

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE A GESTÃO DE PROJETOS NO SETOR ESPACIAL CONFORME O PADRÃO ECSS E PROJETOS REALIZADOS PELO INPE.

Irineu dos Santos Yassuda^{1,2}

Leonel Fernando Perondi^{1,3}

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Gerenciamento e Engenharia de Sistemas Espaciais, Av. dos Astronautas, 1.758, Jd. Granja- São José dos Campos, SP, Brasil,

CEP: 12227-010

irineu@las.inpe.br²

perondi@las.inpe.br³

RESUMO

A exploração do espaço exterior envolve riscos de diversas naturezas e oferece desafios científicos, tecnológicos e, sobretudo, gerenciais extraordinários. Cada missão constitui-se em um empreendimento único, com uma estrutura de requisitos de grande complexidade e extensão.

Este trabalho objetiva apresentar o ciclo de vida de projetos espaciais segundo o padrão ECSS (European Cooperation for Space Standardization) e comparar o ciclo de vida descrito neste padrão com o de alguns projetos desenvolvidos no INPE, com foco nos seguintes tópicos: filosofia geral definidora do ciclo de vida, estruturação em fases, revisões e filosofia de modelos.

Palavras Chave: Gestão de Projetos, Engenharia de Sistemas, Sistemas Espaciais, Ciclo de Vida, Qualificação, Modelos.

1 Sistemas Espaciais

Um Sistema Espacial pode ser definido como um conjunto de componentes que interagem de forma organizada para atingir objetivos de caráter técnico, científico ou de aplicação, através de técnicas espaciais.

Os componentes de um Sistema Espacial podem ser bastante diversos, tais como pessoas, organizações, procedimentos, softwares, equipamentos e instalações.

Esses componentes são divididos em segmentos, sendo os principais:

- Segmento Lançador: O veículo lançador e a infra-estrutura de lançamento.
- Segmento Espacial: Composto pela Carga útil e pela Plataforma do Satélite.
- Segmento Solo: são os sistemas de comando, controle e comunicação que permanecem no solo atuando junto aos sistemas em voo.
- Segmento Usuário: É a comunidade usuária dos dados e serviços gerados pelas atividades espaciais.

2 Projetos de Sistemas Espaciais

Projetos de Sistemas Espaciais, principalmente aqueles relacionados aos Segmentos Lançador e Espacial, constituem-se em empreendimentos muito específicos por sua complexidade, custos elevados, uso de tecnologias recentes, por desenvolver equipamentos para operação em ambientes agressivos e por, usualmente, inexistir a possibilidade de reparos e correções de equipamentos, uma vez iniciada sua operação em órbita (LOUREIRO, 1999).

Dentre as características do ambiente espacial que torna tornam o desenvolvimento de equipamentos que nele operaram muito específicos incluem-se a vibração e ruído, que no instante de lançamento podem levar à perda de equipamentos; ciclos térmicos de grande amplitude que causam stress térmico aos equipamentos; radiação que causa a degradação de componentes; vácuo que causa a sublimação de materiais como polímeros e metais leves causando uma serie de efeitos nocivos aos equipamentos; Micro-Meteoritos e Lixo Espacial, problema causado por materiais que se encontram em órbita, que ao colidirem com o equipamento causam danos devido à energia cinética que possuem.

Além da robustez necessária para sobreviver a condições ambientais adversas, os Sistemas Espaciais apresentam alta complexidade, a qual tem crescido em decorrência de missões e aplicações cada vez mais arrojadas. A crescente disponibilidade de processadores com maior capacidade de processamento e de outros recursos de hardware (memória, componentes lógicos programáveis, etc.) para utilização em ambiente espacial faz com que muitas das operações, anteriormente realizadas em solo, passem a ser realizadas a bordo. Adicionalmente, novas aplicações são continuamente incorporadas no processamento de bordo, produzindo sistemas cada vez mais complexos (AMBRÓSIO et al, 2009). Assim, enquanto os primeiros satélites pesavam algumas dezenas de quilos e levavam apenas alguns circuitos simples, satélites modernos de grande complexidade chegam a carregar toneladas de equipamentos.

Os custos deste progresso podem ser percebidos quando verificamos que os valores de lançamento são estimados na ordem de US\$ 11.000,00 por quilo para órbita baixa e de US\$ 66.000,00 por quilo para a colocação em uma órbita geoestacionária (DASCH, 2002).

Estudos como o apresentado na **Figura 1** (NEWMAN, 2001) indicam que uma parcela das falhas observadas em programas espaciais podem advir de falhas associadas ao gerenciamento de projetos.

