



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

sid.inpe.br/mtc-m21c/2018/08.15.17.31-TDI

ANÁLISE DE MODELOS DE ESTIMATIVA DE CUSTOS PARA O DESENVOLVIMENTO DE MISSÕES ESPACIAIS

Adrielle Chiaki Hantani Moritsuka

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais, orientada pelo Dr. Milton de Freitas Chagas Junior, aprovada em 15 de agosto de 2018.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/3RL7EQH>>

INPE
São José dos Campos
2018

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Gabinete do Diretor (GBDIR)
Serviço de Informação e Documentação (SESID)
CEP 12.227-010
São José dos Campos - SP - Brasil
Tel.:(012) 3208-6923/7348
E-mail: pubtc@inpe.br

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

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

Membros:

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

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

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

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

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

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

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

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon

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

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

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

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

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Ivone Martins - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

Murilo Luiz Silva Gino - Serviço de Informação e Documentação (SESID)



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

sid.inpe.br/mtc-m21c/2018/08.15.17.31-TDI

ANÁLISE DE MODELOS DE ESTIMATIVA DE CUSTOS PARA O DESENVOLVIMENTO DE MISSÕES ESPACIAIS

Adrielle Chiaki Hantani Moritsuka

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais, orientada pelo Dr. Milton de Freitas Chagas Junior, aprovada em 15 de agosto de 2018.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/3RL7EQH>>

INPE
São José dos Campos
2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Moritsuka, Adrielle Chiaki Hantani.

M826a Análise de modelos de estimativa de custos para o desenvolvimento de missões espaciais / Adrielle Chiaki Hantani Moritsuka. – São José dos Campos : INPE, 2018.

xx + 135 p. ; (sid.inpe.br/mte-m21c/2018/08.15.17.31-TDI)

Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2018.

Orientador : Dr. Milton de Freitas Chagas Junior.

1. Estimativa de custo. 2. Modelos de custo. 3. Sistemas espaciais. 4. Ferramentas de estimativa de custo. I.Título.

CDU 629.78(083.78)



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): **Adrielle Chiaki Hantani Moritsuka**

Título: "ANÁLISE DE MODELOS DE ESTIMATIVA DE CUSTOS PARA O DESENVOLVIMENTO DE MISSÕES ESPACIAIS".

Aprovado (a) pela Banca Examinadora em cumprimento ao requisito exigido para obtenção do Título de **Mestre** em **Engenharia e Tecnologia Espaciais/Eng. Gerenc. de Sistemas Espaciais**

Dra. Maria do Carmo de Andrade Nono

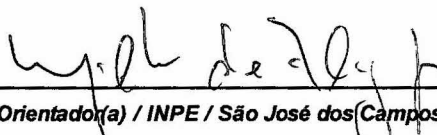


Presidente / INPE / SJC Campos - SP

Participação por Vídeo - Conferência

Aprovado Reprovado

Dr. Milton de Freitas Chagas Junior



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

Participação por Vídeo - Conferência

Aprovado Reprovado

Dr. Maurício Gonçalves Vieira Ferreira



Membro da Banca / INPE / SJC Campos - SP

Participação por Vídeo - Conferência

Aprovado Reprovado

Dr. Irineu dos Santos Yassuda



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

Participação por Vídeo - Conferência

Aprovado Reprovado

Este trabalho foi aprovado por:

maioria simples

unanimidade

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família pelo amor e carinho. Aos meus pais por todo apoio dado. Ao meu irmão por todos os conselhos dado. E ao meu noivo que sempre esteve ao meu lado nos momentos difíceis e felizes também. Sem o auxílio deles provavelmente não estaria onde estou atualmente.

Agradeço ao professor Dr. Bogossian, por todo o ensinamento fornecido e todo o auxílio prestado, e por ser sempre uma inspiração para mim. Agradeço ao professor Dr. Chagas por me auxiliar na etapa final do projeto.

Por fim, agradeço ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais e a CAPES por me fornecer a oportunidade e os recursos para realização deste trabalho e do meu aprimoramento profissional.

RESUMO

Atualmente as estimativas de custo realizadas na área de Pesquisa Espacial são feitas de forma empírica e carecem de uma metodologia específica, tornando a estimativa de custo muito fora de sua realidade. Existem ferramentas de estimativa de custo desenvolvidas por instituições de outros países, porém, não são implementadas no Brasil. Com esse pensamento, a motivação desta pesquisa é auxiliar o desenvolvimento de projetos, realizando o levantamento de todas as informações dos trabalhos conhecidos, estudando-os e obtendo suas principais características que permitam estabelecer as bases para que no futuro se possa desenvolver um modelo nacional.

Palavras-chave: Estimativa de custo, Modelos de custo, Sistemas espaciais e Ferramentas de estimativa de custo.

ANALYSIS OF COST ESTIMATION MODELS FOR THE DEVELOPMENT OF SPACE MISSIONS

ABSTRACT

Currently the cost estimations conducted in the Space Research are made empirically and lack a specific methodology, making the cost estimation out of your reality. There are available tools for cost estimation developed by others countries institutes, however, they are not implemented in Brazil. With this in mind, the motivation of this research is to help the development of projects, making the lifting of information from known work, studying them and getting yours main characteristics that allow to establish the basis that in the future it will be possible develop a national model.

Key-words: Cost estimation, Cost model, Space systems and Tools of cost estimation

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 2.1 – Organizações e personagens que possuem papéis chave nas missões espaciais	9
Figura 2.2 - Arquitetura de uma missão espacial	12
Figura 2.3 - Fases dos programas de desenvolvimento espacial.....	13
Figura 2.4 - Ciclo de vida da NASA.....	17
Figura 2.5 - Ciclo de vida utilizado pelo DoD.....	21
Figura 2.6 - Custo do ciclo de vida (compromisso e cumulativo) durante as fases do projeto.....	25
Figura 2.7 - Curva hipotética do custo x Design de vida da espaçonave	26
Figura 2.8 - Exemplo de Work Breakdown Structure (WBS).....	30
Figura 2.9 - Abordagem do ciclo de vida da análise de custo	35
Figura 2.10 - Derivando CERs de dados presentes	41
Figura 2.11 - Exemplo simples de CER	56
Figura 2.12 - Processo da estimativa de custo desenvolvido pelo Government Accountability Office	64
Figura 2.13 - Processo de estimativa de custo.....	65
Figura 2.14 – Processo de estimativa de custo da NASA	66
Figura 3.1 – Densidade de probabilidade da estimativa de custo resultada da análise de custo-risco.....	91
Figura 3.2 – Estudo do design de vida do FireSat.....	95
Figura 5.1 – Ciclo de vida de um projeto cubesat e suas revisões.....	100
Figura 5.2 – Comparação dos processos de estimativa de custo	119
Figura 5.3 – Escala do nível de maturidade tecnológica	124
Figura 5.4 – Cenário genérico para desenvolvimento de tecnologia.....	129
Figura 5.5 - Visão alternativa do desenvolvimento de tecnologia.....	130

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
Tabela 2.1 - Categorias de custo dos sistemas espaciais.....	28
Tabela 2.2 - Estimativa de custos como parte da atividade comercial geral..	29
Tabela 2.3 - CERs para estimar o custo do subsistema RDT&E (FY00\$K) ...	43
Tabela 2.4 - CERs para estimar o custo do subsistema TFU (<i>Theoretical First Unit</i>).....	44
Tabela 2.5 - CERs para satélites de pequeno porte para orbitar ao redor da Terra incluindo RDT&E e TFU.....	45
Tabela 2.6 - Alocação de custo no Nível de Programa	47
Tabela 2.7 - Separação do custo de satélites de pequeno porte	49
Tabela 2.8 - Fatores para o desenvolvimento hereditário	50
Tabela 2.9 - Custo de desenvolvimento de <i>Software</i>	50
Tabela 2.10 - Modelo de custo do desenvolvimento do segmento terrestre ..	51
Tabela 2.11 - Custo de operações e apoio em FY00\$	52
Tabela 2.12 - Terminais terrestres, antenas e eletrônicos de comunicação ..	52
Tabela 2.13 - Custo do veículo lançador em FY00\$M	53
Tabela 2.14 – Etapas do processo de estimativa de custo paramétrico	58
Tabela 2.15 – Vantagens, desvantagens e aplicações do método paramétrico	59
Tabela 2.16 – Vantagens, desvantagens e aplicações do método por analogia.....	61
Tabela 2.17 – Vantagens, desvantagens e aplicações do método bottom-up	63
Tabela 2.18 – Processo de estimativa de custo da NASA	67
Tabela 2.19 – Processo de estimativa de custo da ESA.....	71
Tabela 2.20 – Processo de estimativa de custo do DoD	73
Tabela 3.1 - Valores utilizados no sistema espacial FireSat	80
Tabela 3.2 - Estimativa preliminar dos parâmetros da espaçonave FireSat ..	82

Tabela 3.3 - Custo para os segmentos espacial e de lançamento do FireSat baseados nos dados das Tabelas 2.3, 2.4 e 3.1 para design de satélites tradicionais. Dados de entrada foram retirados das Tabelas 3.1 e 3.2 (FY00\$K)	83
Tabela 3.4 - Custo para os segmentos de espacial e lançamento do FireSat baseados nos dados da Tabela 3.1, CER para satélites pequenos da Tabela 2.5 e índices para outros componentes na Tabela 2.7 (FY00\$K).....	84
Tabela 3.5 - Custo dos segmentos de terrestres e de operações do FireSat (FY00\$K).....	87
Tabela 3.6 - Custo anual das operações e manutenções do FireSat (FY00\$K)	87
Tabela 3.7 - Estimativa de custo geral do ciclo de vida do FireSat (FY00\$K)	88
Tabela 3.8 - Estimativa de custo do TFU utilizando os TRLs determinados para cada elemento (FY00\$K)	89
Tabela 3.9 - Efeito de uma curva de aprendizagem de 95%.....	90
Tabela 3.10 - Distribuição de tempo dos custos do FireSat	90
Tabela 3.11 - Estimativa de custo do ciclo de vida do FireSat de acordo com a vida útil adotada (FY00\$K).....	93
Tabela 5.1 - Fases do ciclo de vida da ESA e as suas respectivas revisões .	98
Tabela 5.2 – Custo para realizar cada TRL.....	127
Tabela 5.3 - Nível de prontidão tecnológica e seu risco	128

LISTA DE SIGLAS

ADCS - Attitude Determination & Control Subsystem (Determinação de attitude e sistema de controle)

AKM – Apogeu Kick Motor

AR – Acceptance Review (Revisão de aceitação)

BAS – Business Agreement Structure

C&DH – Communication and Data Handling (Comunicação e tratamento de dados)

CBS – Cost Breakdown Structure

CDR – Critical Design Review (Revisão crítica de design)

CER – Cost Estimation Relationship

DR – Decommissioning Review (Revisão de descomissionamento)

EPS – Electrical Power Subsystem (Sistema de potência elétrica)

FRR – Flight Readiness Review (Revisão de prontidão de voo)

FY – Fiscal Year (Ano fiscal)

GEO – Órbita Geoestacionária

GSE – Ground Support Equipment (Equipamento de apoio terrestre)

GTO – Órbita de Transferência Geossíncrona

IA&T – Integration, Assembly, and Test (Integração, Montagem e Teste)

IOC – Initial Operating Capacity (Capacidade de operação inicial)

KLOC – Milhares de Linhas de Código

LEO – Órbita Terrestre Baixa

LOOS – Launch and Orbital Operations Support (Operações de Lançamento e Órbita)

MCR – Mission Concept Review (Revisão de conceito da missão)

MDR – Mission Definition Review (Revisão da definição da missão)

MLE – Most Likely Estimates (Estimativas mais prováveis)

MTBF – Mean Time Between Failures (Tempo médio entre os fracassos)

O&M – Operações e Manutenção

ORR – Operational Readiness Review (Revisão de prontidão de operação)

PDR – Preliminary Design Review (Revisão de design preliminar)

PMM - Plataforma MultiMissão

PRR – Preliminary Requirements Review (Revisão preliminar de requisitos)

PV – Present Value (Valor presente)

QR – Qualification Review (Revisão de qualificação)

RDT&E – Pesquisa, Desenvolvimento, Teste e Avaliação

SAR – System Acceptance Review (Revisão de aceitação do sistema)

SDR – System Definition Review (Revisão de definição do sistema)

SE – Standard Error (Erro padrão)

SE&I – System Engineering and Integration (Engenharia de Sistemas e Integração)

SRR – System Requirements Review (Revisão dos requisitos do sistema)

SSCM – Small satellite cost model

TFU – Theoretical First Unit

TRL – Technology Readiness Level (Nível de prontidão tecnológica)

TT&C – Telemetry, Tracking and Command (Telemetria, rastreamento e comando)

TT&C/DH – Telemetria, Rastreamento e Comando

UHF/VHF – Ultra High Frequency/Very High Frequency

WBS – Work Breakdown Structure

WP – Work Package

WPD – Work Package Description

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 INTRODUÇÃO	1
1.1. Delimitação do problema.....	3
1.2. Objetivos	4
1.3. Justificativa.....	4
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	6
2.1. Ciclo de vida do projeto.....	7
2.1.1. Ciclo de vida NASA	16
2.1.2. Ciclo de vida ESA.....	19
2.1.3. Ciclo de vida DoD.....	20
2.1.4 Ciclo de vida INPE	23
2.2. Estimativa de custo	24
2.2.1. Requisitos para a estimativa de custo	27
2.2.2. Organizando para a estimativa.....	33
2.2.3. Obtenção de dados históricos	36
2.2.4. Saída	38
2.3. Cost Estimation Relationship (CER).....	40
2.4. Métodos de Estimativa de Custo.....	54
2.4.1. Julgamento do expert ou método wideband delphi	55
2.4.2. Paramétrico.....	56
2.4.3. Analogia	59
2.4.4. Estimativa de custo bottom-up	61
2.5. Processo de Estimativa de Custo.....	63

2.5.1. Processo de estimativa de custo NASA	66
2.5.2. Processo de estimativa de custo ESA.....	70
2.5.3. Processo de estimativa de custo DoD.....	73
3 EXEMPLO DE APLICAÇÃO DA ESTIMATIVA DE CUSTO	79
3.1. FIRESAT	79
4 METODOLOGIA	96
5 ANÁLISE DOS PROCESSOS DE ESTIMATIVA DE CUSTO	97
5.1. Ciclo de vida adotado para missões espaciais nacionais.....	97
5.2. Definições da missão	101
5.3. Processo de estimativa de custo para missões espaciais.....	113
5.4. Processo de estimativa de custo para missões espaciais nacionais.....	120
5.5. Métodos de estimativa de custo para as fases do ciclo de vida	122
5.6. Lidando com o risco	123
6 CONCLUSÃO	132
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	134

1. INTRODUÇÃO

Esta dissertação apresenta a pesquisa de mestrado, intitulada *Análise dos Modelos de Avaliação de Custo para as fases Iniciais do Desenvolvimento de uma Missão Espacial*, cujo objetivo é de estudar as fases iniciais, até a definição preliminar do projeto e como realizar a sua estimativa de custo de uma missão espacial, além de determinar os dados mais importantes para compor um banco de dados.

Desenvolver um sistema espacial é uma atividade complexa e de longa duração. Nos países em que a tecnologia necessária se encontra disponível, o desenvolvimento de um satélite é realizado de quatro a seis anos. Para os satélites que não possuem tecnologias conhecidas, e que é necessário o desenvolvimento dentro do contexto do projeto, tendem a ter um aumento significativo do custo e do risco. Como exemplo, destaca-se o satélite *James Webb Space Telescope*, cujo primeiro conceito estabelecido foi em 1989, sendo que em 2012 foi refeito totalmente com uma nova tecnologia.

No INPE, o projeto Plataforma MultiMissão (PMM) foi iniciado em 2001 e após diversas reprogramações estima-se que o primeiro satélite utilizando esta plataforma, o Amazonia-1, tenha o seu primeiro modelo de voo concluído no primeiro semestre de 2019. O PMM faz parte do Programa Nacional de Atividades Espaciais (PNAE) que é um instrumento de planejamento do Programa Espacial Brasileiro (PEB) que busca orientar suas ações por períodos de dez anos.

O PNAE é coordenado pela Agência Espacial Brasileira (AEB). As bases e veículos lançadores são desenvolvidos pelo Comando-Geral de Tecnologia Aeroespacial (CTA). Os satélites, plataformas orbitais e cargas úteis são desenvolvidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

O PNAE atual se encontra na sua quarta edição e abarca o período 2012-2021, contemplando aspectos relacionados às Missões, aos Meios de Acesso ao

Espaço, às Aplicações e as Programas Científicos, Tecnológicos e Educacionais de acordo com a Agência Espacial Brasileira (AEB, 2018).

O PNAE tem três focos principais: sociedade, autonomia e indústria. AEB afirma que no âmbito da sociedade, o foco está no desenvolvimento de aplicações espaciais utilizando-se dos recursos e técnicas espaciais para responder a demanda por soluções de diversos problemas e necessidades nacionais voltados para o bem-estar da sociedade. Que tem abrange as áreas de telecomunicações, levantamento e prospecção de recursos naturais, acompanhamento de alterações do meio ambiente, vigilância das fronteiras e costas marítimas, meteorologia e previsão de tempo e clima, combate a desastres naturais e redução de desigualdades regionais.

No eixo que se trata da autonomia, AEB afirma que o desafio está no estabelecimento e construção de competências técnicas, científicas e tecnológicas na área espacial do país, para que seja possível atuar com autonomia na seleção de alternativas tecnológicas para a solução de problemas brasileiros com o desenvolvimento de soluções próprias para problemas científicos específicos do território brasileiro. O que implica na necessidade de construção e desenvolvimento de uma capacidade mínima tecnológica para produzir sistemas espaciais completos, envolvendo satélites, bem como veículos lançadores capazes de colocar esses satélites em órbita a partir do centro de lançamento próprio do país.

E o terceiro eixo do PNAE é a indústria, que demonstra a necessidade da adequação do setor produtivo brasileiro para participar e adquirir competitividade em mercados de bens e serviços espaciais. AEB afirma que para esse efeito, a capacitação de mão de obra, estímulos à inovação e à produtividade bem como o domínio das tecnologias espaciais críticas são indispensáveis ao avanço industrial e à conquista de maior competitividade no mercado global.

A estimativa de custo de missões espaciais auxilia na determinação de como será gerenciado o projeto e como o custo, cronograma e pessoas podem ser realocados durante o desenvolvimento do projeto para poder melhor atender os

requisitos necessários para o sucesso da missão. Algumas vezes o projeto espacial pode ultrapassar a estimativa de custo e cronograma, porém caso funcione perfeitamente no ambiente desejado, o projeto é considerado um sucesso. E todas as informações geradas por essa missão poderão ser coletadas e armazenadas em um banco de dados para que futuramente não ocorra o mesmo erro, ou para que possa auxiliar nas tomadas de decisões em missões espaciais futuras.

O gerenciamento das atividades é complexo, e a necessidade de supervisão é requerida em todos os níveis de agregação para que se possa garantir a qualidade do produto. Para o controle da configuração é necessário garantir que a documentação esteja no mesmo estado de atualização dos produtos (hardware e software), aliadas às próprias atividades de desenvolvimento, verificação e operação, dando uma ideia da complexidade das atividades envolvidas, portanto, dos custos vinculados.

A fase de desenvolvimento se inicia com poucos dados para a realização da estimativa de custo e devido a isso, deve-se levar em consideração os principais parâmetros (também conhecidos como *cost drivers*) e relacioná-los ao custo, de acordo com o Wertz (2005). À medida que a fase avança, pode-se encontrar dados mais detalhados, tornando possível estimar o custo da missão espacial de forma mais precisa. Todos os dados utilizados ao decorrer do desenvolvimento do projeto devem ser armazenados em um banco de dados de forma mais detalhada possível para auxiliar no desenvolvimento de missões futuras.

1.1 Delimitação do problema

A dissertação aborda os métodos de estimativa de custo mais utilizados: paramétrica, por analogia e bottom-up, além do estudo dos processos utilizados para estimar o custo de outras instituições de pesquisas espaciais.

Será feita a análise somente dos métodos de estimativa de custo de sistemas espaciais, os métodos utilizados na indústria não serão abordados nesta dissertação. E não será feito um estudo de caso, somente a análise dos

melhores processos e métodos de estimativa de custo para auxiliar em estudos futuros em relação à estimativa de custo de missões espaciais, porém será apresentado como exemplo a forma como é feita a estimativa de custo o FireSat.

A pesquisa analisa quais são as informações importantes para a criação de um banco de dados, além de indicar os melhores métodos de estimativa de custo para cada fase da missão espacial e determina o melhor processo a ser utilizado em missões espaciais nacionais.

1.2 Objetivo

1.2.1 Geral

A pesquisa tem como objetivo geral determinar os fatores relevantes, dados históricos de custo importantes a serem armazenados, métodos e processos de estimativa de custo, além das ferramentas de apoio necessárias para efetuar estimativas de custo mais precisas nas fases iniciais dos projetos de missões espaciais brasileiras.

1.2.2 Especifico

A pesquisa tem como objetivos específicos:

- a)** Estabelecer os dados relevantes e disponíveis nas fases iniciais (0, A e B) para estimativas de custo.
- b)** Estabelecer os parâmetros relevantes que devem ser considerados nos custos de missões espaciais no contexto nacional.
- c)** Avaliar a aplicabilidade dos métodos e processos existentes para estimar as categorias de missões espaciais nacionais

1.3 Justificativa

A estimativa de custo é uma parte muito importante de um projeto, pois é a partir desta estimativa que será determinada se será viável ou não a sua realização. A partir desta estimativa determina-se qual será a quantidade de mão de obra, o material e o espaço de trabalho necessário para a realização deste projeto. Pode-se determinar qual será o cronograma do projeto e quais serão as áreas que terão mais flexibilidade em relação à sua duração e ao seu custo.

Para a criação de um método de estimativa de custo para o uso específico de missões espaciais brasileiro é necessário o conhecimento de quais são os dados mais importantes para a estimativa de custo nacional, que é o objetivo desta dissertação.

As informações fornecidas pela estimativa de custo podem ser documentadas e armazenadas em um banco de dados para que possam ser utilizados como referência em missões espaciais que serão desenvolvidos futuramente. Quanto mais informações estiverem presentes no banco de dados em relação às estimativas de custo desenvolvidas pela própria instituição, melhores serão as estimativas de custo futuras.

Trabalhos futuros poderão utilizar esta dissertação como base para o estudo do banco de dados com as informações de satélites desenvolvidos pela instituição. Além de tornar possível a criação de uma ferramenta para estimativa de custo de missões espaciais nacionais.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Genericamente, um projeto pode ser definido como um empreendimento qualquer a ser realizado por uma organização, seguindo a linha apresentada pelo PMBOK (2013), que sugere que um projeto é uma atividade temporária que visa entregar um produto único em uma situação organizacional de exceção de acordo com o Bernal (2016).

Para determinar o sucesso de um projeto, já que depende de um contexto único, deve ser feita uma avaliação por critérios peculiares, mas que podem ser generalizados, a partir dos objetivos a serem cumpridos (traduzidos por detalhamento do escopo do trabalho) em um cronograma determinado e orçamentos previamente acordados. Porém, a determinação do sucesso do projeto deve-se a satisfação explícita dos principais stakeholders.

Na concepção do PMBOK (2013) o sucesso de um projeto significa finalizá-lo realizando todo o escopo acordado com os stakeholders:

- Cumprindo o cronograma planejado e aprovado;
- Dentro do orçamento planejado e aprovado;
- Com a qualidade especificada no planejamento do escopo;
- Com o risco adequado à exposição pretendida pela empresa;
- Obtendo a manifestação explícita da satisfação dos principais stakeholders do projeto.

Porém, em missões espaciais que possuem características únicas, a forma mais precisa de se determinar o sucesso do projeto é através da realização do objetivo principal da missão. Mesmo que a missão saia mais caro ou demore mais do que esperado, caso o objetivo principal do projeto seja alcançado ele pode ser considerado um sucesso. E as informações geradas por essa missão podem servir de base para projetos similares futuros. Criando assim, uma curva

de aprendizagem que irá auxiliar em missões que serão desenvolvidos pela instituição futuramente.

2.1 Ciclo de vida do projeto

De acordo com Bernal (2016), o ciclo de vida de um projeto é um conjunto de fases que compõem o projeto do começo ao fim. Wertz (2005) afirma que um ciclo de vida de uma missão espacial é desenvolvido ao decorrer de quatro fases:

- a) Exploração de conceito:** é a fase inicial de estudo que resulta na definição da missão espacial e os seus componentes.
- b) Desenvolvimento detalhado:** é a fase de design formal que resulta em uma definição detalhada dos componentes do sistema e, em um programa maior, o desenvolvimento de teste do software e do hardware.
- c) Produção e implantação:** consiste na construção do hardware e software terrestre e de voo, e o lançamento do satélite completo.
- d) Operação e suporte:** é o dia a dia operacional do sistema espacial, a manutenção e o suporte, e a recuperação no final da sua vida útil da missão espacial.

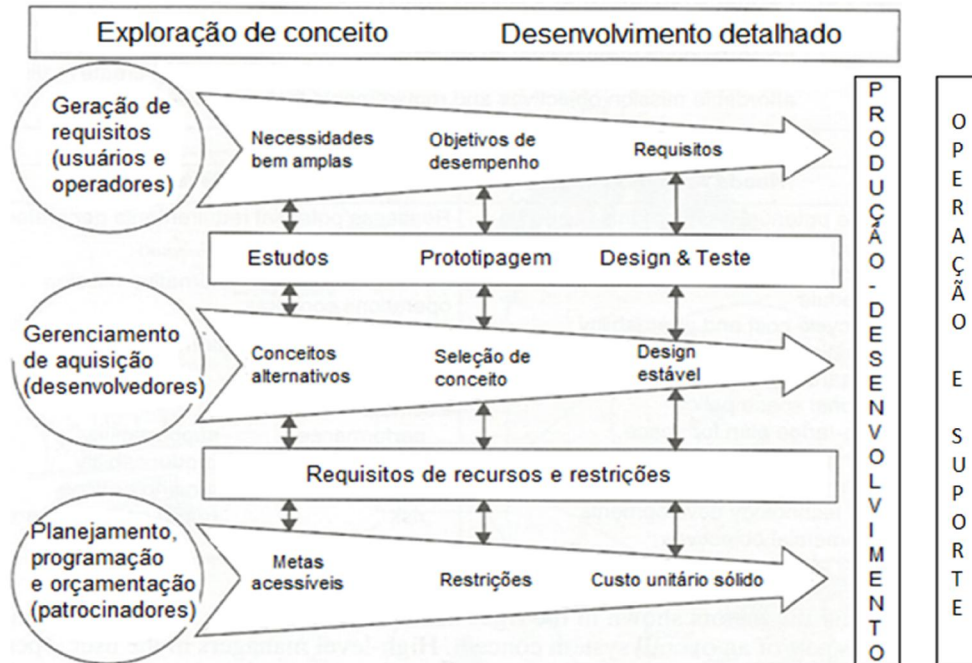
Essas fases podem ser divididas e nomeadas de forma diferente de acordo com o responsável pelo projeto. O tempo requerido para desenvolver o projeto do começo até o fim da sua vida útil pode variar, de acordo com Wertz (2005).

Para projetos maiores e mais complexos podem ser desenvolvidos em um período de 10 a 15 anos e para a sua operação são necessários de 5 a 15 anos, enquanto que para projetos menores e relativamente mais simples necessitam de 12 a 18 meses para serem desenvolvidos e cerca de 6 meses a vários anos para operar.

Para Wertz (2005), três atividades básicas ocorrem durante a fase de exploração conceitual: a geração de requisitos (que são fornecidos pelos usuários e

operadores), gerenciamento de aquisição (que é desenvolvido pelos desenvolvedores) e planejamento (programação e desenvolvimento de orçamento que são desenvolvidos pelas instituições responsáveis pelo controle do programa de orçamento, como exemplo a NASA). Wertz (2005) afirma que os usuários e operadores desenvolvem e coordenam um conjunto de objetivos de necessidades e desempenho baseados no conceito de operação geral. Enquanto isso, desenvolvedor gera conceitos alternativos para encontrarem com as necessidades dos usuários e a comunidade de operação. Os responsáveis pelo controle do orçamento devem desenvolver um planejamento a longo termo, além de uma estrutura geral do programa e estimar as necessidades orçamentais e a quantidade de financiamento disponível para encontrar com as necessidades dos usuários, operadores e desenvolvedores. Para que o projeto possa ser bem sucedido, na produção e implantação de uma nova capacidade espacial, os quatro personagens chave nessa atividade devem integrar o mais próximo possível as suas áreas de responsabilidade, como pode ser mostrado na Figura abaixo:

Figura 2.1: Organizações e personagens que possuem papéis chave nas missões espaciais.



Fonte: Wertz (2005).

Wertz (2005) enfatiza que a fase de exploração de conceito é dividida mais em frente no projeto, em análise de necessidade e desenvolvimento de conceito.

A análise de necessidade irá gerar os potenciais requisitos baseados nos:

- Objetivos da missão;
- Conceito da operação;
- Cronograma;
- Custo do ciclo de vida e acessibilidade;
- Mudança de mercado;
- Necessidades de pesquisa;

- Política espacial nacional;
- Plano espacial em longo prazo;
- Doutrina militar;
- Desenvolvimento de novas tecnologias;
- Objetivos comerciais.

O desenvolvimento de conceito irá realizar:

- Reavaliação de requisitos potenciais gerados durante a análise de necessidade;
- Desenvolvimento e reavaliação de conceitos de operação de missão alternativos;
- Desenvolvimento e reavaliação de arquiteturas espaciais alternativos;
- Estimativa: desempenho, custo do ciclo de vida, cronograma, risco, sustentabilidade, produtividade, perfil de financiamento e retorno do investimento.

