disponíveis para a realização do presente trabalho.

Uma terceira diferença importante é que a abordagem apresentada por Travassos (2007) não apresentava um método de implementação gradual dos modelos, sendo esta uma das contribuições relevantes desta pesquisa.

Por fim, o formato da notação utilizada por Travassos (2007) para a descrição dos modelos de processos, denominada Diagramas para Modelagem Unificada em Simulação (DMUS) eram diagramas ainda muito próximos daqueles conhecidos na literatura como Diagramas de Ciclos de Atividades (DCAs), que não possuem hierarquia e exigem que modelos grandes sejam representados num único plano, com o que eles se tornam de difícil entendimento.

Motivado pelo trabalho de Travassos (2007), Magalhães (2008) apresentou um Ambiente de Apoio ao Gerenciamento de Projetos utilizando Gestão de Processos que utilizava a abordagem multidisciplinar, fundamentada na Ciência e Tecnologia de Processos e que visava a integração de técnicas provenientes das áreas de Gerenciamento de Projetos, Gestão de Processos de Negócios e Simulação de Sistemas.

O objetivo principal do trabalho foi integrar a modelagem de processos de negócios representados graficamente em ferramentas de workflow e que utilizavam o padrão *XPDL* com sistemas de gerenciamento de projetos na Web.

A simulação foi utilizada naquele trabalho para estudo de cenários de comportamento de projetos. Um ambiente resultante da integração foi desenvolvido e denominado *WfPM – Workflow Project Manager*.

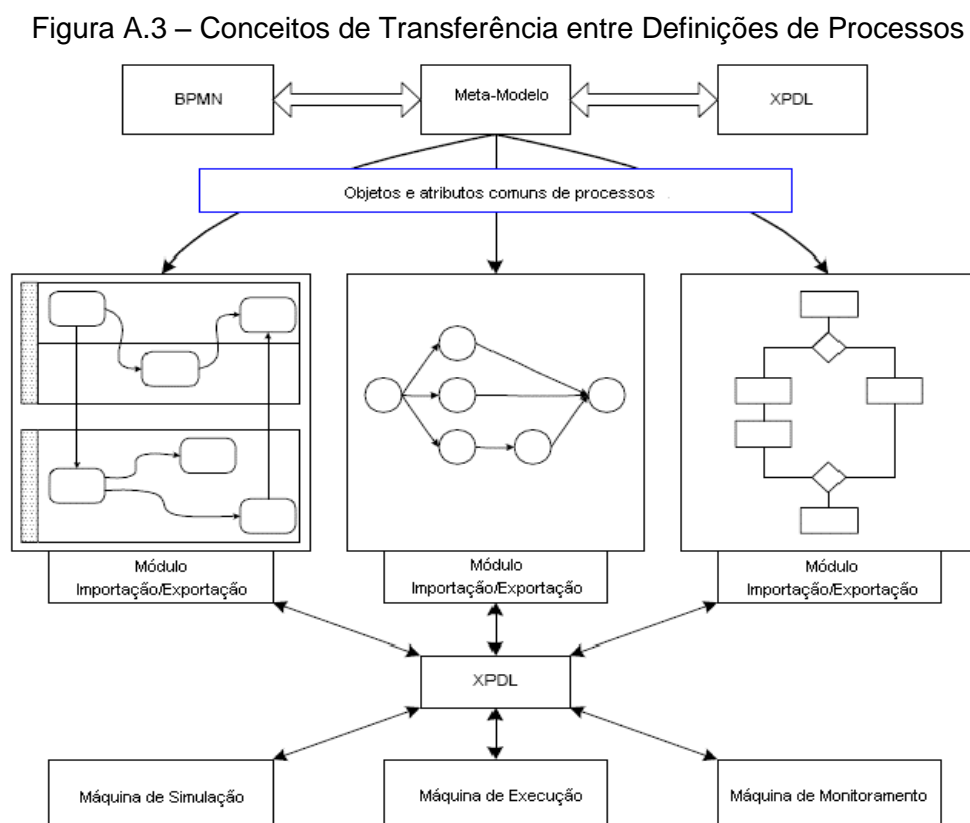
A solução adotada no ambiente e que permitiu a integração das áreas foi a implementação de um módulo de extensão à interface de código livre

dotProject, de forma a possibilitar seu uso para modelagem, análise, simulação, execução e gestão automatizada de projetos utilizando processos de negócios.

A *WfMC* (*Workflow Management Coalition*) fornece uma padronização para a definição de um modelo comum de processos. Essa padronização visa obter uma interoperabilidade entre diversas ferramentas de modelagem de workflow. Para que isso seja possível, a *WfMC* definiu o padrão *XPDL*.

O *XPDL* é um formato comum de comunicação que suporta transferência de definições de processos entre produtos, utilizando *XML* como mecanismo, visando garantir a interoperabilidade de processos distribuídos.

A Figura A.3 mostra como o padrão é utilizado para permitir a transferência de definições de processos entre diferentes sistemas.



Fonte: Magalhães (2008, p.32)

O principal resultado obtido por esse trabalho consistiu na substituição da ferramenta proprietária de simulação Simprocess®, utilizada na abordagem proposta em Travassos (2007), por um sistema de *workflow* de código aberto e a completa implementação do ambiente de apoio de acordo com a abordagem integrada de processos descrita em Naidoo e Muehlen (2005).

O resultado descrito foi possível pela complementação realizada pelo autor, do módulo de importação/exportação de modelos no formato XPDL 2.0, anteriormente desenvolvido de forma parcial para o protótipo do sistema denominado Project Manager (Travassos, 2007) de forma a proporcionar a completa integração entre ferramentas de modelagem de processos, gerenciamento de projetos e simulação de sistemas.

A ferramenta de *workflow* de código aberto substituiu a interface de modelagem, e a máquina de execução dos processos ficou constituída pelo próprio ambiente *dotProject*, que realiza a orquestração das atividades entre os participantes das tarefas, tendo sido a nova versão do ambiente ou aplicativo de apoio ao gerenciamento de projetos na *Web* denominada de *Workflow Project Manager (WfPM)*.