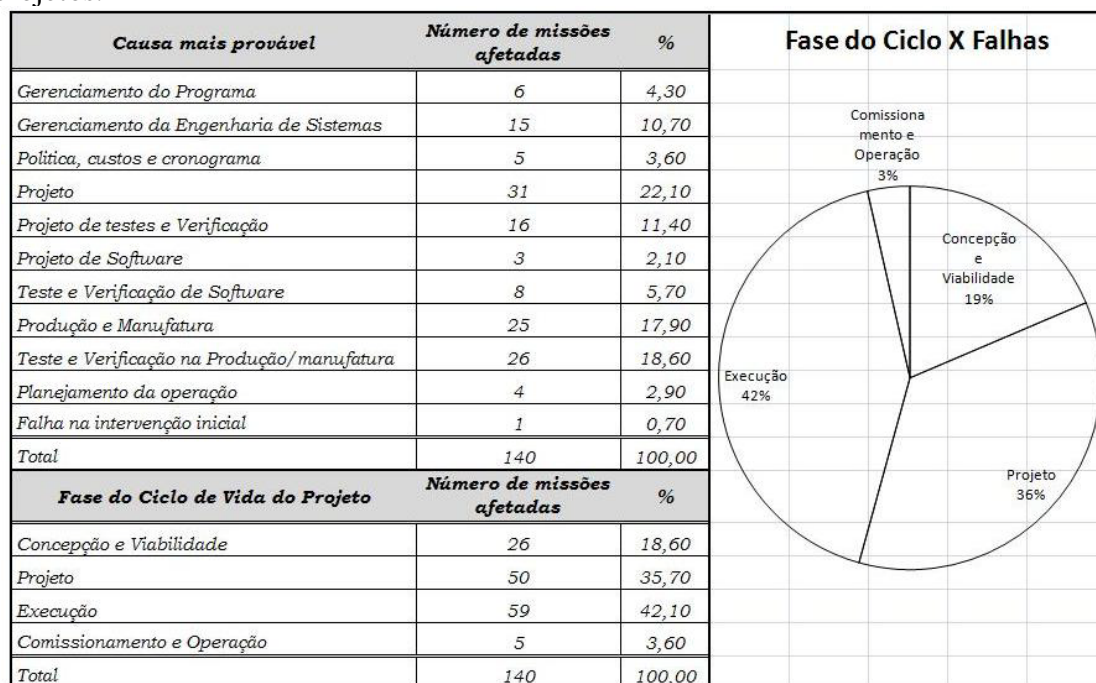


Figura 1 – Falhas em Sistemas Espaciais. Fonte: Adaptado de (NEWMAN, 2001).

Exemplos de falhas de missão atribuídas a problemas de gerenciamento, durante a fase de desenvolvimento da missão, incluem os incidentes com o *Mars Climate Orbiter* e o *Mars Polar Lander* da NASA. Entre as razões apontadas para a falha destas missões, em estudos recentes, encontram-se as seguintes:

- foco na gestão de riscos em custo e prazo em vez de qualidade e segurança,

- campanhas de teste reduzidas,
- procedimentos de garantia da missão desacoplados do processo de projeto,
- aplicação frouxa das especificações e normas,
- utilização reduzida dos processos de revisão e de qualidade,
- contratado com responsabilidade pelo desenvolvimento completo de sistema,
- supervisão reduzida das agências,
- subestimar a complexidade e maturidade tecnológica, e
- baixa comunicação entre as equipes.

Por razões como estas e, também, devido ao perigo a vidas humanas, ao custo e impacto causados pela perda de equipamentos, além do prejuízo à imagem de organizações e nações envolvidas, os projetos da área espacial dedicam grande ênfase ao controle da variável qualidade, diferentemente de projetos que contemplam aplicações não críticas, onde em geral as variáveis custo e tempo são controladas com maior ênfase.

Assim, dado o exposto acima, é natural esperar-se que o ciclo de vida de projetos espaciais e equipamentos associados seja ditado por considerações relativas ao ambiente de operação, aos custos e o cronograma propostos para a missão, e à complexidade e qualidade (confiabilidade) do sistema a ser desenvolvido.

2.1 Padronizações

Desde que se iniciaram os Programas Espaciais o conhecimento gerado pelos projetos desenvolvidos e pelas experiências aproveitadas de outras atividades vem sendo sistematicamente integrado na forma de padronizações. A padronização que define as diretrizes para a realização de projetos de Sistemas Espaciais no Brasil é em grande parte baseada nos documentos criados pela ECSS, cujo sistema foi desenvolvido por meio de um esforço conjunto das Agências e Indústrias Espaciais Européias e são aplicados tanto pela ESA e seus fornecedores quanto pelo INPE e seus fornecedores.

A metodologia de desenvolvimento é caracterizada por se dividir em Fases e pela utilização de Modelos.

2.2 Modelos e sua filosofia

A estratégia de verificação implementada em projetos varia conforme as naturezas do projeto e do produto. Em projetos da área espacial são utilizadas estratégias que buscam maximizar a confiabilidade do produto final. O conceito-chave na definição do ciclo de vida de um projeto na área espacial é o de Qualificação por Similaridade.

O ciclo de vida de projeto baseia-se em uma filosofia de verificação que contempla o desenvolvimento, via procedimentos rastreáveis e qualificados, de um modelo que represente o que será o Modelo de Voo, o Modelo de Qualificação. O Modelo de Qualificação é, então, submetido a testes que emulam as condições de lançamento e operação, em níveis superiores aos que o equipamento de voo experimentalizará em operação, de modo a demonstrar que as soluções de engenharia e de fabricação propostas atendem aos requisitos ambientais e de operação definidos. Esta filosofia é implementada em duas etapas: primeiramente, desenvolve-se um modelo para a verificação das soluções de engenharia propostas, o Modelo de Engenharia, para, então, chegar-se ao Modelo de Qualificação, através do qual, tanto as soluções de engenharia quanto as de fabricação são testadas.