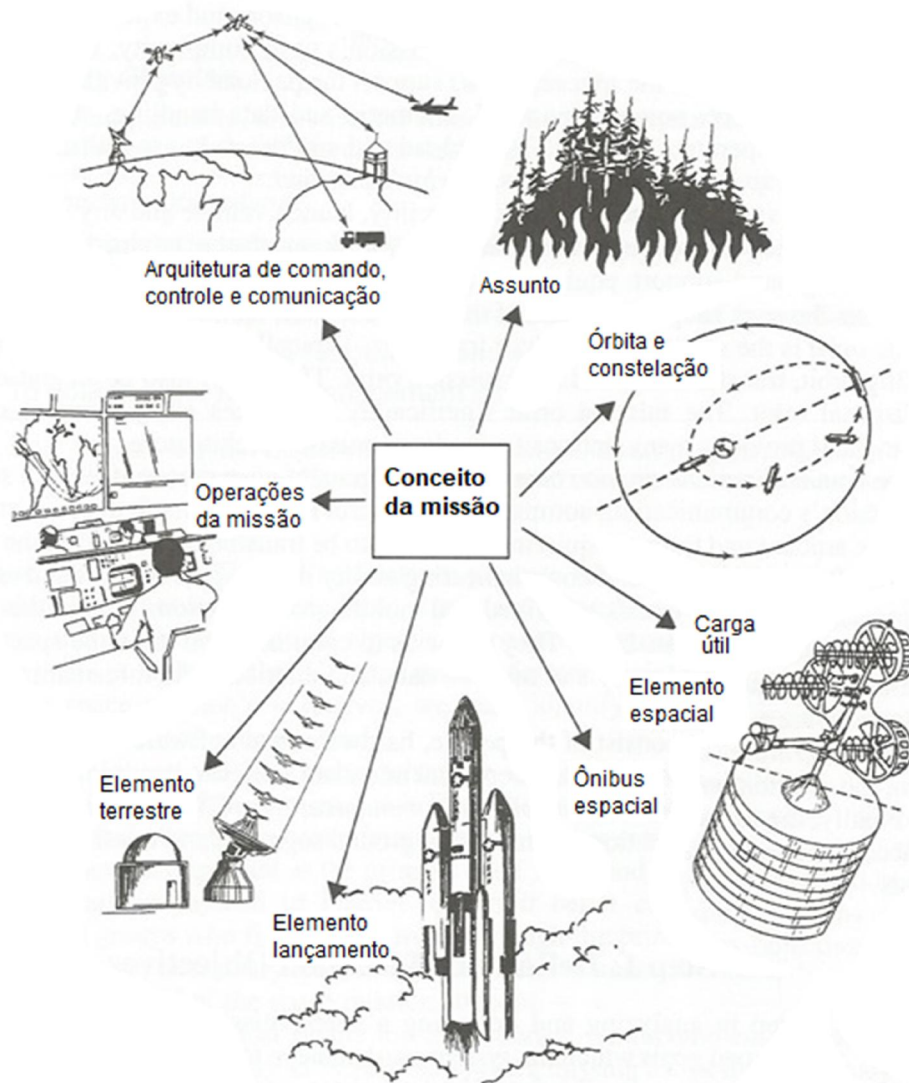
De acordo com Wertz (2005), o objetivo durante a exploração de conceito é avaliar as necessidades para a missão espacial e desenvolver alternativas acessíveis que encontram os requisitos dos operadores e usuários finais.

A análise de necessidade é um processo contínuo que culmina no começo de um novo programa. Os operadores e os usuários finais desenvolvem os requisitos potenciais da missão baseados nas considerações geradas pelos itens da análise de necessidade, como pode ser visto no lado esquerdo da tabela acima. Cada organização possui o seu próprio processo, entretanto um novo projeto começa com um conjunto de objetivos de missão, conceitos de operações e cronograma desejado, afirma Wertz (2005).

Durante o desenvolvimento de conceito o desenvolvedor deve gerar métodos alternativos de encontrar as necessidades dos operadores e usuários finais. Esse procedimento inclui o desenvolvimento e reavaliação de conceitos diferentes e componentes para as operações da missão, assim como as estimativas que são demonstradas na tabela acima ao lado direito. A informação se torna parte de um conceito de sistema geral. Caso o programa satisfaça a necessidade com um custo razoável, a missão passa do ponto de Validação de Requisitos e segue para a fase de desenvolvimento detalhado.

Todas as missões espaciais consistem de um conjunto de elementos ou componentes como é mostrado na Figura abaixo:

Figura 2.2: Arquitetura de uma missão espacial.

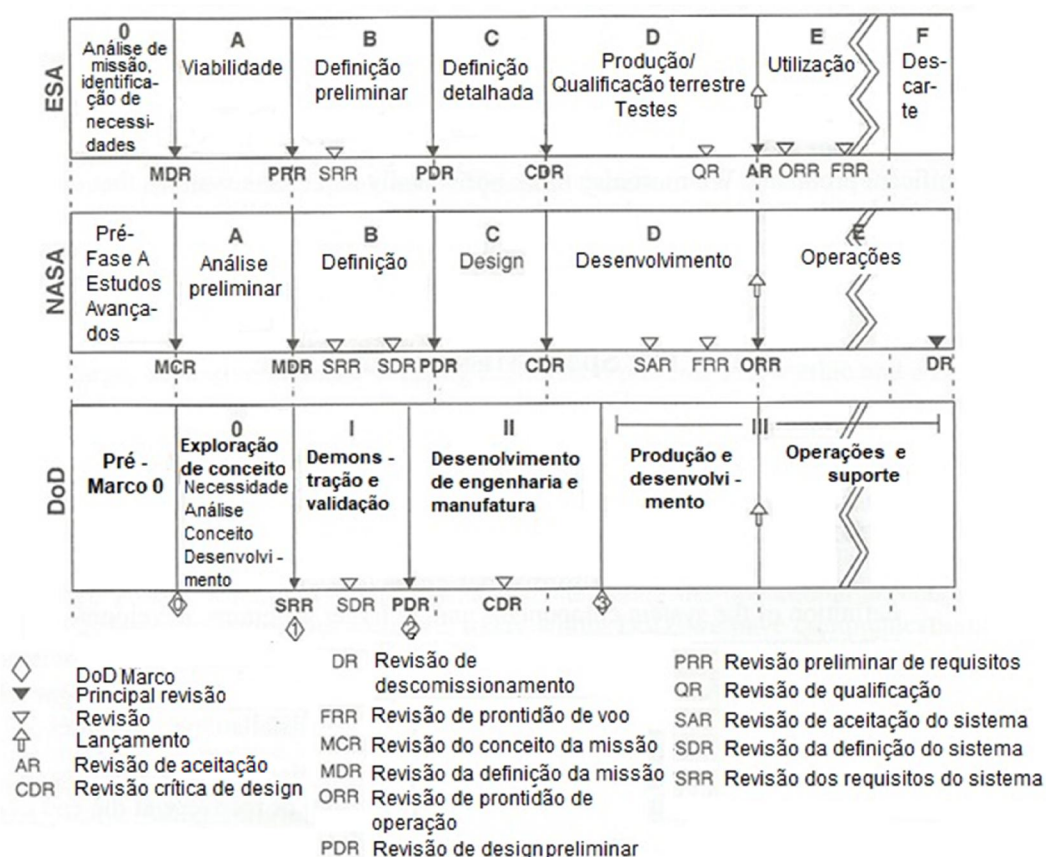


Fonte: Wertz (2005).

Wertz (2005) afirma que várias organizações e programas definem seus elementos de missão de forma diferente, porém todos os elementos apresentados na imagem acima estão presentes em qualquer missão espacial. O sujeito da missão é o objeto que interage com ou é sentido pela carga útil do espaço. A carga útil consiste no hardware e software que sente ou interage com

o sujeito. O sistema de lançamento inclui o facilitador de lançamento, veículo lançador e qualquer estágio necessário para que a espaçonave alcance a órbita esperada. A órbita é o caminho ou a trajetória da espaçonave. A arquitetura de comunicação é o arranjo de componentes que satisfazem os requisitos da comunicação, controle e comando da missão. O sistema terrestre consiste em estações fixas ou móveis que conectam vários links de informação ao redor do mundo. As operações da missão consistem nas pessoas, hardware, e software que executam a missão, o conceito de operação da missão, as políticas, procedimentos e fluxo de dados. A Figura abaixo compara o ciclo de vida de acordo com cada programa espacial.

Figura 2.3: Fases dos programas de desenvolvimento espacial.



Fonte: Wertz (2005).

Apgar (2005) utiliza o FireSat como exemplo nas definições de elementos de custo, foram incluídos itens em cada um dos subsistemas. O programa espacial brasileiro não desenvolve todos os subsistemas que foram utilizados pelo FireSat, pois as missões desenvolvidas nacionalmente são parcerias com outros países, portanto os subsistemas apresentados abaixo são divididos de acordo com a necessidade da missão entre os países envolvidos:

- a) **Carga Útil:** Inclui o sistema de comunicação e o sensor. Algumas das suposições foram feitas levando em consideração o peso dos eletrônicos, já que esses parâmetros não estavam disponíveis na fase de conceito do projeto.
- b) **Lançador:** é a espaçonave menos a carga útil. Seu parâmetro principal é a sua massa.
- c) **Estrutura:** os itens da estrutura da espaçonave incluem gabinetes, componentes destacáveis, estrutura de suporte e interface do veículo lançador. Essa estrutura carrega e protege a espaçonave e o equipamento da carga útil durante o lançamento e a sua implantação. O principal parâmetro para calcular o custo da estrutura é a sua massa.
- d) **Térmico:** é a estrutura e os equipamentos que possuem a principal função de manter a temperatura no limite requerido de todos os elementos do sistema espacial. O controle de temperatura pode ser classificado de duas maneiras: passivo ou ativo. Um exemplo do sistema passivo é a utilização da tinta, revestimento e manta. Os sistemas de controle de temperatura ativos incluem sistemas pumped-loop, aquecedores controlados por termostatos, aparelhos mecânicos e refrigeradores. No geral, sistemas passivos custam menos do que os sistemas ativos.
- e) **Subsistema Elétrico (EPS – *Electrical Power Subsystem*):** painéis solares, baterias, escudo, e eletrônicos de gerenciamento da potência. A massa do EPS é altamente influenciada pela radiação espacial, que

degrada o desempenho das células solares ao longo do tempo de vida da espaçonave (FireSat possui uma vida útil de 5 anos). As escolhas das células do painel solar incluem silicógeno ou arsenieto de gálio. E as escolhas para a bateria incluem NiCd e NiH₂.

- f) Rastreamento, Telemetria, e Comando e Tratamento de Dados (TT&C/DH – *Tracking, Telemetry, and Command and Data Handling*):** eletrônica de comando/telemetria computadores a bordo, transponders, transmissores, receptores, armazenadores de dados, antenas, e aviónicas associadas. Os cost drivers primários do subsistema de TT&C/DH são: massa, frequência de uplink e downlink, e taxa de dados.

- g) Determinação de Atitude e Controle de Subsistemas (ADCS – *Attitude Determination and Control Subsystem*):** estabiliza e orienta o FireSat durante a missão usando sensores e atuadores. O ADCS é acoplado a outros subsistemas, especialmente o de propulsão. Os primeiros requisitos são os de conhecimento de apontamento, controle de estabilidade, e manobramento.

- h) Propulsão:** provem impulso para o controle de atitude e correção de órbita. Os cost drivers relevantes para esse subsistema são a massa seca do ônibus (8.4kg) e a massa seca da espaçonave (112kg). Se for necessário de um motor para auxiliar na entrada da órbita deve ser estimado um custo adicional.

- i) Integração, Montagem, e Teste (IA&T – *Integration, Assembly, and Test*):** custos de materiais e trabalho (principalmente para testes) para a integração da espaçonave e o subsistema de carga útil em um veículo espacial operacional. Não incluem os custos para a integração dos componentes em um subsistema ou para a integração do veículo espacial no veículo lançador. O custo total do IA&T inclui especificação de pesquisa/requisitos, design, e processo análise de cronograma para IA&T, sistema de teste e avaliação, e análise de dados de teste.

- j) **Nível de Programa:** custo de contratantes para engenharia de sistemas, gerenciamento de programa, confiabilidade, planejamento, fluxo de necessidades, garantia de qualidade, controle de projeto, preparação de dados, e outros custos.

- k) **Equipamento de Apoio Terrestre (GSE – Ground Support Equipment):** equipamentos de teste e manutenção necessários para a montagem, desenvolvimento de teste e integração aceitáveis do subsistema do satélite e satélite para o veículo lançador. Esse equipamento deve auxiliar o satélite através do fornecimento de interfaces físicas, elétricas, e de dados durante o IA&T. É classificado como um custo não recorrente.

- l) **Operações de Apoio ao Lançamento e Operações Orbitais (LOOS – Launch and Orbital Operations Support):** planejamento e operações relacionados ao lançamento e a verificação orbital do sistema espacial. Esses custos estão tipicamente incorridos pelo principal contratante da espaçonave envolvendo o planejamento de pré-lançamento, análise de trajetória, site de apoio ao lançamento, integração do veículo lançador, e operações iniciais na órbita antes da propriedade do satélite ser entregue ao seu usuário operacional (dura cerca de 30 dias). São geralmente categorizados como custos recorrentes.

2.1.1 Ciclo de vida NASA

O ciclo de vida da NASA é dividido em sete fases: pré fase A, fase A, fase B, fase C, fase D, fase E e fase F. Porém, essa pesquisa tem como objetivo somente avaliar as três primeiras fases.

De acordo com a NASA (1995), as fases iniciais são definidas da seguinte forma:

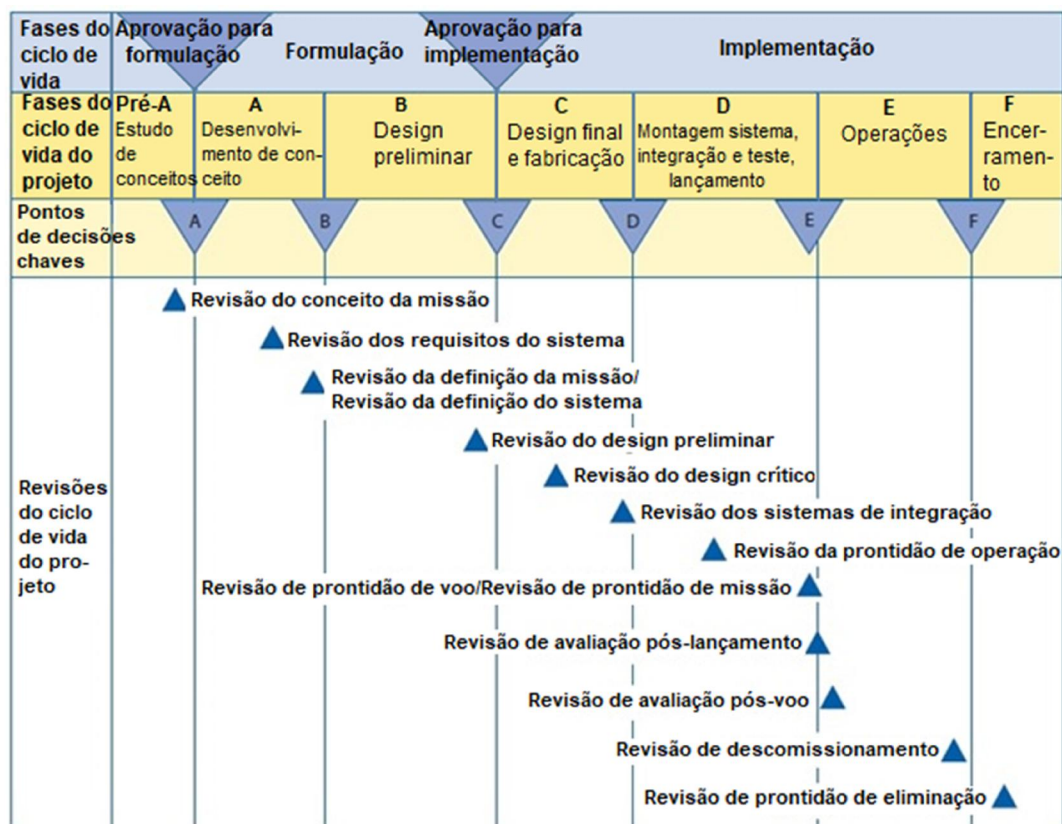
- a) **Pré Fase A: Estudos de Conceito** - tem como objetivo encontrar um projeto apropriado;

b) **Fase A: Desenvolvimento de Conceito e Tecnologia** - é desenvolvida para se ter certeza que o projeto vale à pena;

c) **Fase B: Design Preliminar e Realização da Tecnologia** - completa o design do sistema.

A Figura abaixo demonstra todas as fases de desenvolvimento de um projeto espacial na NASA. Sendo visíveis os pontos críticos de cada fase e as suas saídas.

Figura 2.4: Ciclo de vida da NASA.



Fonte: NASA (2014).

I) Pré-fase A: Estudos de Conceito

O propósito dessa atividade é descobrir, criar ou inventar uma gama de ideias e alternativas para missões de onde novos projetos poderão ser selecionados. De acordo com a NASA (1995), o maior produto desenvolvido nessa fase é a quantidade de ideias sugeridas para novos projetos, baseados na identificação das necessidades e do descobrimento de oportunidades que são consistentes com missões da NASA. Essa fase tem como saída o Mission Concept Review (MCR), que inclui a justificativa e os objetivos da missão, as possibilidades de operação, a possível arquitetura do sistema, e as estimativas do custo, cronograma e risco de acordo com a NASA (2014).

II) Fase A: Desenvolvimento de Conceito e Tecnologia

Esta fase tem como propósito avaliar mais profundamente a viabilidade e a necessidade de um novo sistema antes da procura por um financiamento. Tem como descrição: é uma versão estruturada da fase anterior. O esforço do time se encontra na análise dos requisitos da missão e o estabelecimento da arquitetura da missão. A fase A possui dois documentos de saída: o System Requirement Review (SRR) e o Mission Definition Review (MDR) / System Definition Review (SDR).

O propósito do SRR, para a NASA (2014), é avaliar se a parte funcional e os requisitos de desempenho foram propriamente formulados de acordo com os objetivos estratégicos e para acessar a credibilidade da estimativa de custo e tempo do programa.

O MDR/SDR tem como objetivo avaliar os requisitos/arquiteturas propostos do programa e alocação dos requisitos para o início do projeto, de acordo com a NASA (2014). E determinar se a maturidade da definição de projeto e os planos associados são o suficiente para começar a fase de implementação.

III) Fase B: Design Preliminar e Realização da Tecnologia

O propósito dessa fase é o estabelecimento de um patamar inicial para o projeto. Os requisitos técnicos devem estar bem estabelecidos para uma estimativa de custo e tempo mais precisa para o projeto. Consiste de um agrupamento de patamares de aspecto técnico e de negócio: requisitos e especificações do sistema e subsistemas, design, planos de verificação e operação do projeto, projeções de custo e tempo, e o plano de gerenciamento. Possui como saída o Preliminary Design Review (PDR). O PDR, para a NASA (2014), é utilizado para avaliar a consistência do design preliminar do programa, se todos os requisitos foram atendidos nas margens apropriadas, riscos aceitáveis, e dentro das restrições de custo e tempo, e a determinação do nível de prontidão para a continuação para a fase de detalhamento de design do programa.

2.1.2 Ciclo de vida ESA

A ESA também possui sete fases no ciclo de vida de um projeto espacial: Fase 0, Fase A, Fase B, Fase C, Fase D, Fase E e Fase F. Porém, serão analisados somente as três fases iniciais:

- Fase 0: Missão de Identificação e Análise de Necessidade;
- Fase A: Viabilidade;
- Fase B: Definição Preliminar.

I) Fase 0: Identificação de Missão e Análise de Necessidade

A organização de engenharia de sistemas deve apoiar o cliente na identificação das suas necessidades, além da proposta de um possível conceito do sistema e possui como saída o Mission Definition Review (MDR), de acordo com ECSS (2009). O MDR tem como objetivo aprovar uma definição da missão com base em uma avaliação preliminar dos requisitos técnicos (alto nível), nas questões programáticas (prazo, custo, dificuldades, etc.) e nos riscos de empreender a missão.

II) Fase A: Viabilidade

De acordo com a ECSS (2009), a organização do sistema de engenharia deve finalizar as necessidades identificadas na fase 0, além de propor soluções (incluindo os riscos) que irão satisfazer as necessidades percebidas e assegurar a saída Preliminary Requirement Review (PRR), que tem como objetivo aprovar os planos preliminares de gerenciamento, engenharia e garantia do produto, além da especificação dos requisitos técnicos, confirmar a viabilidade técnica e programática da concepção e selecionar a concepção apropriada e soluções técnicas (incluindo a filosofia de modelos e abordagem de verificação).

III) Fase B: Definição Preliminar

A organização de engenharia de sistemas deve estabelecer uma definição do sistema preliminar para a solução selecionada na fase A, de acordo com a ECSS (2009), além de demonstrar que a solução atende os requisitos técnicos de acordo com o tempo, custo e os requisitos da organização, e possui dois documentos de saída: o System Requirement Review (SRR) e o Preliminary Design Review (PDR). O SRR tem como objetivo liberar as especificações técnica de requisitos, avaliar a definição preliminar e avaliar o programa de verificação. E o PDR verifica o projeto preliminar da concepção selecionada e efetuar o confronto com das soluções técnicas com os requisitos, produzirem a versão final dos planos de gerenciamento, engenharia e garantia do produto e liberar o plano de verificação.

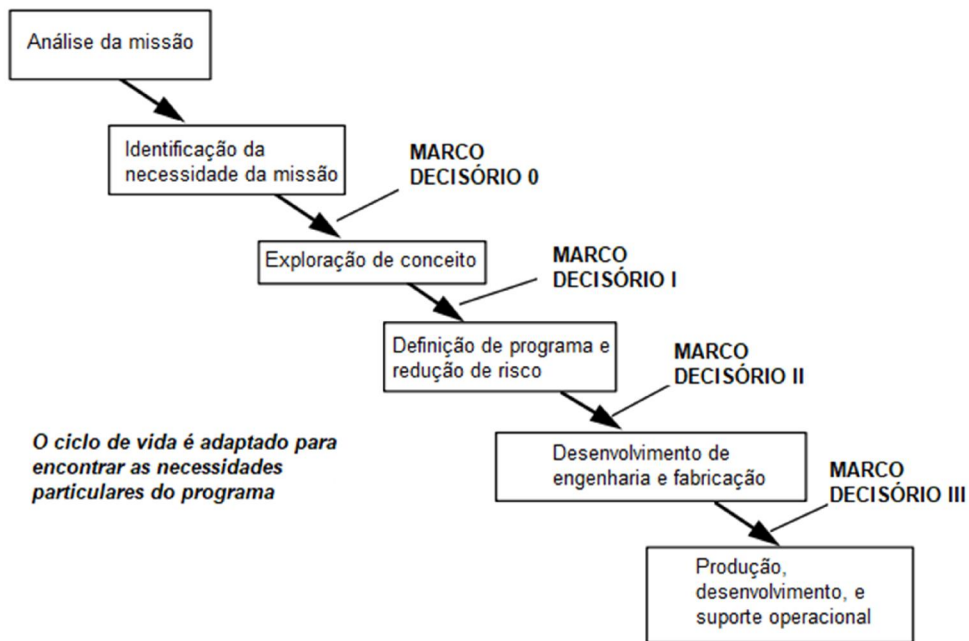
2.1.3 Ciclo de vida DoD

Cada uma das fases de aquisição é geralmente caracterizada por problemas e objetivos associados com um nível particular ou estado de um design (exemplo: conceitual, funcional, alocado ou físico). Esses problemas e objetivos devem ser satisfeitos através de procedimentos de revisões dos marcos para que o programa possa prosseguir, de acordo com DoD (1997). O ciclo de vida utilizado pelo DoD consiste em quatro fases: fase de exploração de conceito, fase de definição do programa e redução de risco, fase de desenvolvimento de

engenharia e fabricação e a fase de produção, desenvolvimento, e suporte operacional.

A Figura abaixo demonstra o ciclo de vida utilizado pelo DoD (Departamento de Defesa):

Figura 2.5: Ciclo de vida utilizado pelo DoD.



Fonte: DoD (1997).

I) Fase de Exploração de Conceito

A fase de exploração de conceito, também chamada de Fase 0, é a primeira fase do ciclo de vida do sistema do DoD. Tipicamente consiste de estudos de conceitos realizados para investigar operações alternativas e conceitos de design, de acordo com DoD (1997). O propósito é identificar, definir e avaliar os riscos, vantagens/ desvantagens, custos de conceitos operacionais promissores e alternativas de design de sistemas. As características do projeto e o custo total do sistema são refletidos pelo seu design conceitual. Os resultados são

revisados no ponto de decisão, Marco I, onde os candidatos que são promissores serão selecionados para uma definição e desenvolvimento mais adiante, de acordo com DoD (1997).

As características de design das alternativas selecionadas geralmente fornecem uma linha de base funcional do sistema, de acordo com DoD (1997). Essa linha de base define as características de design de desempenho requeridas para encontrar com as necessidades operacionais. A linha de base funcional serve como base para o estabelecimento do design inicial e objetivos.

II) Fase de Definição de Programa e Redução de Risco

A fase I é utilizada para definir e refinar o conceito operacional, e as abordagens de design alternativas determinadas pelo o processo de decisão do Marco I que são mais promissores. As linhas de base funcionais são decompostas em subsistemas de níveis mais baixos. Os requisitos de desempenho do sistema são alocados para os níveis mais baixos de funções. Essa linha de base alocada é utilizada como base na análise de suporte das operações do projeto e requisitos que devem ser satisfeitos no design do sistema de suporte. As alternativas de suporte são avaliadas de acordo com os requisitos de operações e sustentações. As alternativas que não atendem os requisitos são descartadas. As alternativas que restaram se tornam bases para os planos iniciais de suporte e informações de produtos, de acordo com DoD (1997).

As atividades dessa fase incluem geralmente o desenvolvimento do protótipo do produto e na condução de demonstrações e avaliações operacionais antecipadas. Essas atividades, de acordo com DoD (1997), ajudam na redução do risco na decisão do Marco II.

III) Fase de Desenvolvimento de Engenharia e Fabricação

A Fase II do processo é utilizada para completar um design estável para um sistema total que encontre com os requisitos de desempenho e é produzível, suportável e acessível. A capacidade do sistema total é demonstrada através de testes para validar suposições de design, e planejamento de desenvolvimento é

iniciado afirma DoD (1997). A produção inicial é realizada a uma taxa baixa nessa fase para fornecer uma quantidade mínima requerida para apoiar o teste operacional e outras atividades de validações de design e para estabelecer uma produção de base inicial para o sistema total.

A linha de base alocada do sistema total é transacionada em uma linha de base completa do produto durante essa fase. Ou seja, designs funcionais ou alocados são mudados para linhas de base físicas ou de produto representando o atual hardware do produto. Sistemas de apoio são modificados também para serem mantidos no design mais atual, de acordo com DoD (1997).

2.1.4 Ciclo de vida INPE

As missões espaciais desenvolvidas nacionalmente seguem os padrões estabelecidos pela ECSS, porém são feitas adaptações de acordo com a necessidade de cada projeto a ser desenvolvido.

Utilizando como exemplo o projeto CBERS 3-4, uma cooperação entre o Brasil e a China, que tem como objetivo o desenvolvimento de dois satélites de sensoriamento remoto. Uma das responsabilidades do INPE foi o desenvolvimento do Subsistema de Suprimento de Energia. As fases do ciclo de vida utilizadas para o desenvolvimento desse subsistema foram modificadas do padrão da ECSS para poderem atender as necessidades da missão.

O Subsistema de Suprimento de Energia do CBERS 3-4 teve as fases iniciais, 0 e A, unidas em uma única fase: a Fase de Planejamento. Em que foram elaborados os principais documentos de planejamento: Plano de desenvolvimento do trabalho a ser executado (cronograma, estrutura da divisão do trabalho e diagrama de atividades), o Plano de garantia do produto, Plano de recursos humanos e Plano de infraestrutura. A Fase B (Fase de Projeto Preliminar) ocorre de acordo com o padrão ECSS, na qual é focada na preparação da fabricação do Modelo de Engenharia, de acordo com Yassuda (2010).

2.2 Estimativa de custo

O custo é uma engenharia paramétrica que varia com os parâmetros físicos, tecnológicos e métodos de gerenciamento, de acordo com Apgar (2005). O custo de um sistema depende do seu tamanho, complexidade, inovação tecnológica, ciclo de vida, cronograma e outras características.

A estimativa de custo, que é o processo de predição do custo do trabalho de uma atividade, de acordo com Stewart (1995), depende das entradas da atividade da análise de custo, que é o processo de estudo de custos passados e suas estimativas futuras.