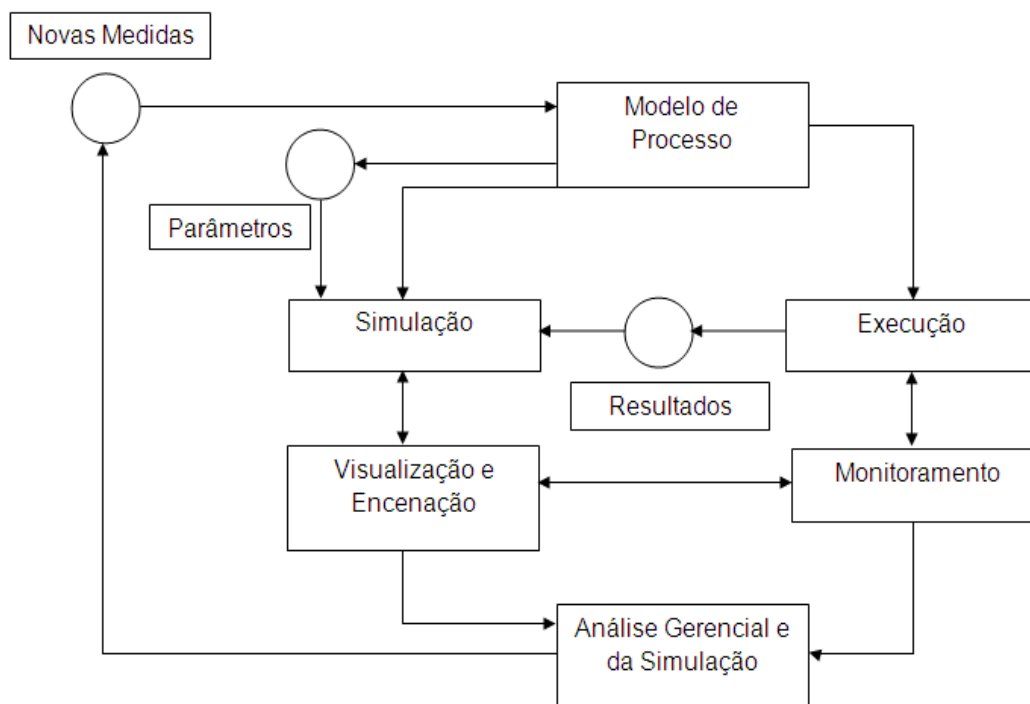
Também motivado pelo trabalho de Travassos (2007), Araújo (2010) propôs o *Frameknow*, que é um ambiente que implementa o conceito de gestão de projetos assistida por simulação de sistemas, baseadas em padrões de processos, cujo objetivo era apoiar a gestão de projetos e processos de desenvolvimento de *software*.

A Figura A.4 mostra a abordagem integrada da simulação e execução dos processos no contexto do *Frameknow*.

Observa-se que o *Frameknow* de Araújo (2010) e o *Framework* proposto por Travassos (2007) se baseiam na mesma arquitetura, que faz uso simultâneo da gestão de processos e da simulação de sistemas discretos no desenvolvimento

dos aplicativos para compor seus ambientes de apoio ao gerenciamento de projetos.

Figura A.4 – Esquema da Abordagem Integrada da Simulação e Execução dos Processos no Contexto do *Frameknow*.



Fonte: Araújo (2010, p. 33)

No entanto, por ter sido concebido especificamente para auxiliar na gestão de processos em projetos de desenvolvimento de software, a abordagem de Araújo (2010) apresenta mais diferenças do que semelhanças com a pesquisa de Travassos (2007), conforme destacadas a seguir.

No caso de Araújo (2010) considera-se o modelo de processo organizacional já bem definido e depositado na base de processos da organização, acessível em duas instâncias distintas para execução e simulação.

Na abordagem de Travassos (2007) os modelos podiam ser genéricos, como ele demonstrou pela aplicação da abordagem a modelos ligados à produção industrial, à construção civil e aos serviços.

Os sistemas ou problemas estudados eram modelados como processos discretos e tratados de forma análoga aos processos resultantes de uma Estrutura Analítica de Projetos (EAP), gerada em estudos da área de gerenciamento de projetos.

No trabalho de Travassos (2007) consideravam-se ainda as ferramentas para modelagem, execução e simulação, como sendo distintas e autônomas, buscando-se a integração entre elas.

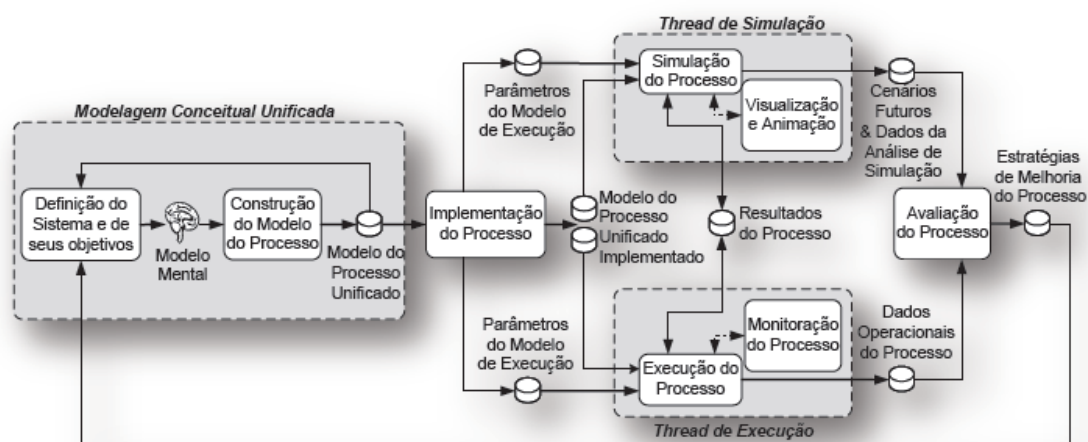
Já na proposta de Araújo (2010) os aplicativos componentes do ambiente encontravam-se melhor integrados, uma vez que esses compõem um mesmo arcabouço tecnológico da organização e fazem uso simultâneo da mesma base de dados e serviços, que é disponibilizada tanto para execução do processo real de gestão quanto para a sua simulação.

Silva, L. (2013) apresentou uma Abordagem Unificada para Modelagem, Simulação e Gestão por Processos para uso no desenvolvimento do ciclo de vida completo de modelos de processos discretos e sua aplicação aos serviços de integração e testes de produtos complexos.

Esta abordagem unificada é uma evolução daquela que havia sido proposta por Travassos, dando continuidade a pesquisas inovadoras que vinham sendo desenvolvidas pelo grupo de pesquisa em Engenharia, Simulação e Gestão de Sistemas (ENGESIS), do INPE, e que recentemente recebeu a denominação de Ciência e Tecnologia Transdisciplinares de Processos (CT²P).

A Figura A.5 apresenta a versão modificada proposta por Silva, L. (2013), renomeada para Abordagem Unificada para Modelagem, Simulação e Gestão por Processos, como forma de diferenciação da abordagem proposta por Travassos (2007).

Figura A.5 – Abordagem Unificada para Modelagem, Simulação e Gestão por Processos.