O Modelo de Engenharia é fabricado a partir de partes e materiais funcionalmente equivalentes àqueles qualificados para aplicação espacial. O Modelo de Qualificação, por sua vez, é fabricado utilizando processos qualificados e o maior número possível de partes e

materiais com qualificação espacial, sempre respeitando as restrições de custo e prazo. Um processo é considerado qualificado quando a sua execução, independentemente da necessidade ou não de interveniência de mão-de-obra, produz sempre o mesmo resultado, atendendo a requisitos pré-estabelecidos, advindos de padrões para a área espacial.

O Modelo de Qualificação é testado tanto no que se refere a requisitos de desempenho quanto a requisitos ambientais. Os testes ambientais procuram simular as condições de operação do equipamento de voo, tanto no que se refere às variáveis ambientais – níveis de vibração, limites de temperatura e níveis de vácuo – quanto ao tempo previsto de operação em órbita. A origem de toda não-conformidade detectada nos testes do Modelo de Qualificação é rastreada a processos, partes ou materiais. Uma vez corrigidas todas não-conformidades, considera-se o equipamento como qualificado para voo. O Modelo de Voo é, então, fabricado a partir de versões consolidadas tanto dos processos quanto das listas de partes e materiais, através de mão-de-obra certificada.

Os Modelos de Voo assim fabricados são considerados como qualificados por similaridade e são submetidos a testes funcionais e ambientais em nível de aceitação.

2.3 Fases do projeto de Sistemas Espaciais

A estruturação de projetos espaciais em fases advém da própria lógica de desenvolvimento de empreendimentos que tenham por objetivo a concepção, o projeto, a fabricação e a utilização de produtos complexos. Conforme Turner (2006), há cinco etapas no ciclo de vida de um projeto, a saber: concepção, viabilidade, projeto (design), execução e comissionamento do produto.

As fases do desenvolvimento de Projetos de Sistemas Espaciais são descritas no padrão ECSS-M-ST-10C- *Space Project Management, Project Planning and Implementation* (ECSS, 2008). No total, são sete fases, contemplando desde a transformação das necessidades do usuário em requisitos, na Fase 0, até a fase de descarte final do sistema, na Fase F, confundindo-se, assim, o ciclo de vida do projeto com o ciclo de vida do produto. A seguir, são descritas com algum detalhe as diversas fases, a filosofia de modelos e as revisões realizadas após cada fase ilustrado na **Figura 2**. Nas descrições que se seguem, é dada ênfase especial ao princípio geral que rege o ciclo de vida de projetos na área espacial, que é o de qualificação por similaridade.

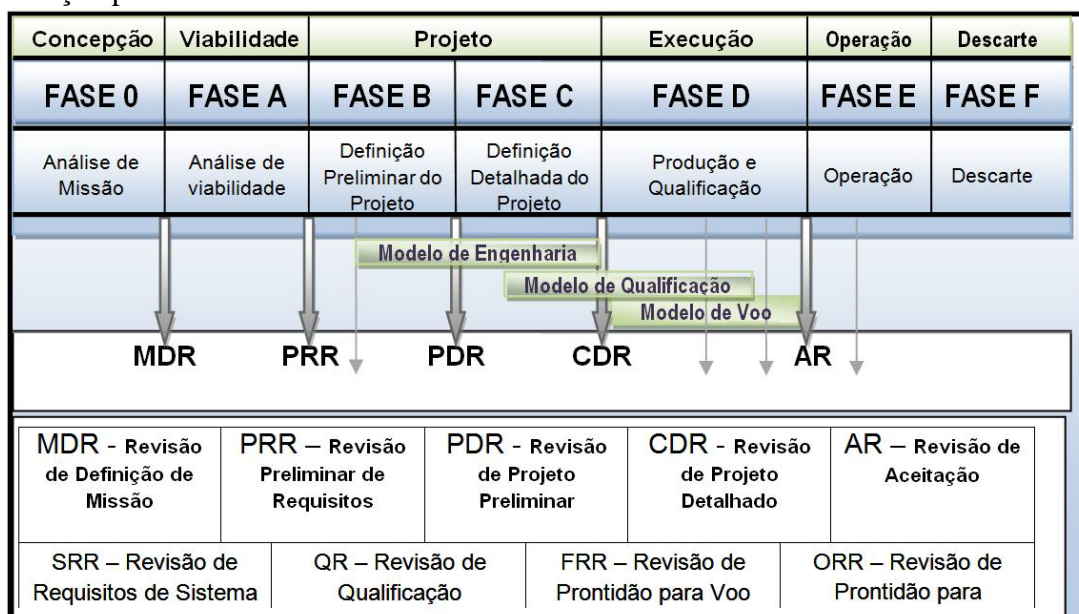


Figura 2 – Principais elementos constituintes do ciclo de vida de um projeto na área espacial, conforme diretrizes do padrão ECSS-M-ST-10C (ECSS, 2008).