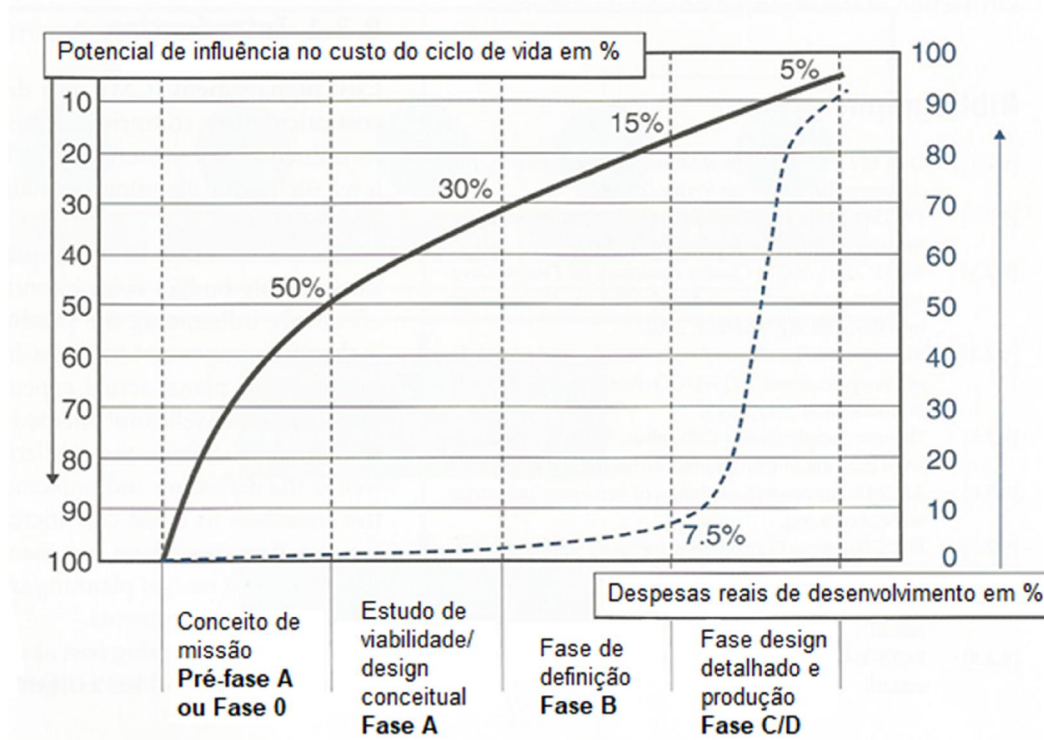
Stewart (1995) afirma que o processo de estimativa de custo é dividido em 12 passos básicos que representam o trabalho que um estimador de custo deve realizar para produzir uma estimativa de custo completa:

1. Desenvolver a estrutura do elemento de trabalho;
2. Elementos de cronograma de trabalho;
3. Receber e organizar dados históricos;
4. Desenvolver e utilizar CERs;
5. Desenvolver e utilizar curvas de aprendizagem de produção;
6. Identificar categorias de habilidades, níveis de habilidades e taxas de trabalho;
7. Desenvolver estimativa de trabalho/hora e materiais;
8. Desenvolver custos gerais e administrativos;
9. Aplicar fatores de inflação e intensificação (aumento de custo);
10. Avaliar e computar a estimativa de custo;
11. Analisar, ajustar e manter a estimativa;

12. Publicar e apresentar a estimativa de custo para que seja utilizada de forma pública.

De acordo com Bieler (2009), o conhecimento precoce dos recursos requeridos e do orçamento disponível são fatores cruciais que irão influenciar diretamente o produto e o seu custo. Um gerenciamento bem desenvolvido irá facilitar na predição de variações, assim como as implementações de medidas corretivas para evitar o aumento do custo.

Figura 2.6: Custo do ciclo de vida (compromisso e cumulativo) durante as fases do projeto.

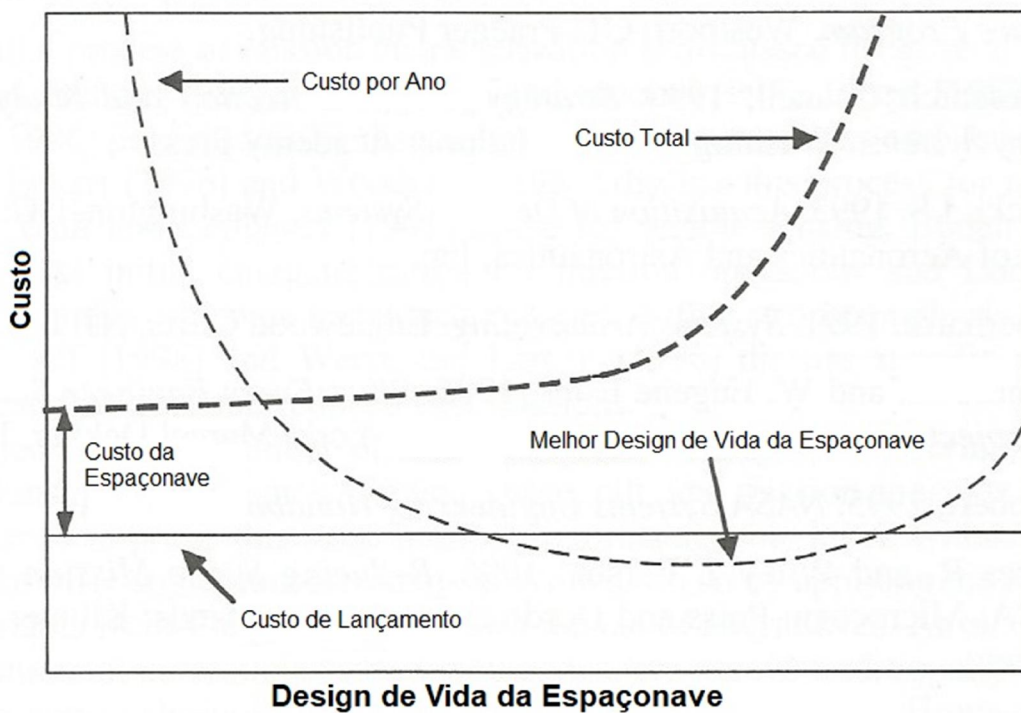


Fonte: Bieler (2009).

É mostrado na Figura acima que o custo do projeto é significativamente determinado nas fases iniciais do projeto de acordo com o Bieler (2009). O potencial de influenciar o custo do projeto decresce na medida em que o projeto progride. Quando for iniciado o design detalhado, o potencial de influenciar o custo será de 5%. Qualquer modificação feita a partir dessa fase irá ter como

resultado um aumento no custo total do projeto, além da probabilidade de haver atrasos, mesmo que a intenção seja contrária. Nas fases iniciais (0, A e B) a despesa real é baixa, pois o principal custo é a mão de obra utilizada para realizar o desenvolvimento inicial da missão espacial, enquanto que a partir das fases C e D a despesa real do projeto aumenta devido ao fato de que é necessário adquirir materiais, utilizar equipamentos, aumentar a mão de obra para o desenvolvimento do projeto.

Figura 2.7: Curva hipotética do custo x Design de vida da espaçonave.



Fonte: Apgar (2005).

A Figura acima, de acordo com Apgar (2005), apresenta uma curva hipotética referente ao custo de vida de uma espaçonave. Porém, na realidade essa análise nunca é feita ou, no máximo, é feita qualitativamente. A duração da missão é normalmente atribuída de forma arbitrária com uma percepção geral de custo por ano. Portanto, é forçada uma produção de satélites com vida de 5 a 10 anos devido ao fato em que as pessoas acreditam que será a forma mais

econômica dos que os satélites com alguns anos de vida. Independente de como se escolhe o design de vida, deve ser feito o processo acima para as tomadas de decisões em relação ao tempo de missão. O desenvolvimento do gráfico acima fornece uma base bem mais sólida para o estabelecimento dos requisitos da missão e determina se deve ser feito uma missão para durar mais tempo ou diminuir os requisitos para diminuir o custo.

2.2.1 Requisitos para a estimativa de custo

De acordo com Bieler (2009), a escolha do modelo de estimativa de custo e como será construído depende de suposições básicas: a aquisição adequada de dados de entrada, a fase do projeto atual e previsto, assim como as referências adequadas. Essas referências são armazenadas em um banco de dados específico e incluem relevante técnico, assim como informação da alocação do custo.

A Tabela abaixo, Bieler (2009) apresenta os elementos e os seus fatores chaves para a estimativa de custo. Para um equipamento, o nível de tecnologia irá influenciar diretamente na sua estimativa de custo, pois quanto maior o nível de tecnologia mais caro o projeto irá ficar, principalmente se for um projeto que necessita de uma tecnologia inexistente. O risco influencia a estimativa de custo do projeto através de alguns parâmetros, tais como: risco técnico e programático. Além disso, outros fatores afetam diretamente no nível de risco do projeto, como por exemplo: o nível de prontidão tecnológica - se for utilizada uma tecnologia já disponível no projeto o risco tende a diminuir, enquanto que se for utilizado uma tecnologia nova o risco tende a aumentar.

Tabela 2.1: Categorias de custo dos sistemas espaciais.

Elemento de custo	Fatores chave/ parâmetros influenciadores
Equipamento	Tecnologia, parâmetros representativos, modelos filosóficos
Sala de Projeto	Esforço de design, gerenciamento, garantia de qualidade e produto
Verificação, integração e teste	Esforço para montagem, integração, verificação e qualificação
GSE	Máquinas, ferramentas, etc.
Atividades específicas	Testes específicos e proteção planetária
Custo de lançamento	Preparação e integração do lançamento, sistema do lançador
Operações	Conceito de operações, segmento terrestre
Custo de riscos	Riscos técnicos, programáticos, projeto políticos
Aquisição	Política de aquisição, situação de mercado

Fonte: Bieler (2009).

Todos os dados e informações mencionados a seguir formam a base para selecionar a metodologia mais apropriada de estimativa de custo, de acordo com Bieler (2009):

- a) Entrada:** Antes de se iniciar a seleção da estimativa de custo mais apropriada, deve-se assegurar que todos os elementos a serem estimados possuem informações disponíveis. Um banco de dados com bastante informação é a base principal para a maioria das estimativas de custo. Tal banco de dados possui informações de custo junto com as suas respectivas informações técnicas (massa, potência, desempenho, material, entre outros) e programáticas (hardware, matriz, plano de verificação e validação). Dados históricos do projeto são levados em consideração, listando todas as alterações de preços associadas às suas explicações para cada elemento do WBS.

Na Tabela abaixo, de acordo com Stewart (1995), é mostrada a relação da estimativa de custo com as entradas que correspondem aos requisitos fundamentais de negócio e as suas saídas que fornecem controle de gerenciamento.

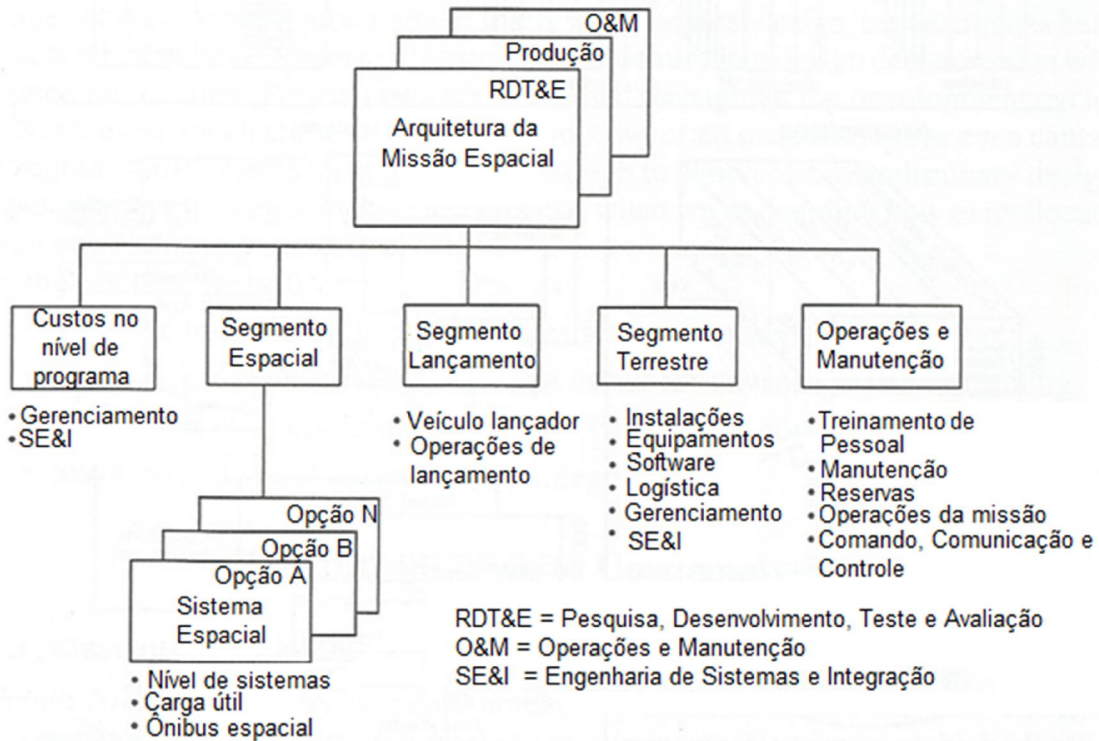
Tabela 2.2: Estimativa de custos como parte da atividade comercial geral.

ENTRADAS	ESTIMATIVA DE CUSTO	SAIDA
Planejamento e cronograma	Estimativa baseada no tempo	Decisões de cronograma
Padrões de custo	Acesso aos arquivos com dados históricos	Decisões de gerenciamento gerais
Análise de mercado	<ul style="list-style-type: none"> - Análise quantitativa (curva de aprendizagem, a escala e o escopo) - Análise de lucro - Alvo da estimativa de custo - Estimativa detalhada - Estimativa de trabalho - Estimativa de material - Estimativa de subcontrato - Estimativa de outros custos diretos 	<ul style="list-style-type: none"> - Divisão de mercado - Ganho - Decisões de preço - Controle de gerenciamento - Custo competitivo - Custo competitivo - Custo competitivo - Custo competitivo
Sistemas baseados em atividades	Estimativa de custos indiretos	Overhead competitivo

Fonte: Stewart (1995).

b) *Work Breakdown Structure (WBS)*: O WBS é uma ferramenta de gerenciamento efetiva que ajuda no cumprimento das obrigações de negócios tanto do cliente quanto do fornecedor, enquanto monta um quadro para os aspectos de regulamentação, planejamento e controle de custos, cronograma e técnico. De acordo com Stewart (1995), o WBS é a fibra que mantém a estimativa de custo unida e é utilizada para coletar ou alocar recursos humanos ou custos. O WBS é a divisão do trabalho em tarefas grandes e essas tarefas devem ser divididas em tarefas menores, essas tarefas menores devem ser divididas em sub tarefas e assim em diante. A Figura abaixo apresenta um exemplo de WBS para uma missão espacial.

Figura 2.8: Exemplo de Work Breakdown Structure (WBS).



Fonte: Apgar (2005).

c) **Work Package Description (WPD)**: Está conectado diretamente ao WBS. Esse diretório contém especificações para cada pacote de trabalho, seu título e código único, assim como a sua tarefa bem definida, entregas e resultados esperados. De acordo com ECSS (2003) devem ser endereçadas as seguintes informações:

- Nome do projeto e a fase;
- Título do pacote de trabalho (WP);
- Identificação única para cada pacote de trabalho e para cada fase do projeto;
- Fornecedor ou entidade responsável pelo pacote de trabalho;

- Nome do gerente e organização do WP;
- País do fornecedor;
- Produto para quais os pacotes de trabalho são alocados;
- Descrição gerais e objetivos do pacote de trabalho;
- Descrição detalhada das tarefas, incluindo a categoria de custo e tipo (relacionada ao produto, a despesa e ao fornecimento);
- Lista de orientações a serem seguidos durante a realização da tarefa;
- Interface de ligação entre outras tarefas;
- Lista de restrições, requerimentos, padrões e regulamentos;
- Lista das saídas previstas;
- Lista de entregáveis;
- Local da entrega;
- Começo do evento de identificação incluindo a data;
- Término do evento de identificação incluindo a data;
- Tarefas excluídas.

d) *Cost Breakdown Structure (CBS)*: O CBS define o conjunto de categorias utilizadas para a alocação de todos os custos do projeto. Além de fornecer uma estrutura comum para todas as atividades de gerenciamento envolvidas no projeto. O custo total planejado para cada pacote de trabalho é dividido por categoria de custo, tais como: trabalho, material ou sub contratante. Além disso, cada fornecedor é dividido entre custo: direto (trabalho, facilidade, entre outros) e indireto (comum) para cada categoria de custo.

- e) **Business Agreement Structure (BAS):** O BAS identifica as responsabilidades no projeto e as relações entre os clientes e os fornecedores, relacionando-os aos pacotes de trabalhos dentro do WBS. Além do mais, o BAS fornece suporte para o processo de gerenciamento de custo através do fornecimento dos meios para a avaliação correta do impacto das modificações e alterações potenciais em cada nível de hierarquia contratual. É aplicada para rastrear responsabilidades contratuais e definições de interface.
- f) **Registro de Risco:** Riscos potenciais para o projeto são listados no registro de risco e classificados de acordo com o seu impacto, seu cálculo é feito através do produto da probabilidade de ocorrer e a sua consequência. Essa informação é importante para o gerenciamento de custo, pois é a base para especificar o custo de risco do projeto e a margem de segurança para o orçamento do projeto.
- g) **Cronograma:** Gerenciamento de custo e cronograma está diretamente ligado na tarefa de obter um plano de rede a partir do WBS. Para Stewart (1995), o segundo passo importante na estimativa de custo é programar os elementos de trabalho. O plano de rede conecta todas as atividades com relações lógicas numa sequência de tempo. A data de começo, de término e a revisão de design requerida são definidas e introduzidos na timeline para fornecer uma visão melhor. A identificação dos caminhos críticos ajuda a antecipar os desenvolvimentos em que talvez sejam necessárias as devidas medidas corretivas. A timeline do projeto geralmente é exibida em um gráfico Gantt, em que cada atividade é representada por uma barra. O comprimento dessa barra representa a duração da atividade e a relação lógica é representada por flechas. Stewart (1995) determina que a cronometragem do tempo de trabalho é importante para:

1. Determinar os requisitos de pessoal, instalações e recursos;
2. Aplicação de inflação e regras básicas intensificadas;

3. Arranjos de recursos disponíveis, desenvolvimento de um cronograma para o projeto a ser estimado é vital.

O cronograma se une ao WBS em que todos os elementos são colocados na base do tempo para permitir mais tarde a determinação de quando os recursos serão necessários para o desempenho do trabalho.

h) Condições Econômicas: As condições econômicas podem ser entendidas como a relação em um certo ponto no tempo em que todas as especificações financeiras e informações são comparadas. É importante para o cálculo dos custos de inflação em uma data posterior. As informações são colocadas na seguinte ordem tipicamente: e.c. mês ano (exemplo: e.c. Out 2015).

i) *Technology Readiness Level (TRL)*: As O technology readiness level (TRL) serve como um indicador de maturidade da tecnologia. Pode ser utilizado para determinar os seguintes parâmetros:

- Até que ponto são tecnologias, materiais, ferramentas, equipamentos, etc., já se encontram desenvolvidos e disponíveis;
- Quais testes de qualificação já foram realizados e quais são excelentes?
- Qual é a timeline esperada?
- A que ordem de grandeza fazer modificações tem de se esperar?

O TRL é levado em consideração na avaliação dos riscos potenciais em relação ao custo e cronograma.

2.2.2 Organizando para a estimativa

Assim como qualquer outra atividade, Stewart (1995) afirma que a estimativa de custo requer ferramentas que devem estar presentes ou devem ser coletados para realizar a sua função.

São utilizadas quatro principais ferramentas:

- a) Informação;
- b) Método;
- c) Um plano para a própria estimativa;
- d) Habilidades.

Em atividades pequenas a estimativa de custo não necessita de tanta informação, enquanto que uma atividade de maior porte requer uma organização melhor, além da coleta das ferramentas principais para começar o processo de estimativa.

A informação da estimativa que deve ser coletada, de acordo com Stewart (1995), inclui dados históricos ou informação recente de um trabalho similar, profissional e materiais de referência, conhecimento da operação e o resultado da pesquisa de mercado e da indústria.

Os métodos, de acordo com Stewart (1995), incluem as técnicas, procedimentos, políticas e as práticas utilizadas como base.

Para o desenvolvimento das regras básicas e suposições, para Stewart (1995), devem ser feitas algumas perguntas para que a estimativa de custo seja mais precisa, tais como:

- Qual é a data presumida para o começo do projeto?
- Quais são os principais itens entregáveis do hardware?
- Quais são os principais entregáveis itens do software e da documentação?
- Qual é a locação do trabalho, e onde os entregáveis deverão ser mandados?
- Os custos não recorrentes serão estimados separadamente dos custos recorrentes?

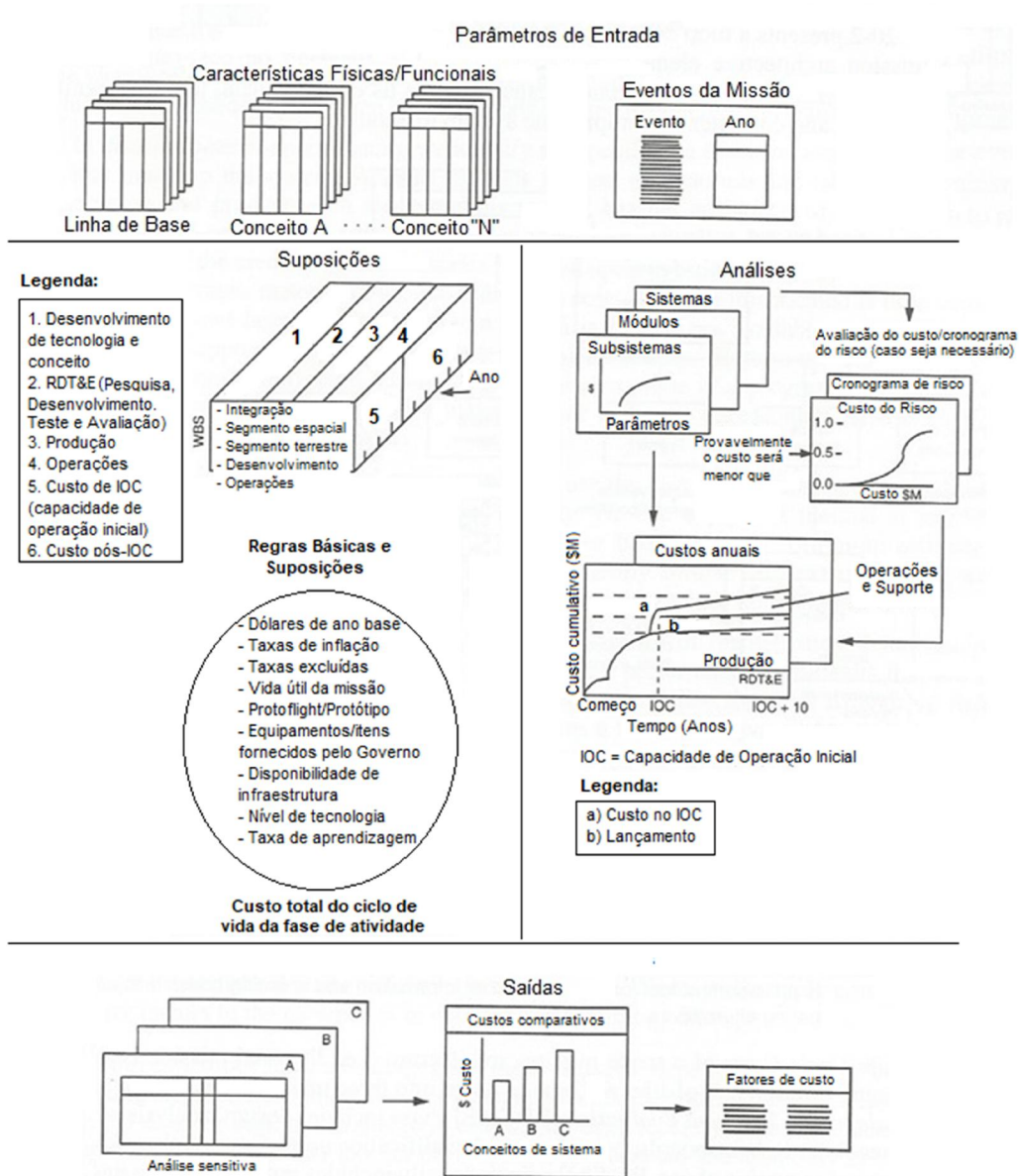
- Quais garantias serão fornecidas?
- Quais partes ou serviços separados serão fornecidos?
- A engenharia e os modelos de teste requeridos.
- Quais são os requisitos de qualidade e confiabilidade dos produtos/serviços?

Ao decorrer da estimativa de custo mais perguntas irão inevitavelmente aparecer. Para cada uma dessas perguntas uma suposição ou uma regra deve ser estabelecida para que o processo de estimativa de custo possa prosseguir.

Stewart (1995) afirma que todas as suposições e regras básicas devem ser documentadas como parte da estimativa de custo.

A Figura abaixo, Apgar (2005) mostra o relacionamento dos elementos chaves da análise de custo. O primeiro passo é o desenvolvimento preliminar das descrições dos requisitos da análise de custo, que identificam os parâmetros técnicos e operacionais, podendo ser chamados de cost drivers, ou fatores de custo. Essa informação se torna a entrada para os modelos de custo. O próximo passo do processo é a definição do WBS. Regras básicas e suposições devem ser estabelecidas no começo. Essas suposições estabelecem um melhor entendimento do custo. Assim que os parâmetros forem especificados e as suposições delimitadas, os modelos de custo apoiam a preparação da estimativa para cada alternativa de design.

Figura 2.9: Abordagem do ciclo de vida da análise de custo.



Fonte: Wertz (2005).

2.2.3 Obtenção de dados históricos

Os dados de custo históricos mais válidos, para Stewart (1995), são aqueles que foram desenvolvidos pela organização responsável pela estimativa de custo.

Devido ao fato de que cada organização é única, o desenvolvimento de um banco de dados específico com os dados presentes na organização é uma necessidade para uma estimativa de custo excelente. Estimativas devem se basear em dados utilizados na organização que foram pré-coletados e os dados atuais.

Para se manter o banco de dados organizado ou com uma coleção sistemática ou uma atualização contínua de trabalho/hora é necessária uma abordagem disciplinada da contabilidade e manutenção do registro. Stewart (1995) afirma que um banco de dados computadorizado é necessário devido ao volume de informações presentes que devem ser armazenadas e disponíveis para uma recuperação rápida.

O estimador irá se interessar não somente no custo de um item, de acordo com Stewart (1995), mas também na quantidade adquirida com aquele custo, a data de entrega ou o cronograma, uma descrição total do produto, e qualquer requisito especial feito pelo subcontratante. Em dados de custo/hora, o estimador irá querer saber quais categorias de habilidades ou nível de habilidades foram utilizadas para produzirem o item ao invés de utilizar simplesmente o total de trabalho/hora. Portanto, o primeiro trabalho do estimador de custo deve alcançar depois da estrutura do trabalho e do cronograma é identificar e armazenar dados de custo pertinentes, ambas de fontes internas e externas, e então organizar esses dados em um formato que será de fácil uso durante o processo de estimativa.

Para Stewart (1995), a coleta de dados históricos deve ser realizada antes do processo de estimativa de custo, deve começar bem antes dos requisitos da estimativa e deve continuar em uma operação paralela às atividades de estimativa que estão sendo realizada, essa função é chamada de análise de custo. Um banco de dados típico para a análise de dados históricos pode seguir os seguintes itens abaixo:

- I. Nome do item ou operação;
- II. Descrição física:
 1. Número do modelo;
 2. Fabricante;
 3. Endereço do fabricante;
 4. Telefone do fabricante;
 5. Peso;
 6. Comprimento;
 7. Largura;
 8. Altura;
 9. Requisitos de potência;
 10. Canais;
 11. Memória;
 12. Velocidade;
 13. MTBF (*Mean time between failures* – tempo médio entre os fracassos);
 14. Outro dado pertinente de performance.
- III. Informação do recurso/cronograma:
 1. Custo de compra (em qual produção ou a quantidade de compra);
 2. Trabalho/hora;
 3. Data de entrega;
 4. Custo de manutenção;
 5. Custo de treinamento;
 6. Tempo de espera;
 7. Custo dos equipamentos de suporte;
 8. Custo de operação.

2.2.4 Saída

Uma estimativa de custo, como uma avaliação quantitativa do custo de projeto mais próximo do real, pode ser apresentada de forma resumida ou detalhada, de acordo com o Bieler (2009). A estimativa de custo contém uma variedade de categorias de custo, tais como: trabalho, material, subsistema, serviços, facilidades e informação tecnológica, assim como categorias específicas como alocação para inflações ou reservas. A extensão e o tipo de informação adicional de suporte dependem dos requisitos e da sua área de aplicação. Independentemente do nível de detalhe, a documentação de suporte deve

fornecer um quadro claro, profissional e completo de como a estimativa de custo foi obtido. O documento de auxilio deve incluir:

- Descrição do conteúdo do projeto;
- Descrição das hipóteses;
- Descrição da estimativa;
- O custo dos riscos/custo da análise de oportunidades;
- Análise trade-off;
- Descrição das restrições limite das condições;
- Descrição das restrições e condições de contorno.

Stewart (1995) afirma que é importante estar presente as suposições, regras básicas, especificações básicas, e outras informações importantes relacionadas com a estimativa de custo detalhada.

Um bom relatório de estimativa de custo deve conter o máximo de elementos apresentados a seguir:

- I. Introdução, histórico e data
- II. Regras básicas e suposições
- III. Descrição da atividade de trabalho ou saída de trabalho que foi estimado:
 1. Cronograma
 2. Especificações
 3. Quantidade
 4. Locação
- IV. Separação detalhada do custo:

1. Por elemento de trabalho
2. Por elemento de custo
3. Por elemento de tempo
- V. Índice de estimativa de custo
- VI. Fatores de preço:
 1. Taxas de trabalho para todas as categorias
 2. Taxas de inflação utilizadas
 3. Preço do material
 4. Overhead, G&A e taxas de impostos e a base lógica
- VII. Nomes do time da estimativa, telefones e atribuições
- VIII. Justificação detalhada e material de back-up

2.3 Cost Estimation Relationship (CER):

Os CERs podem abranger desde regras gerais simples até relações complexas envolvendo várias variáveis. Para Stewart (1995), o principal objetivo do CER é fornecer equações ou gráficos que resumem os dados de custo históricos ou os dados dos recursos de uma forma que irá permitir a utilização das equações ou gráficos em estimativas de custo futuras.

Existem diversas armadilhas que devem ser evitadas no desenvolvimento de CERs de acordo com Stewart (1995):

- Falta de uso de dados que são verdadeiramente correlacionáveis;

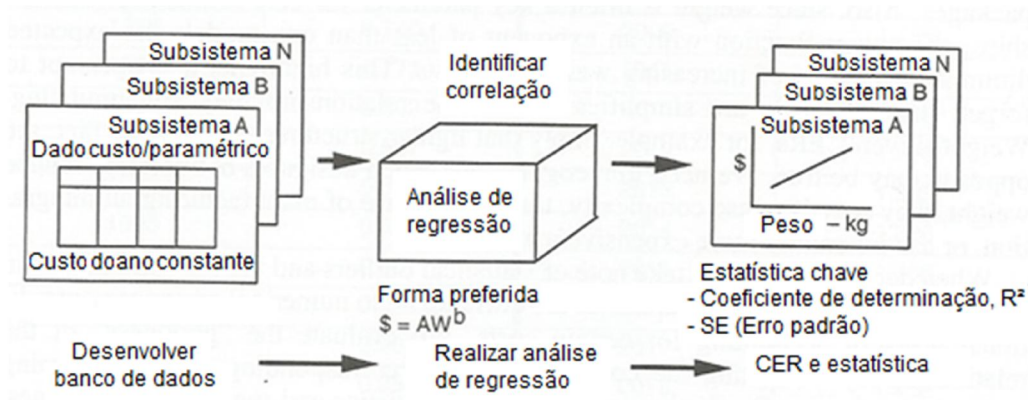
- Deve-se ter cuidado quando os dados forem utilizados, para assegurar que as atividades do trabalho e as saídas dos trabalhos que estão sendo

utilizados para o desenvolvimento dos CERs são do mesmo tipo, complexidade e duração (se um parâmetro do produto, como o peso, está correlacionado com o custo ou trabalho/hora).