Fonte: Silva (2013, p. 47)

Segundo Silva, L. (2013), uma de suas principais contribuições inovadoras se encontra na disposição gráfica dos elementos componentes (processos, artefatos e relacionamentos), mostrados na arquitetura do ambiente, destacando a simetria existente no ciclo de vida do modelo.

Tal simetria evidencia a simplicidade e as semelhanças entre os modelos de processos (o de simulação e o de gestão de processos de negócio) ao longo do ciclo de vida, ficando clara a existência de um modelo único, que contém dados comuns para os modelos de simulação e gestão por processos.

O principal resultado do trabalho de Silva, L. (2013), no entanto, foi o de consolidar conceitos, métodos, e técnicas voltados para a modelagem e análise de sistemas discretos complexos numa versão inicial de uma abordagem unificada para modelagem, simulação e gestão por processos para ser aplicada num contexto de EC.

A principal diferença com relação ao estágio atual desta pesquisa sobre o *Framework CT²P* para ser aplicado na fase de projetos da EC é que Silva, L. (2013) não apresentava uma forma sistemática (não formalizou os

procedimentos) para a evolução gradual dos modelos, o que é feito neste trabalho e recebe o nome de Método de Implementação.

A abordagem de Silva, L. (2013) foi exemplificada por meio de aplicação num contexto de prestação de serviços, referente aos serviços comerciais fornecidos pelo LIT para os parceiros externos ao INPE, não tendo sido explorado o seu potencial para aplicação em engenharia de sistemas, nem mesmo num contexto de produtos não pertencentes à área espacial.

O trabalho de Silva, L. (2013) tampouco contemplava o contexto amplo da organização como parte integrante dos modelos.

Ainda como continuação das pesquisas realizadas pelo grupo ENGESIS, Santos (2013) propôs a aplicação de uma abordagem transdisciplinar para estudos de processos denominada Ciência Transdisciplinar de Processos (CTP) na criação e análise de modelos especializados para auxiliar o gerenciamento de processos voltados para a garantia da qualidade de produtos e serviços da área espacial.

Os modelos de referência eram criados utilizando-se uma abordagem integrada semelhante às propostas por Travassos (2007) e Silva, L. (2013), que eram a seguir construídos e analisados usando-se, de forma simultânea e integrada, técnicas provenientes da Modelagem de Processos, Simulação de Sistemas e Gestão por Processos de Negócios.

Os processos de serviços eram descritos com base numa notação denominada Diagramas para a Modelagem Conceitual Unificada de processos (DMCU), também ainda bastante semelhantes aos DCAs típicos da área de simulação de sistemas, e sem capacidade hierárquica.

Com relação à simbologia utilizada para a construção dos modelos de referência, destaca-se aqui também uma importante contribuição da presente pesquisa, com a extensão da notação DMCU utilizada por Santos (2013), que

passou a ser denominada de Diagramas para a Modelagem Unificada do Ciclo de Vida (DMUCV), como forma de diferenciação entre elas, com capacidade hierárquica e com diversas alterações e extensões registradas na Tabela 2.2, no capítulo 2 deste trabalho.

O estudo de caso apresentado por Santos (2013) descreveu um sistema real, envolvendo um setor do Serviço de Garantia do Produto (SGP) do Departamento de Engenharia e Tecnologia Espacial do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (ETE/INPE).

O objetivo principal do trabalho foi aplicar a metodologia da CT²P ainda em evolução em um novo contexto de pesquisa, voltado para a gestão dos processos de garantia no ciclo de vida de desenvolvimento de produtos espaciais.

Nesse trabalho, Santos (2013) contemplou como estudo de caso somente o aspecto da garantia da qualidade do produto, não contemplando nenhum outro processo, seja da engenharia de produto ou da gestão da produção pela organização.

As contribuições dos trabalhos de Travassos (2007), Silva, L. (2013) e Santos (2013), fizeram com que a metodologia CT²P evoluísse muito de 2007 até o presente momento.

A formalização definitiva da metodologia, na forma de um Método de Implementação, é, no entanto, uma das contribuições relevantes deste trabalho, que pode ser descrita resumidamente da seguinte forma:

A inclusão de novas fases, entre elas a Fase de Definição da Missão que explicita as tarefas de Elicitação, Definição do Problema e Planejamento Estratégico, pois o objeto de estudo pode ser a organização e não somente o produto.

Na fase de Modelagem Conceitual tem-se as tarefas de criação do Modelo *IDEFO* e de criação do Modelo de Referência.

Esta tarefa corresponde ao levantamento das informações sobre o Sistema de Interesse (*SoI*), incluindo as especificações do sistema, os parâmetros de controle do modelo, e eventuais premissas e restrições adicionais. O conjunto das tarefas realizadas na fase de Modelagem Conceitual complementam as definições do sistema, no tocante ao seu escopo, e a determinação dos objetivos do estudo, tarefas estas já executadas na Fase de Definição da Missão, tanto no caso de organizações quanto de produtos.

A Fase de Desenvolvimento do modelo foi melhor explicitada pela descrição detalhada do significado do modelo de engenharia de sistemas, tanto no que se refere às atividades de Bricolagem ou Modelagem Especializada como na Construção/Implementação dos Modelos Especializados.

A Fase de Execução permaneceu inalterada, onde tem-se a adição do projeto de experimento e a experimentação ou execução dos aplicativos dos modelos especializados de acordo com os respectivos ambientes nos quais foram desenvolvidos.

A Fase de Finalização, que passou a ser explicitada como uma nova fase em separado é onde se tem a avaliação dos modelos especializados, realizada de forma individual para cada modelo de acordo com sua disciplina.

Esta avaliação de desempenho do sistema é feita utilizando-se os ambientes especializados de Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos, Gerenciamento de Projetos, Gestão de Processos de Negócio e Modelagem e Simulação e os resultados das experimentações realizadas, formulando-se assim as conclusões e estratégias para a melhoria e evolução do sistema do ponto de vista de cada uma das técnicas individuais.

A Fase de Avaliação Global teve o seu conceito alterado, para que a respectiva avaliação seja realizada de forma comparativa ou integrada, utilizando-se os resultados de cada uma das diversas análises individuais realizadas na Fase de Finalização.

Por fim, foi incluída ainda a Fase de Revisão Holística, onde é feita uma revisão holística da própria metodologia e uma síntese dos resultados obtidos com sua aplicação, buscando-se evoluir a abordagem transdisciplinar de processos por meio das “lições aprendidas” no projeto piloto realizado.

Além dos trabalhos produzidos internamente ao INPE pelo grupo ENGESIS, cabe destacar alguns trabalhos correlacionados, identificados na literatura:

Van Looy (2014) discorre sobre modelos para a maturidade de processos de negócios, que indicam o nível de maturidade atingido por uma organização na sua forma de operar seus processos de negócios.