No encerramento de cada fase é realizada uma reunião formal de revisão entre o cliente e o fornecedor dos processos envolvidos e o principal objetivo destas reuniões é detectar eventuais deficiências, erros ou omissões nos trabalhos e gerar recomendações para correções. As recomendações e avaliações advindas das Revisões são analisadas pelo cliente e posteriormente geram ações corretivas ou preventivas que depois são consolidadas em relatórios que serão incluídos nos registros do projeto e poderão ser utilizados no futuro. É importante observar que as fases do ciclo de vida ocorrem para o projeto como um todo e podem se repetir para cada um dos subsistemas e componentes resultantes da estrutura de divisão do trabalho.

2.3.1 Fase 0 – Análise de Missão

Nesta fase, a equipe responsável pelo início do projeto, juntamente com o usuário final, buscam identificar os principais requisitos de missão, tais como desempenho esperado, confiabilidade e vida útil do produto, juntamente com restrições de caráter geral, como as relativas ao ambiente operacional. É, também, efetuada uma primeira comparação entre o custo esperado e o orçamento alocado para o projeto.

Como resultado, diferentes conceitos são identificados e, então, expostos aos financiadores do empreendimento. Estes estudos são consolidados em documento equivalente ao termo de abertura do projeto – o Termo de Declaração da Missão (*Mission Statement*).

Essa fase se conclui com a Revisão de Definição de Missão (MDR) que verifica a adequação das especificações técnicas preliminares e a avaliação de aspectos relativos à organização do projeto.

2.3.2 Fase A – Análise de Viabilidade

Nesta fase continua a análise de viabilidade dos possíveis conceitos através do aprofundamento da identificação de restrições relativas à implementação do projeto, tais como: custos, cronogramas, organização, operação, manutenção, produção e descarte. Em termos gerais, é avaliada a factibilidade dos diferentes conceitos à luz da capacidade tecnológica, do prazo para execução e do orçamento disponível. Em particular, o risco associado a cada alternativa é estimado.

Os principais resultados desta fase são: a proposição de um primeiro conceito para as configurações de sistema e operações, o estabelecimento das especificações técnicas em nível de sistema, a definição de planos preliminares de gerenciamento, de desenvolvimento e de qualidade, e uma proposta para a filosofia de verificação.

É concluída com a Revisão Preliminar de Requisitos (PRR) que tem por objetivo a aceitação dos planos e confirma a viabilidade técnica dos conceitos de sistema.

2.3.3 Fase B – Definição do Projeto Preliminar

Nesta fase, é consolidada uma proposta de conceito para as configurações de sistema e operações. O projeto preliminar associado é desenvolvido, enfatizando as soluções técnicas escolhidas.

Para produtos de hardware, são desenvolvidos estudos e trabalhos que contemplam, resumidamente, os seguintes resultados: projetos técnicos (elétrico, mecânico, etc...) preliminares; definição da lista preliminar de partes e materiais; definição do plano de fabricação preliminar, contendo os procedimentos para fabricação, montagem, ajustes e integração e a documentação para fabricação do Modelo de Engenharia; projeto e definição dos equipamentos de apoio e testes; plano de verificação e plano de testes do Modelo de Engenharia.

Inicia-se a fabricação do Modelo de Engenharia de equipamentos e subsistemas selecionados. O Modelo de Engenharia deve ser completo e representativo para demonstrar que a solução de projeto atende a todos os requisitos de funcionalidade e desempenho.

Com respeito às funções gerenciais e de garantia da qualidade são finalizados os planos de gerenciamento, de desenvolvimento e de qualidade. São estabelecidas a árvore do produto, a estrutura analítica do projeto e a árvore de especificações. É consolidado o plano de verificação.

Nesta fase ocorre a Revisão de Requisitos de Sistema (SRR) e a fase se encerra com a Revisão de Projeto Preliminar (PDR) a qual tem como objetivo principal avaliar o projeto preliminar do conceito de sistema.

2.3.4 Fase C – Definição Detalhada do Projeto

É finalizado, nesta fase, o detalhamento do conceito de sistema e operações selecionado, incluindo o detalhamento dos planos de fabricação, integração e testes para o sistema e seus componentes.

Neste detalhamento são incluídos, o desenvolvimento, a produção, os testes e a pré-qualificação dos componentes críticos e o detalhamento das interfaces entre os elementos.

Para produtos de hardware, são desenvolvidas, resumidamente, as seguintes atividades: fabricação do Modelo de Engenharia de equipamentos e subsistemas selecionados¹; fabricação dos equipamentos de apoio e testes; fabricação do ferramental; qualificação dos processos de fabricação; consolidação da lista de partes e materiais; consolidação do plano de fabricação; consolidação do plano de garantia do produto; documentação para fabricação do Modelo de Qualificação; plano de testes do Modelo de Qualificação.

Nesta fase, o Modelo de Engenharia de equipamentos e subsistemas selecionados é submetido a testes funcionais, térmicos e de compatibilidade eletromagnética, de modo a demonstrar a viabilidade das soluções de projeto adotadas. A Análise de Risco é atualizada.