Stewart (1995) afirma que se deve assegurar que os CERs estão sendo utilizados somente para estimar o trabalho e as saídas de trabalhos em que as características são similares aos dados históricos em que foram baseados. Os efeitos das ineficiências devem ser levados em consideração no desenvolvimento dos CERs.

A Figura abaixo demonstra o procedimento de desenvolvimento dos CERs, que representam como as propriedades do custo de um sistema ou subsistema variam de acordo com as características dos parâmetros, de acordo com Apgar (2005). A parte principal na definição de um conjunto de CERs é um banco de dados históricos. É necessária uma pesquisa extensiva e coleta de dados dos custos atuais e dados técnicos.

Figura 2.10: Derivando CERs de dados presentes.



Fonte: Apgar (2005).

O início da tarefa de desenvolvimento do CER é iniciado após os dados estarem propriamente categorizados e normalizados. Devido a esse fato é importante a normalização dos dados históricos. Deve-se categorizar corretamente entre custos recorrentes e não-recorrentes e no mesmo ano constante de dólares.

Então, deve ser feita a compensação para as diferenças econômicas na quantidade de produção. Além disso, Apgar (2005) também afirma que os parâmetros de design ou desempenho que serão relacionados ao custo devem estar na mesma unidade. O que incluem parâmetros programáticos, baseados no peso e de desempenho para o satélite em geral e cada um dos principais subsistemas.

Para permitir análise de custo de missões potenciais, digno de confiança no nível de subsistema sem requerer de um design detalhado, é necessário relacionar o custo às suas características técnicas. Outros fatores, chamados de wraps, são modelos de fatores não físicos incluídos no CER, como exemplo engenharia de sistema, gerenciamento, e garantia de produto, assim como o custo de integração e teste do sistema espacial. Para Apgar (2005), wraps geralmente é considerado cerca de 30% do custo de desenvolvimento para o sistema espacial. A escolha dos cost drivers (fatores de custo) envolve uma combinação de estatísticas, julgamento de engenharia, e às vezes, senso comum. Para o uso em sistemas espaciais, os fatores de custo devem ser primeiramente peso, potência e requisitos de desempenho, afirma Apgar (2005), que são os parâmetros mais prováveis de estarem disponíveis durante um estudo avançado do sistema.

Apgar (2005) utiliza como objeto de estudo o FireSat, que possui os seus CERs distribuídos em três Tabelas (3, 4 e 5), que podem ser utilizadas para estimar o custo em milhares de dólares no ano fiscal de 2000 como uma função dos parâmetros especificados. Esses CERs são derivados de dados históricos e, portanto, a sua validade é limitada para uma extensão dos valores dos parâmetros. As equações não devem ser utilizadas além dos 25%, tanto para mais quanto para menos, dados pelas extensões dos parâmetros para que se tenha uma estimativa mais exata.

De acordo com Apgar (2005), nas Tabelas 3 e 4, os CERs de RDT&E (1) foram retirados do USCM 7^a edição do ano de 1994, em que os CERs possuem um erro padrão percentual (SE) imparcial. Os dois primeiros erros (2) apresentados no SE não são erros em percentuais e sim, erros absolutos em FY00\$K. No

subsistema de Telemetria, Rastreamento e Comando (TTC&DH) está incluso o computador da espaçonave (3). Caso seja necessário a separação dos CERs para TT&C e C&DH deve ser feita uma divisão de 0.45/0.55. Na tabela abaixo o Sistema de Potência Elétrica é chamado de EPS, a Determinação de Atitude e Sistema de Controle é apresentada como ADCS, o Apogeu Kick Motor é chamado de AKM, a Integração, Montagem e Teste é chamado de IA&T, o Equipamento de Apoio Terrestre é apresentado como GSE, e o Apoio de Operações de Lançamento e Órbita possui o nome LOOS.

Tabela 2.3: CERs para estimar o custo do subsistema RDT&E (FY00\$K).

Componente de custo	Parâmetro, X (Unidade)	Extensão dos dados de entrada	CER RDT&E (1) (FY00\$K)	SE (%)
1. Carga útil				
Sensor IR	abertura dia. (m)	0.2 – 1.2	$356,851 X^{0.562}$	53,559 (2)
Sensor de luz visível	abertura dia. (m)	0.2 – 1.2	$128,827 X^{0.562}$	19,336 (2)
Comunicações	peso do subsistema de com. (kg)	65 – 395	$353.3 X$	51
2. Espaçonave	peso seco da espaçonave (kg)	235 – 1,153	$101 X$	33
Estrutura	peso da estrutura (kg)	54 – 392	$157 X^{0.83}$	38
Térmico	X_1 =peso térm. (kg)	1.6 – 48	$394 X_1^{0.635}$	45
	X_2 =peso esp. + peso car. útil (kg)	210 – 404	$1.1X_1^{0.610}X_2^{0.943}$	32
EPS	X_1 =peso EPS (kg)	31 – 491	$62.7 X_1$	57
	X_2 =pot. BOL (W)	100 – 2,400	$2.63(X_1 X_2)^{0.712}$	36
TTC&DH (3)	peso TT&C/DH (kg)	12 – 65	$545 X^{0.761}$	57
ADCS	peso ADCS (kg)	20 – 160	$464 X^{0.867}$	48
AKM	peso AKM (kg)	81 – 966	$17.8 X^{0.75}$	-
3. IA&T	ônibus espacial + custo total da carga útil RD&T (FY00\$K)	2,703 – 395,529	$989 + 0.215 X$	46
4. Nível de programa	ônibus espacial + custo total da carga útil RD&T (FY00\$K)	4,607 – 523,757	$1.963 X^{0.841}$	38
5. GSE	ônibus espacial + custo total da carga útil RD&T (FY00\$K)	24,465 – 581,637	$9.262 X^{0.642}$	34
6. LOOS	N/A			

Fonte: Apgar (2005).

Tabela 2.4: CERs para estimar o custo do subsistema TFU (*Theoretical First Unit*).

Componente de custo	Parâmetro, X (Unidade)	Extensão dos dados de entrada	CER RDT&E (1) (FY00\$K)	SE (%)
1. Carga útil				
Sensor IR	abertura dia. (m)	0.2 – 1.2	$142,742 X^{0.562}$	21,424 (2)
Sensor de luz visível	abertura dia. (m)	0.2 – 1.2	$51,469 X^{0.562}$	7,734 (2)
Comunicações	peso do subsistema de com. (kg)	65 – 395	140 X	43
2. Espaçonave	peso seco da espaçonave (kg)	154 – 1,389	43 X	36
Estrutura	peso da estrutura (kg)	54 – 560	13.1 X	39
Térmico	peso térm. (kg)	3 – 87	$50.6 X^{0.707}$	61
EPS	peso EPS (kg)	31 – 573	$112 X^{0.763}$	44
TTC&DH (3)	peso TT&C/DH (kg)	13 – 79	$635 X^{0.568}$	41
ADCS	peso ADCS (kg)	20 – 192	$293 X^{0.777}$	34
AKM	peso AKM (kg)	81 – 966	$4.97 X^{0.823}$	20
3. IA&T	peso ônibus espacial peso carga útil (kg)	155– 1,390	10.4 X	44
4. Nível de programa	espaçonave + custo recorrente total da carga útil (FY00\$K)	15,929 – 1,148,084	0.341 X	39
5. GSE	N/A			
6. LOOS	peso ônibus espacial + carga útil (kg)	348 – 1,537	4.9 X	42

Fonte: Apgar (2005).

Os CERs para os subsistemas de carga útil e ônibus espacial são baseados principalmente nos parâmetros disponíveis durante as fases de conceito e design da missão. As principais categorias de custos (de hardware, software e nível de programa) são usados para indicar que a estimativa para essas funções possui base no custo percentual de hardware. Apgar (2005) afirma que wraps são custos associados com atividades de trabalho intensivo onde o nível de mão de obra é alocado durante algum período de desempenho. As funções nessa categoria são gerenciamento, engenharia de sistema, garantia de produto e teste de sistema. Os CERs das Tabelas 3 (CERs para estimar o custo do subsistema RDT&E (FY00\$K)), 4 (CERs para estimar o custo do subsistema

TFU) e 5 (CERs para satélites de pequeno porte para orbitar ao redor da Terra incluindo RDT&E e TFU) fornecem os custos gerais do nível de programa, enquanto que a Tabela 6 (Alocação de custo no Nível de Programa) fornece a alocação dos custos no nível de programa para os componentes wrap.

Os CERs utilizados na Tabela abaixo de custo do subsistema (1) foram baseados no SSCM (Small Satellite Cost Model), ajustados de acordo com a inflação. A estrutura (2) utiliza materiais principalmente de alumínio com o uso selecionado de materiais avançados (como exemplo, compostos e magnésio). O CER utilizado para estimar o custo do subsistema térmico (3) é apropriado para somente sistemas passivos. Os CERs de TT&C (4) se aplicam para UHF/VHF e sistemas LEO banda S. Os propulsores (5) utilizam somente monopropelentes de hidrazina e sistemas de manutenção de estação de gás frio. O CER não é apropriado para bipropelente ou sistemas de dois modos, além dos custos de AKM não estão inclusos. Foi calculado o valor da extensão dos dados de entrada (6) utilizando valores máximos e mínimos de dado de entrada para o CER de custo do ônibus espacial no item 2 da tabela abaixo.

Tabela 2.5: CERs para satélites de pequeno porte para orbitar ao redor da Terra incluindo RDT&E e TFU.

Componente de custo	Parâmetro, X (Unidade)	Extensão dos dados de entrada	CER custo subsistema (1) (FY00\$K)	SE (FY00\$K)
1.Carga útil	ct espaçonave (FY00\$K)	1,922-50,651	0.4X	0.4xSEbus
2.Espaçonave	peso seco do satélite (kg)	20-400	781+26.1X1.261	3,696
Estrutura (2)	peso da estrutura (kg)	5-100	299+14.2X ln(X)	1,097
Térmico (3)	peso do control. term. (kg)	5-12	246+4.2X2	119
	potência méd. (W)	5-410	-183+181X0.22	127

continua

Tabela 2.5: Conclusão.

EPS	peso sist. pot. (kg)	7-70	$-926+396X^{0.72}$	910
	área do painel solar (m ²)	0.3-11	$-210,631+$ $213,527X^{0.0066}$	1,647
	capacidade bateria (A- hr)	5-32	$375+494X^{0.754}$	1,554
	potência BOL (W)	20-480	$-5,850+4,629X^{0.15}$	1,585
	potência EOL (W)	5-440	$131+401X^{0.452}$	1,603
TT&C (4)	peso TT&C/DH (kg)	3-30	$357+40.6X^{1.35}$	629
	taxa de down. dado(Kbps)	1-1,000	$3,636-3,057X^{-0.23}$	1,246
C&DH	peso TT&C+DH (kg)	3-30	$484+55X^{1.35}$	854
	cap. armazenamento dado (MB)	0.02-100	$-27,235+$ $29,388X^{0.0079}$	1,606
ADCS	peso seco ADCS (kg)	1-25	$1,358+8.58X^2$	1,113
	precisão apont. (graus)	0.25-12	$341+2,651X^{-0.5}$	1,505
	precisão conheç. (graus)	0.1-3	$2,643-1,364 \ln(X)$	1,795
Propulsão (5)	peso seco ôni. esp. (kg)	20-400	$65.6+2.19X^{1.261}$	310
	volume satélite (m ³)	0.03-1.3	$1539+434 \ln(X)$	398
	número de propulsores	1-8	$4,303-3,903X^{-0.5}$	834
3.IA&T	custo total da espaçonave (FY00\$K)	1,922- 50,651(6)	$0.139X$	$0.139xSE_{bus}$
4.Nív.de programa	custo total da espaçonave (FY00\$K)	1,922- 50,651(6)	$0.229X$	$0.229xSE_{bus}$
5.GSE	custo total da espaçonave (FY00\$K)	1,922- 50,651(6)	$0.066X$	$0.066xSE_{bus}$
6.LOOS	custo total da espaçonave (FY00\$K)	1,922- 50,651(6)	$0.061X$	$0.061xSE_{bus}$

Fonte: Apgar (2005).

Tabela 2.6: Alocação de custo no Nível de Programa.

Componente Nível de Programa	RDT&E	TFU
Gerenciamento de programa	20%	30%
Engenharia de Sistemas	40%	20%
Garantia do Produto	20%	30%
Avaliação do Sistema	20%	20%

Fonte: Apgar (2005).

É importante verificar se as definições dos modelos e os CERs estão consistentes com as definições do WBS.

São tipicamente feitas as seguintes distinções entre custo não recorrente e recorrente, de acordo com Apgar (2005):

- Custo não recorrente: inclui todo o esforço associado ao design, elaboração, unidade de engenharia IA&T, equipamento de apoio terrestre, e uma porção do programa de gerenciamento e custo de engenharia de sistema. O que inclui todos os custos associados com verificação de design e requisitos de interface. São associados com projeto, desenvolvimento, fabricação e teste de qualificação de um veículo espacial, mais um programa específico de equipamentos de suporte terrestre (GSE - Ground Support Equipment). É frequentemente identificado como abordagem de protótipo e não produz uma unidade de voo. Para aqueles programas que usam uma abordagem protoflight, a unidade de teste de qualificação será remodelada mais tarde para se tornar a primeira unidade de voo, apesar de não ser comum. Essa abordagem diminui o custo, já que não haverá como resultado hardware sem fim. Isso requer um adicional do custo não recorrente (RDT&E) de aproximadamente 30% do custo recorrente (TFU) para o remodelamento. Os CERs das Tabelas 3 (CERs para estimar o custo do subsistema RDT&E (FY00\$K)) e 5 (CERs para satélites de pequeno porte para orbitar ao redor da Terra incluindo RDT&E e TFU) assumem essa abordagem protoflight, incluem o custo de uma unidade de qualificação, de acordo com Wertz (2005).

- Custo recorrente: cobre todos os esforços associados ao hardware de voo, manufatura, IA&T, e uma porção do programa de gerenciamento e engenharia de sistema. São associados com trabalho e material de fabricação, manufatura, integração, montagem e teste do hardware de voo do veículo espacial mais o esforço associado ao lançamento e operações orbitais no suporte do programa. Banco de dados de custo acumula tipicamente o custo total dos programas recorrentes, ao invés de especificar por unidade de produção. Como resultado, dados de custo recorrentes históricos devem ser ajustados para refletir o custo Theoretical First Unit (TFU - o ponto inicial para a aprendizagem de produção, conhecido como T1), para o propósito de desenvolver o CER recorrente. Para a abordagem de protótipo, o T1 é a primeira unidade de voo; para a abordagem protoflight, o T1 é na verdade a segunda unidade de voo.

Os CERs presentes nas Tabelas 3 (CERs para estimar o custo do subsistema RDT&E (FY00\$K)) e 4 (CERs para estimar o custo do subsistema TFU (Theoretical First Unit)) já estão separados entre custos de RDT&E (não recorrente) e TFU (recorrente) afirma Apgar (2005). Já que os CERs na Tabela 5 (CERs para satélites de pequeno porte para orbitar ao redor da Terra incluindo RDT&E e TFU) apresentam estimativa do custo total do subsistema, fatores para a divisão entre RDT&E e TFU são necessários. Esses fatores estão presentes na Tabela abaixo. Podem ser aplicados para estimarem o custo total do subsistema dos CERs, para se obter estimativas das porções recorrentes e não recorrentes.

Tabela 2.7: Separação do custo de satélites de pequeno porte.

Subsistema/Atividade	Fração do custo do ônibus espacial (%)	Não Recorrente (%)	Recorrente (%)
1.0 Carga útil	40.0%	60%	40%
Total ônibus	100.0%	60%	40%
2.1 Estrutura	18.3%	70%	30%
2.2 Térmico	2.0%	50%	50%
2.3 EPS	23.3%	62%	38%
2.4a TT&C	12.6%	71%	29%
2.4b C&DH	17.1%	71%	29%
2.5 ADCS	18.4%	37%	63%
2.6 Propulsão	8.4%	50%	50%
Wraps			
3.0 IA&T	13.9%	0%	100%
4.0 Nível de Programa	22.9%	50%	50%
5.0 GSE	6.6%	100%	0%
6.0 LOOS	6.1%	0%	100%
Total	189.5%	92.0%	97.5%

Fonte: Apgar (2005).

Na Tabela abaixo é mostrado os fatores para o desenvolvimento hereditário. Estes fatores multiplicadores devem ser aplicados no CER de RDT&E para a maturidade de design de certo subsistema. É definido como hereditário a porcentagem em que um subsistema é idêntico com um ou mais espaçonave, através da massa.

Tabela 2.8: Fatores para o desenvolvimento hereditário.

Fator multiplicador para o desenvolvimento hereditário (Aplicado somente ao custo do RDT&E)	
Novo design com desenvolvimento avançado	> 1.1
Novo design nominal – alguma hereditariedade	1.0
Grande modificação de um design existente	0.7-0.9
Modificações moderadas	0.4-0.6
Basicamente o design existente	0.1-0.3

Fonte: Apgar (2005).

Os CERs para estimar o custo para softwares de voo e terrestre estão presentes na Tabela abaixo. Que também fornece fatores para vários tipos de linguagem. Assume-se que o software de voo custa mais devido ao fato de que é necessária uma quantidade maior de testes. Caso seja utilizado um software que já foi desenvolvido deve-se aplicar os fatores que estão presentes na Tabela 8 (Fatores para o desenvolvimento hereditário).

Tabela 2.9: Custo de desenvolvimento de *Software*.

<i>Software</i> de voo	435 x KLOC
<i>Software</i> terrestre	220 x KLOC
KLOC = Milhares de linhas de código; custo sem taxas	
Fatores para outras linguagens	
Linguagem	Fator
Ada	1.00
UNIX-C	1.67
PASCAL	1.25
FORTRAN	0.91

Fonte: Apgar (2005).

Os custos do segmento terrestre podem variar significativamente dependendo dos propósitos das estações terrestres. Para a maioria das estimativas de custo

da estação terrestre, deve-se declarar os requisitos para metragem quadrada de instalações, e uma lista de equipamentos de itens específicos que não são tipicamente determinados durante o estágio de desenvolvimento de conceito de um programa.

Para o exemplo do FireSat os custos dos vários elementos da estação terrestre serão baseados na distribuição típica do custo entre software, equipamento, instalações e wraps, como é mostrada na Tabela abaixo:

Tabela 2.10: Modelo de custo do desenvolvimento do segmento terrestre.

Elementos da Estação Terrestre (GSE)	Custo de desenvolvimento distribuição do custo (%)	Custo de desenvolvimento como porcentagem do custo do software (%)
Instalações	6	18
Equipamento	27	81
<i>Software</i>	33	100
Logísticas	5	15
Nível de Sistemas		
Gerenciamento	6	18
Eng de sistemas	10	30
Garantia de produto	5	15
Integração e Teste	8	24

Fonte: Apgar (2005).

Os custos de operação e apoio durante a fase operacional do segmento terrestre consistem principalmente do custo das pessoas do contratante e do governo assim como os custos de manutenção do equipamento, software e instalação, de acordo com Apgar (2005). A Tabela abaixo apresenta as expressões para esses custos. A taxa de trabalho inclui custos fixos e outras despesas típicas associadas à mão de obra. Para terminais terrestres menores, a Tabela 12 (Terminais terrestres, antenas e eletrônicos de comunicação)

fornece alguns custos típicos de equipamentos de comunicação para bandas de frequências mais utilizadas.

Tabela 2.11: Custo de operações e apoio em FY00\$.

Manutenção	$0.1 \times (SW+EQ+FAC) / \text{ano}$
Trabalho contratante	\$160K / funcionários ano
Trabalho governo	\$110K / funcionários ano

Fonte: Apgar (2005).

Tabela 2.12: Terminais terrestres, antenas e eletrônicos de comunicação.

Frequência	Custo (FY00\$)
SHF	$(50 \times D) + (400 \times P) + 1,800$
Bandas K, C	640
Banda Ku	750
D= diâmetro da antena (m)	P= RF potência (kW)

Fonte: Apgar (2005).

O modelo de custo do lançamento inclui custos de veículos e operações no local de lançamento, como é mostrado na Tabela abaixo. Para a maioria das missões, o lançamento representa uma porção significativa do custo. Para veículos reutilizáveis (Space Shuttle) a operação representa o custo predominante. Os custos são apresentados em termos de custo de unidade de lançamento, com exceção do Shuttle, onde o custo de uso é baseado na fórmula usando o peso ou o comprimento de utilização na baía do Shuttle, qualquer que seja o maior custo. A Tabela abaixo também indica o custo/kg da carga útil para o LEO. Isso indica o alcance do custo e o tamanho da carga útil e fornece uma guia do custo para que novos veículos lançadores possam ser tão competitivos quanto os reutilizados.

Tabela 2.13: Custo do veículo lançador em FY00\$M.

Veículos lançadores	Max. Carga útil para Órbita (kg)			Custo unidade (FY00\$M)	Custo por kg para LEO (FY00\$M/kg)
	LEO	GTO	GEO		
USA					
Atlas II	6,580	2,810		80-90	12.2-13.7
Atlas II A	7,280	3,039		85-95	11.7-13.0
Atlas II AS	8,640	3,606		100-110	11.6-12.7
Athena 1	800			18	22.5
Athena 2	1,950			26	13.3
Athena 3	3,650			31	8.5
Delta II	5,089	1,840		50-55	9.8-10.8
Pegasus XL	460			13	28.3
Satum V	127,000			820	6.5
Shuttle	24,400	5,900	2,360	400	16.4
Titan II	1,905			37	19.4
Titan IV	21,640	8,620	5,760(Cen)	214(270)	9.9
Taurus	1,400	450		20-22	14.3-15.7
ESA					
Arlane4 (AR40)	4,900	2,050		50-65	10.2-13.3
Arlane4	6,100	2,840		65-80	10.7-13.1
(AR42P)	9,600	4,520		95-120	9.9-12.5
Arlane4	18,000	6,800		130	7.2
(AR44L)					
Arlane5 (550km)					
CHINA					
Long March C23B	13,600	4,500	2,250	75	5.5

continua

Tabela 2.13: Conclusão.

RUSSIA					
Proton SL-13	20,900			55-75	2.6-3.6
Kosmos C-1	1,400			11	7.9
Soyuz	7,000			13-27	1.9-3.9
Tsyklon	3,600			11-26	3.1-4.4
Zenit 2	13,740			38-50	2.8-3.6
JAPÃO					
H-2	10,500	4,000	2,200	160-205	15.2-19.5
J-1	900			55-60	61.1-66.7
GTO=Órbita de transferência geossíncrona; GEO=Órbita geostacionária; LEO=Órbita terrestre baixa					

Fonte: Apgar (2005).

2.4 Métodos de estimativa de custo

Existem diferentes abordagens e métodos para estimativa e avaliação de custo, cada um possui suas vantagens e desvantagens. O método mais indicado é selecionado considerando os seguintes tópicos:

- Caráter da atividade a ser orçamentado ou avaliado;
- A experiência da organização com o sistema ou atividade a ser orçamentado;
- Medida que pode ser feita referência a exercícios anteriores;
- A disponibilidade de informações confiáveis do design;
- O tempo disponível para preparar a estimativa.

Outros aspectos de seleção são: a fase de projeto em que a estimativa será realizada e as exigências específicas relativas às informações de custo, bem

como o grau de precisão exigido. Usualmente vários métodos são aplicados para verificar se os resultados são válidos.

As abordagens de estimativa de custo e avaliação mais comuns, de acordo com o Bieler (2009), são apresentadas a seguir:

2.4.1 Julgamento do expert ou método wideband delphi

Essa abordagem é utilizada para fazer uma estimativa rápida e simples. Seu alcance é limitado para áreas específicas e necessita do julgamento de um expert, assim como familiaridade com a área de atividade. Pois é a partir da experiência do responsável que é feita a estimativa de custo do projeto, ou seja, quanto mais experiente o profissional, melhor será a sua estimativa. Não é bem sofisticado, porém pode ser suficientemente exata em momentos em que é necessária uma estimativa rápida.

GAO (2009) afirma que a opinião de um expert é muito subjetiva mas pode ser utilizado quando não há dados. A habilidade de entrevista do estimador de custo também é importante para capturar o conhecimento do expert para que a informação seja utilizada de forma apropriada. Porém, o estimador de custo nunca deve pedir para o expert estimar fora da sua área de conhecimento.

As vantagens de se utilizar esse método de estimativa de custo, de acordo com GAO (2009):

- Pode ser utilizado quando não há dados históricos disponíveis.
- Requer um tempo mínimo para sua realização e é fácil a sua implementação.
- Um expert pode fornecer uma visão diferente ou identificar facetas que não foram consideradas previamente, levando à um entendimento melhor do programa.
- Pode auxiliar na verificação cruzada para CERs que necessitam dados além da faixa de dados.

- Pode misturar com outros métodos de estimativa de custo dentro do mesmo elemento.
- Pode ser aplicado em todas as fases.

Porém, esse método apresenta as seguintes desvantagens:

- Falta objetividade.
- O risco de que um expert irá tentar dominar a discussão e obrigar o grupo a aceitar todas as informações fornecidas.
- Não é preciso ou válido como método de estimativa primário.

2.4.2 Paramétrico

O método de estimativa de custo paramétrico utiliza uma série de relações matemáticas que relacionam o custo com os parâmetros físicos, técnicos e de desempenho, que são conhecidos por influenciarem o custo, de acordo com Apgar (2005). Torna possível a identificação dos fatores de custo e o desenvolvimento de modelos de custo. Essa abordagem correlaciona efetivamente o custo (do trabalho e pessoal) com parâmetros que descrevem o produto a ser custeado. Essa correlação leva às fórmulas conhecidas como: relação de estimativa de custo (cost estimation relationship - CERs). O CER pode variar de uma simples relação matemática até equações de alta complexidade e pode ser elaborado sempre que existir uma quantidade adequada de informações. Os CERs são tipicamente desenvolvidos para tecnologias particulares, levando em consideração parâmetros associados (massa, potência, entre outros) e o modelo filosófico. A equação a seguir é um exemplo simples do CER:

Figura 2.11: Exemplo simples de CER.

$$\text{Custos} = a \cdot P^b \cdot n$$

Fonte: Bieler (2009).

No exemplo acima os parâmetros "a" e "b" são determinados por análise estática dos dados de referência do custo. Nesse caso o parâmetro técnico é o "P" que poderia a massa expressa em uma dada unidade e o número de modelos a serem desenvolvidos.

Modelos de custo paramétricos podem ser desenvolvidos dentro da organização para analisar os próprios dados ou pode ser adquirido no mercado comercial (é necessário calibrar o modelo com dados específicos de referência da organização), de acordo com o Bieler (2009). Esse modelo possui suas vantagens, mesmo tendo um custo associado ao seu desenvolvimento. Esse modelo permite estimativas e avaliações para serem efetuadas relativamente rápidas e com um custo relativamente baixo, a evolução do processo pode ser acompanhada, e pode retornar a um ponto posterior no tempo.

É possível utilizar vários métodos diferentes para diferentes elementos de custo, mesclar e desenvolvê-los em um modelo de custo específico. Tais modelos podem combinar parâmetros de design gerais (tamanhos de abertura, comprimentos de onda ou o tipo de telescópio) com parâmetros mais específicos (massa ou esforço de desenvolvimento).

De acordo com Wertz (2011), a diferença entre os custos não recorrentes e recorrentes auxiliam na hora de escolher o modelo ou o CER mais apropriado, assim como o local correto da predição de custo dentro do WBS do projeto. CERs preveem custos não recorrentes ou recorrentes, às vezes ambos.

A Tabela abaixo resume o procedimento para a realização da estimativa de custo paramétrico.

Tabela 2.14: Etapas do processo de estimativa de custo paramétrico.

ETAPAS
1. Desenvolvimento do WBS - Identificação de todos os elementos de custo
2. Lista das características do sistema espacial - Identificação dos parâmetros de tecnologia avançada
3. Cálculo do custo do segmento espacial - Custo do RDT&E - Custo do Software - Custo do TFU - Custo da unidade subsequente
4. Cálculo do custo do segmento de lançamento
5. Cálculo do custo do segmento terrestre - Primeira estação terrestre - Custo do software - Estações terrestres adicionais - Terminais terrestres
6. Cálculo dos custos de operação e manutenção - Segmento espacial sobressalente - Custo de lançamento para sobressalentes - Sistema terrestre de operação e suporte
7. Custo do ciclo de vida

Fonte: Apgar (2005).

Na tabela abaixo NASA (2015) demonstra as vantagens, desvantagens e as aplicações do método de estimativa de custo paramétrico:

Tabela 2.15: Vantagens, desvantagens e aplicações do método paramétrico.

Vantagens	Desvantagens	Aplicações
Uma vez desenvolvido, CERs são ferramenta excelentes para responderem rapidamente questões “e se”.	Geralmente é difícil para outros entenderem a estatística associada aos CERs.	<ul style="list-style-type: none"> • Estudos de comércio de design para custo. • Verificação cruzada.
Prognósticos estatisticamente sólidos que fornecem informações sobre a capacidade preditiva do estimador de confiança	Deve ser descrito e documentado a seleção dos dados não tratados, ajuste aos dados, desenvolvimento de equações, descobertas estatísticas e conclusões para validação e aceitação	<ul style="list-style-type: none"> • Estudos arquitetônicos. • Planejamento a longo alcance.
Elimina a dependência da opinião através do uso de observações reais	Coletando dados apropriados e gerar CERs estatisticamente corretos é geralmente difícil, consome tempo e é caro	<ul style="list-style-type: none"> • Análise de sensibilidade.
A defensibilidade repousa na correlação lógica, na pesquisa minuciosa e disciplinada, dados defensáveis e método científico	Perda da capacidade / credibilidade de previsão fora do intervalo de dados relevante	<ul style="list-style-type: none"> • Análise de risco baseada em dados • Desenvolvimento de software.

