

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA AEROESPACIAL

YAN DA SILVA MOURA

DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA INTEGRADA DE PROJETO PARA
CUBESAT: UM ESTUDO DE CASO DO PROJETO CIMATELITE.

Joinville
2024

YAN DA SILVA MOURA

DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA INTEGRADA DE PROJETO PARA
CUBESAT: UM ESTUDO DE CASO DO PROJETO CIMATELITE.

Trabalho apresentado como requisito
para obtenção do título de bacharel
em Engenharia Aeroespacial do
Centro Tecnológico de Joinville da
Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientador: Dr. Cristiano Vasconcellos Ferreira

Coorientador: Dr. Eduardo Augusto Bezerra

Joinville
2024

YAN DA SILVA MOURA

DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA INTEGRADA DE PROJETO PARA
CUBESAT: UM ESTUDO DE CASO DO PROJETO CIMATELITE.

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia Aeroespacial, na Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Joinville (SC), 25 de junho de 2024.

Banca Examinadora:

Orientador: Dr. Cristiano Vasconcellos Ferreira
Orientador(a)
Presidente

Prof. Dr. Xisto Lucas Travassos Junior
Membro(a)
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Antônio Otaviano Dourado
Membro(a)
Universidade Federal de Santa Catarina

Dedico este trabalho aos meus pais, que muito batalharam para permitir que eu realize um sonho.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de iniciar expressando minha profunda gratidão aos meus pais, cujo apoio inabalável permitiu que eu alcançasse este momento, apesar dos percalços ao longo do caminho. À minha avó, cuja vitalidade e espírito resiliente, mesmo em sua avançada idade, servem como um exemplo inspirador de perseverança e força. À minha irmã, cuja prontidão em ajudar sempre que necessário foi uma bênção em minha jornada. Não posso deixar de estender meus agradecimentos ao meu orientador, Professor Cristiano, por me informar sobre as perspectivas aeroespaciais do Senai Cimatec e realizar a ponte que culminou em meu estágio. Posteriormente, em sua dedicada assistência durante a elaboração deste TCC.

À instituição Senai Cimatec e a toda a equipe, expressei minha sincera gratidão pelas oportunidades oferecidas, seja como estagiário, bolsista além pelo acolhimento caloroso e apoio contínuo ao longo desta jornada.

Por último, mas não menos importante, gostaria de reconhecer e agradecer aos membros do SpaceLab por sua constante disponibilidade em esclarecer minhas dúvidas e oferecer ajuda. Em especial, meu profundo agradecimento ao meu Coorientador, Professor Bezerra, cuja orientação e apoio foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

"Cientistas estudam o mundo como ele é; engenheiros criam o mundo que nunca existiu."(von Kármán, T).

RESUMO

Nos últimos anos, os Cubesats, pequenos satélites padronizados, têm se destacado por sua acessibilidade, custo reduzido e capacidade realizar diversas missões. Apesar disso, o Brasil ainda está engatinhando nesse setor, principalmente devido à escassez de recursos financeiros e à complexidade inerente ao desenvolvimento dessas tecnologias. Nesse contexto, este estudo investiga as metodologias de projeto já existentes e, como contribuição, propõe um método integrado e simplificado, especialmente adaptado à realidade da indústria brasileira permitindo assim, um melhor aproveitamento dos recursos financeiros e humanos disponíveis, abrindo caminho para avanços significativos nesta área. Para isto, foi realizado um estudo de caso no SENAI CIMATEC onde foram apresentadas as etapas de desenvolvimento de um Cubesat. Estas etapas foram estruturadas em um modelo de desenvolvimento integrado de produtos, a qual é apresentada neste trabalho.

Palavras-chave: Modelo de Fases. ECSS. Desenvolvimento de Produto. Engenharia Aeroespacial.

ABSTRACT

In recent years, Cubesats, small standardized satellites, have stood out for their accessibility, reduced cost, and versatility. Nevertheless, Brazil is still in its infancy in this sector, primarily due to the scarcity of financial resources and the inherent complexity in the development of these technologies. Within this context, this study investigates existing project methodologies and, as a contribution, proposes an integrated and simplified method, specifically tailored to the reality of the Brazilian industry, thereby allowing for better utilization of available financial and human resources, paving the way for significant advancements in this field. To achieve this, a case study was conducted at SENAI CIMATEC, where the development stages of a Cubesat were presented. These stages were structured in an integrated product development model, which is presented in this work.

Keywords: Phase Model. ECSS. Project Management. Product Development. Aerospace Engineering.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Lançamentos de Cubesat por Ano.	12
Figura 2 – Quantidade de Cubesats por país.	13
Figura 3 – Estrutura de Cubesats.	15
Figura 4 – Diagrama de Etapas do Modelo de Fases.	19
Figura 5 – Mapa da Etapa Informacional	20
Figura 6 – Mapa da Etapa Conceitual.	21
Figura 7 – Mapa da Etapa Preliminar.	23
Figura 8 – Mapa da Etapa Detalhada.	24
Figura 9 – Mapa de Documentação da ECSS.	25
Figura 10 – Fases da ECSS.	26
Figura 11 – Modelo em V	31
Figura 12 – Atividades Desenvolvidas na Fase Informacional	42
Figura 13 – Atividades Desenvolvidas na Fase Conceitual	46
Figura 14 – Atividades Desenvolvidas na Fase Preliminar	50

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Status da Documentação na Fase A.	27
Quadro 2 – Status da Documentação na Fase B.	28
Quadro 3 – Status da Documentação na fase C.	29
Quadro 4 – Status da Documentação na Fase D.	30
Quadro 5 – Documentos entregáveis de Engenharia de Sistemas	32
Quadro 6 – Diferenças de Atividades nos Modelos	39

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Objetivo	14
1.1.1	Objetivo Geral	14
1.1.2	Objetivos Específicos	14
1.1.3	Estrutura do trabalho	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1	Padrão Cubesat	15
2.1.1	Cubesat	15
2.1.2	Subsistemas	16
2.1.2.1	Sistema do Computador de Bordo	16
2.1.2.2	Sistema de Controle e Determinação de Atitude	16
2.1.2.3	Sistema Elétrico de Potência	17
2.1.2.4	Sistema de Rastreo, Telemetria e Telecomando	17
2.1.2.5	Sistema de Controle Térmico	17
2.1.2.6	Carga útil	17
2.2	Metodologia de Projeto	18
2.2.1	Modelo de Fase	18
2.2.1.1	Projeto Informacional	19
2.2.1.2	Projeto Conceitual	20
2.2.1.3	Projeto Preliminar	22
2.2.1.4	Projeto Detalhado	23
2.3	Modelo da European Cooperation for Space Standardisation (ECSS)	24
2.3.1	Space Project Management	25
2.3.1.1	Fase 0: Análise de Missão / Identificação das Necessidades	26
2.3.1.2	Fase A: Viabilidade	27
2.3.1.3	Fase B: Definição Preliminar	27
2.3.1.4	Fase C: Definição Detalhada	29
2.3.1.5	Fase D: Qualificação e Produção	30
2.3.2	Garantia de Produto Espacial	30
2.3.3	Engenharia de Sistemas Espacial	31
2.3.4	Sustentabilidade Espacial	33
3	ESTUDO DE CASO: CIMATELIT	34
3.1	Fase 0 - MDR	34
3.1.1	Técnica	34