Esta fase se encerra com a Revisão de Projeto Detalhado (CDR) que tem como objetivos principais avaliar as soluções de projeto através, principalmente, dos testes realizados no Modelo de Engenharia, bem como o estado de qualificação dos processos críticos para a fabricação do Modelo de Qualificação.

2.3.5 Fase D - Produção e Qualificação

Nesta fase, são realizadas as atividades para a Qualificação, incluindo os testes e atividades de verificação. O Modelo de Qualificação de equipamentos e subsistemas selecionados² é concluído.

Esta fase contempla, resumidamente, as seguintes atividades: fabricação e testes do Modelo de Qualificação; estabelecimento da versão final da documentação para a fabricação do Modelo de Voo; configuração final dos processos e do ferramental de fabricação do Modelo de Voo; definição dos procedimentos de verificação e testes para o Modelo de Voo. Todos os procedimentos de fabricação (processos, inspeções, etc...) e o ferramental associado são “congelados” nesta fase. Os procedimentos de fabricação após devidamente documentados e tendo a sua reprodutibilidade demonstrada são denominados de “qualificados”.

O Modelo de Qualificação de equipamentos e subsistemas selecionados é submetido a testes ambientais e funcionais, de modo a demonstrar a viabilidade das soluções de fabricação e de projeto adotadas. A Análise de Risco é atualizada. São efetuados testes e análises que procuram demonstrar a validação do produto final.

¹ O Modelo de Engenharia será tão completo quanto exigido pelos requisitos de projeto, no que se refere à demonstração da adequação das soluções de engenharia propostas, podendo abranger o produto em sua integralidade

² Aqui, vale a mesma observação relativa ao Modelo de Engenharia. O Modelo de Qualificação será tão completo quanto necessário para demonstrar a qualificação do produto final, agora, no que se refere às soluções de engenharia e fabricação.

Após a demonstração da existência de um modelo qualificado e de um conjunto de processos e procedimentos que permitem a sua reprodutibilidade, passa-se à fabricação, integração e teste do Modelo de Voo, seguindo rigorosamente os procedimentos qualificados, tanto via documentação quanto o treinamento de mão-de-obra. O Modelo de Voo é submetido a testes funcionais e ambientais de aceitação. É testada a compatibilidade operacional entre o segmento solo e o espacial.

Nesta fase podem ocorrer a Revisão de Qualificação (QR) que tem por objetivo principal demonstrar que as soluções de engenharia e de fabricação resultam em um produto que atende, com a margem especificada, todos os requisitos definidos para o projeto, e a Revisão da Prontidão para o Voo (FRR).

Essa fase se encerra com a Revisão de Aceitação (AR) que tem como objetivo principal demonstrar que o(s) Modelo(s) de Voo encontra-se livre de problemas advindos de erros de mão de obra e de outras operações, e pronto para o uso especificado.

2.3.6 Fase E – Operação

Nesta fase, ocorrem atividades de preparação para o lançamento, o lançamento propriamente dito com as atividades para injeção em órbita e procedimentos iniciais para a operação do sistema.

São realizadas todas as verificações pertinentes às atividades de comissionamento, operações em órbita, suporte à missão e às atividades de operação do segmento solo.

2.3.7 Fase F - Descarte

Nesta fase são implementados planos para o descarte do sistema.

3 Comparação entre o ciclo de vida de alguns dos projetos desenvolvidos no INPE com aquele preconizado pelo padrão ECSS.

Quando se realiza o projeto de um novo satélite o INPE não desenvolve e fabrica todos componentes, ele se encarrega das atividades de concepção, projeto, qualificação, fabricação e operação até o nível de sistemas, os fornecedores são responsáveis por desenvolver os subsistemas e seus componentes, numa estrutura de desenvolvimento que pode ser vista na Figura 3.

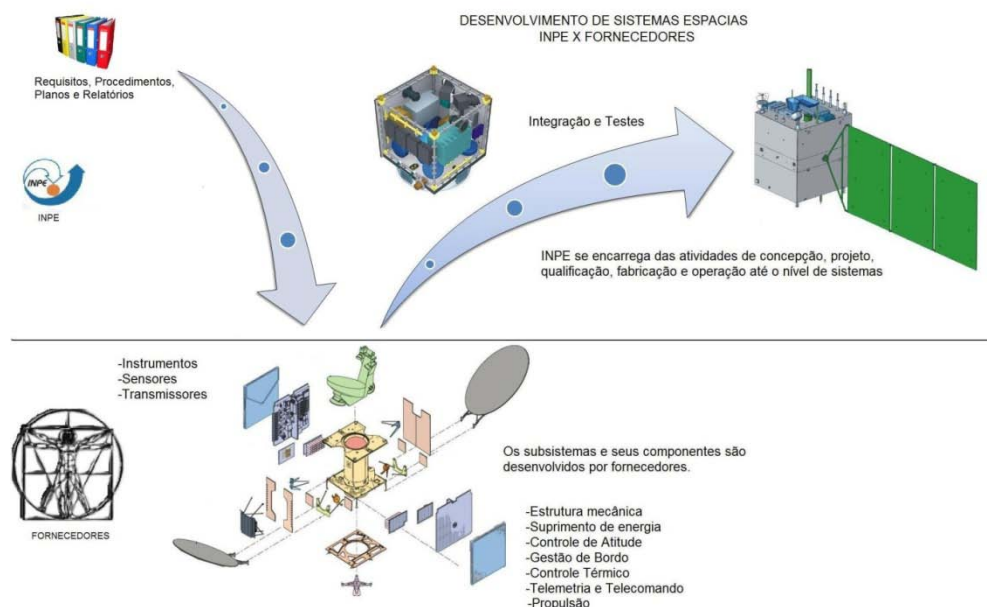


FIGURA 3. Esquema mostrando níveis de responsabilidade no desenvolvimento do satélite.