Fonte: NASA (2015).

2.4.3 Analogia

Uma condição importante para esse método amplamente utilizado é a habilidade de verificar o custo de atividades prévias, elementos ou sistemas. Dados históricos relevantes são utilizados como referência para a predição de custo dos itens atuais. Este método depende da informação presente no banco de dados (que, preferencialmente, deve estar completo e preciso) e caso haja diferenças dos elementos técnicos, programáticos ou econômicos dos elementos a serem estimados é necessário ser feito a identificação dos mesmos para a

normalização do banco de dados. Deve ser levada em consideração a tendência de custo e qualquer mudança de circunstâncias que possam influenciar o mesmo.

O método por analogia é aplicado quando não há muitos dados disponíveis em um projeto, de acordo com GAO (2009). Maioria dos programas novos envolvem projetos previamente desenvolvidos que foi adicionada uma nova característica ou simplesmente uma nova combinação de componentes já existentes. Ou seja, o método por analogia utiliza custos de programas similares ajustando as diferenças entre os requisitos do sistema existente e do novo, de acordo com GAO (2009). O estimador de custo utiliza esse método quando há definição técnica e programática o suficiente para fazer os ajustes necessários. Apgar (2005) afirma que é utilizado o custo dos itens similares e ajustados as diferenças em tamanho e complexidade. Pode ser aplicado em qualquer nível de detalhe do sistema.

Os ajustes devem ser feitos de forma mais objetiva possível, utilizando fatores que representam diferença em tamanho, desempenho, tecnologia ou complexidade GAO (2009) afirma. O estimador de custo deve identificar os fatores de custo importantes, determinar como os itens mais velhos se relacionam aos mais novos, e decidir como cada fator de custo afeta o custo total do projeto. Esse tipo de método deve ser desenvolvido por um expert. E, se possível, os ajustes devem ser quantitativos e não qualitativos, evitando julgamentos subjetivos. Pode ser utilizado antes de se conhecer os requisitos detalhadamente. A tabela abaixo demonstra as vantagens, desvantagens e a aplicabilidade do método por analogia, de acordo com a NASA (2015).

Tabela 2.16: Vantagens, desvantagens e aplicações do método por analogia.

Vantagens	Desvantagens	Aplicações
Baseado em dados históricos reais	Em alguns casos, depende de uma parte pontual do banco de dados	<ul style="list-style-type: none"> • Cedo no processo de design. • Quando poucos dados estão disponíveis. • Estimativa em ordem aproximada de magnitude • Verificação cruzada. • Estudos arquitetônico. • Planejamento de longo alcance
Rápido	Pode ser difícil identificar análogo apropriado	
Prontamente entendido	Requer a normalização dos dados para assegurar a sua precisão	
Preciso para pequenos desvios do análogo	Depende da extrapolação do julgamento do expert para os fatores de ajuste	

Fonte: NASA (2015).

2.4.4 Estimativa de custo *bottom-up*

Este método entrega estimativa de custo detalhada utilizando o lowest configuration item, ou seja, todos os elementos a serem estimados já possuem todos os dados bem detalhados e especificados. Portanto, pode-se determinar o custo de cada pacote de trabalho do WBS, e está conectado diretamente com planejamento de cronograma e alocação de recurso. Devido à grande quantidade de detalhes, a estimativa bottom-up é demorada e cara, geralmente ocorre na fase B, quando sabe-se detalhadamente todos os dados necessários. É através da estimativa bottom-up que pode-se dizer com um nível alto de certeza o custo total do projeto a ser desenvolvido.

GAO (2009) afirma que o método de estimativa de custo bottom-up cria uma estimativa de custo geral através da junção das estimativas detalhadas realizadas no nível mais baixo do WBS. Apgar (2005) afirma que os elementos

são identificados e especificados em um nível baixo que torna o sistema. Portanto pode ser estimado o custo de material e trabalho para desenvolver e produzir cada elemento.

Esse método de estimativa é realizado no nível mais baixo de detalhe e consiste nos custos de trabalho e materiais adicionados dos custos gerais e taxas, de acordo com GAO (2009). É requerido uma lista de partes detalhadas, adicionando trabalho/hora. Baseado em como o trabalho será realizado, as partes materiais serão alocadas ao nível mais baixo do WBS. GAO (2009) afirma que em adição, a quantidade e o cronograma devem ser considerados para capturar os efeitos de aprendizagem. Estimadores de custo geralmente trabalham com engenheiros para desenvolverem estimativas detalhadas. O foco dos estimadores de custo é a aquisição de informações detalhadas dos engenheiros de tal forma que essas informações sejam consistentes, razoáveis e completem as regras básicas e suposições do programa, afirma GAO (2009).

Esse método de estimativa é utilizado normalmente durante a fase de produção do projeto, devido ao fato de que as configurações do programa devem estar estabilizadas, e em que é requerido os dados de custo atuais para completar a estimativa, de acordo com GAO (2009).

Devido ao alto nível de detalhe requerido, é necessário identificar, medir e acompanhar cada passo do trabalho, além dos resultados de cada saída devem ser resumidos para fazer a estimativa pontual, afirma GAO (2009).

Na tabela abaixo NASA (2015) demonstra as vantagens, desvantagens e as aplicações do método de estimativa de custo bottom-up:

Tabela 2.17: Vantagens, desvantagens e aplicações do método bottom-up.

Vantagens	Desvantagens	Aplicações
Intuitivo	Caro: requer um esforço (tempo e dinheiro) significativo para criar uma estimativa bottom-up. Suscetível a erros de contagem por omissão/dobro	<ul style="list-style-type: none"> • Produção da estimativa • Negociações • Projetos maduros • Alocação de recursos
Defensível	Não responde prontamente aos requerimentos “e se”	
Credibilidade fornecida pela visão da base da estimativa fornecida por cada elemento de custo	Novas estimativas devem ser construídas novamente para cada alternativa de cenário	
Separável: a estimativa completa não está comprometida por um erro de cálculo de um elemento de custo individual	Não pode por si só fornecer nível de confiança "estatístico"	
Fornecer uma visão excelente nos principais contribuidores de custo	Não fornece uma boa visão nos fatores de custo (parâmetros que quando aumentado, causa um aumento significativo no custo)	
É reutilizável: facilmente transferível para o uso e introspecção de orçamento do projetos individuais e desempenho de cronograma	Relações/ligações entre os elementos de custo devem ser programados por analistas	

Fonte: NASA (2015).

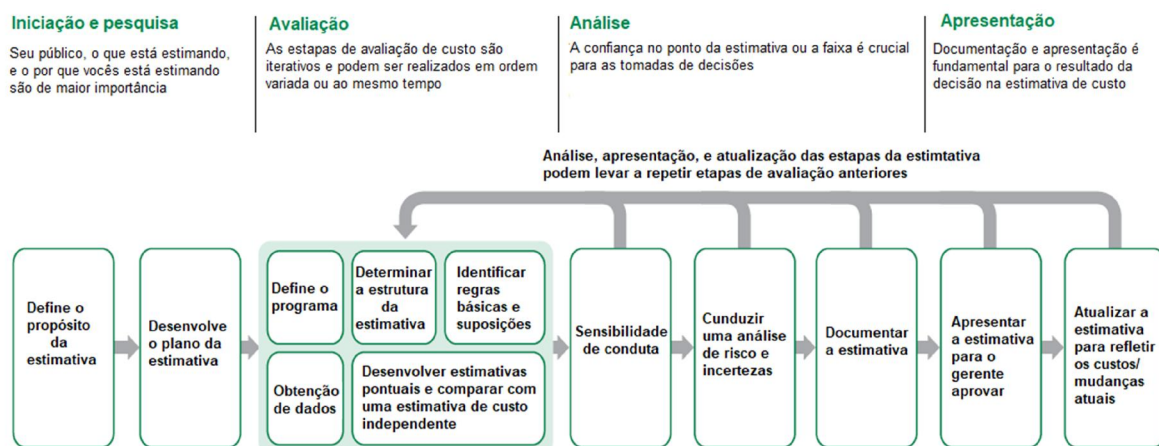
2.5 Processo de estimativa de custo

O processo de estimativa é dividido em passos que podem variar de acordo com cada instituição. Esses passos representam o trabalho principal do estimador de custo deve desenvolver para produzir uma estimativa de custo completa

(Stewart, 1995). Ou seja, o processo de estimativa de custo ajuda na organização de como será desenvolvida a estimativa do projeto a ser realizado. A única instituição que foi analisada nesta dissertação que não utiliza doze passos no processo de estimativa de custo é a ESA, como será demonstrado neste tópico.

A Figura abaixo demonstra o processo de estimativa de custo de acordo com GAO (2009). Essas doze etapas servem de base para projetos desenvolvidos por instituições dos Estados Unidos, como por exemplo a NASA.

Figura 2.12: Processo da estimativa de custo desenvolvido pelo Government Accountability Office.



Fonte: GAO (2009).

Assim como GAO (2009), Stewart (1995) utiliza o processo de estimativa de custo dividido em doze passos:

Figura 2.13: Processo de estimativa de custo.

Desenvolver a estrutura do elemento de trabalho
Elementos de cronograma de trabalho
Receber e organizar dados históricos
Desenvolver e utilizar CERs
Desenvolver e utilizar curvas de aprendizagem de produção
Identificar categorias de habilidades, níveis de habilidades e taxas de trabalho
Desenvolver estimativa de trabalho/hora e materiais
Desenvolver custos gerais e administrativos
Aplicar fatores de inflação e intensificação
Avaliar e computar a estimativa de custo
Analisar, ajustar e manter a estimativa
Publicar e apresentar a estimativa de custo para que seja utilizada de forma pública

Fonte: Stewart (1995).

Stewart (1995) e GAO (2009) utilizam processos de estimativa de custo que podem ser utilizados para estimar qualquer tipo de projeto, e não somente missões espaciais. Porém, esses processos podem ser adaptados para serem

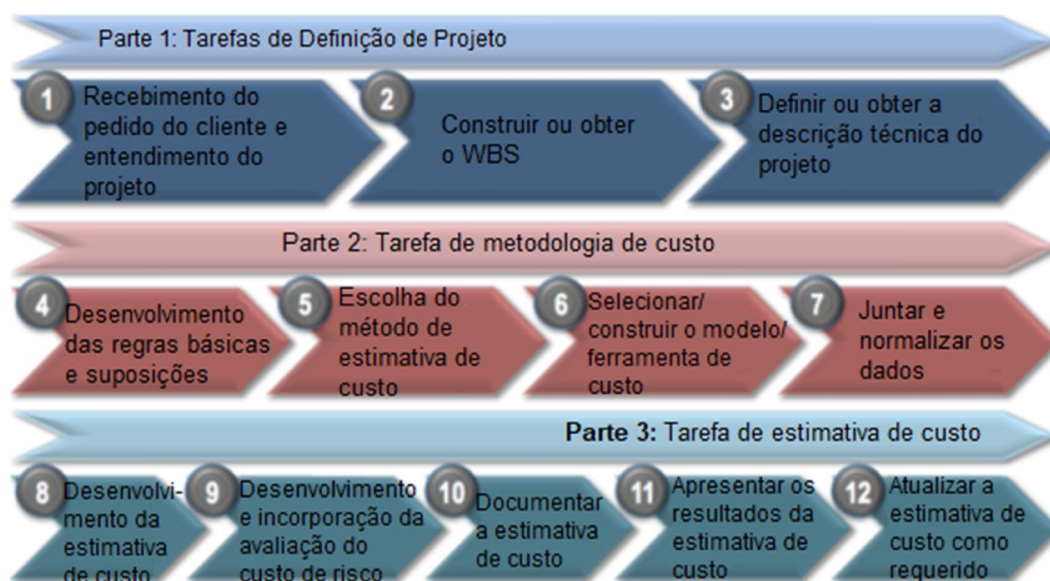
utilizados em projetos espaciais, como por exemplo: o processo de estimativa de custo da NASA que foi desenvolvido baseado no processo utilizado pelo GAO. Apesar de cada instituição possuir o seu próprio processo de estimativa de custo, o objetivo final é o mesmo: desenvolver a estimativa de custo.

Todos os processos de estimativa de custo possuem o desenvolvimento do plano e a estrutura da estimativa, obtenção de dados históricos, identificação de regras básicas e suposições, desenvolvimento da estimativa, documentação e publicação da estimativa desenvolvida e atualização da estimativa, caso seja necessário.

2.5.1 Processo de estimativa de custo NASA

O processo de estimativa de custo desenvolvido pela NASA é dividido em doze passos, que são divididos em três partes: Tarefa de definição de projeto, tarefa de metodologia de custo e tarefa de estimativa de custo. Como pode ser demonstrado na Figura abaixo:

Figura 2.14: Processo de estimativa de custo da NASA.



Fonte: NASA (2015).

Parte 1: Tarefa de definição de projeto

A parte 1 é dividida em três tarefas: Recebimento do pedido do cliente e entendimento do projeto; Construir ou obter o WBS; Definir ou obter a descrição técnica do projeto.

Parte 2: Tarefa de metodologia de custo

A parte 2 é dividida em quatro tarefas: Desenvolvimento das regras básicas e suposições; Escolha do método de estimativa de custo; Selecionar/ construir o modelo/ ferramenta de custo; Juntar e normalizar os dados.

Parte 3: Tarefa de estimativa de custo

A parte 3 é dividida em cinco tarefas: Desenvolvimento da estimativa de custo; Desenvolvimento e incorporação da avaliação do custo de risco; Documentar a estimativa de custo; Apresentar os resultados da estimativa de custo; Atualizar a estimativa de custo como requerido.

Tabela 2.18: Processo de estimativa de custo da NASA.

Passos	Descrição	Tarefas Associadas
1	Recebimento do pedido do cliente e entendimento do projeto	<ul style="list-style-type: none">- Identificar o cliente e stakeholders que irão utilizar os resultados da estimativa.- Documentar expectativas para programas/projetos através da identificação do propósito da estimativa; especificação das necessidades da missão, objetivos e metas; avaliar a operação do funcionamento e fase do ciclo de vida.- Juntar e revisar todos os dados relevantes do projeto para avaliação. Discutir cronograma, dados, expectativas, e fonte de requisitos com o cliente.

continua

Tabela 2.18:- Continuação

2	Construir ou obter o WBS	<ul style="list-style-type: none"> - Utilizar o WBS padrão de um projeto de voo da NASA. - Definir os elementos do WBS no nível mais baixo apropriado ao nível de maturidade do projeto para a estimativa. - Criar um dicionário para definir elementos de WBS. - Assegurar que a estimativa de custo do WBS é consistente com outras funções do projeto incluindo cronograma.
3	Definir ou obter a descrição técnica do projeto	<ul style="list-style-type: none"> - Juntar e revisar todos os dados relevantes do projeto. - Coletar características do sistema, configuração, fatores de qualidade, segurança, conceito operacional e os riscos associados com o sistema. - Obter as metas do projeto, cronograma, estratégia de gerenciamento, plano de implementação/desenvolvimento, incluir lançamento, teste de estratégia, consideração de segurança e estratégia de aquisição.
4	Desenvolvimento das regras básicas e suposições	<ul style="list-style-type: none"> - Estabelecer um conjunto de regras básicas e suposições programáticas, técnicas e cronograma para definir o escopo da estimativa. - Chegar a um consenso das regras básicas e suposições com os stakeholders, vendedores e utilizadores finais, para assegurar a sua aplicabilidade e evitar problemas que tendem a estimativas imprecisas ou enganosas. - Documentar as regras básicas e suposições a medida que eles evoluem durante o processo inteiro da estimativa.

continua

Tabela 2.18: Continuação

5	Escolha do método de estimativa de custo	- Selecionar o método de estimativa de custo mais apropriado com os dados disponíveis para estimativas de custo altamente qualificada.
6	Selecionar/ construir o modelo/ ferramenta de custo	- Selecionar o modelo ou a ferramenta mais apropriada ou criar um modelo para estimar o custo. Fatores que influenciam o processo de seleção incluem dados e recursos disponíveis, cronograma e custo.
7	Juntar e normalizar os dados	- Fornece ao estimador de custo a maior quantidade possível de informação para que possa ser desenvolvido a estimativa de custo mais preciso.
8	Desenvolvimento da estimativa de custo	<ul style="list-style-type: none"> - Verificar as regras básicas e suposições. - Utilizar dados normalizados no modelo. - Assegurar que a estimativa possui um custo total compatível. - Rodar o modelo para calcular o custo. - Ajustar a estimativa de acordo com a inflação. - Conduzir qualquer verificação cruzada da estimativa. - Desenvolver ou atualizar o rastreamento de custo para estimativas anteriores ou independentes.
9	Desenvolvimento e incorporação da avaliação do custo de risco	<ul style="list-style-type: none"> - Determinar os fatores de custo do projeto e riscos com as entradas da NASA. - Desenvolver distribuições de probabilidade para os fatores de custo técnico e cronograma. - Desenvolver distribuições de probabilidade para as incertezas do modelo de custo. - Rodar o modelo de risco. - Identificar a probabilidade em que o custo atual é menor ou igual ao ponto estimado. - Recomendar despesa futura não alocada suficiente para alcançar o nível de porcentagem de confiança desejado.

continua

Tabela 2.18: Conclusão.

10	Documentar a estimativa de custo	- Capturar desde o começo do projeto até o seu final todas as informações utilizadas no processo de estimativa de custo, e todos os seus produtos resultantes.
11	Apresentar os resultados da estimativa de custo	- Apresentar a estimativa de custo criada aos stakeholders e às pessoas responsáveis pelas tomadas de decisões.
12	Atualizar a estimativa de custo como requerido	- Melhorar a estimativa a medida em que melhores informações se tornam disponíveis.

Fonte: NASA (2015).

2.5.2 Processo de estimativa de custo ESA

O processo de estimativa de custo utilizado pela ESA é dividido em sete etapas: Gerar e manter um banco de dados de referência; Atividades de preparação para a estimativa de custo; Seleção do método e construção ou implementação do modelo de custo; Estimativa de custo do desempenho e manutenção; Relatório de elaboração da estimativa de custo; Relatório de aprovação da estimativa de custo; Atualizar o relatório da estimativa de custo.

Tabela 2.19: Processo de estimativa de custo da ESA.

Passos	Descrição	Tarefas Associadas
1	Gerar e manter um banco de dados de referência	<p>- Escolha da fonte de informação de custo, que pode ser:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dados propostos (usualmente preços fixos de competidores reais). • Dados de estudos prévios. • Custos históricos.
2	Atividades de preparação para a estimativa de custo	<p>- Estabelecimento uma linha de base comum para ser utilizada pelo time do projeto para o desenvolvimento da estimativa.</p> <p>- Estabelecimento do WBS.</p> <p>- Analisar os entregáveis descritos no WBS para identificar todas as tarefas necessárias para alcançar os objetivos do projeto.</p> <p>- Comparar o <i>check list</i> dos itens de custo com as atividades listadas do WBS para descobrir se alguma tarefa foi negligenciada ou duplicada.</p> <p>- Identificação de todos os parâmetros de custo, para servir de entrada para o processo de seleção ou elaboração do modelo de custo.</p>
3	Seleção do método e construção ou implementação do modelo de custo	<p>- Desenvolvimento de uma lista de suposições base.</p> <p>- Coleta dos dados de entrada.</p> <p>- Selecionar o melhor método de estimativa de custo (ou a combinação de métodos) de acordo com a fase do projeto e os dados disponíveis.</p> <p>- Selecionar a ferramenta/modelo mais apropriado ou criar ou adaptar um modelo de estimativa de custo.</p>

continua

Tabela 2.19: Conclusão.

4	Estimativa de custo do desempenho e manutenção	<ul style="list-style-type: none"> - Realizar a análise do desempenho da estimativa de custo e a análise da sensibilidade para identificar os principais fatores de custo. - Juntar todos os modelos de custos elementares incluindo o modelo de avaliação de risco em um modelo de custo do projeto representando uma simulação de custo do projeto. - Determinar o valor do custo a ser mantido para atender um bom nível de confiança expresso pelos tomadores de decisões.
5	Relatório de elaboração da estimativa de custo	<ul style="list-style-type: none"> - Capturar os resultados da estimativa de custo, em uma abordagem contínua do começo do projeto até a sua finalização. É importante manter a estimativa atualizada para fornecer informações importantes e uma visão precisa para os tomadores de decisões do projeto.
6	Relatório de aprovação da estimativa de custo	<ul style="list-style-type: none"> - Revisar o relatório produzido anteriormente da estimativa de custo e aprovar de acordo com o plano de estimativa de custo, antes de sua liberação para o cliente e a aprovação dos seus marcos.
7	Atualizar o relatório da estimativa de custo	<ul style="list-style-type: none"> - Correção de qualquer erro potencial na aplicação dos modelos e as suas hipóteses associadas. - Estabelecer o modelo de custo mais apropriado para itens específicos. - Levantar em consideração hipóteses técnicas e programáticas modificadas e refazer todo o processo de estimativa de custo.

Fonte: ESA (2003)

2.5.3 Processo de estimativa de custo DoD

O processo de estimativa de custo utilizado pelo DoD é desenvolvido pelo GAO (Government Accountability Office), e possui doze passos para se obter uma estimativa de alta qualidade, de acordo com GAO (2009).

Tabela 2.20: Processo de estimativa de custo do DoD

Passo	Descrição	Tarefas Associadas
1	Definição do propósito da estimativa	<ul style="list-style-type: none">- Determinar o propósito da estimativa, nível requerido de detalhe e escopo geral.- Determinar quem irá receber a estimativa.
2	Desenvolvimento do plano da estimativa	<ul style="list-style-type: none">- Determinar o time da estimativa de custo e desenvolver o cronograma.- Determinar quem irá fazer a estimativa de custo independente.- Delinear a abordagem de estimativa de custos.- Desenvolver a linha do tempo da estimativa.
3	Definição das características do programa	<ul style="list-style-type: none">- Descrever em um documento de linha de base técnica, identificar o propósito do programa e as características do sistema e desempenho e todas as configurações do sistema.- Qualquer implicação de tecnologia.- O cronograma do programa de aquisição e estratégia de aquisição.- Seu relacionamento com outros sistemas existentes, incluindo antecessores ou sistemas similares.- Suporte e necessidades de segurança e itens de risco.- Quantidades de sistema para o desenvolvimento, teste e produção.- Planos de desenvolvimento e manutenção.

continua

Tabela 2.20: Continuação

4	Determinar a estrutura da estimativa	<ul style="list-style-type: none"> - Definir o WBS e descrever cada elemento em um dicionário WBS. - Escolher o melhor método de estimativa para cada elemento do WBS. - Identificar verificações cruzadas potenciais para custo provável e fatores de cronograma. - Desenvolver um <i>checklist</i> de estimativa de custo.
5	Identificação das regras básicas e suposições	<ul style="list-style-type: none"> - Definir claramente o que está incluído na estimativa e o que não está. - Identificar suposições globais e específico de programa, tais como o ano base da estimativa, incluindo o tempo que foi levado e o ciclo de vida. - Identificar informações do cronograma do programa por fase e estratégia de aquisição do programa.
		<ul style="list-style-type: none"> - Identificar qualquer restrição de cronograma e orçamento, suposições de inflação, e custos de viagens. - Especificar equipamentos que o governo deve fornecer assim como a utilização de instalações já existentes ou novas modificações ou desenvolvimento. - Identificar contratante principal e principais subcontratantes. - Determinar ciclos de atualizações de tecnologia, suposições de tecnologias e novas tecnologias a serem desenvolvidas. - Definir semelhanças com sistemas antecessores e deduções patrimoniais assumidas. - Descrever efeitos de novos modos de se fazer negócios.

continua

Tabela 2.20: Continuação

6	Obtenção de dados	<ul style="list-style-type: none"> - Criar um plano de coleta de dados com ênfase na coleta de dados atuais e relevantes técnicos, programáticos, de custo e risco. - Investigar possíveis fontes de dados. - Coletar dados e normalizar para contabilidade, inflação, aprendizagem e ajustes de quantidade. - Analisar os dados para os fatores de custo, tendências e anexos e comparar os resultados com as regras básicas e fatores padrões derivados dos dados históricos. - Entrevistar todas as fontes de dados e documentar com todas as informações pertinentes. - Armazenar dados para estimativas futuras.
7	Desenvolver estimativa pontual e comparar com uma estimativa de custo independente	<ul style="list-style-type: none"> - Desenvolver o modelo de custo, estimando cada elemento de WBS, utilizando a melhor metodologia do dado coletado e incluindo todas suposições de estimativa. - Expressar o custo em ano constante. - Dividir o tempo resultante pelo o custo espalhado nos anos em que é esperado o seu acontecimento, baseado no cronograma do programa.
		<ul style="list-style-type: none"> - Somar os elementos do WBS para desenvolver uma estimativa pontual geral. - Validar a estimativa procurando por erros, como contagem dupla ou omissão de custo. - Comparar a estimativa com a estimativa de custo independente e examinar onde e porque são diferentes. - Realizar verificações cruzadas nos fatores de custo para saber se os resultados são similares. - Atualizar o modelo à medida em que mais dados se tornam disponíveis ou ocorrem as mudanças e comparar os resultados com estimativas realizadas previamente.

continua

Tabela 2.20: Continuação

8	Realizar análise de sensibilidade	<ul style="list-style-type: none"> - Testar a sensibilidade dos elementos de custo para mudanças nos valores das entradas e suposições chaves da estimativa. - Identificar os efeitos na estimativa geral quando há mudanças no cronograma ou quantidades. - Determinar quais suposições são fatores chave e quais elementos de custo são mais afetados pelas mudanças.
9	Realizar análise de risco e incerteza	<ul style="list-style-type: none"> - Determinar e discutir com os experts técnicos o nível de custo, cronograma, e risco técnico associado a cada elemento do WBS. - Analisar cada risco pela sua severidade e probabilidade. - Desenvolver faixas de elementos de risco mínimo, mais prováveis e máximos. - Determinar o tipo de risco e o motivo para o seu uso. - Assegurar que os riscos são correlacionados. - Usar um método análise estatístico aceitável para desenvolver um intervalo de confiança ao redor do ponto da estimativa. - Identificar o nível de confiança do ponto estimado.
		<ul style="list-style-type: none"> - Identificar a quantidade do fundo de contingência e adicionar ao ponto estimado para determinar a estimativa de custo ajustada ao risco. - Recomendar que o projeto desenvolva um plano de gerenciamento de risco para acompanhar e mitigar os riscos.

continua

Tabela 2.20: Continuação

10	Documentar a estimativa	<ul style="list-style-type: none"> - Documentar todas as etapas utilizadas para desenvolver a estimativa, para que possa ser reproduzido rapidamente por uma outra pessoa e produzir o mesmo resultado. - Documentar o propósito da estimativa, o time que preparou, e quem aprovou a estimativa e quando. - Descrever o programa, seu cronograma, e a linha base utilizada para criar a estimativa. - Apresentar o custo do ciclo de vida do programa, com o tempo do cronograma. - Discutir todas as regras básicas e suposições. - Incluir fontes de dados rastreáveis e auditáveis para cada elemento de custo e documentar para todas as fontes de dados como o dado foi normalizado. - Descrever em detalhe a metodologia da estimativa e a lógica usada para derivar cada elemento de custo do WBS. - Descrever os resultados das análises de risco, incerteza e sensibilidade; e se quaisquer fundos de contingências foram identificados. - Documentar como a estimativa se compara com o perfil de financiamento. - Rastrear como essa estimativa se compara com estimativas previamente desenvolvidas.
----	-------------------------	---

Continua

Tabela 2.20: Conclusão.

11	Apresentar estimativa para o gerenciamento aprovar	<ul style="list-style-type: none"> - Desenvolver uma instrução que apresente a estimativa de custo documentada. - Incluir uma explicação das linhas de base técnicas e programáticas e qualquer incerteza. - Comparar a estimativa a uma estimativa independente e explicar quaisquer diferenças. - Comparar a estimativa com o orçamento com detalhes suficientes para defender facilmente a estimativa mostrando como é preciso, completo e com uma alta qualidade. - Focar em de maneira lógica nos maiores elementos de custos e fatores de custos. - Fazer o conteúdo claro e completo para que as pessoas que não estão familiarizadas com a estimativa possam facilmente compreender as competências que são base para os resultados da estimativa. - Fazer <i>slides back up</i> para mais perguntas exploratórias. - Atuar e documentar <i>feedback</i> do gerenciamento. - Solicitar aceitação da estimativa.
12	Atualizar a estimativa para refletir o custo atual e as mudanças	<ul style="list-style-type: none"> - Atualizar a estimativa para refletir as mudanças nas suposições técnicas e programáticas ou manter atualizado a medida em que o programa passa por novas fases ou marcos. - Reportar o progresso das estimativas de custo e cronogramas em reuniões. - Documentar lições aprendidas dos elementos em que os custos atuais ou cronogramas diferem dos estimados. - Documentar todas as mudanças no programa e como a estimativa de custo foi afetada.

Fonte: GAO (2009)

3. EXEMPLO DE APLICAÇÃO DA ESTIMATIVA DE CUSTO EM UMA MISSÃO ESPACIAL

3.1 FIRESAT

Para calcular a estimativa de custo do ciclo de vida do exemplo FireSat foi utilizado o método paramétrico, de acordo com Apgar (2005). Foi assumido que eram necessários dois satélites inicialmente e que ambos seriam lançados em uma órbita de 150 km pelo lançador Pegasus XL. O WBS consiste de segmentos: espacial, lançamento e terrestre. O elemento espacial consiste em dois satélites com sensores infravermelhos nas cargas úteis. O segmento de lançamento são dois veículos. O segmento terrestre consistirá de uma única estação terrestre para controle.