3.1.2	Organizacional	35
3.1.3	Gerencial	35
3.1.4	Revisão: MDR	35
3.2	Fase A - PRR	35
3.3	Fase B - PDR	36
3.3.1	Técnica	36
3.3.2	Atividades de Integração	36
3.3.3	Gerencial	37
3.3.4	Revisão: PDR	37
3.4	Considerações Finais	38
4	PROPOSTA DE PROCESSO DE PROJETO	39
4.1	Informacional	40
4.1.1	Atividades Propostas para Fase	41
4.1.2	Documentos de Capitação	42
4.1.3	Documento Principal	43
4.1.4	Documentos Transversais	44
4.2	Conceitual	45
4.2.1	Atividades Propostas para Fase	45
4.2.2	Documento Principal	47
4.2.3	Documentos Transversais	48
4.3	Preliminar	48
4.3.1	Atividades Propostas para Fase	49
4.3.2	Documento Principal	51
4.3.3	Documentos Transversais	52
5	CONCLUSÕES	55
	REFERÊNCIAS	56

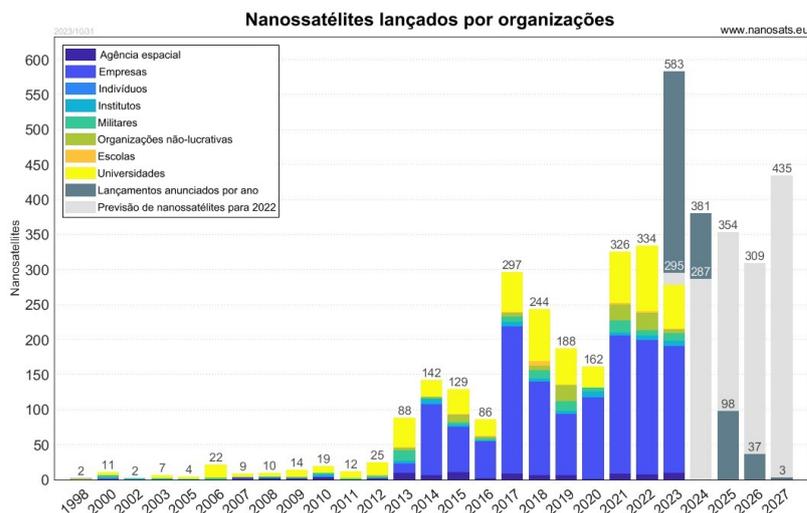
1 INTRODUÇÃO

Desenvolvido a partir de uma colaboração entre os pesquisadores Prof. Jordi Puig-Suari e Prof. Bob Twiggs, respectivamente, da Politécnica do Estado da Califórnia (Cal Poly) e da Universidade de Stanford e lançado no ano de 1999, o modelo Cubesat objetivava a democratização do espaço, criando um modelo de satélites de baixo custo que poderia ser construído por universidades e alunos, tanto para pesquisa científica quanto para capacitação profissional (LEE, 2014).

Após sua proposição, o modelo passou a se popularizar rapidamente sendo usado em universidades por todo o mundo, além de recentemente, instituições privadas começaram a desenvolver cubesats próprios para fins comerciais (CHO; GRAZIANI, 2017) e, de acordo com a (NASA, 2017), isso se deu graças a sua simplicidade a qual exige um baixo custo de desenvolvimento se comparado com os grandes satélites.

De acordo com a base de dados disponibilizada em Kulu (2021), a qual compila dados de missões de pequenos satélites desde 1998 a partir das mais diversas fontes, como International Amateur Radio Union (IARU) (IARU, 2023), Nasa Spaceflight (NASA, 2023) e SPOON (U.S. GOVERNMENT, 2023) e disponibiliza publicamente a partir de seu site, permitindo assim acesso a informações como da Figura 1.

Figura 1 – Lançamentos de Cubesat por Ano.

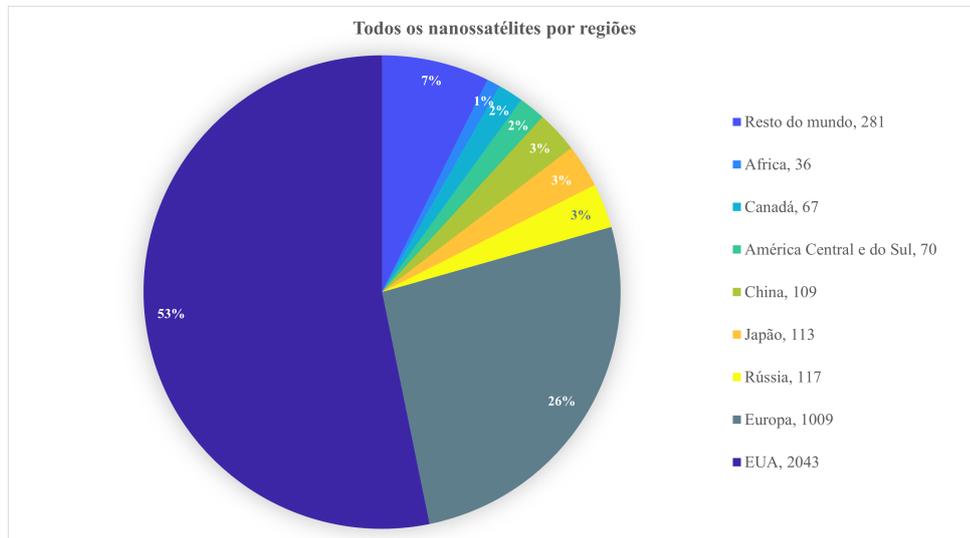


Fonte: Adaptado de Kulu (2021)

Analisando tal gráfico, podemos notar um acelerado crescimento do número de lançamentos a partir do ano de 2013, mas, para além disso, a partir de 2014 se vê um predomínio de lançamentos missões desenvolvidas pelo setor privado, o que demonstra interesse comercial no uso de Cubesats, chegando até 54,8% dos

Cubesats produzidos contra 29,6% de Universidades. Outra informação importante é a quantidade de lançamentos anunciados e previstos para os próximos anos, que mostram um otimismo e popularização ainda maior da tecnologia de Nanosatélites.

Figura 2 – Quantidade de Cubesats por país.



Fonte: Adaptado de Kulu (2021)

Por outro lado, quando vemos o gráfico da Figura 2, notamos ainda uma concentração de cubesats desenvolvidos em países centrais com os Estados Unidos e Europa responsáveis por 78,4% deles. Dessa forma, apesar dos Cubesats terem um baixo custo ao se comparar com os grandes satélites, vemos que ainda é pouco acessível para países com menos capital, sendo produzidos em menor escala e por iniciativas mais pontuais. Dessa forma, percebe-se uma necessidade de investimento e fomento público do setor, que demonstra grande potencial de crescimento e importância para o futuro.