Esse tema se enquadra num contexto amplo de pesquisa conhecido como *Business Process Maturity Models* (BPMM).

Segundo o *Object Management Group* (OMG, 2008), *BPMM* é um modelo conceitual com base nas "melhores práticas" utilizadas em um domínio, como por exemplo: marketing, operações bancárias, manufatura, finanças, entre outros.

A *BPMM* descreve os elementos essenciais de processos eficazes para um ou mais domínios selecionados.

Esses elementos de processo proporcionam uma base para o controle quantitativo do processo, que é a base para a melhoria contínua do processo.

A *BPMM* descreve também um caminho de melhora evolutiva que orienta as organizações a transformarem seus processos inconsistentes em processos consistentes disciplinados, independentemente dos produtos e serviços que

são prestados ou a forma como os processos são implementados. A *BPMM* se baseia nos princípios, arquitetura, e práticas do CMM (*Capability Maturity Model*) para Software (OMG, 2008).

A literatura sobre *BPMM* é muito ampla com diversos autores, discorrendo sobre os níveis de maturidade que contemplam as 30 (trinta) áreas de processos da *BPMM*, conforme ilustradas na Figura A.6.

Figura A.6 – Áreas de Processos da *BPMM* por nível de maturidade

Maturity Level	Focus	Process Areas
5 Innovating	Organization's processes are continually improved	Organizational Improvement Planning Organizational Performance Alignment Defect and Problem Prevention Continuous Capability Improvement Organizational Innovative Improvement Organizational Improvement Deployment
4 Predictable	Work processes are managed quantitatively to establish predictable results	Organizational Common Asset Management Organizational Capability and Performance Management Product and Service Process Integration Quantitative Product and Service Management Quantitative Process Management
3 Standardized	Organization establishes standard processes and assets for performing the product and service work	Organizational Process Management Organizational Competency Development Organizational Resource Management Organizational Configuration Management Product and Service Business Management Product and Service Work Management Product and Service Preparation Product and Service Deployment Product and Service Operations Product and Service Support
2 Managed	Managers establish a stable work environment in their work unit	Organizational Process Leadership Organizational Business Governance Work Unit Requirements Management Work Unit Planning and Commitment Work Unit Monitoring and Control Work Unit Performance Work Unit Configuration Management Sourcing Management Process and Product Assurance
1 Initial	Individual efforts with no explicit process or organizational support	

Fonte: *OMG* (2008, p. 19 e 20)

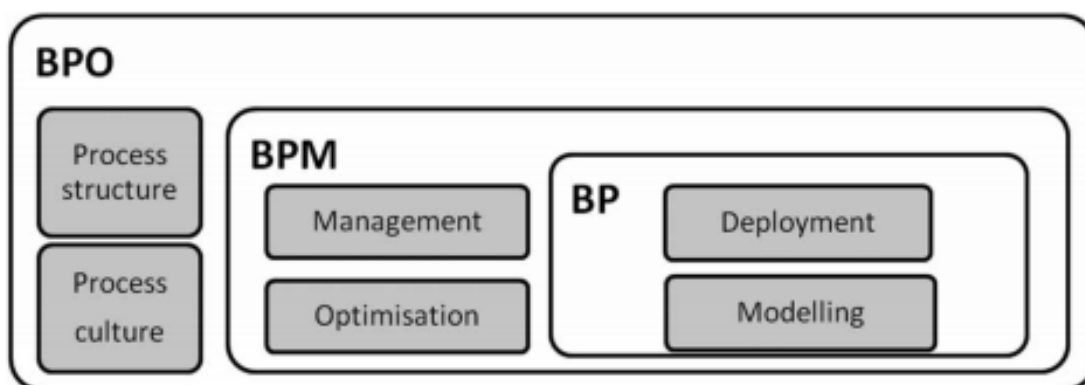
O trabalho de Van Looy contempla o contexto da gestão da organização orientada a processos e a avaliação dos diversos tipos de modelos de maturidade existentes na literatura, sem uma direta interligação direta com o ciclo de vida de desenvolvimento do produto.

O *Framework* conceitual descrito por ela, conforme ilustrado na Figura A.7, busca classificar os diversos tipos de modelos de maturidade existentes na literatura, tomando como base 06 (seis) áreas principais de competências e 17 (dezessete) subáreas.

A pesquisa inspira-se em teorias sobre o ciclo de vida tradicional dos processos de negócio, que são complementados por teorias consagradas de gestão da organização.

A abrangência desse *framework* é validada por 69 modelos de maturidade de processos de negócios (*BPMMs*) para as competências identificadas, baseadas em análise de conteúdo.

Figura A.7 – *Framework* Conceitual



Fonte: Van Looy (2014, p.1125)

No entanto, como não existe um consenso entre os *BPMMs* abordados, uma classificação dos diferentes tipos de maturidade é proposta, baseada na análise de conjunto e análise discriminante.

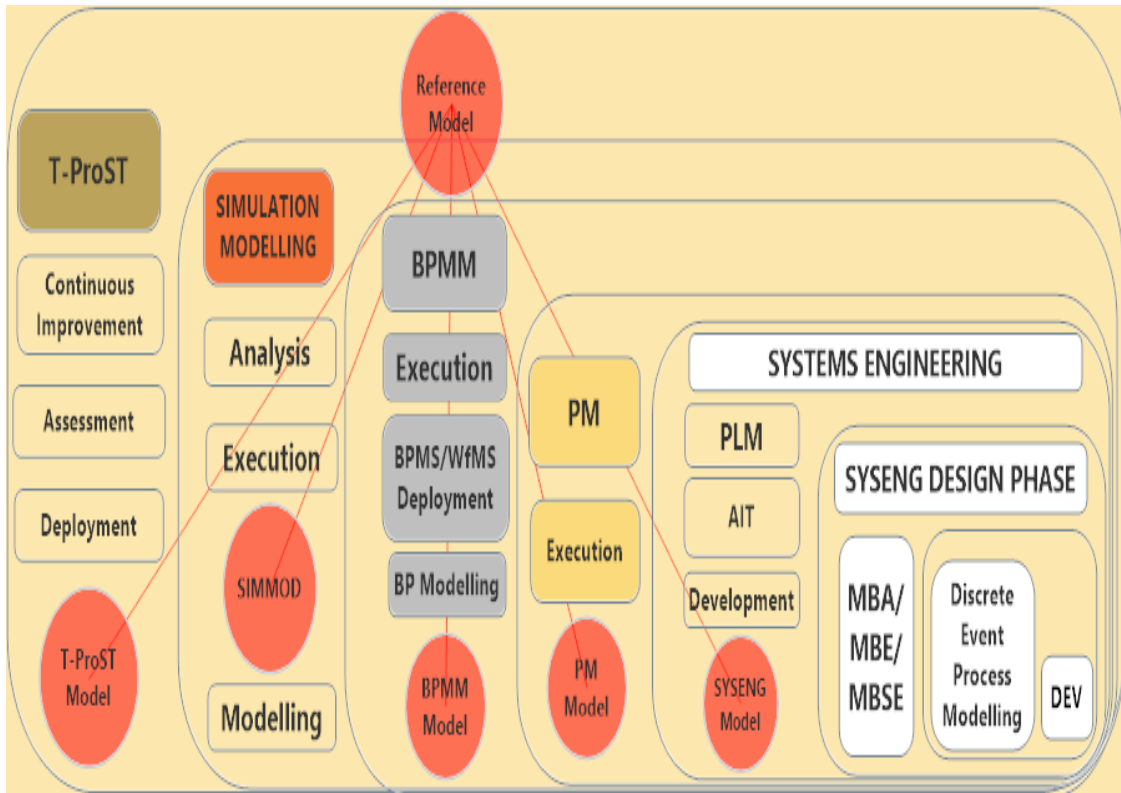
Os caminhos possíveis são as avaliações dos *BPMMs* existentes, direcionamento para novos *BPMMs* ou investigação de quais combinações de competências ou tipos de maturidade contribuem mais para o desempenho de determinadas competências em relação às outras.