A informação necessária para o design do sistema é mostrada na Tabela abaixo junto com os valores do exemplo, o sistema espacial FireSat. O procedimento começa com o desenvolvimento do WBS e a coleta das características relevantes do sistema espacial. As próximas quatro etapas desenvolvem os custos primários dos elementos do ciclo de vida, orçando os custos para os segmentos espaciais, de lançamento e terrestres, seguidos pelas operações e os custos. Os CERs que são utilizados para calcular cada custo são apresentados no item 2.5. Os CERs são fornecidos em um nível de subsistema para custos do RDT&E e TFU, além de terem sido ajustados para estimar o custo no ano fiscal 2000.

Tabela 3.1: Valores utilizados no sistema espacial FireSat.

Características	FireSat
1. Constelação - Quantidade de espaçonaves em constelação - Atitude da órbita	2 700 km
2. Recursos de comunicação externa - TDRS - DomSat	Não Não
3. Segmento espacial - Payload Tipo Peso (Comunicações) Abertura (IR, visível) - Ônibus espacial Peso seco por subsistema Volume Precisão de apontamento Conhecimento de apontamento Tipo de estabilização Linhas de código do software do voo Potência média Potência BOL Potência EOL Área do painel solar Capacidade da bateria Capacidade de armazenamento de dado Números de propulsores - Vida útil do segmento espacial	IR N/A 0.26 m 28 – 140 kg 1.7 m ³ 0.1 graus <0.1 graus 3 eixos 26k 110 w NA NA 8.5m ² 17.5 A-hr - 4 5 anos
4. Segmento de lançamento - Veículo lançador - Estágio superior - Site de lançamento - N° de espaçonaves por lançamento	Pegasus Nenhum N/A 1
5. Segmento terrestre - N° de sites fixos e móveis - Linguagem do site - Linhas de código - Equipamentos novos ou existentes - Frequência de operação de comunicações	1 fixo Ada 100k Novo Banda S
6. Operação e manutenção da missão - Duração da missão - N° de pessoas - N° de espaçonaves sobressalentes - N° de voo de apoio de transporte	10 anos 10 0 0

Fonte: Apgar (2005).

Para ilustrar a utilização dos CERs apresentados nas Tabelas 2.3 (CERs para estimar o custo do subsistema RDT&E (FY00\$K)), 2.4 (CERs para estimar o custo do subsistema TFU (Theoretical First Unit)) e 2.5 (CERs para satélites de pequeno porte para orbitar ao redor da Terra incluindo RDT&E e TFU), a estimativa de custo será desenvolvida em um nível de subsistema da espaçonave. Os parâmetros chaves para a estimativa de custo são: peso, potência de início de vida, diâmetro de abertura do sensor e outras características técnicas. Os valores específicos estão presentes nas Tabelas 3.3 e 3.4. O custo do hardware RDT&E é baseado nos CERs das Tabelas 2.3 (CERs para estimar o custo do subsistema RDT&E (FY00\$K)) e 5 (CERs para satélites de pequeno porte para orbitar ao redor da Terra incluindo RDT&E e TFU) modificados pelos fatores de status de design listados na Tabela 2.8 (Fatores para o desenvolvimento hereditário). Os custos de produção são resultados dos CERs TFU das Tabelas 2.4 e 2.5 multiplicado pelo fator da curva de aprendizagem $L = 1.9$ para duas unidades. A unidade subsequente ou o custo da segunda unidade é a diferença entre o custo de produção de duas unidades e o TFU. O resultado utilizando modelos para satélites de grande porte (baseado principalmente no USCM 7.0) indica que a carga útil é o que mais contribui para o custo total do sistema. Portanto, a carga útil deve ser o principal foco para a redução do custo. Os valores assumidos para utilizar no cálculo dos satélites do FireSat na Tabela 3.7 (Custo para os segmentos espacial e de lançamento do FireSat baseados nos dados das Tabelas 2.3, 2.4 e 3.1 para design de satélites tradicionais. Dados de entrada foram retirados das Tabelas 3.1 e 3.2 (FY00\$K)) são apresentados na tabela abaixo.

Tabela 3.2: Estimativa preliminar dos parâmetros da espaçonave FireSat.

Parâmetros	FireSat
Carga útil:	
Massa	28kg
Potência	32W
Espaçonave:	
Massa seca	140kg
Potência média	110W
Potência painel solar	170W
Design painel solar	Conjunto omni montado no corpo, 1.7 m ² apontando para o Sol (área total de 8.5m ²)
Abordagem de controle	3 eixos, apontamento nadir
Propelente:	
ΔV	28kg
Controle de atitude	2kg
Margem	4kg
Total propelente	34kg
Abordagem de propulsão	Bipropelente medido ($I_{sp}=300s$)
Massa carregada da espaçonave	175kg

Fonte: Apgar (2005).

Tabela 3.3: Custo para os segmentos espacial e de lançamento do FireSat baseados nos dados das Tabelas 2.3, 2.4 e 3.1 para design de satélites tradicionais. Dados de entrada foram retirados das Tabelas 3.1 e 3.2 (FY00\$K).

Componente de custo	Parâmetros, valores, dados, fontes	RDT&E (FY00\$K)	1ª Unidade (FY00\$K)	2ª Unidade (FY00\$K)	Custo total (FY00\$K)	SE (\$K)
1.Carga útil						
1.1Sensor IR	ab.d.=0.263m	168,462	67,386	60,647	296,495	94,265
2.Ôni. Espacial						
2.1 Estrutura (1)	peso=32kg	2,784	419	377	3,580	1,368
2.2 Térmico (1)	peso=6.8kg	1,337	197	177	1,712	830
2.3 EPS (1)	peso=45.7kg	2,862	2,067	1,860	6,790	3,360
2.4 TT&C/DH (1)	peso=6.8kg	2,356	1,894	1,750	5,955	2,819
2.5 ADCS (1)	peso=18.3kg	5,753	2,799	2,519	11,071	4,570
2.6 Propulsor	NA (2)					
Custo total do ônibus espacial		15,092	7,376	6,639	29,107	9,739
3. IA&T	\$183,554 (4)	40,453	1,456	1,310	43,220	19,826
4. Nível Programa	mesmo que o anterior	52,450	25,494	22,944	100,888	37,773
5. GSE	mesmo que o anterior	22,184	-	-	22,184	7,543
6. LOOS	140 kg (5)	-	686	617	1,303	547
7. Software voo	26 KLOC	5,655 (3)	0	0	5,655	-
Custo total seg. spac. p/ o contratante		304,297	102,398	92,158	498,853	
10% tx contratante		30,430	10,240	9,216	49,885	
Custo total seg. spac. p/ o governo		334,727	112,638	101,374	548,738	
8. Seg. lançamento	2 Pegasus XL		13,000	13,000	26,000	
Custo total de implantação					574,738	136,947

Fonte: Apgar (2005).

Na Tabela acima as massas mostradas do subsistema do ônibus espacial (1) incluem a fração da margem da massa da espaçonave de 11.2kg. O sistema de propulsão (2) do FireSat é levado em consideração no CER do ADCS. O valor de 18.3 kg para a massa ADCS inclui a massa do hardware do sistema de propulsão. O custo do software de \$5.655 (3) assume o fator de custo hereditário de 0.5, ou seja, modificações moderadas para um software de voo já existente, calculado utilizando o CER presente na Tabela 2.9 (Custo de desenvolvimento de software). O valor de \$183,554 (4) é referente ao ônibus espacial mais o custo da carga útil RDT&E. O valor de 140kg (5) apresentado no LOOS é referente à somatória da espaçonave com a carga útil.

Tabela 3.4: Custo para os segmentos de espacial e lançamento do FireSat baseados nos dados da Tabela 3.1, CER para satélites pequenos da Tabela 2.5 e índices para outros componentes na Tabela 2.7 (FY00\$K).

Componente de custo	Parâmetros, valores, dados, fontes	RDT&E (FY00\$K)	1 ^a Unidade (FY00\$K)	2 ^a Unidade (FY00\$K)	Custo total (FY00\$K)	SE (\$K)
1.Carga útil	Custo total espaçonave	3,049	2,033	1,829	6,911	1,946
2.Ôni. Espacial						
2.1 Estrutura (1)	peso=32kg	1,318	565	508	2,390	1,393
2.2 Térmico (1)	peso=6.8kg	221	221	199	642	173
2.3 EPS (1)	peso=45.7kg	3,271	2,005	1,804	7,080	1,221
2.4a TT&C (1)	TT&C+DH=6.8kg	641	262	235	1,138	793
2.4b C&DH (1)	TT&C+DH=6.8kg	868	355	319	1,542	1,077
2.5 ADCS (1)	peso=9.1kg	767	1,306	1,175	3,247	1,744
2.6 Propulsor	massa seca=112kg	453	453	408	1,314	450

continua

Tabela 3.4: Conclusão.

Custo total do ônibus espacial		7,538	5,166	4,649	17,353	4,883
3. IA&T	Custo total espaçonave	-	1,766	1,589	3,355	945
4. Nível Programa	mesmo que o anterior	1,455	1,455	1,309	4,218	1,188
5. GSE	mesmo que o anterior	838	-	-	838	236
6. LOOS	mesmo que o anterior	-	775	697	1,472	415
7. Software vôo	26 KLOC	5,655	0	0	5,655	-
Custo total seg. espac. p/ o contratante		18,535	11,194	10,074	39,803	-
10% tx contratante		1,854	1,119	1,007	3,980	
Custo total seg. espac. p/ o governo		20,389	12,313	11,082	43,783	
8. Seg. lançamento	2 Pegasus XL		13,000	13,000	26,000	
Custo total de implantação					69,783	7,552

Fonte: Apgar (2005).

Os custos no nível de programa são adicionados baseados nos CERs das Tabelas 2.3 (CERs para estimar o custo do subsistema RDT&E (FY00\$K)), 2.4 (CERs para estimar o custo do subsistema TFU (Theoretical First Unit)) e 2.5 (CERs para satélites de pequeno porte para orbitar ao redor da Terra incluindo RDT&E e TFU). Custo dos equipamentos de apoio terrestre são calculados das

Tabelas 2.3 e 2.5 baseados no RDT&E e custo da primeira unidade de hardware. Os custos das operações de lançamento e equipamentos de apoio terrestre são retirados das Tabelas 2.4 e 2.5. O custo do software do satélite é obtido da Tabela 2.9 (Custo de desenvolvimento de Software) usando Ada. Isso produz um custo do segmento espacial total de \$549M utilizando o modelo USCM 7.0, enquanto que utilizando um modelo para satélites de pequeno porte chegou-se ao valor de \$44M. A discrepância do custo do segmento espacial é devido à grande diferença da estimativa de custo da carga útil para cada um dos modelos. O modelo de satélites de grande porte produz uma estimativa de \$296M para o custo do RDT&E, primeira unidade, e segunda unidade para o sensor infravermelho, enquanto que o modelo para satélites de pequeno porte produz um custo total de \$6.9M. Apgar (2005) afirma que essa diferença drástica entre os custos da carga útil ilustram a dificuldade de escolher o relacionamento de estimativa-custo apropriado para algumas classes de carga útil das espaçonaves. Devido a essa razão, a estimativa de custo da carga útil, na maioria dos casos, é alcançada da melhor forma utilizando os métodos de estimativa de custo bottom-up o por analogia ao invés de usar o método paramétrico. A diferença nesses números se atribui às diferenças primordiais no banco de dado em que os CERs foram baseados. Na Tabela 2.13 (Custo do veículo lançador em FY00\$M) o veículo lançador para dois Pegasus é \$26M, dando um custo total de implantação de \$575M para satélites de grande porte e \$70M para modelos de satélites de pequeno porte, como pode ser visto nas duas Tabelas acima, 3.3 e 3.4.

A Tabela 3.5 (Custo dos segmentos de terrestres e de operações do FireSat (FY00\$K)) fornece os custos dos segmentos terrestres e de operações do FireSat. Foi começada com o custo de software para o segmento terrestre para 100KLOC de código Ada utilizando as Tabelas 2.9 (Custo de desenvolvimento de Software) e 2.10 (Modelo de custo do desenvolvimento do segmento terrestre) para calcular o custo de desenvolvimento. As suposições iniciais é um ciclo de vida de 7 anos, e 10 pessoas contratadas são usadas com a Tabela 2.11 (Custo de operações e apoio em FY00\$) para estimar o custo total de

operações e manutenção de \$6N/ano na Tabela 3.6 (Custo anual das operações e manutenções do FireSat (FY00\$K)).

Tabela 3.5: Custo dos segmentos de terrestres e de operações do FireSat.

Desenvolvimento	Custo
Software 100KLOC Ada @ 220/LOC	22.0
Equipamento	17.8
Instalações	4.0
Subtotal	43.8
Gerenciamento	4.0
Engenharia de sistemas	6.6
Garantia de produto	3.3
Integração e teste	5.3
Logísticas	3.3
Total	66.3

Fonte: Apgar (2005).

Tabela 3.6: Custo anual das operações e manutenções do FireSat (FY00\$K).

Operações e manutenção	
10 pessoas contratadas (\$160K/ano) incluindo taxa	1.6
Manutenção	4.4
Custo total anual	6

Fonte: Apgar (2005).

Tabela 3.7: Estimativa de custo geral do ciclo de vida do FireSat (FY00\$K).

Implantação Inicial	
Segmento espacial (tabela 32)	548.7
Segmento de lançamento (tabela 32)	26.0
Segmento terrestre (tabela 34)	66.3
Subtotal	641.0
Operações e manutenção (tabela 35)	
Operações e manutenção anual	6.0
Total operação e manutenção (5 anos)	30.0
Custo total do ciclo de vida para 5 anos	671.0

Fonte: Apgar (2005).

Apgar (2005) utiliza a análise de custo-risco para determinar a incerteza de custo na estimativa para o hardware. Para o exemplo do FireSat, o hardware do satélite consiste do ônibus espacial e a carga útil com os CERs para o TFU da Tabela 2.4 (CERs para estimar o custo do subsistema TFU (Theoretical First Unit)) e 5 (CERs para satélites de pequeno porte para orbitar ao redor da Terra incluindo RDT&E e TFU). Assume-se que o ônibus espacial possui um nível de tecnologia com um TRL 6. Em que novos designs de componentes são necessários, mas as tecnologias tiveram aplicações onde os modelos de engenharia foram testados com êxito. A carga útil requer uma infusão de uma nova tecnologia e foi atribuído a TRL 5. O peso seco da espaçonave, incluindo a carga útil, é de 140 kg e a carga útil IR possui uma abertura do diâmetro de 0.26m. Utilizando os CERs da Tabela 2.4 (CERs para estimar o custo do subsistema TFU (Theoretical First Unit)) para calcular os custos e a metodologia de risco, chega-se à conclusão apresentada na Tabela abaixo:

Tabela 3.8: Estimativa de custo do TFU utilizando os TRLs determinados para cada elemento (FY00\$K).

Elemento	Custo TFU (\$M)	TRL	Desvio padrão da tecn. Sist. (\$M)	Desvio padrão da est. custo (\$M)	Desvio padrão combinado (\$M)
S/C ônibus	7.4	6=10%	0.74	1.11	1.33
Carga útil	67.4	5=15%	10.1	10.1	14.3
Total	74.8		Passo 1: Soma		15.6
			Passo 2: RSS*		14.4
			Passo 3: Média		15.0

Fonte: Apgar (2005).

Apgar (2005) cita como exemplo o desvio padrão é de 10% do custo de \$7.4M para a tecnologia do sistema espacial de \$0.74M. O desvio padrão da estimativa de custo é assumido como sendo 15% e a combinação dos desvios padrões é o quadrado da soma das raízes (RSS* - Root Sum Square) dos dois componentes. Portanto, o desvio padrão do custo total do hardware do satélite (\$74.8M) é de \$15M ou 20%.

O custo para a construção de dois satélites é de \$194.5M, como pode ser visualizado na Tabela abaixo, que demonstra o impacto de uma curva de aprendizagem de 95% no custo das unidades. Apgar (2005) usa como exemplo a produção de 5 unidades. Pode-se observar o custo unitário de cada uma, o custo médio e o custo total de produção. O custo da quinta unidade é a diferença do custo de produção da quinta com a quarta unidade, ou seja, $4.44 - 3.61 = 0.83$.

Tabela 3.9: Efeito de uma curva de aprendizagem de 95%.

Nº da unidade	Custo Prod. (TFUxL)	Custo médio	Custo unidade
1	1.00	1.00	1.00
2	1.90	0.95	0.90
3	2.77	0.92	0.87
4	3.61	0.90	0.84
5	4.44	0.89	0.83

Fonte: Wertz (2005).

Apgar (2005) assume que no período de 5 anos com 60% dos custos a serem incorridos em 2 anos e meio, então os coeficientes devem ser $A=0.32$ e $B=0.68$. Utilizando a equação 6 (Cálculo da fração de custo consumido em um determinado tempo) é obtido a distribuição na tabela abaixo para custos recorrentes do satélite.

Tabela 3.10: Distribuição de tempo dos custos do FireSat.

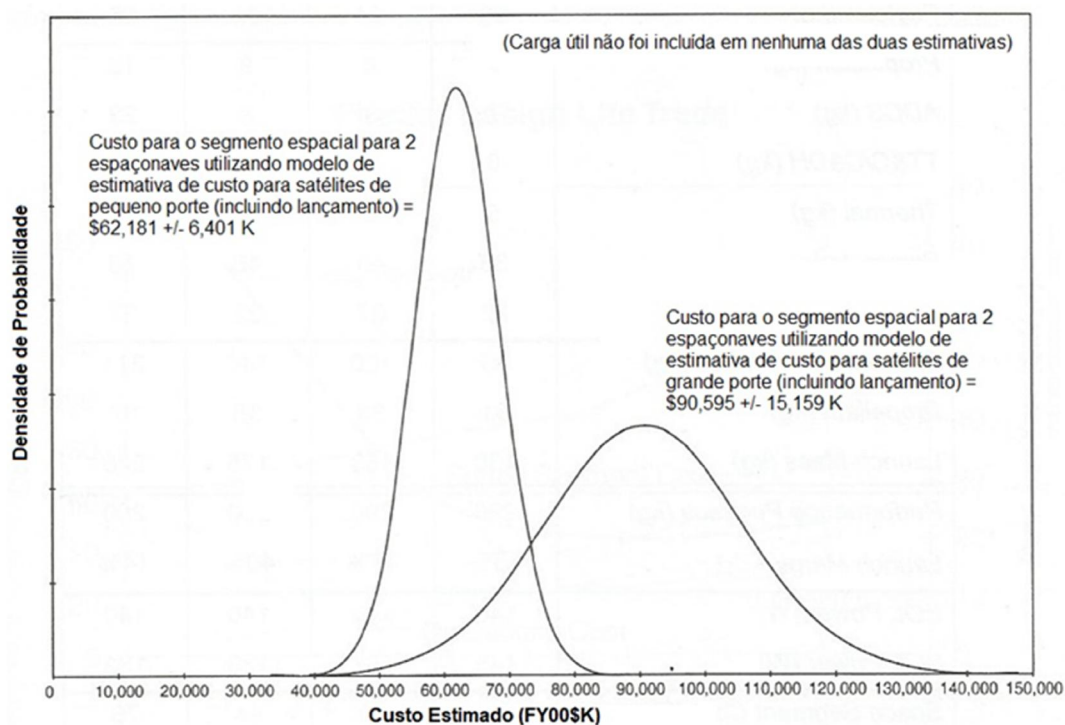
Ano	Custo cumulativo		Custo anual	
	%	\$M	%	\$M
1	12.3	23.9	12.3	23.9
2	42.8	83.2	30.5	59.3
3	75.6	147	32.8	63.8
4	95.8	186.3	20.2	39.3
5	100.0	194.5	4.2	8.2
Total			100.0	194.5

Fonte: Wertz (2005).

A Figura abaixo exibe a densidade de probabilidade da estimativa de custo para ônibus espacial RDT&E, primeira unidade, segunda unidade, custos wrap (IA&T, nível de programa, GSE e LOOS), custo de lançamento, custo do software de lançamento, e a taxa de contratante para os dois modelos de custo. São representados todos os custos dos segmentos, espacial e lançamento, com

exceção da carga útil, devido a sua discrepância entre os dois modelos. O resultado ilustra a diferença entre os dois modelos, e também onde a estimativa derivada desses dois modelos tem a maior probabilidade de cair. O modelo de custo para satélites de pequeno porte produz uma estimativa de \$62,181K e um desvio padrão de \$6,401K. O modelo de custo para satélites de grande porte produz uma estimativa de \$90,595K e um desvio padrão de \$15,159K.

Figura 3.1: Densidade de probabilidade da estimativa de custo resultada da análise de custo-risco.



Fonte: Apgar (2005).

A figura acima apresenta dois gráficos. A curva mais alta e mais estreita é o resultado dos CERs para satélites de pequeno porte da Tabela 5 (CERs para satélites de pequeno porte para orbitar ao redor da Terra incluindo RDT&E e TFU). Enquanto que a curva mais baixa e mais larga é o resultado dos CERs

para satélites de grande porte da Tabela 4 (CERs para estimar o custo do subsistema TFU (Theoretical First Unit)). A maioria das missões similares ao escopo do FireSat vai estar presente entre esses dois extremos.

Para entender melhor o design de vida do FireSat, Apgar (2005) utiliza ferramenta integrada de design para custo que utiliza os CERs apresentados na Tabela 5 (CERs para satélites de pequeno porte para orbitar ao redor da Terra incluindo RDT&E e TFU), em que é feita uma troca de análise de design. Os principais fatores para massa aumentam em função do aumento do design de vida são:

1. O requisito de propelente adicional para manter a estação em órbita;
2. A necessidade de mais subsistemas capazes, como por exemplo, no subsistema de potência onde a celular solar e degradação da bateria precisam ser redimensionadas para que o sistema possa ter um novo BOL mais potente para encontrar com as novas necessidades.
3. Redundância total assumida para uma vida de 7 anos.

Foram escolhidos CERs baseados em massa para serem alterados de um ciclo de vida de 5 anos* (projeto de linha de base do FireSat) para 7 anos. Assumiu-se que os requisitos de carga útil e parâmetros de desempenho (como precisão de apontamento, taxa de dados de downlink, armazenamento de dado) e tamanho permaneçam fixos. O resultado para os novos valores é mostrado na Tabela abaixo, onde os CERs baseados em massa são favorecidos sobre os CERs de desempenho. É requerida uma margem de 25% (1) na fase de design conceitual. No sétimo ano a massa de lançamento mais a margem de 25% excede a capacidade da carga útil do Pegasus XL, portanto foram selecionados dois Athena 1 para lançar com um custo assumido de \$18M por lançamento (2).

Tabela 3.11: Estimativa de custo do ciclo de vida do FireSat de acordo com a vida útil adotada (FY00\$K).

Design de vida	1	3	5*	7
Carga útil (kg)	20	24	30	35
Propulsão (kg)	7	8	9	18
ADCS (kg)	7	9	9	22
TT&C/C&DH (kg)	5	6	7	20
Térmico (kg)	5	6	7	9
Potência (kg)	33	40	46	70
Estrutura (kg)	22	27	32	37
Massa seca espaçonave (kg)	99	120	140	211
Propelente (kg)	31	33	35	37
Massa de lançamento (kg)	130	153	175	248
Desempenho Pegasus (kg)	290	290	290	290
Margem de lançamento (1)	55%	47%	40%	14%
Potência EOL (W)	140	140	140	140
Potência BOL (W)	145	157	170	183
Custo segmento espacial (FY00\$)	35	40	44	76
Custo lançamento (FY00\$)	26	26	26	36 (2)
Custo operações (FY00\$)	6	18	30	45
Custo total (FY00\$)	67	84	100	157
Custo por ano (FY00\$)	67	28	20	22

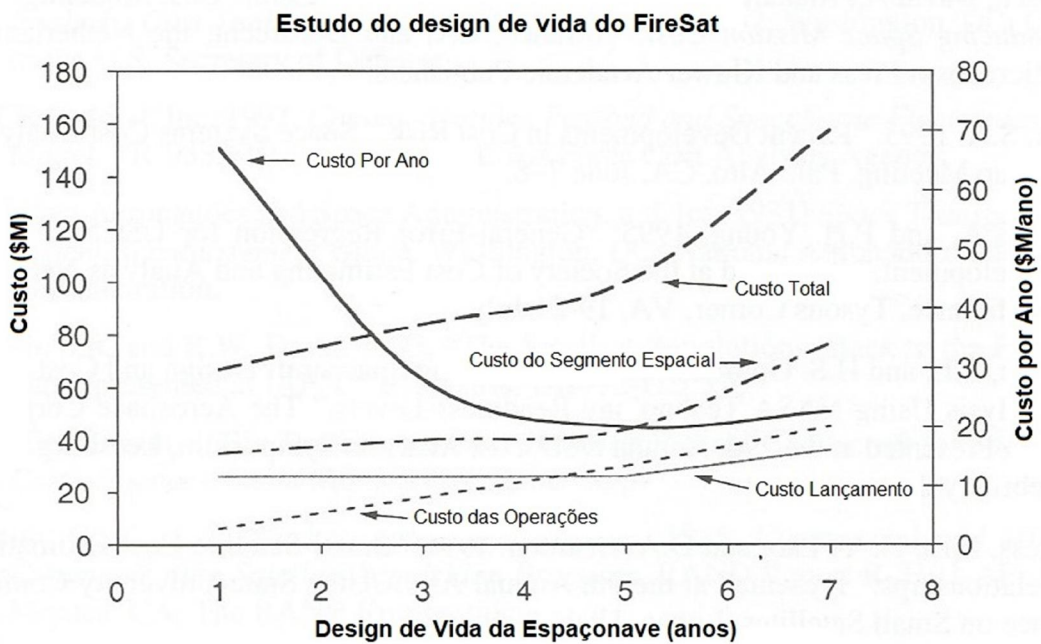
Fonte: Apgar (2005).

Apgar (2005) incluiu a margem de massa de lançamento relativo ao desempenho para a órbita estimada do Pegasus, que inclui cerca de 290 kg para uma órbita circular de 700 km com uma inclinação de 55 graus. A estimativa da potência da espaçonave demonstra um crescimento necessário no subsistema de potência como uma função da duração da vida. A massa do propelente requerido também aumenta. Quando a margem de lançamento fica negativa (no caso do Pegasus, que tem uma margem mínima de 25%, quando

chega ao sétimo ano fica em 14% a margem, ou seja, fica -11%) é necessário o lançamento do FireSat em um lançador mais competente, portanto foi escolhido o Athena 1, que possui um custo de \$18M comparado com o custo do Pegasus de \$13M. Os custos de operação não foram modificados das análises anteriores de \$6M por ano.

A Figura abaixo agrega a informação de custo com o custo por ano. Que pode ser comparado com a representação ideal do gráfico da Curva hipotética do custo x Design de vida da espaçonave (Figura 2.3). A informação apresentada na figura abaixo é extremamente importante para demonstrar em como o custo “empurra para trás” o requisito. Quando foi especificado um ciclo de vida de 5 anos não havia informações o suficiente para saber se essa era uma escolha certa de um ponto de vista custo-eficiência. Agora com o gráfico completo, pode ser observado que o melhor período do ciclo de vida do FireSat é entre 4 e 6 anos onde a curva é relativamente insensível às mudanças seguintes ao design de vida. Além de ser o tempo em que é esperado que o custo-eficiência do sensor da carga útil e outros componentes possam se tornar um problema.

Figura 3.2: Estudo do design de vida do FireSat.



Fonte: Apgar (2005).

Apgar (2005) afirma que essa análise demonstra o papel importante de satélites de pequeno porte com uma vida curta ao invés de satélites de grande porte mais tradicionais. Uma vez que a infusão mais rápida de tecnologias pode fornecer um aumento no custo-desempenho, pode-se aproveitar a tecnologia de ponta disponível 5 a 6 anos de agora, do que continuar operando um sistema obsoleto. Portanto, foi escolhido utilizar duas cargas úteis para o FireSat, cada um com uma vida de 5 anos, mas espera-se que a segunda versão do satélite terá um maior desempenho por peso do que o que foi desenvolvido com a tecnologia atual. Pode ser lançado um satélite a cada 5 anos para assegurar que não haverá uma interrupção ou design uma vida extra na missão (com a massa e as consequências de custo mostrados na figura acima) caso o segundo satélite seja atrasado.

4. METODOLOGIA

Esta dissertação é uma pesquisa exploratória, que tem como objetivo auxiliar no entendimento do processo de estimativa de custo de missões espaciais nas fases iniciais (0, A e B).

Para o desenvolvimento desta pesquisa é realizada uma revisão bibliográfica que levanta as informações utilizadas para o desenvolvimento de estimativas de custo de missões espaciais. A partir das informações adquiridas é realizada uma análise comparativa dos métodos e processos de missões espaciais.

A dissertação analisa os dados que foram apresentados na fundamentação teórica e determina as melhores informações que devem ser utilizadas durante o desenvolvimento da estimativa de custo. Quais são os fatores chave para a realização da estimativa de custo, quais são os métodos mais indicados para cada fase do ciclo de vida e qual o melhor processo de estimativa de custo para missões espaciais nacionais.

Foi realizada uma entrevista com o Dr. Antonio Carlos Pereira, gerente do projeto desenvolvido pelo INPE, o CBERS. Em que foi explicado como o processo de estimativa de custo é feito na Instituição, além de como lida-se com o risco em missões espaciais nacionais e como funciona o ciclo de vida em projetos nacionais desenvolvidos nacionalmente.

É feita uma análise documental comparativa em relação ao ciclo de vida e aos procedimentos utilizados pelas instituições espaciais para a realização do processo da estimativa de custo (NASA, ESA e DoD). Compara-se como cada processo é desenvolvido e quais são as informações utilizadas por cada uma delas. Além disso, é comparado com a forma com que é desenvolvida a estimativa de custo de projetos nacionais. Essa análise irá determinar qual o melhor processo e método a ser usado em missões espaciais nacionais.

É apresentado um exemplo (item 3) de como é realizado a estimativa de custo da missão espacial FireSat.