Um dos maiores empecilhos ao desenvolvimento de Cubesats, por outro lado, é o fato de que, mesmo sendo um sistema mais simples que grandes satélites ainda requer interações finas e carrega grande complexidade. Assim, para auxiliar nessa tarefa, vários órgãos reguladores, como a Agência Espacial Europeia (ESA) desenvolveu um conjunto de adaptações (Secretariat, E. C. S. S., 2016) de sua padronização de desenvolvimento do produto (OGLIARI, 1999). Todavia, este método foi pouco difundido para empresas brasileiras, que, por usarem métodos de projeto e produto mais generalistas (ROMEIRO, 2013) apresentam dificuldade a se adaptar aos padrões específicos para Cubesat, mesmo quando há o interesse de investir no ramo.

Visto isso, a partir de um estudo de caso fruto da parceria entre a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e o Senai Cimatec, onde haveria uma transferência de tecnologia e conhecimentos da UFSC, a partir do *SpaceLab*, para o Senai Cimatec

iniciar o desenvolvimento de um Cubesat, este trabalho analisará as possíveis intercambialidades entre o Modelo de Fases, proposto, entre outros no trabalho de Pahl e Beitz (PAHL; BEITZ, 1995) e a padronização Europeia (OGLIARI, 1999) para propor um método capaz de ser facilmente utilizável por organizações que estão iniciando investimentos em desenvolvimento de Cubesat e seja igualmente robusto para poder gerar um produto confiável.

1.1 OBJETIVO

Para resolver a problemática da falta de familiaridade do setor industrial brasileiro a normas e padrões de desenvolvimento de Cubesat, propõe-se neste trabalho os seguintes objetivos.

1.1.1 Objetivo Geral

Propor uma metodologia de desenvolvimento de produto aplicável nas primeiras etapas de projeto a partir de um Plano de Engenharia de Sistemas que una o Modelo de Fases e as normas de Padronizações da ECSS para o desenvolvimento de um Cubesat.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Analisar as etapas de um projeto, seus objetivos e atividades;
- Averiguar as similaridades, intercambialidade e diferenças entre o Modelo de Fases e o Padrão ECSS;
- Sintetizar objetivos e unificar as etapas dos diferentes modelos de projeto.

1.1.3 Estrutura do trabalho

O documento está organizado em 5 capítulos, onde: o Capítulo 1 contém uma breve introdução ao tema, principalmente sobre a importância dos Cubesat e os objetivos desse trabalho; o Capítulo 2 apresenta as bases teóricas sobre metodologias de projeto e produto descrevendo os seus principais conceitos e desenvolvimento; o Capítulo 3 apresenta o Estudo de Caso do Projeto do Cimatelite e seus resultados; no Capítulo 4 desenvolve-se a proposta de metodologia, apresentando os conceitos e objetivos de cada fase; o Capítulo 5 conclui esse trabalho com uma breve explicação das atividades desenvolvidas, seus benefícios e lacunas a serem exploradas futuramente.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

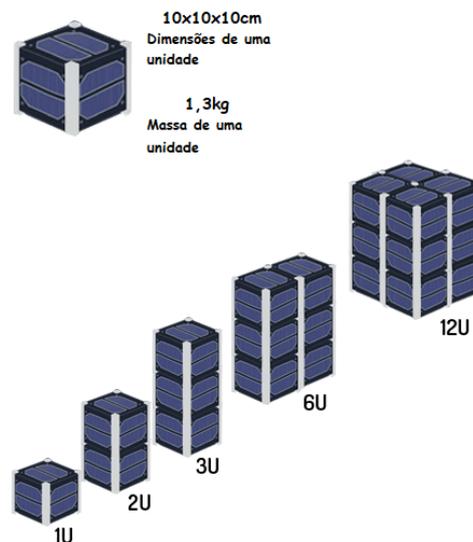
2.1 PADRÃO CUBESAT

Ao trabalhar com Nanossatélites, é necessário um entendimento preciso dos conceitos da área, incluindo operação, vantagens e limitações. Por isso, nesta seção será explicado o modelo de Nanossatélites mais comumente usado, o Padrão Cubesat, além de seus subsistemas.

2.1.1 Cubesat

De acordo com Lee (2014), Cubesats são pequenos satélites modulares onde cada módulo, chamado de 1U possui um peso que não deve passar de 1,33kg e 10x10x10 centímetros de dimensões. Com o acoplamento de múltiplos módulos, que deve ser feito como mostra na Figura 3, pode-se criar cubesats de 2U, 3U, 6U e assim por diante.

Figura 3 – Estrutura de Cubesats.



Fonte: Adaptado de Space (2019)

Assim, graças a padronização geométrica, foi possível a produção em larga escala de componentes que posteriormente podem ser vendidos a diferentes grupos, popularizando, no setor satelital. Desta forma surgiu o mercado de peças COTS (Sigla para Produtos de Prateleiras, do inglês *Commercial off-the-Shelf*). Com isso, uma equipe não precisa mais necessariamente desenvolver todos os componentes e subsistemas, reduzindo custo, tempo de fabricação e, principalmente, complexidade,

além de ter componentes já validados em testes de solo e que possivelmente já foram usados em vôo, se mostrando suficientemente confiáveis para certo tipo de missão.

2.1.2 Subsistemas

Um Cubesat, tal qual a maioria dos sistemas complexos, é dividido em diferentes subsistemas. Essa divisão, por sua vez, não é diferente de um grande satélite, mesmo que, por vezes, possa ser reduzida a apenas uma placa simples. Dessa forma, as divisões são comumente dadas por:

2.1.2.1 Sistema do Computador de Bordo

O computador central do Cubesat é responsável por sincronizar as ações, receber os dados dos demais subsistemas e comandar as ações do Cubesat. O OBDH (Do *Inglês On-Board Data Hand*) realiza o escalonamento das tarefas a serem executadas pelo satélite, controlando não apenas o módulo de serviço, mas também a carga útil (quando necessário). Dependendo da configuração do satélite, o OBDH pode ser responsável também pelo controle do sistema de energia, e geração de telemetria da carga útil. No OBDH são coletadas e consolidadas informações sobre a saúde do satélite, gerando assim o housekeeping a ser enviado para a estação de controle da missão na Terra. Também são decodificados e executados os telecomandos recebidos do controle da missão. Normalmente o OBDH é formado por uma única placa em nanosatélites.

2.1.2.2 Sistema de Controle e Determinação de Atitude

O ADCS (Do *inglês Attitude Determination and Control System*) é responsável por determinar e manter a orientação de um satélite além de, se possível, realizar manobras de correções. Primeiramente, esse sistema deve, pelos sensores de atitude, determinar a atitude correta do satélite podendo então, ou realizar manobras corretivas autonomamente ou enviar a informação para o Computador de Bordo onde as informações serão processadas -para definir o que fará em seguida. Normalmente, os sistemas de controle ativo de atitude, ou seja, sistemas em que o cubesat pode realizar manobras de reorientação, são caros, complexos e consomem muito espaço e energia, por isso, dependendo da missão, Cubesats possuem sistemas passivos, os quais visam manter o satélite orientado em pelo menos um dos eixos.