O INPE, que teve seu desenvolvimento inicialmente ligado ao programa espacial Francês e Europeu, tem seus métodos de gerenciamento, engenharia e garantia do produto influenciados pelos padrões estabelecidos pelos padrões ECSS. Esses padrões, mesmo sendo seguidos em linha gerais, são normalmente adaptados para a realidade de cada missão, seja para se adequar à extensão e complexidade do projeto, seja para se ajustar à disponibilidade e experiência dos recursos humanos existentes.

Essas adaptações tornam cada projeto único, o que em muitos casos dificulta a reutilização dos dados e das metodologias anteriormente desenvolvidas. A variabilidade e reutilização de metodologias vem despertando crescente atenção (AMBRÓSIO et al, 2007). O Padrão ECSS-S-ST-00C (ECSS b, 2008). descreve como o conjunto de padrões ECSS podem ser adaptados aos diferentes projetos em função de suas características, riscos, tamanho e complexidade. O trabalho de Sauser (2009), no qual é exposta a Teoria da Contingência em gerenciamento, procura demonstrar a importância da adaptação do ciclo de vida às características de cada projeto, levando adequadamente em consideração parâmetros como inovação, complexidade, tecnologia, prazos, recursos disponíveis e o impacto cultural.

Passamos, agora, a comparar a metodologia de projetos desenvolvidos no INPE, no que se refere a fases e reuniões de revisão, com a referência sugerida pela pelos padrões ECSS, apresentados anteriormente. Os projetos escolhidos são para o desenvolvimento do Subsistema de Suprimento de Energia do CBERS 3 e 4 e para o desenvolvimento do Sistemas Inerciais para Aplicação Aeroespacial.

3.1.1 Fases do projeto CBERS 3-4 / EPSS

O projeto CBERS 3-4 envolve a fabricação de dois satélites de sensoriamento remoto no âmbito de uma cooperação na área espacial entre o Brasil e a China. Entre os subsistemas sob responsabilidade do INPE, encontra-se o Subsistema de Suprimento de Energia (Electrical Power Supply Subsystem - EPSS). Em princípio, o ciclo de vida de projeto seguido em um subsistema pode apresentar variável interseção com aquele seguido para o projeto como um todo. Por exemplo, em um projeto em que o subsistema de suprimento de energia seja integralmente reaproveitado a partir de algum projeto anterior, o ciclo de vida apropriado ao subsistema poderia apresentar somente a fase de fabricação do Modelo de Voo e as reuniões de revisão correspondentes. Já, para um projeto totalmente novo, o subsistema seguiria quase que integralmente o ciclo de vida do projeto como um todo. A julgar pela documentação, o projeto EPSS enquadra-se nesta segunda situação.

No subsistema EPSS, a autoridade de projeto é do INPE, enquanto que a autoridade de fabricação foi transferida à indústria, via uma contratação industrial. No que diz respeito a esta contratação industrial, o trabalho foi estruturado em fases, com uma metodologia adaptada ao fato de que se tratava da fabricação de equipamentos segundo um projeto desenvolvido pelo INPE.

As Fases 0 e A foram suprimidas e em seu lugar foi introduzida uma fase denominada de Fase de Planejamento. Nesta fase, são elaborados os principais documentos de planejamento, tais como o Plano de Desenvolvimento do trabalho a ser executado, contendo cronograma, estrutura de divisão do trabalho e diagrama de atividades, o Plano de Garantia do Produto, o Plano de Recursos Humanos e o Plano de Infraestrutura.

As Fases de Projeto Preliminar (Fase B) e Projeto Detalhado (Fase C) ocorrem conforme o previsto pelos padrões ECSS. Nestas fases, a empresa contratada se articula com o INPE para a execução conjunta do trabalho planejado. A fase de projeto preliminar é focada na preparação da fabricação do Modelo de Engenharia, enquanto que a fabricação e testes propriamente ditos são deixados para a fase de Projeto Detalhado. Nesta última fase, são,

também, desenvolvidos e qualificados todos os processos, bem como o ferramental associado, a serem empregados na fabricação do Modelo de Qualificação, na fase seguinte.

A Fase D, Produção e Qualificação, foi dividida em duas fases: uma denominada Fase de Qualificação de Projeto e a outra Fase de Fabricação e Testes do Modelo de Voo.

Na Fase de Qualificação foi fabricado o Modelo de Qualificação dos equipamentos, e desenvolvidas as atividades de Verificação e Qualificação dos mesmos. A Fase de Fabricação e Teste do Modelo de Voo foca na fabricação, na entrega e na aceitação, do equipamento que será integrado ao satélite. O trabalho desenvolvido nestas duas fases e a documentação gerada seguem em linhas gerais o sugerido no padrão ECSS para a Fase D .