5. ANÁLISE DOS PROCESSOS DE ESTIMATIVA DE CUSTO

As missões espaciais desenvolvidas nacionalmente possuem como referência as normas desenvolvidas pela ECSS, portanto utiliza o ciclo de vida da ESA como base para o desenvolvimento dos projetos. Porém, esse ciclo de vida é adaptado de acordo com a necessidade de cada missão a ser desenvolvida pela instituição.

O processo de estimativa de custo vai depender de cada projeto a ser realizado, assim como o ciclo de vida depende de cada missão a ser desenvolvida. Ou seja, nem todos os projetos terão todos os passos do processo de estimativa de custo bem definidos ou terão todos os custos e cronogramas bem definidos. Como já foi informado nesta dissertação anteriormente, missões espaciais nem sempre são considerados fracassos caso seja extrapolado o orçamento ou o cronograma se o objetivo principal do projeto foi alcançado.

5.1 Ciclo de vida adotado para missões espaciais nacionais

Esta dissertação irá utilizar o ciclo de vida e o processo de estimativa de custo desenvolvido pela ESA como referência. Nas fases iniciais é realizada a identificação de missão e análise de necessidade, viabilidade e a definição preliminar. Ao término de cada uma dessas etapas são feitas revisões para determinar que todas as informações necessárias para a realização da missão estão presentes.

A Tabela abaixo foi baseada nas informações fornecidas pelo Yassuda (2010) e pelo ECSS (2009). É apresentado abaixo as revisões realizadas ao final e durante as fases iniciais de uma missão espacial e os seus objetivos.

Tabela 5.1: Fases do ciclo de vida da ESA e as suas respectivas revisões.

FASES	REVISÕES
0	<p>MDR – Revisão de Definição de Missão: ocorre ao final da fase 0. Tem como objetivo a aceitação do Termo de Declaração da Missão, a Avaliação das Especificações Técnicas Preliminares e Avaliação</p>
	<p>de Aspectos relativos à organização do projeto. São avaliados os conceitos diferentes de sistema propostos para atender a missão.</p>
A	<p>PRR – Revisão Preliminar de Requisitos: encerra a fase A. Tem como objetivo a aceitação dos planos preliminares de gerenciamento, engenharia, garantia do produto e especificações técnicas iniciais. É confirmada a viabilidade técnica dos conceitos de sistema propostos e é selecionado um desses conceitos, junto com a definição da filosofia de modelo e metodologia de verificação a serem implementados.</p>
B	<p>SRR – Revisão dos Requisitos do Sistema: ocorre durante a fase B. Tem como objetivo liberar as atualizações das especificações dos requisitos técnicos, preparação das definições preliminares para o projeto e preparação das definições preliminares para o programa de testes.</p> <p>PDR – Revisão do Projeto Preliminar: encerra a fase B, o seu objetivo principal é avaliar o projeto preliminar do conceito de sistema selecionado na fase anterior. São aprovados os planos de gerenciamento, desenvolvimento e qualidade. Outros documentos são aprovados nesta fase incluem a árvore de produto, estrutura analítica do projeto e a árvore de especificações, o plano de verificação incluindo a filosofia de modelos.</p>

Produção do autor.

O desenvolvimento de missões espaciais realizadas pela ESA passa por essas fases do ciclo de vida e as revisões apresentadas na Tabela acima. O INPE utiliza o padrão da ECSS como referência para o desenvolvimento de suas missões. Porém, as fases são adaptadas de acordo com a necessidade de cada projeto a ser desenvolvido. O CBERS 3-4, de acordo com Yassuda (2010), uniu as fases 0 e A em uma fase somente, a Fase de Planejamento. E as duas revisões se tornaram uma só, a Revisão de Documentação Gerencial. Apesar de possuir um nome diferente, esta revisão une as revisões realizadas para encerrar as fases 0 e A, a Revisão de Definição de Missão e Revisão Preliminar de Requisitos. A fase B foi chamada de Projeto Preliminar e tem como revisão a Revisão de Projeto Preliminar que foi realizada ao final da fase, e ocorre conforme previsto pelo padrão ECSS.

No desenvolvimento do CBERS 3-4 a Fase de Planejamento é elaborado os principais documentos de planejamento, tais como o Plano de Desenvolvimento do trabalho a ser executado com o cronograma, estrutura de divisão do trabalho e diagrama de atividades, além do Plano de Garantia do Produto, o Plano de Recursos Humanos e Plano de Infraestrutura, de acordo com Yassuda (2010). A Fase de Projeto Preliminar foca na preparação da fabricação do Modelo de Engenharia.

O projeto de Sistemas Inerciais para Aplicação Aeroespacial (SIA) tem como objetivo o desenvolvimento de produtos para a área de controle, tanto de plataformas orbitais, quanto de veículos lançadores de satélites. O SIA é um projeto desenvolvido pelo Comando Geral de Tecnologia Aeroespacial (CTA) em parceria com INPE.

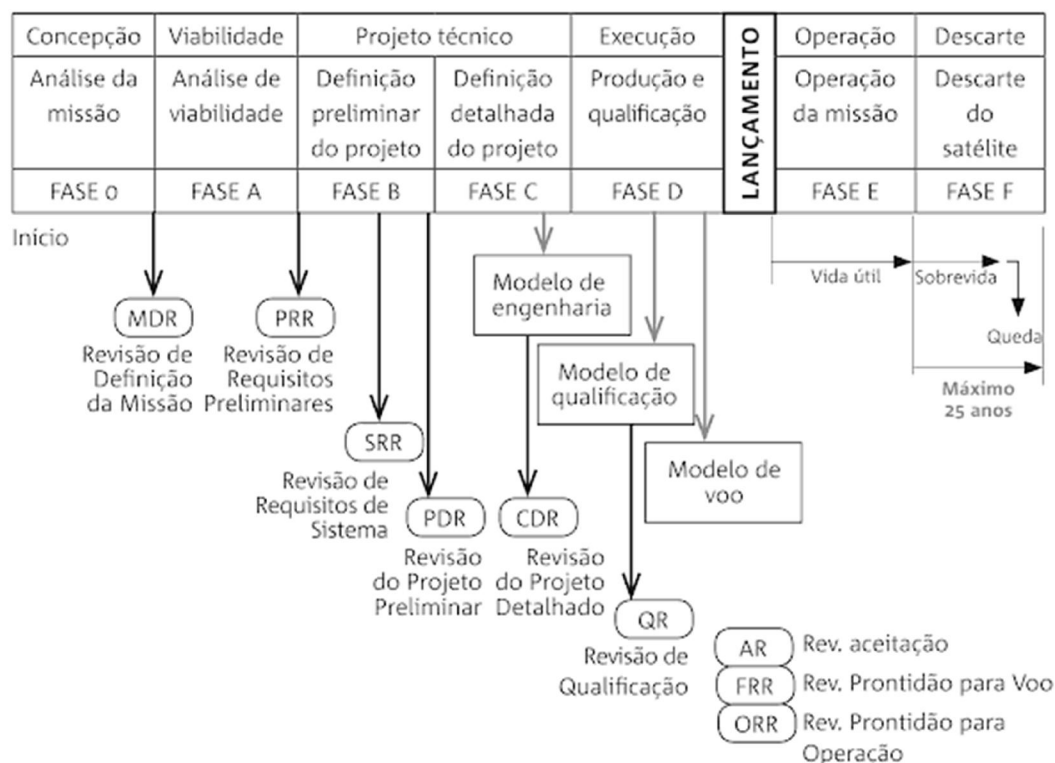
O SIA, assim como o CBERS 3-4, teve as fases 0 e A compactadas em uma única fase, denominada de Fase de Especificação. Em que são elaborados os principais documentos de planejamento: Plano de Desenvolvimento do trabalho a ser executado, contendo o cronograma, estrutura de divisão do trabalho e o diagrama de atividades; Plano de Garantia do Produto. Plano de Recursos Humanos e o Plano de Infraestrutura. A fase B foi chamada de Fase de Projeto Preliminar, assim como CBERS 3-4, e também é focada na preparação da

fabricação do Modelo de Engenharia. Ao final da Fase de Especificação ocorre a Revisão de Especificações e ao final do Projeto Preliminar ocorre a Revisão de Projeto Preliminar.

Como pode ser observado nos dois exemplos acima, as missões espaciais nacionais utilizam como padrão o modelo desenvolvido pelo ECSS e realiza modificações de acordo com as necessidades de cada projeto. Apesar da nomenclatura e ordem serem alterados para cada missão a ser realizada, sempre irá seguir como base o padrão desenvolvido pelo ECSS.

A Figura abaixo demonstra um ciclo de vida e as revisões utilizadas em projetos de *cubesats* desenvolvidos pelo INPE.

Figura 5.1: Ciclo de vida de um projeto *cubesat* e suas revisões.



Fonte: Valle (2017).

5.2 Definições da missão

Durante o desenvolvimento da Fase 0, de acordo com a ECSS, devem-se ser realizados alguns passos para que o projeto possa seguir para a revisão que ocorre ao final da fase de identificação e análise das necessidades da missão e em seguida ir para a próxima fase, de acordo com Valle (2017).

As atividades que devem ocorrer durante a Fase 0 são:

- a. Definição espacial em termos de definição e caracterização da necessidade da missão;
 - Necessidade da missão:
 - i. Declaração de trabalho;
 - ii. Especificação dos requisitos:
 - Técnicos;
 - Gerenciamento;
 - Engenharia;
 - Garantia de produto;
 - Programação;
 - Outros requisitos específicos (distribuição geográfica, filosofia de modelo a ser aplicada).
 - iii. Lista de requisitos de documentação.
- b. Definição de expectativa de desempenho, metas de confiabilidade e metas de segurança;
- c. Desenvolvimento de uma especificação preliminar dos requisitos técnicos;

- d. Identificação de possíveis conceitos da missão e restrições operacionais, com relação ao ambiente operacional e físico;
- e. Elaboração de uma primeira especificação funcional e conceitual do sistema;
- f. Identificação de aspectos críticos e graus de inovação da tecnologia a ser empregada;
- g. Levantamento preliminar do cronograma;
- h. Avaliação de estimativas de custo da missão;
- i. Avaliação preliminar dos riscos da missão.

A primeira Fase de Definição de uma Missão Espacial se busca conhecer e documentar os requisitos de alto nível e verificar a viabilidade do projeto, de acordo com o PMBOK. Nesta fase são desenvolvidas descrições claras dos objetivos do projeto, incluindo os motivos do porquê um projeto específico é a melhor alternativa para cumprir os requisitos impostos pelo alto escalão de gerenciamento, que se referem a:

- Custo;
- Normas;
- Regulamentos;
- Prazos de execução;
- Produto ou infraestrutura existente a serem atendidos;
- Tecnologia necessária para desenvolver o produto;
- Expectativas dos usuários finais do sistema.

Ao final do desenvolvimento da Fase 0, de acordo com a ECSS, ocorre a Revisão de Definição da Missão (MDR) que serve para verificar e aprovar o

termo de declaração (ou abertura) da missão. Depois de confirmados os requisitos da missão e a avaliação preliminar de aspectos relativos a conceitos propostos para missão, o projeto está pronto para passar para a próxima fase.

O Termo de Abertura da Missão desenvolvido na Fase 0, de acordo com o PMBOK, é o processo de desenvolvimento de um documento que formalmente autoriza um projeto e a documentação dos requisitos iniciais que satisfaçam as necessidades e expectativas das partes interessadas. Em projetos com várias fases, este processo é utilizado para avaliar ou refinar as decisões tomadas durante o desenvolvimento do termo de abertura do projeto.

Wertz (2011) afirma que a partir da definição dos objetivos maiores que a missão deve alcançar e quem irá alcançar isto em um determinado prazo, é necessário transformar esses objetivos em conjuntos preliminares de requisitos e restrições para o desenvolvimento da missão espacial, o seu desempenho e operação. Esses requisitos desenvolvidos devem refletir os objetivos da missão. Existem três áreas para as quais requisitos preliminares são definidos: Requisitos Funcionais, Requisitos Operacionais e Restrições.

De acordo com Marsden (2002), para se transformar os objetivos da missão em requisitos é necessário considerar as três grandes áreas apresentada anteriormente. Abaixo são citados itens típicos e exemplos de fatores de impacto:

- 1) Requisitos Funcionais:
 - a. Desempenho:
 - i. Objetivo primário da missão;
 - ii. Necessidades dos usuários;
 - iii. Tamanho da carga útil;
 - iv. Órbita;

v. Vida útil.

b. Cobertura:

i. Altitude e inclinação da órbita;

ii. Número de satélites;

iii. Tempo de revisita.

c. Interpretação:

i. Interpretação manual ou automática.

d. Responsabilidade:

i. Arquitetura da comunicação;

ii. Interpretação;

iii. Operações.

2) Requisitos Operacionais:

a. Duração:

i. Natureza da missão;

ii. Nível de redundância;

iii. Órbita.

b. Disponibilidade:

i. Nível de redundância.

c. Sobrevivência:

i. Órbita;

ii. Blindagem;

- iii. Controle térmico;
- iv. Eletrônica.
- d. Distribuição de dados:
 - i. Necessidade de usuários;
 - ii. Arquitetura de comunicação;
 - iii. Canais de comunicação.
- e. Conteúdo, forma e formato dos dados:
 - i. Necessidade de usuário;
 - ii. Nível e local de processamento;
 - iii. Carga útil.
- f. Equipamento:
 - i. Massa;
 - ii. Tamanho;
 - iii. Potência;
 - iv. Tempo de suprimento de energia;
 - v. Interfaces;
 - vi. Controle de atitude;
 - vii. Propulsão.

3) Restrições:

- a. Custo:
 - i. Número de espaçonaves;

- ii. Tamanho;
 - iii. Complexidade.
- b. Tempo:
 - i. Prontidão técnica;
 - ii. Tamanho do programa;
 - iii. Financiamento.
- c. Regulamento:
 - i. Leis;
 - ii. Políticas.
- d. Riscos:
 - i. Tempo;
 - ii. Custo;
 - iii. Fornecedores internos e externos.
- e. Política:
 - i. Organização cliente e se é um programa internacional;
 - ii. Remoção de detritos;
 - iii. Descarte ao fim da vida útil.
- f. Interfaces:
 - i. Nível de usuário;
 - ii. Infraestrutura de operação.
- g. Ambiente:

- i. Tempo de vida útil prevista;
 - ii. Órbita.
- h. Restrições ao desenvolvimento:
 - i. Organização usuária;
 - ii. Fornecedores internos e externos;
 - iii. Prazo;
 - iv. Custo.

A Fase A (Análise de Viabilidade), de acordo com ECSS, é uma das principais fases do ciclo de vida de um projeto espacial e tem por objetivo determinar a viabilidade de uma nova sugestão de um sistema maior e traçar uma linha de base que seja compatível com o planejamento estratégico definido para a agência espacial. Seus principais objetivos são:

- a. Estabelecer:
 - i. Plano Preliminar de Gerenciamento do Projeto;
 - ii. Plano de Engenharia da Missão;
 - iii. Plano de Garantia da Qualidade do Produto.
- b. Definir conceitos, sistemas e subsistemas operacionais e de arquitetura e compará-los com os requisitos, identificados na fase anterior, para determinar os níveis de incerteza e de riscos da missão;
- c. Avaliar aspectos conceituais e técnicos da missão, buscando identificar possíveis restrições em relação à sua implantação, seja quanto de aspectos de custos, prazos, organização, produção, operação, manutenção e descarte;

- d. Identificar tecnologias críticas e propor atividades de pré-desenvolvimento;
- e. Fazer estimativa de viabilidade industrial;
- f. Fazer levantamento das incertezas da missão;
- g. Detalhar requisitos identificados na Fase 0;
- h. Quantificar e caracterizar possíveis elementos críticos que possam contribuir para a definição da viabilidade técnica e econômica da missão e análise de novos produtos;
- i. Propor conceitos operacionais e possíveis soluções técnicas, inclusive um modelo para revisões do projeto, a ser elaborado na Fase B;
- j. Elaborar avaliação de riscos da missão.

Durante a Fase A é desenvolvido o Plano Preliminar de Gerenciamento do Projeto, que documenta-se as principais ações necessárias para a definição, preparação, integração e coordenação dos diversos planos auxiliares para a execução de vários subsistemas.

Ao final da Fase A ocorre a Revisão Preliminar de Requisitos (PRR) que tem como principais objetivos:

- a. Validar os requisitos da missão;
- b. Aprovar planos preliminares de gerenciamento, engenharia e garantia de produto;
- c. Aprovar especificação de requisitos técnicos;
- d. Aprovar conceitos de viabilidade do sistema e o cronograma preliminar;
- e. Aprovar conceitos operacionais do sistema e soluções técnicas, incluindo filosofia de modelos e metodologia de verificação, a ser aprovada na Fase B.

As atividades a serem desenvolvidas no PRR contemplam:

- Aceitação dos planos preliminares de gerenciamento, engenharia, garantia da qualidade e especificações técnicas de requisitos;
- Confirmar a viabilidade conceitual da missão e das correspondentes filosofias de modelos e de verificação serem aprovados na Fase B.

A Fase de Definição Preliminar (Fase B) é quando os planos preliminares são convertidos em uma linha de base de solução técnica, de acordo com Valle (2017). Nesta fase os requisitos estão definidos, os cronogramas preliminares estão determinados, as especificações estão prontas para dar-se início ao projeto e desenvolvimento do sistema, e a lista necessária das tecnologias críticas deve estar completada, com o início de seu desenvolvimento ou com a sua definição.

Neste momento ocorre a finalização dos planos de gerenciamento, engenharia e garantia de produto, juntamente com o cronograma principal, requisitos de desempenho do sistema, e os requisitos técnicos devem estar suficientemente detalhados para permitir estimativas firmes de prazos e custos, de acordo com Valle (2017).

As principais tarefas que devem ser realizadas ao decorrer da Fase B são, de acordo com ECSS:

- a. Finalizar planos de gerenciamento do projeto, de engenharia e de garantia do produto;
- b. Estabelecer uma linha de base do cronograma principal;
- c. Estabelecer uma linha de base de custo para a conclusão do projeto;
- d. Estabelecer o WBS do projeto;

- e. Confirmar as soluções técnicas identificadas na Fase A, para os sistemas e subsistemas, e os conceitos operacionais e sua viabilidade em relação às restrições encontradas;
- f. Conduzir estudos de alternativas e selecionar o conceito preferido de sistema, juntamente com a solução técnica mais adequada a esse conceito;
- g. Estabelecer uma definição preliminar do projeto para o conceito do sistema selecionado e solução técnica escolhida;
- h. Determinar o programa de verificação, incluindo a filosofia do modelo de engenharia;
- i. Identificar e definir as interfaces externas;
- j. Preparar especificação e documentos para acordos comerciais;
- k. Iniciar trabalho de pré-desenvolvimento de tecnologias críticas de áreas de projetos de sistema quando for necessário reduzir os riscos na fase de desenvolvimento;
- l. Iniciar preparação de requisitos de longo prazo para satisfazer as necessidades do cronograma do projeto;
- m. Preparar o plano de mitigação de resíduos espaciais e plano de descarte dos mesmos;
- n. Aprovar planos de avaliações de confiabilidade e de segurança;
- o. Finalizar a árvore de produto, WBS e a árvore de especificação;
- p. Atualizar a avaliação de riscos;
- q. Contratar a produção de sistemas e subsistemas.

Ao decorrer da Fase B da ECSS ocorre a Revisão de Requisitos do Sistema (SRR), que tem como objetivo:

- Aprovar a revisão das especificações de requisitos técnicos;
- Avaliar a definição preliminar do projeto;
- Avaliar o programa preliminar de verificação.

Quando a Fase B finaliza, é realizada a Revisão do Projeto Preliminar (PDR), que visa verificar se o projeto está consistente com a metodologias de verificação, produção e operação e que os custos e restrições estão sendo levados em consideração, sendo como resultado dessa revisão a linha de base de engenharia e os planos de qualificação de modelos. Os principais objetivos dessa revisão são, de acordo com Valle (2017):

- a. Verificar o projeto preliminar do conceito selecionado e as soluções técnicas em face do projeto e requisitos do sistema;
- b. Aprovar os planos finais de gerenciamento, de engenharia e garantia de produto;
- c. Aprovar a árvore de produto, WBS e a árvore de especificação;
- d. Aprovar o plano de verificação (incluindo a filosofia de modelo de engenharia).

São abordados os seguintes temas durante o PDR de acordo com Valle ():

1. Itens de engenharia;
2. Manuais de usuários;
3. Critérios de aceitação;
4. Especificação para construção;
5. Especificação de projetos de engenharia;
6. Requisitos de interfaces;
7. Lista de fornecedores de hardware e software;

8. Plano de controle ambiental;
9. Normas e padrões aplicáveis;
10. Especificação e requisitos de verificação;
11. Planos de qualificação de itens de engenharia;
12. Planos de verificação;
13. Projeto detalhado;
14. Documentação de controle de interfaces;
15. Dados de processos e de materiais;
16. Plano de montagem e integração;
17. Plano de manufatura;
18. Planos de controle de processos e materiais;
19. Plano de garantia e qualidade;
20. Planos de operações de lançamento e operações do sistema;
21. Lista de sobressalentes a serem provisionados;
22. Plano de suporte logístico integrado;
23. Plano de treinamento;
24. Relatório de análise do projeto;
25. Estudos e auditoria de produtividade;
26. Análise de efeitos e modos de falha;
27. Análise de suporte logístico;
28. Avaliação de confiabilidade;

29. Análise de aspectos relativos a saúde e segurança;
30. Estudos de engenharia;
31. Estimativas de custos durante o ciclo de vida;
32. Resultados de testes de desenvolvimento;
33. Análise de modelos;
34. Ferramentas de engenharia de sistemas;
35. Equipamentos e instalações de testes;
36. Planos de aceitação;
37. Plano de controle de contaminação;
38. Plano de integração de carga útil ao lançador;
39. Relatórios de medição de desempenho técnico;
40. Árvore de desenhos/lista de desenhos de engenharia;
41. Plano de gerenciamento de comunicação;
42. Declarações de trabalho;
43. Plano de gerenciamento de partes;
44. Plano de confiabilidade do programa.

5.3 Processo de estimativa de custo para missões espaciais

O processo de estimativa de custo auxilia no desenvolvimento das estimativas de custo, pois fornecem um direcionamento de como deve ser seguido a realização da estimativa.

Para se realizar uma estimativa de custo completa, de acordo com Stewart (1995), seguir os doze passos básicos irão auxiliar no trabalho do estimador de custo. Para isso deve-se desenvolver: a estrutura do elemento de trabalho, o cronograma, organizar os dados históricos, CERs, curvas de aprendizagens, identificar categorias, níveis e taxas de trabalho, estimar o custo do trabalho/hora e materiais, custos administrativos, aplicar inflação, analisar e ajustar a estimativa (caso seja necessário) e publicar e apresentar a estimativa de custo.

Nas fases iniciais de um projeto (0, A e B) o potencial de influência no custo do ciclo de vida é relativamente alta, já que são nessas fases que determina-se o objetivo, o design conceitual e a definição da missão. Enquanto que, ao mesmo tempo, a despesa real de desenvolvimento nessas fases iniciais irá ser baixa comparada com a despesa a partir da fase de produção.

Para se realizar estimativa de custo de um sistema espacial deve-se saber qual é o objetivo principal da missão, ou seja, se será utilizado para determinar áreas de risco de incêndio, analisar o terreno do país ou transmissão de sinal. A partir do objetivo da missão determinam-se os requisitos que deverão ser atendidos para que o projeto possa alcançar o seu sucesso.

Na fase 0 (ou pré-fase A) determina-se o objetivo da missão, em que irá gerar os requisitos necessários para que o projeto possa ser considerado que foi completado com sucesso. Na fase A irá ocorrer a análise de alternativas para encontrar com os requisitos determinados na fase anterior. Na fase B determina-se o que é necessário para que a missão seja realizada.

Com base nos dados das fases iniciais pode-se estimar qual será o custo do projeto total. Através dos requisitos da missão pode-se ter noção de quantas pessoas serão necessárias para realizar tal trabalho, o material que é necessário e a sua quantidade, o local que será desenvolvido, além de levar em consideração outros fatores chaves que irão modificar a estimativa.

Porém, antes de se realizar qualquer estimativa de custo, é necessário assegurar que todos os elementos que serão estimados possuem dados

disponíveis e todos devem estar representados em um sistema internacional (como por exemplo o peso deve estar em kg e a potência em W). A utilização de um banco de dados é importante, pois com o armazenamento de informações que foram utilizados em projetos previamente realizados auxilia no desenvolvimento de estimativa de custo de projetos futuros.

Para selecionar o melhor método de estimativa de custo são necessárias algumas informações: planejamento, cronograma, WBS, WPD, CBS, BAS, registro de risco e o nível de prontidão tecnológica. Cada uma dessas informações irão determinar o melhor método a ser utilizado, além de fornecerem uma visão ampla de como o custo irá ser dividido no projeto e em quais áreas irão conter um risco maior e menor, facilitando a realocação de recursos para as áreas mais críticas em que serão necessárias.

O custo do projeto é modificado de acordo com alguns fatores importantes, chamados de fatores chave. Quando a estimativa é feita deve-se levar em consideração esses fatores, pois dependendo da necessidade da missão o custo pode ser aumentado, ou até mesmo, ser reduzido.

Bieler (2009) apresentou os elementos principais e os seus fatores chave para estimar o custo de uma missão espacial na Tabela 1 (tabela de categorias de custo dos sistemas espaciais). Para estimar o custo de uma missão espacial é necessário conhecer os fatores chave que irão influenciar diretamente os elementos de custo, e conseqüentemente, o custo total da missão.

Um dos fatores mais importantes na estimativa de custo de missões espaciais, relacionado ao equipamento, é o nível de prontidão tecnológica, conhecido como TRL. O nível de prontidão tecnológica é um dos fatores chave para determinar o custo de um projeto, pois dependendo do seu nível o custo será maior ou menor. O TRL 1 e 2 possuem um risco alto, ou seja, a tecnologia necessária se encontra na teoria ou com o design conceitual formulado, portanto deve-se aplicar uma margem de erro de mais de 25% do valor do projeto. Para TRL 3, 4 e 5 o risco é moderado, ou seja, o design conceitual já foi testado analiticamente, ou a função característica crítica demonstrada ou o componente

já foi testado em um ambiente relevante. Para esses níveis de TRL deve-se aplicar uma margem de erro de 10 – 25%. TRL 6, 7 e 8 possuem um risco baixo, ou seja, já possuem o modelo de protótipo testado em ambiente relevante, ou o modelo de engenharia já foi testado no espaço ou se já possui uma capacidade operacional completa. Para esses TRL deve-se aplicar uma margem de erro de 10 - 5%.

Para o elemento de custo em relação ao projeto, os parâmetros que influenciam o seu custo são: o esforço de design, gerenciamento, garantia de qualidade e produto. Enquanto que para o elemento de custo de verificação, integração e teste, os fatores que influenciam o seu valor são: o esforço para montagem, integração, verificação e qualificação. O equipamento de apoio terrestre depende de quais máquinas e ferramentas serão utilizadas. Dependendo do objetivo da missão são necessárias realizações de testes específicos e a aplicações de proteções planetárias apropriadas.

Para se determinar o custo de lançamento, deve-se levar em consideração o sistema do lançador, além da preparação e integração no lançador. O lançamento, na maioria das vezes, é a parte mais cara de uma missão espacial. Wertz (2005) apresenta na Tabela 2.13 (Custo do veículo lançador em FY00\$M) valores de veículos lançadores para cada órbita.

O custo da aquisição dos elementos necessários para o desenvolvimento da missão espacial possui como fator chave a política de aquisição, em que cada país determina o seu modo, e a situação do mercado, em que irá depender da demanda e a inflação. Além de depender do valor atual do dólar, como é o caso de missões espaciais brasileiras.

Países que desenvolvem programas espaciais possuem os seus próprios meios de estimar o custo de suas missões. Cada um utiliza os dados de missões que foram previamente desenvolvidos, tornando a estimativa mais precisa. Se fosse utilizado algum desses modelos em missões espaciais brasileiras iria haver uma discrepância entre o custo real e o custo estimado, devido ao fato de que cada país possui suas próprias burocracias, o que difere da realidade brasileira. Além

disso, se um satélite for desenvolvido com a mesma tecnologia e a mesma quantidade de pessoas pode haver uma diferença de custo, por causa do valor trabalho/hora.

A utilização de modelos de instituições internacionais não leva em consideração fatores que são exclusivos do mercado brasileiro. Portanto, o modelo mais aplicável para missões espaciais nacionais é a implementação de um modelo próprio utilizando os próprios dados históricos de projetos que foram previamente desenvolvidos pela instituição. Apesar da Instituição não possuir um processo de estimativa de custo bem definido, pois a maioria dos processos dependem de como será realizado a missão, a realização da estimativa de custo é feita de forma bem detalhada para que as informações adquiridas possam ser utilizadas futuramente, além da possibilidade de auditorias mesmo após o final do ciclo de vida da missão, de acordo com Pereira (2018), gerente do CBERS.

Pode ser utilizado modelos de estimativas de custo desenvolvidos por outras instituições, porém deve-se levar em consideração que alguns fatores usados nesses modelos podem não valer para estimar o custo de missões espaciais nacionais, portanto a estimativa de custo poderá não ser tão precisa. O processo e o ciclo de vida que o Brasil utiliza como base é principalmente da ESA, porém de acordo com Pereira (2018), pode-se utilizar o ciclo de vida da NASA pois não há diferença. Porém, deve-se levar em consideração que cada projeto desenvolvido nacionalmente possui o seu próprio ciclo de vida, pois é adaptado o ciclo de vida de missões internacionais para poderem atender as necessidades de projetos nacionais.

A Figura abaixo compara os processos de estimativa de custo realizados pela NASA, DoD e ESA, e em quais etapas certos passos são desenvolvidos. O processo de estimativa de custo que foi desenvolvido pelo GAO (Government Accountability Office) é utilizado como base pelo DoD e pela NASA, portanto os dois possuem passos semelhantes. Enquanto que a ESA possui um processo de estimativa mais simples e com menos passos. Apesar de suas similaridades, alguns passos de um processo são equivalentes aos passos do outro processo. Por exemplo: O passo de obtenção de dados do DoD (passo 6) equivale ao

passo de juntar e normalizar os dados da NASA (passo 7) e ao passo de gerar e manter um banco de dados de referência da ESA (passo 1). Enquanto que em alguns passos equivalem a partes das partes dos outros processos de estimativa de custo, por exemplo o passo 1 do DoD possui um pedaço do passo 1 da NASA e pedaço do passo 2 da ESA. O único momento em que todos os passos se igualam é na documentação da estimativa, apresentação dos resultados e atualização da estimativa.