Exemplos de Controles Ativos são Rodas de Reação e Propulsores. Já exemplos de Controle Passivo são Imãs Permanentes e Barras de Histerese (CASARIL, 2019)

2.1.2.3 Sistema Elétrico de Potência

Responsável por suprir a demanda de energia do Cubesat, o EPS (Do inglês *Electrical Power System*) deve ser confiável e capaz de manter uma alimentação contínua a todo o sistema. Seus principais componentes são os painéis solares que geram corrente elétrica a partir dos fótons provenientes do Sol, e as baterias, que armazenam a energia, além disso, o EPS também conta com um microprocessador próprio, para regular a distribuição da energia armazenada nas baterias.

2.1.2.4 Sistema de Rastreo, Telemetria e Telecomando

Focado na comunicação com a Estação de Solo, o TT&C (Do Inglês *Telemetry, Tracking and Command* de um satélite recebe do OBDH os dados que devem ser enviados à Terra, via downlink, sejam dados dos sensores e saúde do cubesat, seja posicionamento, seja dados coletados pela Carga Útil. Por outro lado, também deve receber da Estação de Solo, via uplink, telecomandos que serão posteriormente entendidos pelo OBDH. Tais telecomandos podem ser desde manobras específicas, acionamento ou desativação de carga útil ou até uma reescrita dos programas do Cubesat. Todos os dados enviados, seja via downlink, seja via uplink, devem ter suas frequências licenciadas e permitidas seja pelas agências reguladoras nacionais de onde estão sendo enviadas, seja por agências internacionais, caso o satélite opere em múltiplos países.

2.1.2.5 Sistema de Controle Térmico

Às vezes não usado em Cubesats devido ao fato de possuírem tamanho reduzido e não correrem o risco de operarem fora de faixas de temperatura permitidas, o TCS *Thermal Control System* tem a função de regular a temperatura de um satélite, seja aquecendo peças quando estão muito frias, seja expulsando calor de componentes muito quentes. Em Cubesats é possível usar tubos de calor, resistência elétricas ou *thermal straps*, radiadores espaciais, entre outros.

2.1.2.6 Carga útil

A Carga Útil é, em última instância, o motivo do satélite estar em órbita, sendo responsável pela realização da missão. Com grande variedade de possibilidades, será responsável por ditar propriedades importantes do cubesat, como, por exemplo, o tamanho e o consumo de energia.

2.2 METODOLOGIA DE PROJETO

A produção de um produto complexo como um Cubesat requer vários graus de planejamento para definir informações como orçamento, equipe, prazos e a própria construção do equipamento. O conjunto e sistematização desses planejamentos pode ser chamado de Projeto, o qual, de acordo com Forcellini (2003), pode ser definido para a Engenharia como: “uso de princípios científicos, informações técnicas e imaginação na definição de estruturas mecânicas, máquinas ou sistemas para desempenhar funções pré-especificadas com máxima economia e eficiência.”.

Partindo de uma definição abrangente, percebe-se que há a necessidade de sistematização da forma de se guiar um projeto, visto que ele é, ao mesmo tempo, uma atividade cognitiva livre, precisa ser regida por regras e limites físicos. Dessa forma, Forcellini (2003) ainda continua: “A esta organização, os conhecimentos, métodos e ferramentas, utilizadas para o desenvolvimento, chamar-se-á de metodologia de projeto ou metodologia de desenvolvimento de produtos.”

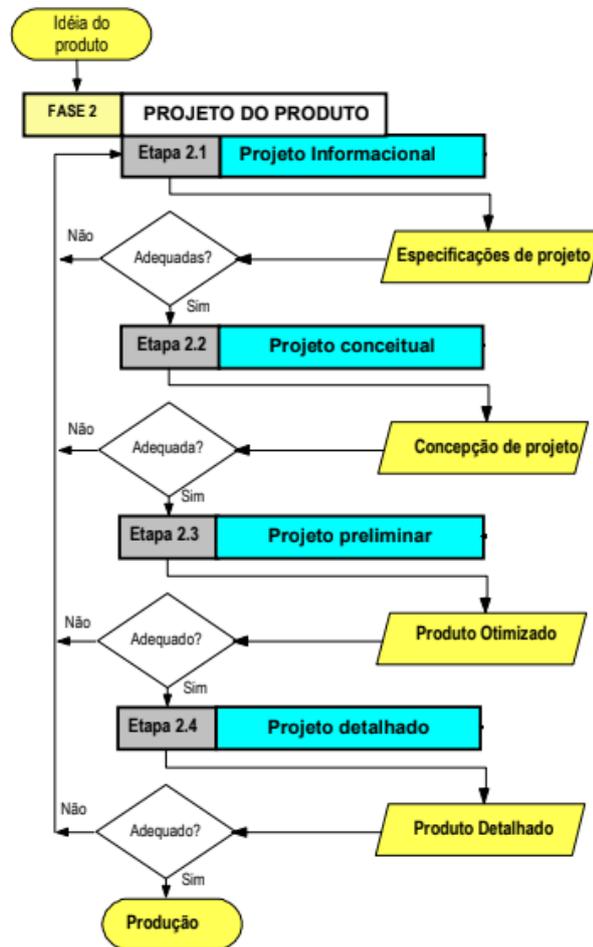
Assim, por necessidade, foram desenvolvidas diferentes metodologias de desenvolvimento de produto, cada uma com um grau de complexidade e filosofia a qual visava atender aos problemas postos. Ao estudá-los, Roozemburg e Eekels (1995) percebeu que eles poderiam ser definidos em dois tipos: de ciclo empírico (observação-suposição-expectativa-teste-avaliação) ou solução de problemas; modelo de fases e; desenvolvimento concêntrico (trata o projeto como o desenvolvimento de uma nova atividade empresarial) que se complementam.

Nesse sentido, para o seguinte trabalho é importante conhecer os dois modelos de desenvolvimento de produto. O primeiro, denominado de modelo de fases foi desenvolvido por autores como Pahl e Beitz (1995), Hubka e Eder (1988) e VDI (1985), entre outros, e é utilizado no Senai Cimatec em seus projetos. O segundo, é o Padrão da Agência Espacial Europeia para satélites, também chamado de ECSS os quais serão integrados para a proposição de uma metodologia para desenvolvimento de Cubesats.

2.2.1 Modelo de Fase

Visando um fluxo consistente de informação durante todo o projeto, o Modelo de Fases, também chamado de Consensual por Ferreira (1997) e Ogliari (1999), divide-se em quatro etapas bem definidas, sendo elas: Informacional, Conceitual, Preliminar e Detalhado, cada uma com um objetivo a ser finalizado, tal qual mostra na Figura 4:

Figura 4 – Diagrama de Etapas do Modelo de Fases.



Fonte: Adaptado de Forcellini (2003)

2.2.1.1 Projeto Informativo

Chamada por Pahl (2005) de Etapa de “Esclarecimento e Definição Metódica da Tarefa”, a Fase Informativa tem o papel de, puramente, gerar informações. É marcada por um trabalho de pesquisa e levantamento de dados. Dessa forma, se caracteriza por ser a etapa menos custosa do projeto e ao seu fim é definido com precisão o sistema-problema e as especificações do projeto, como requisitos e restrições. Dessa forma, Roozemburg e Eekels (1995) afirmaram que essa etapa possui dois objetivos principais: direcionar a geração de soluções e definir os critérios avaliativos do sucesso da mesma.