Concluindo, no caso do subsistema CBERS 3-4 / EPSS, o ciclo de vida de projeto adotado pelo INPE, no que se refere a fases de projeto, apresenta alguma aderência com aquele previsto no padrão ECSS. Observam-se diferenças na divisão e nomenclatura das fases, Fases 0 e A que foram unidas, e a Fase D que foi subdividida em duas. Estas adaptações, ocorreram para atender especificidades da divisão de trabalho do Programa CBERS 3-4.

3.1.2 Reuniões de revisão do CBERS 3-4 / EPSS

Do mesmo modo que para as fases, as revisões de projeto também sofreram adequações, em parte para se adaptar à divisão de fases adotada, em parte, para atender a especificidades da divisão de trabalho.

As Revisões de Projeto Preliminar e a Revisão de Projeto Detalhado foram realizadas ao final das Fases B e C, respectivamente, como sugerido pelo padrão. A Revisão de Qualificação foi colocada no final da fase denominada Fase de Qualificação de Projeto e a Revisão de Aceitação no final da Fase denominada de Fase de Fabricação dos Modelos de Voo.

A Tabela 1 apresenta uma comparação entre as fases e revisões previstas pelo padrão ECSS e aquelas planejadas no projeto CBERS 3-4.

ECSS			CBERS 3-4 / EPSS	
Fases	Descrição das Fases	Reuniões de Revisão	Descrição das Fases	Reuniões de Revisão
Fase 0	Análise de Missão	Revisão de Definição de Missão	Fase de Planejamento	Revisão de Documentação Gerencial
Fase A	Análise de Viabilidade	Revisão Preliminar de Requisitos		
Fase B	Projeto Preliminar	Revisão de Requisitos de Sistema. Revisão de Projeto Preliminar	Projeto Preliminar Preparação Modelo de Engenharia	Revisão de Projeto Preliminar
Fase C	Projeto Detalhado	Revisão de Projeto Detalhado	Projeto Detalhado Fabricação Modelo de Engenharia	Revisão de Projeto Detalhado
Fase D	Produção e Qualificação	Revisão de Qualificação Revisão de Prontidão para Voo	Fase de Qualificação: Fabricação do Modelo de Qualificação e Testes de Qualificação	Revisão de Qualificação

		Revisão de Aceitação	Fase de Fabricação do Modelo de Voo e Teste: Fabricação e Testes do Modelo de Voo	Revisão de Aceitação
Fase E	Operação	Revisão de Prontidão para Operação		
Fase F	Descarte			

Tabela 1 – Paralelo entre as Fases de Projeto e Revisões ECSS e as do Projeto EPSS.

Na coluna “ECSS – Reuniões de Revisão” as reuniões de encerramento de cada fase são apresentadas em negrito.

3.2 Comparação entre a metodologia empregada no projeto Sistemas Inerciais para Aplicação Aeroespacial e o padrão ECSS.

3.2.1 Fases do projeto

O projeto Sistemas Inerciais para Aplicação Aeroespacial (SIA), desenvolvido conjuntamente pelo Comando Geral de Tecnologia Aeroespacial (CTA) e o INPE, objetiva o desenvolvimento de produtos para a área de controle, tanto de plataformas orbitais, quanto de veículos lançadores de satélites. Entre os principais produtos, com versões para plataforma orbital e veículo lançador de satélites, encontram-se o girômetro a fibra óptica e o computador de bordo. Especificamente, para plataformas orbitais, estão previstos o sensor estelar e o ambiente de simulação do controle de atitude e órbita de satélites, enquanto que para veículos lançadores estão previstos a unidade inercial e o ambiente para simulação de controle e guiagem de veículos lançadores. Trata-se de um projeto que objetiva a produção de diferentes produtos em nível de modelos de qualificação.

Quando se compara a metodologia empregada no projeto com o padrão ECSS, observa-se que as Fases 0 e A foram substituídas por uma única fase, denominada de Fase de Especificação, enquanto que a Fase D foi reduzida a uma Fase de Qualificação.

Na Fase de Especificação são elaborados os principais documentos de planejamento, tais como: o Plano de Desenvolvimento do trabalho a ser executado, contendo cronograma, estrutura de divisão do trabalho e diagrama de atividades; o Plano de Garantia do Produto; o Plano de Recursos Humanos e o Plano de Infraestrutura.

As Fases de Projeto Preliminar e de Projeto Detalhado apresentam conteúdo próximo ao previsto nos padrões ECSS. A Fase de Projeto Preliminar é focada na preparação da fabricação do Modelo de Engenharia, mas a fabricação deste modelo e os testes, propriamente ditos, são planejadas para a Fase de Projeto Detalhado. Nesta última fase são, também, desenvolvidos e qualificados todos os processos, bem como o ferramental associado, a serem empregados na fabricação do Modelo de Qualificação na fase seguinte.