A correlação existente entre a CT²P na sua forma atual com o trabalho de Van Looy é que a CT²P pode ser vista como uma forma alternativa de modelagem para se atingir uma melhoria na gestão de processos de negócios, que poderia ser denominada de Modelagem Multifacetada para Melhoria na Gestão de Processos de Negócios (*BPMMM*¹, do inglês, *Business Process Maturity (Multi) Modelling*), onde o modelo multifacetado está concentrado na ideia de permitir uma fusão de disciplinas, a saber: a Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos (MBSE, do inglês, *Model Based Systems Engineering*); o Gerenciamento de Projetos (PM, do inglês, *Project Management*); a Gestão de Processos de Negócios (BPM, do inglês, *Business Process Management*); e a Modelagem e Simulação de Sistemas, conforme ilustrado na Figura A.8.

A finalidade do uso simultâneo dessas disciplinas é a melhoria na construção dos modelos e na execução do Ciclo de Vida do Sistema (CVS), que se compõe dos processos de desenvolvimento de produtos e serviços em geral, bem como dos processos de gestão da organização para a fabricação desses produtos e serviços (KIENBAUM, 2014a).

¹ *BPMMM* - designação dada à abordagem transdisciplinar descrita neste trabalho, correspondendo em português a Modelagem Multifacetada para Melhoria na Gestão de Processos de Negócios e em inglês a *Business Process Maturity (Multi) Modelling*.

Figura A.8 – Arquitetura do Conhecimento – T-PROST/BPMMM



Fonte: Kienbaum (2014a, p. 9)

APÊNDICE B – PROCESSOS DOS GRUPOS DO PCF DA APQC

Os processos que contemplam as categorias 1.0 a 12.0 encontram-se descritos em detalhes em arquivo pdf, que pode ser gerado a partir da *URL (Uniform Resource Locator)* citada abaixo:

<http://www.bmc-eu.com/dokumente/framework/10-prozess-framework-nach-apqc-eng-pcf/download>

As categorias que envolvem todo o ciclo de vida organização estão descritas nos itens B.1 a B.12.

B.1 Desenvolver a Visão e Estratégia

A categoria 1.0 (Desenvolver a Visão e Estratégia) contempla os seguintes grupos:

- 1.1 Definir o Conceito de Negócio e Visão de Longo Prazo;
- 1.2 Desenvolver a Estratégia de Negócio; e
- 1.3 Gerenciar Iniciativas Estratégicas.

B.2 Desenvolver e Gerenciar Produtos e Serviços

A categoria 2.0 (Desenvolver e Gerenciar Produtos e de Serviços) contempla os grupos:

- 2.1 Gerenciar o *Portfólio* de Produtos e de Serviços e
- 2.2 Desenvolver Produtos e Serviços.

O grupo 2.1 – Gerenciar *Portfólio* de Produtos e de Serviços (*Manage Product and Service Portfolio*) contempla os seguintes processos:

- 2.1.1 Avaliar o desempenho dos produtos/serviços existentes contra as oportunidades de mercado (10063)

- 2.1.2 Definir requisitos para desenvolvimento de produtos e serviços (10064)
 - 2.1.2.1 Identificar potenciais melhorias para produtos e serviços existentes (10068)
 - 2.1.2.2 Identificar potenciais novos produtos e serviços (10069)
- 2.1.3 Realizar pesquisa de descoberta (10065)
 - 2.1.3.1 Identificar novas tecnologias (10070)
 - 2.1.3.2 Desenvolver novas tecnologias (10071)
 - 2.1.3.3 Avaliar a viabilidade de integrar novas tecnologias de ponta com conceitos de produtos/serviços (10072)
- 2.1.4 Confirmar o alinhamento dos conceitos de produtos/serviços com a estratégia de negócio (10066)
 - 2.1.4.1 Planejar e desenvolver metas de custo e qualidade (10073)
 - 2.1.4.2 Priorizar e escolher conceitos de novos produtos/serviços (10074)
 - 2.1.4.3 Especificar meta de tempo de desenvolvimento (10075)
 - 2.1.4.4 Planejar a modificação da oferta de produtos/serviços (10076)
- 2.1.5 Gerir ciclo de vida de produtos e serviços (10067)
 - 2.1.5.1 Introduzir novos produtos/serviços (10077)
 - 2.1.5.2 Descartar produtos/serviços ultrapassados (10078)
 - 2.1.5.3 Identificar e refinar indicadores de desempenho (10079)
- 2.1.6 Gerir dados referenciais de produtos e serviços (14192)

O grupo 2.2 - Desenvolver Produtos e Serviços (*Develop Products and Services*) contempla os seguintes processos:

- 2.2.1 Projetar, construir e avaliar produtos e serviços (10080)
- 2.2.1.1 Alocar recursos para o projeto de produtos e serviços (10083)
- 2.2.1.2 Preparar *business case* agregado e avaliações técnicas (10084)
- 2.2.1.3 Desenvolver especificações de projeto de produto/serviço (10085)
- 2.2.1.4 Documentar especificações de projeto (10086)
- 2.2.1.5 Conduzir publicações obrigatórias e opcionais (legais, regulatórias, padrões, internas) (10087)
- 2.2.1.6 Construir protótipos (10088)
- 2.2.1.7 Eliminar problemas de qualidade e confiabilidade (10089)
- 2.2.1.8 Conduzir teste de produto/serviço *in-house* e avaliar a viabilidade (10090)
- 2.2.1.9 Identificar indicadores de *performance* de projeto/desenvolvimento (10091)
- 2.2.1.10 Colaborar no projeto com fornecedores e empresas de manufatura contratados (10092)
- 2.2.2 Testar mercado para produtos e serviços revisados ou novos (10081)
- 2.2.2.1 Preparar estudo de mercado detalhado (10093)
- 2.2.2.2 Conduzir testes e entrevistas com clientes (10094)

- 2.2.2.3 Finalizar características e *business cases* do produto/serviço (10095)
- 2.2.2.4 Finalizar requerimentos técnicos (10096)
- 2.2.2.5 Identificar necessidades de mudança nos processos de manufatura/entrega (10097)
- 2.2.3 Preparar para produção (10082)
 - 2.2.3.1 Desenvolver e testar a produção de protótipos e/ou processo de entrega de serviço (10098)
 - 2.2.3.2 Projetar e obter materiais e equipamentos necessários (10099)
 - 2.2.3.3 Instalar e validar processo ou metodologia de produção (10100)

B.3 Ofertar Produtos e Serviços

A categoria 3.0 (Ofertar Produtos e Serviços) contempla os seguintes grupos:

- 3.1 Entender Mercados, Consumidores e Vantagens Competitivas;
- 3.2 Desenvolver as Estratégias de *Marketing*;
- 3.3 Desenvolver Estratégias de Vendas;
- 3.4 Desenvolver e Gerenciar Planos de *Marketing*; e
- 3.5 Desenvolver e Gerenciar Planos de Vendas.

B.4 Desenvolver Produtos e Serviços

A categoria 4.0 (Desenvolver Produtos e Serviços) contempla os seguintes grupos:

- 4.1 Planejar e Adquirir os Recursos Necessários;

- 4.2 Comprar Materiais e Serviços;
- 4.3 Produzir / Manufaturar / Entregar o Produto;
- 4.4 Fornecer um Serviço ao Cliente; e
- 4.5 Gerenciar a Logística e Armazenamento.

B.5 Gerenciar o Atendimento a Clientes

A categoria 5.0 (Gerenciar o Atendimento a Clientes) contempla os seguintes grupos:

- 5.1 Desenvolver Cuidados com a Estratégia de Atendimento ao Cliente;
- 5.2 Planejar e Gerenciar Serviços de Atendimento ao Cliente; e
- 5.3 Medir e Avaliar as Operações de Atendimento ao Cliente.

B.6 Desenvolver e Gerenciar o Capital Humano

A categoria 6.0 (Desenvolver e Gerenciar o Capital Humano) contempla os seguintes grupos:

- 6.1 Desenvolver e Gerenciar Planejamento, Políticas e Estratégias de RH;
- 6.2 Recrutar e Selecionar Funcionários;
- 6.3 Desenvolver e Orientar Funcionários;
- 6.4 Premiar e Reter Funcionários;
- 6.5 Recolocar e Aposentar Funcionários; e
- 6.6 Gerenciar Informações dos Empregados.

B.7 Gerenciar a Tecnologia da Informação

A categoria 7.0 (Gerenciar a Tecnologia da Informação) contempla os seguintes grupos:

- 7.1 Gerenciar o Negócio de Tecnologia da Informação;
- 7.2 Desenvolver e Gerenciar o Relacionamento do Cliente de *TI*;
- 7.3 Gerenciar Risco e Resiliência do Negócio;
- 7.4 Gerenciar as Informações da Empresa;
- 7.5 Desenvolver e Manter Soluções de Tecnologia da Informação;
- 7.6 Implantar Soluções de *TI*;
- 7.7 Entregar e Apoiar Serviços de Tecnologia da Informação; e
- 7.8 Gerenciar Conhecimento em TI.

B.8 Gerenciar Recursos Financeiros

A categoria 8.0 (Gerenciar Recursos Financeiros) contempla os seguintes grupos:

- 8.1 Executar o planejamento e contabilidade gerencial;
- 8.2 Contabilizar receitas;
- 8.3 Realizar a contabilidade geral e gerar relatórios;
- 8.4 Gerir a contabilidade de projetos de ativos fixos;
- 8.5 Processar a folha de pagamentos;
- 8.6 Processar contas a pagar e reembolsar as despesas;

8.7 Gerir as operações de tesouraria;

8.8 Gerir os controlos internos;

8.9 Gerir os impostos; e

8.10 Gerir os fundos internacionais/fusões.

B.9 Adquirir, Construir e Gerenciar Bens e Equipamentos

A categoria 9.0 (Adquirir, Construir e Gerenciar Bens e Equipamentos) contempla os seguintes grupos:

9.1 Projetar e construir/adquirir ativos não produtivos;

9.2 Manter ativos não produtivos;

9.3 Obter, instalar e planejar manutenção para ativos produtivos;

9.4 Alienar ativos produtivos e não produtivos; e

9.5 Gerir os riscos físicos.

B.10 Gerenciar Saúde, Segurança e Meio Ambiente

A categoria 10.0 (Gerenciar Saúde, Segurança e Meio Ambiente) contempla os seguintes grupos:

10.1 Determinar impactos na saúde, segurança e meio ambiente;

10.2 Desenvolver e executar programas de saúde, segurança e meio ambiente;

10.3 Treinar e educar funcionários;

10.4 Monitorar e gerir os programas de saúde, segurança e meio ambiente;

10.5 Garantir *compliance* com as regulações; e

10.6 Gerir os esforços de remediação.

B.11 Gerenciar as Relações Externas

A categoria 11.0 (Gerenciar as Relações Externas) contempla os seguintes grupos:

11.1 Construir relacionamentos com os investidores;

11.2 Gerir as relações com as empresas e com o governo;

11.3 Gerir as relações com a diretoria;

11.4 Gerir as questões legais e éticas; e

11.5 Gerir os programas de relações públicas.

B.12 Gerenciar o Conhecimento, Melhorias e Mudanças

A categoria 12.0 (Gerenciar o Conhecimento, Melhorias e Mudanças) contempla os seguintes grupos:

12.1 Criar e gerenciar estratégias de desempenho organizacional;

12.2 Avaliar o desempenho;

12.3 Desenvolver para toda a empresa a capacidade de Gestão do Conhecimento (GC); e

12.4 Gerir as mudanças.

APÊNDICE C – GUIA DE CONHECIMENTO DA ENGENHARIA DE SISTEMAS (SEBoK)

O propósito do Guia de Conhecimento da Engenharia de Sistemas (*SEBoK*, 2016) é proporcionar uma base de conhecimento em Engenharia de Sistemas amplamente aceita e regularmente atualizada.