Logo, percebe-se uma importância fundamental na Fase Informativa. Uma falha nela pode ocasionar uma má definição do sistema-problema ou entendimento incorreto do que é buscado, gerando, ao fim do projeto, um produto que pode tanto ser insuficiente, não atendendo as necessidades que deveria, quanto um produto que realiza mais do que deveria, elevando o custo, complexidade ou outras características desnecessárias, quando não, os vários requisitos tornam inviáveis o produto.

Visando evitar isso, e a etapa desempenha de maneira satisfatória, é necessária uma boa definição das funções, requisitos e restrições. Visto isso, Roozemburg e Eekels (1995) elaborou uma série de características necessárias a essas especificações: validade (alinhamento dos objetivos em termos teóricos); completude (inclusão de objetivos válidos em todas as áreas de interesse do problema); operacionalidade (possibilidade de avaliações quantitativas); não redundância (evitar considerar um determinado aspecto ou propriedade mais de uma vez); concisão (o menor número possível de objetivos, facilitando a avaliação); praticabilidade (objetivos passíveis de serem testados).

Logo, para gerar especificações com esse padrão de qualidade, Forcellini (2003) apresenta uma lista de tarefas que deve ser realizada em sequência, a qual está sendo explicitada na figura abaixo:

Figura 5 – Mapa da Etapa Informacional .



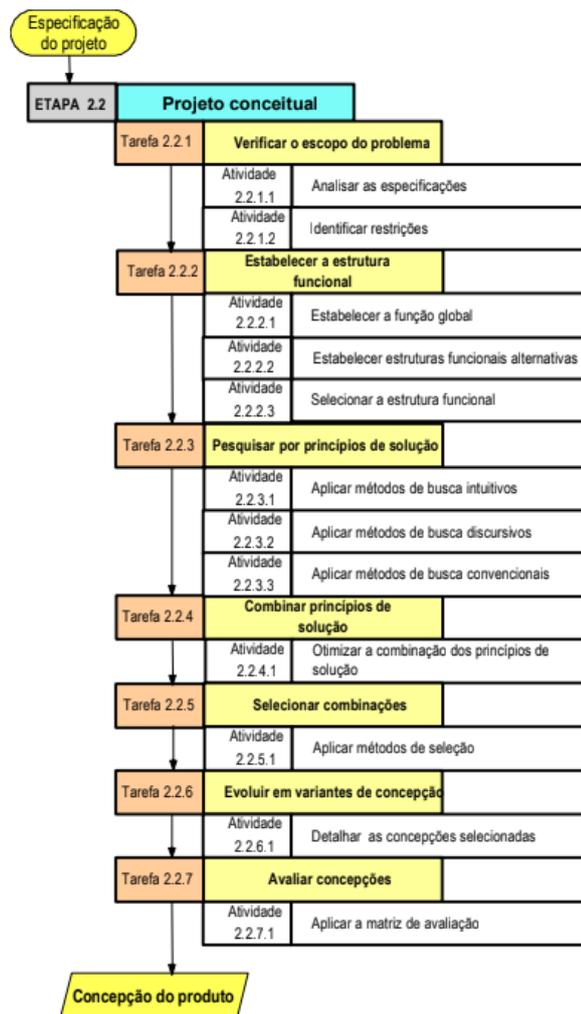
Fonte: Adaptado de Forcellini (2003)

2.2.1.2 Projeto Conceitual

A fase conceitual objetiva a elaboração da concepção do produto, ou seja, o conjunto de princípios da solução, ainda no campo das ideias, que deverá tomar forma nas fases subsequentes. Dessa forma, se torna simples entender porque Forcellini (2003), a creditou como a etapa mais importante do desenvolvimento de um produto, visto que ela influencia substancialmente todo o andar do projeto, além de, como está apenas no campo das ideias, mudanças nessa etapa são consideravelmente pouco custosas, tanto financeiramente, quanto materialmente ou em tempo.

Dessa forma, visando gerar uma concepção viável e competente, essa etapa pode ser dividida em Tarefas e Atividades como mostrado na Figura 6:

Figura 6 – Mapa da Etapa Conceitual.



Fonte: Adaptado de Forcellini (2003)

A Verificação do Escopo do Problema é uma abstração do problema, onde é discutido e entendido sobre o que se trata e retirado todos os preceitos que não são o cerne da questão. Dessa forma, é discutido sistematicamente sobre todas as ideias sobre a natureza do problema, por mais óbvia que possa ser, para que então seja validade ou negada. Visando, assim, remover preconceitos e ideias pré-concebidas da equipe sobre o escopo e validar o que realmente é parte do sistema-problema.

Feito a Verificação do Escopo, parte-se para a Síntese Funcional, onde, munido do que é apenas essencial, é descrito de maneira geral, sem ainda nenhuma solução ou definição elaborada as funções do sistema. Elas devem ser suficientemente abstratas para não impor nenhum tipo de solução ou forma de se fazer, mas suficientemente palpável para se saber o que deve ser feito. Assim, é feito primeiro definindo uma Função Global do Sistema onde consta apenas as entradas e saídas do mesmo, depois ela é dividida em Funções Parciais, com menores graus de complexidade, mas ainda

amplas, que serão subdivididas em Funções Auxiliares que atuam de forma indireta no apoio a Função Global e Funções Elementares, que é o menor grau de trabalho da solução. Essa árvore de funções e subfunções é chamada então de Estrutura Funcional.

Tendo diferentes Estruturas Funcionais geradas, parte-se para a Pesquisa por Princípios de Soluções, onde o abstrato começa a da forma ao concreto. Nela, são atribuídos princípios de soluções às Funções Elementares e, para tal, são descritos Efeitos Físicos, características que podem ser mensuradas por elementos físicos, químicos ou biológicos, que juntos, fazem parte do Sistema Físico. A partir deles, por sua vez, busca-se os Princípios de Solução, os quais podem ser feitos por diferentes métodos, como o TRIZ e a Matriz Morfológica.

A partir dos Princípios de Solução encontrados, são criadas diferentes opções de Solução, que são avaliados sob a ótica dos requisitos e restrições do projeto e escolhe-se os melhores para avançar. Logo, eles são estudados e melhor definidos, passando a ser Concepções, as quais, por sua vez, serão novamente avaliadas e comparadas até ser escolhida a melhor definição que seguirá para as etapas subsequentes.