A Fase D, Produção e Qualificação, foi substituída por uma Fase de Qualificação, na qual é fabricado o Modelo de Qualificação e são realizadas as atividades de Verificação e Qualificação do mesmo. No Caso do Projeto SIA é nessa etapa que o projeto se encerra, pois o objetivo é a capacitação da indústria nacional de fornecer sistemas inerciais com qualificação para aplicação espacial.

3.2.2 Revisões do projeto

Do mesmo modo que para as fases, no projeto SIA, as revisões de Definição de Missão e Preliminar de Requisitos foram substituídas por uma única revisão, a Revisão de Especificações, coerentemente com a agregação de fases descritas acima.

As demais revisões - Projeto Preliminar, Projeto Detalhado, Qualificação e Aceitação - são implementadas em acordo com as linhas sugeridas pelo padrão ECSS. No Projeto SIA, o planejamento vai até a Revisão de Qualificação, não sendo programadas as demais revisões.

A Tabela 2 apresenta uma comparação entre as fases e revisões previstas pelo padrão ECSS e aquelas implementadas no projeto SIA.

ECSS			SIA	
Fases	Descrição das Fases	Reuniões de Revisão	Descrição das Fases	Reuniões de Revisão
Fase 0	Análise de Missão	Revisão de Definição de Missão	Fase de Especificação	Revisão de Especificações
Fase A	Análise de Viabilidade	Revisão Preliminar de Requisitos		
Fase B	Projeto Preliminar	Revisão de Requisitos de Sistema. Revisão de Projeto Preliminar	Projeto Preliminar Preparação Modelo de Engenharia	Revisão de Projeto Preliminar
Fase C	Projeto Detalhado	Revisão de Projeto Detalhado	Projeto Detalhado Fabricação Modelo de Engenharia	Revisão de Projeto Detalhado
Fase D	Produção e Qualificação	Revisão de Qualificação Revisão de Prontidão para Voo Revisão de Aceitação	Fase de Qualificação: Fabricação do Modelo de Qualificação e Testes de Qualificação	Revisão de Qualificação
Fase E	Operação	Revisão de Prontidão para Operação		
Fase F	Descarte			

Tabela 2 – Paralelo Entre as Fase e Revisões ECSS e as do Projeto SIA.

Na coluna “ECSS Reuniões de Revisão” as reuniões de encerramento de cada fase são apresentadas em negrito.

4 Conclusão

Os Sistemas Espaciais, devido à sua complexidade, riscos, prazos e custos, seguem processos de desenvolvimento que devem ser previamente planejados e corretamente implementados, levando sempre em consideração a cultura e o conhecimento das equipes envolvidas.

A metodologia utilizada nos projetos do INPE avaliados neste trabalho reflete essa realidade – em ambos os projetos analisados uma dada metodologia (ECSS) foi customizada para cada aplicação, seja aglutinando Fases ou subdividindo uma Fase em outras novas.

Esse processo de adaptação a cada projeto, desde que baseado em uma análise cuidadosa das características do projeto, como o recomendado por Sauser (2009), pode ser visto como um ponto positivo, permitindo adaptação às características específicas da organização executora. Com isso, é possível a melhoria dos resultados e a adequação dos procedimentos às particularidades das organizações, cultura e legislação existentes no Brasil.

Finalmente, observamos que em projetos como o CBERS 3-4 / EPSS e o SIA, onde existe uma grande interface com outras organizações, há iniciativa do INPE em divulgar essas metodologias para seus fornecedores. Neste processo, ocorre transferência de metodologias de gestão e garantia do produto, que poderão melhorar o desempenho dessas organizações, gerando benefícios indiretos em outras atividades e produtos que essas empresas venham a produzir.

REFERÊNCIAS

AMBRÓSIO, A. M.; MATTIELLO-FRANCISCO, F.; CARDOSO, L. S.; SANTIAGO, V.; ARIAS, R.; VIJAYKUMAR, N. L.; LOUREIRO, G. **Experiências em projetos e uso de técnicas de verificação e validação de software em aplicações espaciais no INPE**. São José dos Campos: INPE, 2007. 45 p. (INPE-15182-NTC/374). Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2008/05.08.12.33>>. Acesso em: jun. 2009.

DASCH, P. **Space sciences, space business**. v. 1. New York, USA: Editora Macmillan Reference, 2002. p. 162.

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

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION (ECSS). **ECSS-S-ST-00C**- ECSS Systems - Description, implementation and general requirements, Noordwijk, The Netherlands, 2008.

LOUREIRO, G. A. **A systems engineering and concurrent engineering framework for the integrated development of complex products**. Loughborough, USA: Loughborough University, 1999.

NEWMAN, J.S. Failure space: a systems engineering look at 50 space system failure. **Acta Astronautica**, Vol.48 No 5-12, 2001. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/>. Acesso em maio 2009.

SAUSER, B.J., REILLY, R.R., SHENHAR, A.J. Why projects fail? how contingency theory can provide new insights. **International Journal of Project Management**, 2009. Disponível em: www.elsevier.com/locate/ijproman, Acesso em: jun. de 2009.

TURNER J.R. Towards a theory of project management: the nature of the project governance and project management. **International Journal of Project Management**, v. 24, p. 93–95, 2006. Disponível em: www.elsevier.com/locate/ijproman

Acesso em: jun. de 2009.