Essa base de conhecimento irá fortalecer o entendimento mútuo entre as várias disciplinas envolvidas em desenvolvimento e operação de sistemas.

As deficiências no tal entendimento mútuo são uma importante fonte de falhas dos sistemas, que têm impactos cada vez mais graves, à medida que os sistemas se tornam cada vez mais globais, interativos e críticos.

Para fornecer uma base para a compreensão mútua desejada, o *SEBoK* (2016) descreve os limites, a terminologia, o conteúdo e a estrutura da Engenharia de Sistemas (SE, do inglês *Systems Engineering*).

Embora a SE seja praticada de diferentes formas de indústria para indústria e de país para país, o *SEBoK* (2016) é escrito para ser útil a engenheiros de sistemas em qualquer lugar.

O *SEBoK* (2016) visa informar sobre conceitos e práticas essenciais em Engenharia de Sistemas a uma grande variedade de comunidades de usuários, de maneira que podem ser adaptados a diferentes atividades, mantendo uma uniformidade e consistência.

Ele fornece um compêndio das principais fontes de conhecimento e referências de engenharia de sistemas que são organizadas e explicadas para ajudar uma ampla variedade de usuários.

O *SEBoK* (2016) é composto por 7 (sete) partes, divididas em 25 (vinte e cinco) áreas do conhecimento, com 114 (cento e catorze) tópicos.

As sete partes são descritas a seguir, para refletir o escopo do conhecimento da ESBM e suas ligações com outras áreas de conhecimento.

C.1 Parte 1 (*Introduction*)

A Parte 1 contempla o escopo, o contexto e a estrutura do *SEBoK* (2016), incluindo a sua organização (hierarquia de partes), áreas de conhecimento e tópicos.

C.2 Parte 2 (*Systems*)

A Parte 2 contém uma visão geral dos conceitos de ciência de sistemas e sua relevância para a engenharia de sistemas.

Essa parte abrange os fundamentos de sistemas, pensamento sistêmico como um conjunto de ideias a serem utilizados em SE e modelagem como um processo central da SE.

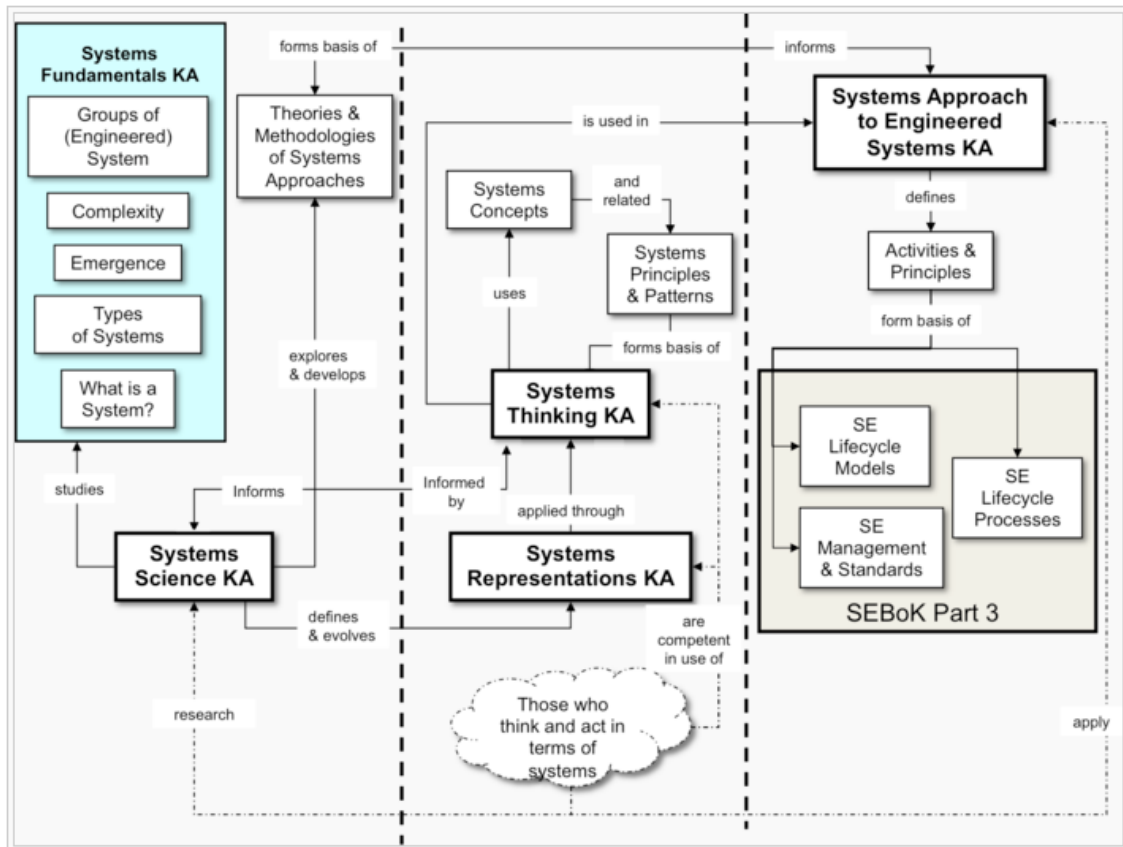
Conclui-se em como elaborar uma abordagem de sistemas para um sistema de engenharia, o que leva naturalmente para as próximas duas partes, que estão preocupadas com a gestão e com a aplicação, partes 3 e 4 respectivamente.

A Parte 2 é constituída das seguintes áreas do conhecimento:

- a) Fundamentos de Sistemas (*Systems Fundamentals*);
- b) Ciência de Sistemas (*Systems Science*);
- c) Pensamento Sistêmico (*Systems Thinking*);
- d) Representações de Sistemas com Modelos (*Representing Systems with Models*); e
- e) Abordagem de Sistemas Aplicada a Engenharia de Sistemas (*Systems Approach Applied to Engineered Systems*).

A Figura C.1 resume a maneira de como o conhecimento da Parte 2 está organizado.

Figura C.1 – Relações entre os principais Sistemas de Ideias e a Engenharia de Sistemas



Fonte: SEBoK (2016, p. 95)

C.3 Parte 3 (Systems Engineering and Management)

A Parte 3 fornece uma base para a engenharia de sistemas de produtos (*product systems*), sistemas de serviços (*service systems*), sistemas corporativos (*enterprise systems*) e sistemas de sistemas (*systems of systems*) fornecendo uma visão geral dos usos comuns de modelos de ciclo de vida em ES; discutindo os processos de ES mais utilizados; fornecendo referências adicionais aos métodos comuns, ferramentas e técnicas utilizadas nesses processos; e discutindo os aspectos de gestão da ES, onde o planejamento,

medição, risco e qualidade estão entre os tópicos. Em seguida está a gestão do ciclo de vida de produtos e serviços, que enfatiza o ciclo de vida completo, incluindo a retirada de operação (*retirement*) e descarte (*disposal*).