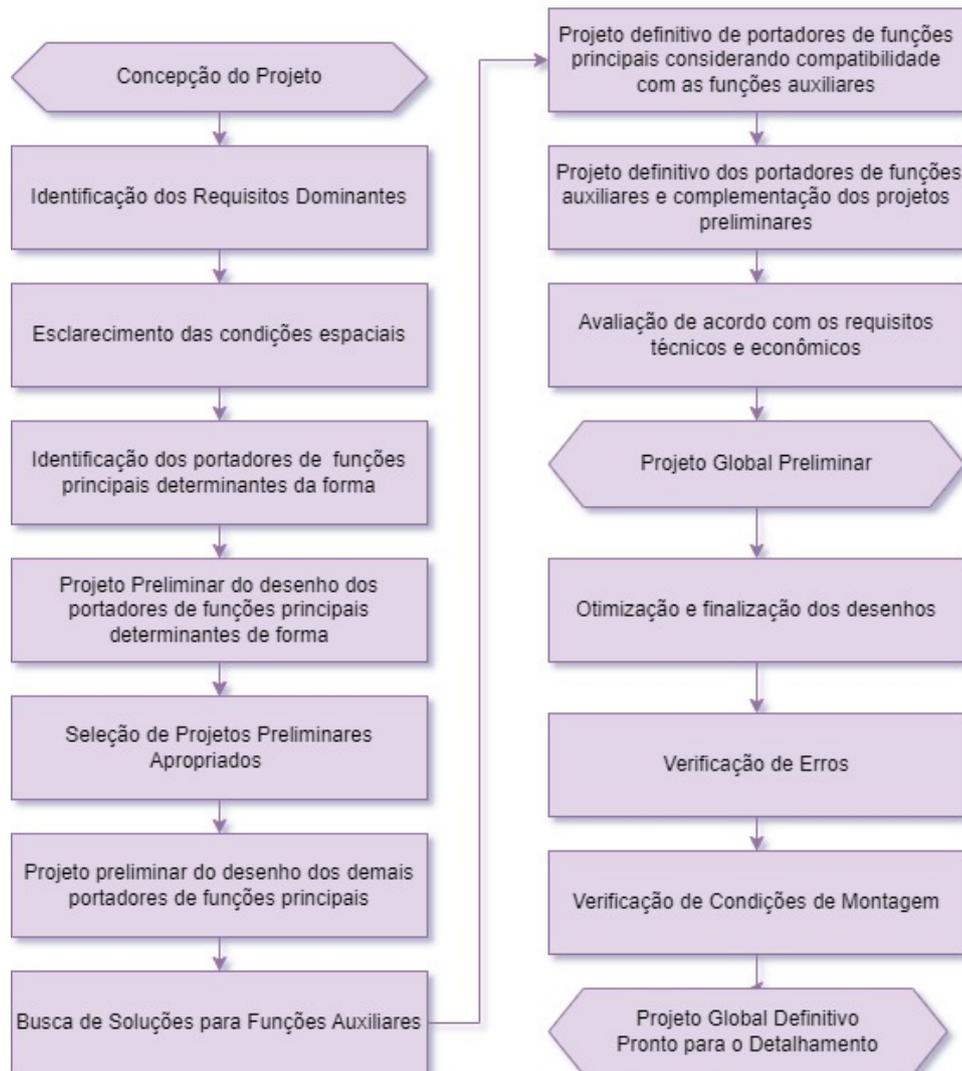
Assim, caso a Estrutura Funcional não seja bem construída ou a pesquisa por soluções não seja bem feitas, as Concepções podem apresentar problemas que irão avançar para fases superiores do projeto e que serão, no futuro, extremamente custosos para serem resolvidos, por isso a importância de uma atenção grande ao processo, principalmente quando ele ainda está em suas etapas mais abstratas onde ocorre a maior parte dos erros devido a sua própria natureza pouco palpável.

2.2.1.3 Projeto Preliminar

Após escolher uma Concepção, ela ainda é, como o nome já diz, apenas uma Concepção. Logo, nesta etapa, parte-se dela para desenvolver o projeto se atentando a questões técnicas e interações do Produto com o meio. Dessa forma, ao fim desse processo, espera-se encontrar o leiaute otimizado do produto, que nas fases seguintes serão detalhadas.

Na Figura 7, Pahl (2005) apresenta um guia de como pode ser seguido essa etapa. E Forcellini (2003) ainda defende que “o emprego de checklists, estabelecem os princípios a serem observados (princípios de transmissão de força, divisão de tarefas, etc) e critérios para atender necessidades específicas (projeto para X - DFX). Porém, acima de tudo, afirmam que deve-se observar as regras básicas de clareza, simplicidade e segurança.”

Figura 7 – Mapa da Etapa Preliminar.



Fonte: Adaptado de Pahl (2005)

Assim, para cada leiaute, é necessário um entendimento da Concepção escolhida e seu funcionamento, por isso, é importante que toda a equipe tenha participado da discussão e elaboração do conceito. Além do mais, o autor recomenda que haja sempre uma intercomunicação entre os diversos setores e análises conjunta de cada leiaute proposto para que não haja nenhuma perda de característica importante durante o desenvolvimento do produto.

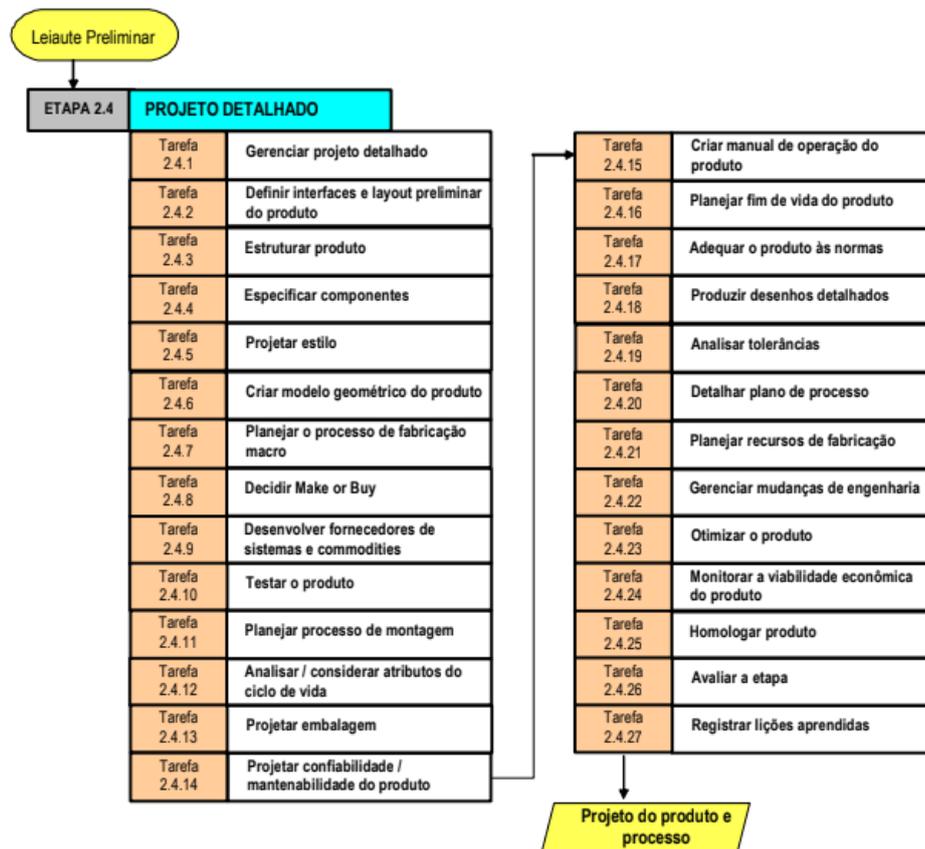
2.2.1.4 Projeto Detalhado

A etapa final do Modelo de Fases, o Projeto Detalhado tem como objetivo último terminar o produto. A partir dele, gera-se um leiaute definitivo o qual será enviado à produção. O detalhamento deve ser feito, tal qual o leiaute otimizado, se atentando aos critérios físicos, técnicos e financeiros. Além de seguir todas as normas

da Engenharia e de Projeto. Com isso, Pahl (2005) define que o Projeto Detalhado deve possuir: detalhamento do Leiaute de todas as peças do produto atentando às Normas, principalmente as de fábrica; detalhes a respeito da forma, material e ajuste; informações sobre montagem, armazenamento e transporte do produto, tal qual um manual de operação; qualquer outra informação necessária à produção, como questões sobre compra e peças para estoque.