Figura 5.2: Comparação dos processos de estimativa de custo.



Produção do autor.

5.4 Processo de estimativa de custo para missões espaciais nacionais

As missões nacionais, assim como o seu ciclo de vida, dependem do projeto a ser desenvolvido e as suas condições. De acordo com o gerente do projeto CBERS, o processo de estimativa de custo realizado pelo INPE não possui etapas bem definidas como o da ESA ou o da NASA, por exemplo.

Vários projetos realizados no país são utilizados para o desenvolvimento de novas tecnologias, portanto, possuem um custo mais elevado para a sua realização. Tendo em vista que o desenvolvimento de novas tecnologias, apesar de possuírem um custo maior, devem ser considerados investimentos.

O processo de estimativa de custo desenvolvido pelo INPE é bem meticuloso e detalhado. Todas as informações utilizadas são armazenadas em uma tabela e guardada em um banco de dados.

O CBERS 4A, apesar de ser um projeto novo, começou o ciclo de vida direto na fase C devido ao fato de que todas as informações e tecnologias necessárias para o seu desenvolvimento estavam presentes e já haviam sido testadas para o desenvolvimento do CBERS 3-4. O CBERS 4A, de acordo com Pereira (2018), foi criado para preencher o tempo entre o final do ciclo de vida do CBERS 3-4 e o começo do ciclo de vida do CBER 5-6.

Depois de feito todo o processo de estimativa de custo é realizado licitações para determinar qual empresa irá desenvolver a tecnologia necessária. Porém, a instituição não leva em consideração fatores secundários relevantes para as empresas, como por exemplo: caso a empresa desenvolva somente um projeto em seu estabelecimento, esse projeto deve suprir os gastos que são necessários para a manutenção do local (segurança, faxineiro, entre outros). Enquanto que se uma outra empresa possuir vários projetos em desenvolvimento no seu estabelecimento, esse custo pode ser repartido. Porém, nem sempre uma empresa grande significa menos custo, pois a mesma pode precisar de mais pessoas para desenvolver o projeto, como por exemplo: mais pessoas da área de TI e um supervisor para gerenciá-las ou mais pessoas para

limparem o local e uma pessoa responsável pela supervisão dessa atividade. Como não se sabe qual empresa que será selecionada para realizar o projeto, não é levado em consideração esses fatores.

Em relação aos impostos estatais, de acordo com Pereira (2018), a Instituição utiliza um valor fixo para servir como base para a estimativa de custo de uma atividade. Quando as empresas interessadas enviam as suas propostas é feita uma análise que determina qual a melhor empresa para a realização do projeto. Por exemplo: Duas empresas se candidatam a realizar um projeto (empresa A e empresa B). A empresa A é isenta de impostos devido a sua localidade (empresa A) e pede R\$100.000 pelo serviço e a empresa B paga 5% de imposto e pede R\$110.000 pela realização do serviço. É mais provável que a empresa B ganhe a licitação, pois leva-se em consideração 5% de imposto para cada uma das empresas e a empresa A sairia mais caro.

Devido a legislação brasileira, o custo da mão de obra é determinado de acordo com o valor base pré disposto em sites autorizados, ou seja, em sites que calculam o salário base de uma área. Supondo que foi estimado que para realizar uma certa atividade necessita-se de 200 horas de trabalho e o valor base de um engenheiro sênior é de R\$10.000. Porém, por exemplo, em uma empresa o valor de um engenheiro sênior é de R\$15.000 devido ao tempo que essa pessoa possui na empresa. Portanto, o custo de mão de obra sairia mais caro do que o estimado, criando um certo erro na estimativa.

O CBERS 4A possui uma estimativa diferenciada dos outros projetos, pois sua construção foi feita a partir de peças que sobraram de projetos desenvolvidos anteriormente. Além do fato de que o CBERS 4A pulou as fases iniciais do ciclo de vida (0, A e B). Para o desenvolvimento desse satélite foram unidas as tecnologias que já estavam presentes e que já haviam sido testadas para o desenvolvimento do CBER 3-4. Ou seja, o projeto iniciou a partir da fase C do ciclo de vida, de acordo com Pereira (2018).

5.5 Métodos de estimativa de custo para as fases do ciclo de vida

Existem três métodos de estimativa de custo mais utilizados: por analogia, paramétrico e bottom-up.

Os métodos por analogia e paramétrico são indicados para serem utilizados no início do projeto, ou seja, quando não há tantas informações disponíveis, somente informações básicas em relação à missão. Esses métodos são aplicados nas fases 0 e A, quando se sabe qual é o objetivo da missão, porém não se sabe ao certo todos os requisitos necessários para atenderem as necessidades do projeto.

Geralmente o método por analogia é aplicado quando projetos semelhantes já foram desenvolvidos e necessitam-se somente alguns ajustes para realizar a estimativa de custo, e o método paramétrico é utilizado em missões espaciais em que apresentam tecnologias que não foram desenvolvidas previamente e não possuem tantas informações disponíveis para realizar uma estimativa mais precisa. Pode-se também, aplicar os dois métodos para estimar o custo do projeto.

O método bottom-up é utilizado quando todas as informações em relação ao projeto estão disponíveis, portanto é feita uma somatória do custo de todos os sistemas, com os seus subsistemas, e com os seus sub subsistemas e assim em diante. Esse método é aplicado durante a fase B da missão, quando já se sabe todos os requisitos necessários para atenderem as necessidades do projeto.

O ciclo de vida de missões espaciais nacionais se baseia no ciclo de vida da ESA, porém variam de acordo com cada projeto a ser desenvolvido, como já foi explicado anteriormente.

Para o desenvolvimento do CBERS 3-4 os principais métodos de estimativa de custo utilizados foram por analogia e *bottom-up*. A Instituição não utiliza o método de estimativa de custo paramétrico, de acordo com Pereira (2018).

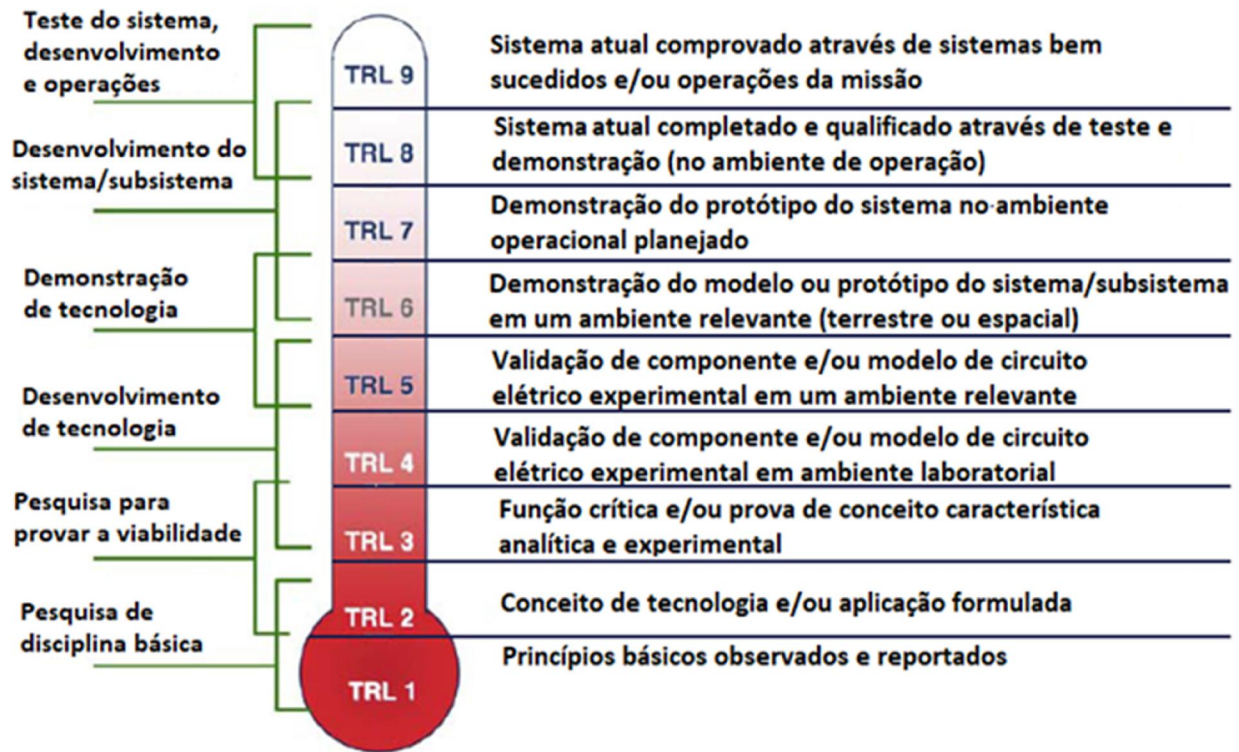
O CBERS 4A utilizou tecnologias de missões anteriores que se encontram disponíveis e testados, o que diminui o custo e facilita no processo de estimativa de custo.

5.6 Lidando com o risco

Para avaliar o nível de risco de uma missão espacial é utilizada uma ferramenta desenvolvida pela NASA, o TRL, que é uma ferramenta de disciplina independente que permite uma avaliação mais efetiva da maturidade de novas tecnologias, de acordo com Mankins (2009). Outra ferramenta utilizada para o gerenciamento é a matriz de risco, que depende de representação gráfica da incerteza e as suas consequências. Mankins (2009) afirma que a maior parte desses diferentes métodos não possuem um interrelacionamento explícito.

A figura abaixo, de acordo com Mankins (2009), demonstra a avaliação específica para a maturidade funcional da tecnologia, onde as partes mais vermelhas apresentam níveis de maturidade bem baixos e as partes mais claras apresentam um nível de maturidade tecnológica mais alta.

Figura 5.3: Escala do nível de maturidade tecnológica.



Fonte: Mankins (2009).

Mankins (2009) define cada um dos níveis de prontidão tecnológicas a seguir:

I. TRL 1: Princípios básicos observados e reportados

O TRL 1 é o nível mais baixo de maturidade tecnológica. Neste nível são reportados os princípios básicos, que são resultados de pesquisas e observações tecnológicas, e que serão traduzidos para pesquisa e desenvolvimento. Um exemplo de TRL 1 é o estudo das propriedades de materiais (como um material com uma nova fibra se comporta em função da temperatura).

II. TRL 2: Conceito de tecnologia e/ou aplicação formulada

Assim que os princípios físicos são observados, de acordo com Mankins (2009), segue-se para o próximo nível de maturação, o TRL 2, em que aplicações

práticas das características podem ser identificadas ou inventadas. No TRL 2 as aplicações ainda são especulativas, pois ainda não existem provas específicas experimentais ou análise detalhada para apoiar a suposição.

III. TRL 3: Função crítica e/ou prova de conceito característica analítica e experimental

Nessa etapa do processo de maturação, a pesquisa e desenvolvimento foram iniciados. O TRL 3 inclui ambas as abordagens analíticas e experimentais para provar um conceito particular. Que abordagem é mais apropriada depende em parte no fenômeno físico envolvido na invenção.

IV. TRL 4: Validação de componente e/ou modelo de circuito elétrico experimental em ambiente laboratorial

Seguindo o trabalho da prova de conceito, os elementos de tecnologia básicas devem ser integrados para que seja estabelecido que as partes irão funcionar em grupo para alcançar níveis de habilitação de conceito de desempenho para um componente ou circuito. Essa validação deve ser planejada para apoiar o conceito que foi formulado anteriormente, e que deve ser consistente com os requisitos das aplicações do potencial sistema.

V. TRL 5: Validação de componente e/ou modelo de circuito elétrico experimental em um ambiente relevante

Nesse TRL, a fidelidade do componente e/ou o circuito elétrico experimental a ser testado deve aumentar significativamente. O elemento tecnológico básico deve ser integrado com elementos de apoio razoavelmente realísticos para que a aplicação total possa ser testada em um ambiente realístico.

VI. TRL 6: Demonstração do modelo ou protótipo do sistema/subsistema em um ambiente relevante (terrestre ou espacial)

Um modelo representativo ou protótipo do sistema ou subsistema deve ser testado em um ambiente relevante. Nesse nível, se o único ambiente relevante for o espaço, então o modelo deve ser demonstrado no espaço.

VII. TRL 7: Demonstração do protótipo do sistema no ambiente operacional planejado

O TRL 7 é um passo significativo além do TRL 6, requerendo uma demonstração atual do protótipo do sistema no ambiente espacial. O protótipo deve estar próximo ou na escala do sistema operacional planejado e a demonstração deve ser realizado no ambiente operacional atual esperado. O principal propósito para alcançar esse nível de maturidade deve estar vinculado à garantia da confiabilidade da engenharia de sistema e gerenciamento de desenvolvimento. Portanto, a demonstração deve ser de um protótipo de uma aplicação real planejada. Essa etapa é normalmente desenvolvida em casos em que a tecnologia e/ou aplicação do subsistema é crítica para a missão e possui um nível relativamente alto de risco.

VIII. TRL 8: Sistema atual completado e qualificado através de teste e demonstração (no ambiente de operação)

Por definição, todas as tecnologias que são aplicadas em sistemas reais passaram pelo TRL 8. Na maioria dos casos, esse nível é o fim do desenvolvimento do sistema para a maioria dos elementos tecnológicos. Existem casos em que novas tecnologias são integradas em sistemas já existentes no TRL 8, para que não seja desenvolvido um novo sistema completamente novo.

IX. TRL 9: Sistema atual comprovado através de sistemas bem sucedidos e/ou operações de missão

Assim como o TRL 8, todas as tecnologias que foram bem sucedidas passaram pelo TRL 9. Entretanto, em quase todos os casos, as correções de última hora não ocorrem até que o sistema atual seja primeiramente lançado. Por exemplo, em um sistema espacial pode ser que haja a necessidade de pequenos ajustes após o lançamento (mudança de software).

A principal diferença do TRL 8 para o TRL 9 é a operação. A construção de uma nova espaçonave é TRL 8. Lançar essa espaçonave e operá-la durante sua missão é TRL 9.

A tabela abaixo, que foi desenvolvido com informações fornecidos por Mankins (2009), fornece o custo para realizar cada um dos TRLs.

Tabela 5.2: Custo para realizar cada TRL.

TRL	CUSTO
1	Pode variar de MUITO POUCO para MUITO ALTO, dependendo da disciplina da pesquisa envolvida. Ou seja, podem custar uma pequena fração do sistema em que será aplicada até mesmo muito mais do que o custo total do sistema
2	Relativamente BAIXOS, é uma fração pequena do custo de uma aplicação eventual do sistema envolvendo os princípios básicos que foram observados.
3	São tipicamente BAIXO PARA MODERADO, podem representar uma pequena a modesta fração do custo de uma eventual aplicação do sistema. Esses custos tendem a serem únicos para cada tecnologia, ou seja, podem variar de uma área de pesquisa e desenvolvimento para outra.
4	Os custos são tipicamente MODERADOS, ou seja, são geralmente uma fração modesta do custo de uma eventual aplicação do sistema envolvendo os testes dos conceitos e componentes. Assim como o TRL 3, o custo tende a ser específico para cada tecnologia, a diferença é que para alcançar o TRL 4 o custo tende ser maior.
5	São tipicamente esperados a serem de MODERADO A ALTO, e assim como os TRLs 3 e 4, tendem a ser específico para cada tecnologia. Esses custos podem ser similares, porém o custo para chegar no TRL 5 é maior do que o investimento para alcançar o TRL 4 na mesma área.
6	É tipicamente esperado para esse TRL que o custo seja ALTO e tendem a ser em grande parte específico para a tecnologia ou a demonstração a ser realizada.
7	Os custos são tipicamente MUITO ALTOS, e podem ser uma fração significativa do custo para desenvolver a aplicação final do sistema, dependendo da escala e da fidelidade da demonstração do protótipo do sistema que é implementado.

continua

Tabela 5.2 – Conclusão.

8	Os custos são específicos para a missão e os requisitos funcionais que o novo sistema deve abordar, porém será provavelmente MUITO ALTO. Esses custos, na maioria dos casos, podem ser mais altos do que a combinação de todos os custos dos TRLs anteriores com um fator de 5-10
9	O custo é específico para a missão a ser realizado. Possui um custo tipicamente ALTO, mas significativamente menor do que o custo do TRL 8 (escala completa do desenvolvimento do sistema)

Produção do auto

Na Tabela abaixo, para Wertz (2005) o TRL de 1 ou 2 representa uma situação de um risco relativamente alto. TRLs com níveis de 3, 4 e 5 representam risco moderado, e dos níveis 6 a 8 são categorias de risco baixo. Wertz (2005) afirma que desenvolvimento de subsistemas de nível baixo deve possuir um desvio padrão de incerteza de menos de 10% em relação ao MLE (estimativa mais provável). O risco relacionado ao desenvolvimento de sistemas espaciais depende de como é utilizada a tecnologia e o seu grau de qualificação de voo. Caso um item já tenha funcionado no espaço, é muito mais provável que funcione de novo, representando um risco menor para o usuário.

Tabela 5.3: Nível de prontidão tecnológica e seu risco.

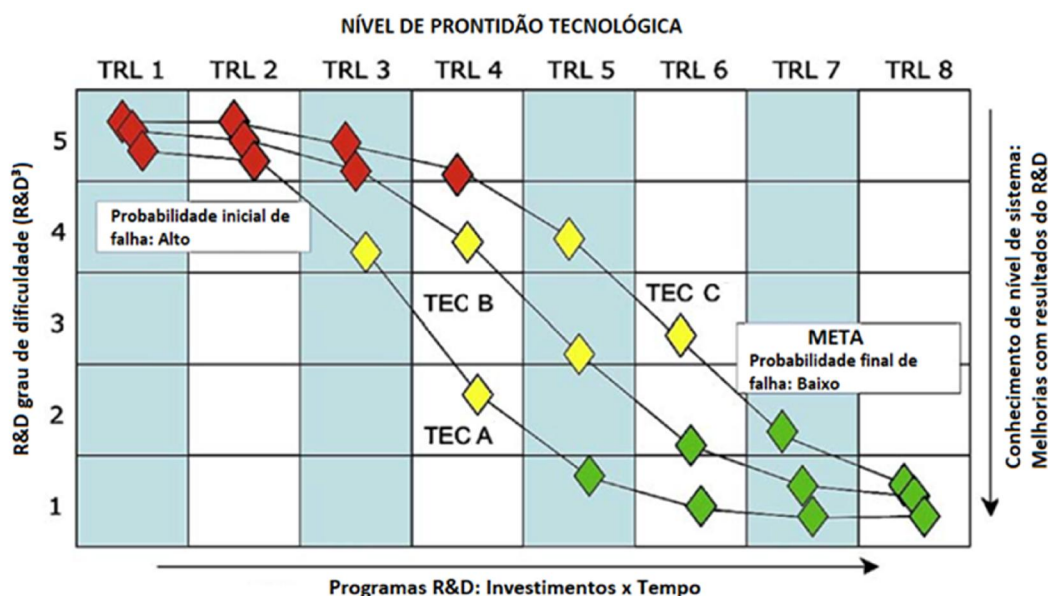
TRL	DEFINIÇÃO	RISCO	ERRO
1	Princípios básicos observados	Alto	>25%
2	Design conceitual formulado	Alto	>25%
3	Design conceitual testado analiticamente ou experimentalmente	Moderado	20 – 25%
4	Função/característica crítica demonstrada	Moderado	15 – 20%
5	Componente testado em um ambiente relevante	Moderado	10 – 15%
6	Modelo de protótipo/engenharia testado em ambiente relevante	Baixo	<10%
7	Modelo de engenharia testado no espaço	Baixo	<10%
8	Capacidade operacional completa	Baixo	<10%

Fonte: Wertz (2005)

Em geral a meta de qualquer esforço de tecnologia de R&D é dividido em três fatores, de acordo com Mankins (2009): Primeiramente o investimento em R&D deve resultar em melhorias em parâmetros de desempenho importantes para a nova tecnologia a ser desenvolvida; Segundamente o esforço da tecnologia R&D deve resultar em uma maturação geral da tecnologia, em outras palavras, novos materiais devem ser incorporados em novos componentes, os novos componentes em subsistemas; E finalmente, os investimentos da tecnologia R&D (em cada fase) deve resultar em uma redução de risco para R&D subsequentes que possam ser obtidos.

A Figura abaixo demonstra como tecnologias diferentes (A, B e C) podem amadurecer em tempos diferentes e de formas diferentes (por exemplo, alguns melhoram em desempenho e outros em redução de risco), dificultando o trabalho do gerente de acordo com Mankins (2009). Entretanto, o gerente deve entender claramente os três fatores, e tentar sincronizá-los da melhor forma possível durante o desenvolvimento do programa R&D.

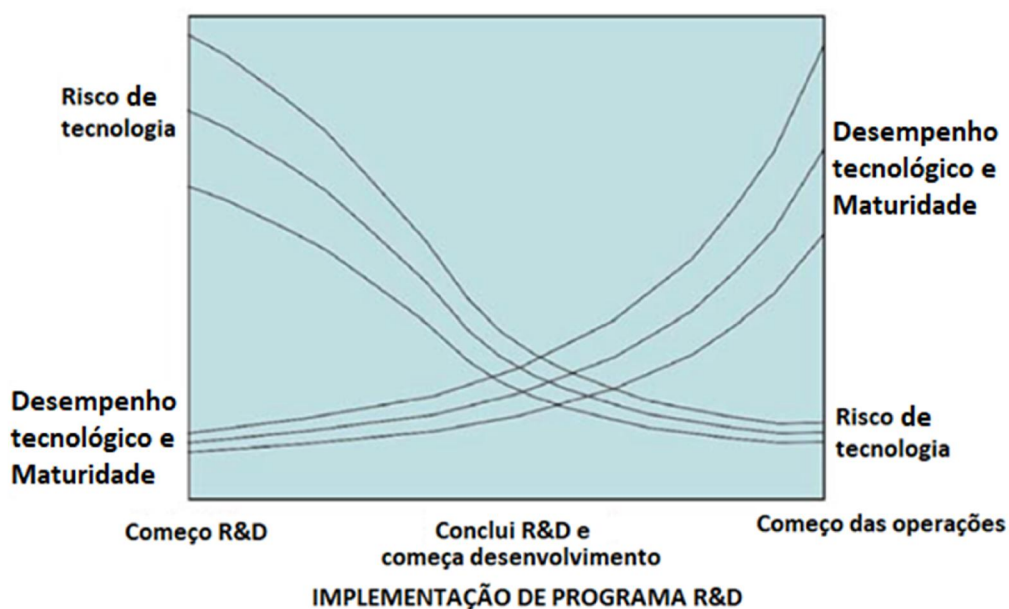
Figura 5.4: Cenário genérico para desenvolvimento de tecnologia.



Fonte: Mankins (2009).

Mankins (2009) apresenta na Figura abaixo uma outra visão do desafio de sincronizar as tecnologias com os fatores, incluindo ambos os processos de redução de risco de tecnologia, e simultaneamente o caminho de melhoria de desempenho e maturação geral da tecnologia. O ponto crítico é em que decisão o sistema pode proceder, em que a tecnologia necessária para o novo sistema alcançou o ponto de maturidade, risco e desempenho.

Figura 5.5: Visão alternativa do desenvolvimento de tecnologia.



Fonte: Mankins (2009).

A medida em que o TRL vai aumentando, o seu risco e a incerteza vão diminuindo. Em um projeto a ser desenvolvido, os TRLs 1, 2, 3 e 4 são as fases iniciais de um projeto, quando há uma ideia a ser desenvolvida e um conceito, ou seja, as fases 0 e A. Os TRLs 5 e 6 ocorrem durante a fase B, de acordo com ESA (2013).

Para o desenvolvimento de missões espaciais nacionais, de acordo com Pereira (2018), é feita uma análise para determinar quais são os riscos prováveis e as melhores formas de mitiga-los.

O CBERS 4A iniciou na fase C, portanto o com um nível de prontidão tecnológica de 7, ou seja, quando todos os componentes já foram testados. A única diferença é que nenhum desses equipamentos comunicavam entre si. Enquanto que o CBERS 3-4 se iniciou com um TRL 1.

6. CONCLUSÃO

Para o desenvolvimento de uma boa estimativa de custo deve-se saber primeiramente qual é o objetivo principal da missão, que irá resultar nos requisitos da missão e todas as informações necessárias. Sem essas informações bem definidas a probabilidade do custo aumentar ao decorrer do projeto é bem alta.

Além da importância de todas as informações estarem presentes nas fases iniciais, há a necessidade de deixar todos os colaboradores da missão a par de toda a situação. Comunicação é de suma importância no desenvolvimento do projeto para que não haja mal entendido e erros que poderão resultar em um aumento de custo inesperado futuramente.

Saber quais passos a serem seguidos para realizar uma estimativa de custo auxilia no gerenciamento do projeto, pois determina como um projeto deve ser desenvolvido e quais são as saídas esperadas para cada uma das ações realizadas. O que torna mais organizado o desenvolvimento da missão, devido ao fato de se saber todos os dados necessários, a ordem em que eles devem ser desenvolvidos, além de manter todas as pessoas envolvidas bem informadas em relação ao projeto.

A documentação adequada de todos os dados utilizados no projeto auxilia no desenvolvimento de missões futuras. Além de ajudar a compreensão de todas as partes envolvidas em relação ao projeto.

Com esses dados podem ser desenvolvidos CERs de uso específico para missões espaciais nacionais, tornando a estimativa de custo mais precisa e mais confiável.

Para trabalhos futuros é sugerido a análise do banco de dados já disponível na instituição para determinar como os dados foram armazenados e compará-los às informações fornecidas nesta dissertação, se estão bem organizados para serem utilizados como base para uma boa estimativa de custo.

Além da análise, espera-se desenvolver um programa para realizar a estimativa de custo de missões espaciais nacionais, o que iria diminuir o erro da estimativa, já que serão utilizadas informações próprias da instituição e será levado em consideração características únicas brasileiras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA – AEB. **Programa Nacional de Atividades Espaciais**. 2018. Disponível em: <<http://www.aeb.gov.br/programa-espacial-brasileiro/politica-organizacoes-programa-e-projetos/programa-nacional-de-atividades-espaciais/>>

APGAR, H. Cost Modeling, chapter 20. **Space mission engineering: the new SMAD**. 7. ed. El Segundo: Microcosm Press, 2005.

BERNAL, P. **Gerenciamento de projeto na prática: implantação, metodologia e ferramentas**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2016.

BIELER, T.; ABITZSCH, S. **Handbook of space technology: cost management**. Chichester: John Wiley & Son, 2009.

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION - ECSS. **Space project management: project breakdown structures**. Noordwijk: Ecss, 2003.

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION - ECSS. **Space engineering: system engineering general requirements**. Noordwijk: ECSS, 2009.

EUROPEAN SPACE AGENCY - ESA. **Guidelines for the use of TRLs in ESA programmes**. Paris: ESA, 21 Aug. 2013.

GOVERNMENT ACCOUNTABILITY OFFICE - GAO. **GAO cost estimating and assessment guide: best practices for developing and managing capital program costs**. Unites States: GAO, 2009.

GUERRA, L. **Cost estimating module: space system engineering**. Versão 1.0. 2008. 51 slides. Disponível em: <https://spacese.spacegrant.org/uploads/Costs/18.%20Cost_Module_V1.0.ppt>.

INTERNATIONAL COUNCIL ON SYSTEMS ENGINEERING - INCOSE. **System engineering handbook: a guide for system life cycle processes and activities**. 3. ed. Seattle: INCOSE, 2006.

MANKINS, J. Technology readiness and risk assessments: a new approach. **Acta Astronautica**, v. 65, n.9/10, p.1208-1215, Nov./Dec. 2009.

MANKINS, J. Technology readiness assessments: a retrospective. **Acta Astronautica**, v. 65, n.9/10, p.1216-1223, Nov./Dec. 2009.

- MARDSSEN, R. **Basics steps in designing space mission: a short tutorial**. 2002. 18 slides. Disponível em:
<<http://swe.ssa.esa.int/TECEES/spweather/Alpbach2002/Marsden-basic%20steps%20in%20designing%20a%20space%20mission.pdf>>
- NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION - NASA. **NASA systems engineering handbook**. Pasadena: NASA, 1995.
- NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION - NASA. **NASA space flight program and project management handbook**. Washington: NASA, 2014.
- NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION - NASA. **Cost estimation handbook**. 4. ed. Washington: NASA, 2015.
- PEREIRA, A. **Entrevista com gerente do CBERS** [comunicação pessoal]. Entrevista concedida a Adrielle Chiaki Hantani Moritsuka em 11 set. 2018.
- PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. **Um guia do conhecimento em gerenciamento de projetos: guia PMBOK**. 5. ed. Pennsylvania: Global Standart, 2013.
- STEWART, R. **Cost estimator's reference manual**. 2. ed. Canada: John Wiley & Sons, 1995.
- UNITED STATES OF AMERICA. DEPARTMENT OF DEFENSE. **Department of defense handbook: acquisition logistics**. Washington: DoD, 1997. U. S.
- VALLE, A. **Gerenciamento de projetos espaciais: do Sputnik aos dias atuais**. Rio de Janeiro: FGV, 2017.
- VASCONCELOS, Y. Um satélite brasileiro. **Pesquisa Fapesp**, v.239, jan. 2016. Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/2016/01/12/um-satelite-brasileiro/?cat=tecnologia>>. Acesso em: 29 jul. 2016.
- YASSUDA, I. Ciclo de vida de projetos na área espacial. 2010. Disponível em: <http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3746NA8>. Acesso em: 20 set. 2018.
- WERTZ, J.; LARSON, W. **Reducing space mission cost**. 2.ed. El Segundo: Microcosm Press, 1999.
- WERTZ, J. **Space mission engineering: the new SMAD**. 7. ed. El Segundo: Microcosm Press, 2005.