Essa parte apresenta um paradigma que identifica o objetivo geral de todos os esforços de engenharia de sistemas que é a transformação das necessidades específicas dos *stakeholders* em um sistema de produtos ou serviços que satisfaçam a essas necessidades, proporcionando uma visão mais profunda sobre como realizar as atividades relacionadas com o ciclo de vida da engenharia de sistemas.

A Parte 3 é constituída das seguintes áreas do conhecimento:

- a) Modelos de Ciclo de Vida (*Lifecycle Models*);
- b) Definição de Conceitos (*Concept Definition*);
- c) Definição de Sistemas (*System Definition*);
- d) Especificação de Sistema (*System Realization*);
- e) Desenvolvimento e Uso do Sistema (*System Deployment and Use*);
- f) Gestão da Engenharia de Sistemas (*Systems Engineering Management*);
- g) Gestão do Ciclo de Vida de Produtos e Serviços (*Product and Service Lifecycle Management*); e
- h) Padrões de Engenharia de Sistemas (*Systems Engineering Standards*).

C.4 Parte 4 (*Applications of Systems Engineering*)

A Parte 4 foca na aplicação de engenharia de sistemas para a criação e gerenciamento do ciclo de vida de vários tipos de sistemas, ou seja, sistemas de produtos (*product systems*), sistemas de serviços (*service systems*),

sistemas corporativos (*enterprise systems*) e sistemas de sistemas (*systems of systems*).

A Parte 4 é constituída das seguintes áreas do conhecimento:

- a) Engenharia de Sistemas do Produto (*Product System Engineering*);
- b) Engenharia de Sistemas de Serviços (*Service Systems Engineering*);
- c) Engenharia de Sistemas Empresariais (*Enterprise Systems Engineering*); e
- d) Sistemas de Sistemas (*Systems of Systems*).

C.5 Parte 5 (*Enabling Systems Engineering*)

A Parte 5 é um guia para o conhecimento sobre como uma empresa se prepara e se posiciona para executar eficazmente as atividades de SE.

Essa parte usa dois termos, "Empresa" e "Negócios", para nomear um único nível de organização, indicando que os dois estão intimamente relacionados.

Em muitos contextos, não é necessário fazer qualquer distinção entre eles: uma empresa pode ser um negócio tradicional, e um negócio pode ser visto como um tipo especial de empresa.

A Parte 5 é constituída das seguintes áreas do conhecimento:

- a) Habilitando Negócios e Empresas (*Enabling Businesses and Enterprises*);
- b) Habilitando Equipes (*Enabling Teams*); e
- c) Habilitando Indivíduos (*Enabling Individuals*).

C.6 Parte 6 (*Related Disciplines*)

A Parte 6 apresenta uma discussão de várias disciplinas relevantes para a engenharia de sistemas, com especial detalhe para a engenharia de software e gestão do programa, mas também incluindo o conhecimento que seria útil para engenheiros de sistemas indicando como eles devem interagir com outras áreas e os especialistas dessas áreas.

Como a *SE* está entrelaçada com a engenharia de *software*, gerenciamento de projetos, engenharia industrial, aquisições e engenharia especializada, essa parte deve equilibrar e integrar itens como confiabilidade, disponibilidade, e facilidade de manutenção.

A Parte 6 é constituída das seguintes áreas do conhecimento:

- a) Engenharia de Sistemas e Engenharia de Software (*Systems Engineering and Software Engineering*);
- b) Engenharia de Sistemas e Gerenciamento de Projetos (*Systems Engineering and Project Management*);
- c) Engenharia de Sistemas e Engenharia Industrial (*Systems Engineering and Industrial Engineering*);
- d) Engenharia de Sistemas e Aquisições (*Systems Engineering and Procurement/Acquisition*); e
- e) Engenharia de Sistemas e Engenharia Especializada (*Systems Engineering and Specialty Engineering*).

C.7 Parte 7 (*Systems Engineering Implementation Examples*)

A Parte 7 contempla um conjunto exemplos de implementação de sistemas de engenharia, os quais descrevem a aplicação de práticas de *SE*, princípios e conceitos em situações reais.

A intenção é fornecer exemplos típicos da aplicação da SE para que os leitores possam aprender com essas experiências. Isso pode melhorar a prática da SE, ilustrando a estudantes, educadores e profissionais os benefícios da prática eficaz, bem como os riscos e responsabilidades de práticas não recomendadas.

A Parte 7 é constituída das seguintes áreas do conhecimento:

- a) Matriz de Exemplos de Implementação (*Matrix of Implementation Examples*);
- b) Estudos de Casos (*Case Studies*); e
- c) Vinhetas (*Vignettes*).

PUBLICAÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS EDITADAS PELO INPE

Teses e Dissertações (TDI)

Teses e Dissertações apresentadas nos Cursos de Pós-Graduação do INPE.

Manuais Técnicos (MAN)

São publicações de caráter técnico que incluem normas, procedimentos, instruções e orientações.

Notas Técnico-Científicas (NTC)

Incluem resultados preliminares de pesquisa, descrição de equipamentos, descrição e ou documentação de programa de computador, descrição de sistemas e experimentos, apresentação de testes, dados, atlas, e documentação de projetos de engenharia.

Relatórios de Pesquisa (RPQ)

Reportam resultados ou progressos de pesquisas tanto de natureza técnica quanto científica, cujo nível seja compatível com o de uma publicação em periódico nacional ou internacional.

Propostas e Relatórios de Projetos (PRP)

São propostas de projetos técnico-científicos e relatórios de acompanhamento de projetos, atividades e convênios.

Publicações Didáticas (PUD)

Incluem apostilas, notas de aula e manuais didáticos.

Publicações Seriadas

São os seriados técnico-científicos: boletins, periódicos, anuários e anais de eventos (simpósios e congressos). Constam destas publicações o International Standard Serial Number (ISSN), que é um código único e definitivo para identificação de títulos de seriados.

Programas de Computador (PDC)

São a seqüência de instruções ou códigos, expressos em uma linguagem de programação compilada ou interpretada, a ser executada por um computador para alcançar um determinado objetivo. São aceitos tanto programas fonte quanto executáveis.

Pré-publicações (PRE)

Todos os artigos publicados em periódicos, anais e como figus de livros.