Dessa forma, Forcellini (2003) propõe um guia para a Etapa de Detalhamento, que consta na Figura 8. Nele, percebe-se que haverá a criação de modelos e protótipos do produto, o que torna mudanças ou reprojeto nessa etapa extremamente dispendiosa e às vezes inviabilizadora de todo o projeto. Porém, ao fim dela, haverá o produto pronto, assim, podendo seguir para o lançamento e as próximas etapas do seu ciclo de vida.

Figura 8 – Mapa da Etapa Detalhada.



Fonte: Adaptado de Forcellini (2003)

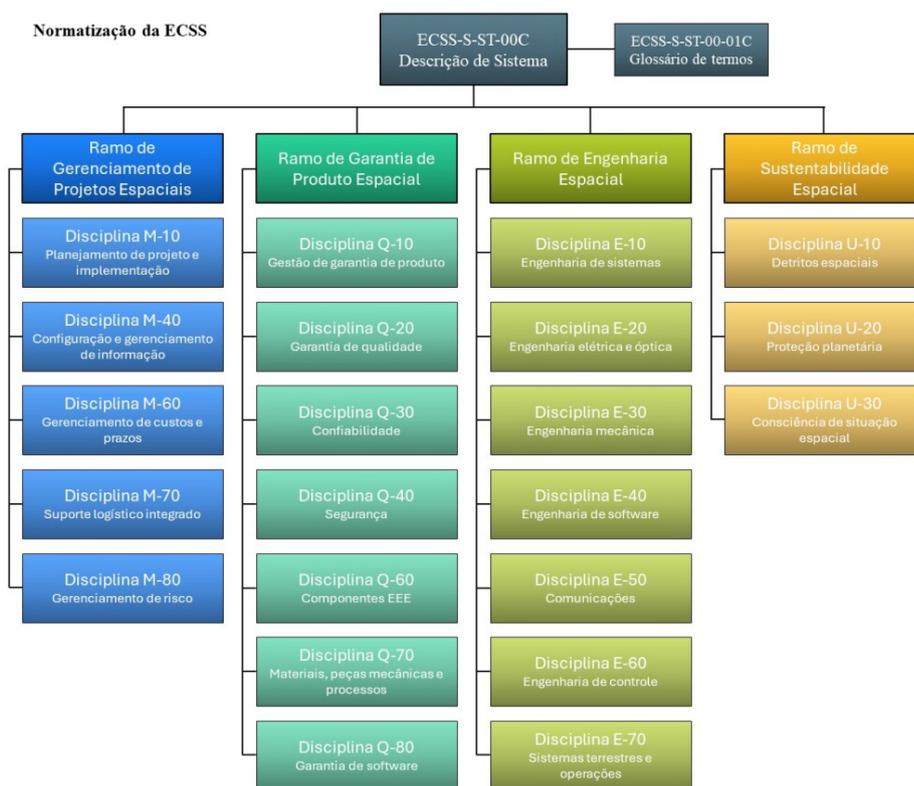
2.3 MODELO DA EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDISATION (ECSS)

Desenvolvida em 1993 a European Cooperation for Space Standardisation (ECSS) foi uma iniciativa comum entre agências espaciais nacionais europeias,

a Agência Espacial Europeia (ESA) e indústria aeroespacial local para criar uma padronização de normas, prática e linguagens para todo o setor aeroespacial europeu. Sendo assim responsável por uma unificação de práticas com eficiência, tornou a intercambialidade e cooperação entre diferentes organizações de diferentes países facilitada, permitindo assim um maior desenvolvimento de todo o setor. (GAMMAL; KRLEDTE, 1996)

Criada para ser amigável a novos colaboradores, a ECSS cobre todo o processo de desenvolvimento de um equipamento aeroespacial, contando com definição da missão, desenvolvimento, manufatura, verificação, teste e operação de qualquer produto, seja o satélite inteiro, o subsistema, peças individuais ou até mesmo o serviço. Para isso, o padrão se divide em quatro segmentos primários, como mostra na Figura 9:

Figura 9 – Mapa de Documentação da ECSS.



Fonte: ECSS Secretariat (2009)

2.3.1 Space Project Management

De acordo com o próprio documento *Project Planning and Implementation* (ECSS Secretariat, 2009), planejar e implementar um projeto é feito a partir da definição de processos para todo o gerenciamento e controle do mesmo. Dessa forma, algumas

funções são mandatórias, tais quais são: Estabelecer requisitos e restrições do sistema; definir fases e revisões do projeto, com prazos e orçamento; definir a estrutura de análise do bom seguimento do projeto; organizar o projeto de forma a serem realizadas todas as atividades essenciais.

A partir dessa norma, além de definir uma série de documentos que precisam ser produzidos, como Árvore de Produto e Estrutura de Divisão de Trabalho, ele define um ciclo de vida de projeto, separado em 7 fases, como mostrada na Figura 10:

Figura 10 – Fases da ECSS.

Concepção	Viabilidade	Projeto		Execução	Operação	Descarte
FASE 0	FASE A	FASE B	FASE C	FASE D	FASE E	FASE F
Análise de Missão	Análise de viabilidade	Definição Preliminar do Projeto	Definição Detalhada do Projeto	Produção e Qualificação	Operação	Descarte
DRUM, DDM e PGP.	DRP e Planos	Modelo de Engenharia	Modelo de Qualificação	Modelo de Voo	Lançamento	
MDR	PRR	PDR	CDR	AR	FRR, CRR	ELR
		SRR REQ e Planos		QR	ORR, LRR	
MDR – Revisão de Definição da Missão PRR – Revisão de Requisitos Preliminares PDR – Revisão de Projeto Preliminar CDR – Revisão Detalhada do Projeto AR – Revisão de Aceitação ELR – Revisão do final de vida			SRR – Revisão de Requisitos do Sistema QR – Revisão de Qualificação FRR – Revisão de Prontidão para Voo ORR – Revisão de Prontidão para Operação LRR – Revisão de Prontidão para Lançamento CRR – Revisão de comissionamento (teste órbita)			

Fonte: Lima, Jotha e Carvalho (2014)

Observa-se na figura uma série de revisões de documentação a serem feitas durante ou ao final de cada fase. Para projetos maiores e de grande complexidade, como de grandes satélites, todas elas são essenciais, porém, para projetos de Cubesats, que prezam pela simplicidade e rapidez, parte da documentação requerida se torna desnecessária, podendo até mesmo atrapalhar o bom desenvolvimento do projeto, além de atrasar com demandas que não trazem ganho real. Devido a isso Secretariat, E. C. S. S. (2016) normatiza os documentos e suas sessões aplicáveis em projetos de nanosatélites. Com base nessa norma Cappelletti, Battistini e Malphrus (2020) desenvolveu um guia para a produção de Cubesat, detalhando as diversas etapas e especificidades de Cubesats.

2.3.1.1 Fase 0: Análise de Missão / Identificação das Necessidades

Focada em preparar o projeto, esta fase irá definir exatamente o que é a missão e os dados iniciais dela, como objetivo, especificações iniciais e atividades programáticas. Seu fim é marcado por uma revisão geral de toda a documentação, chamada de Revisão de Definição de Missão (MDR, do inglês Mission Definition

Review).

2.3.1.2 Fase A: Viabilidade

Com o intuito de validar e aprofundar o que foi feito na Fase 0, a Fase A continuará com seus trabalhos, tendo como objetivo final: a elaboração de planos preliminares de gerenciamento, engenharia e qualidade assegurada de produto; visitar as especificações desenvolvidas na fase anterior e, a partir delas, gerar especificações de mais baixo nível; a confirmação que há tecnologia e parceiros capacitados suficiente para o seguimento do projeto; iniciar a geração de modelos de sistema e operação, além de noções básicas dos testes e validações necessárias.

Cappelletti, Battistini e Malphrus (2020) sugeriu um conjunto de documentos a serem entregues na Revisão Preliminar de Requisitos (PRR do Inglês, Preliminary Requirements Review), a revisão ao término da Fase A, a fim de cumprir com as necessidades da fase, sendo estes descritos na Quadro 1:

Quadro 1 – Status da Documentação na Fase A.

Fase	Revisão	Nome	Status do Documento
A	PRR	Plano de Organização do Projeto ^a	Novo
A	PRR	Documento de Requisitos da Missão	Novo
A	PRR	Documento de Conceito de Operação da Missão	Novo
A	PRR	Definição de Arquitetura do Sistema	Novo
A	PRR	Documento de Requisitos do Sistema	Novo
A	PRR	Análise Orçamentária	Novo

Fonte: Adaptado de Cappelletti, Battistini e Malphrus (2020)

2.3.1.3 Fase B: Definição Preliminar

Sendo a última etapa focada no planejamento e na funcionalidade do Cubesat, a Fase B visa preparar todas as informações e entregar as primeiras definições para o projeto. Sendo assim, há uma responsabilidade gerencial alta e sua revisão, de sigla PDR, é uma das mais importantes por, após ela, qualquer incoerência ser extremamente custosa visto que as primeiras peças já devem ser compradas durante a própria fase e a maioria será comprada logo após ela, durante a Fase C.

Dessa forma, de acordo com a Norma da ECSS, na Fase B, algumas definições importantes precisam já estarem corretamente feitas, como os objetivos, as restrições

e suas soluções técnicas. Além de verificar se designers preliminares dos conceitos estudados apresentaram soluções válidas e factíveis. Já no campo gerencial, os planos de engenharia, gerenciamento de equipe e garantias de produto devem estar finalizados para as fases subsequentes.

Por outro lado, Cappelletti, Battistini e Malphrus (2020) também sugeriu um guia de documentação que deve estar pronta ao fim da Fase B:

Quadro 2 – Status da Documentação na Fase B.

Fase	Revisão	Nome	Status do Documento
B	PDR	Plano de Organização do Projeto	Atualizado
B	PDR	Documento de Requisitos da Missão	Finalizado
B	PDR	Documento de Conceito de Operação da Missão	Atualizado
B	PDR	Definição de Arquitetura do Sistema	Atualizado
B	PDR	Documento de Requisitos do Sistema	Finalizado
B	PDR	Especificação Técnica da Espaçonave	Novo
B	PDR	Especificação Técnica do Segmento Terrestre	Novo
B	PDR	Análise Orçamentária	Atualizado
B	PDR	Plano de AIV	Novo
B	PDR	Submissão de Pedido de Frequência	Novo e finalizado

Fonte: Adaptado de Cappelletti, Battistini e Malphrus (2020)

Nele, nota-se que apenas dois documentos serão finalizados nesta fase, que são os, já comentados, Requisitos de Sistemas. Mas, importante perceber que nessa fase serão iniciados três documentos de grande importância, o Especificação Técnica da Espalo Nave e Especificação Técnica do Segmento Terrestre, os quais darão as primeiras formas do produtos gerados, enquanto o Plano de AIV (do inglês *Assembly, Integration, Verification Plan*) possuirá indicações de como montar e integrar o Cubesat, além dos planos de testes e o que a equipe busca validação.

Também é observável que os planos organizacionais não são finalizados. Permitindo uma maior adaptação, porém gerando certa incerteza sobre deveres e prazos que o recomendado pela ESA.

2.3.1.4 Fase C: Definição Detalhada

Marcada pela Definição do Design, na fase C trabalha-se em todos os níveis da cadeia de produção. Nessa fase, os conceitos definidos serão trabalhados e refinados até gerar uma Arquitetura Física sólida e já passível de ser construída enquanto atenta-se se estão sendo respeitados os conceitos e especificações do sistema. Nela, os primeiros testes em elementos críticos serão feitos, gerando dados e provas da validade do mesmo para poder avançar a fases seguintes. Com isso, também serão finalizados todos os protocolos de testes e validações que serão feitos nas fases seguintes, além das primeiras etapas dos manuais de usuários.

Dessa forma, seguindo a ECSS, Cappelletti, Battistini e Malphrus (2020) sugere a seguinte atualização dos documentos para a revisão ao fim da Fase C, a Revisão Crítica de Design (CDR, do inglês *Critical Design Review*):

Quadro 3 – Status da Documentação na fase C.

Fase	Reunião	Nome	Status do Documento
C	CDR	Plano de Organização do Projeto	Finalizado
C	CDR	Documento de Conceito de Operação da Missão	Atualizado
C	CDR	Definição de Arquitetura do Sistema	Finalizado
C	CDR	Especificação Técnica da Espaçonave	Finalizado
C	CDR	Especificação Técnica do Segmento Terrestre	Finalizado
C	CDR	Análise Orçamentária	Finalizado
C	CDR	Plano e Procedimentos de AIV	Finalizado
C	CDR	Documento de Controle de Verificação	Novo
C	CDR	Aceitação de Pedido de Frequência	Novo
C	CDR	Procedimentos de Operação da Missão	Novo

Fonte: Adaptado de Cappelletti, Battistini e Malphrus (2020)

Onde todos os documentos que passaram da fase B foram finalizados, excetuando apenas o Documento de Conceito de Operação da Missão (do inglês *Mission Operation Concept Document*), vide que os Software e Hardware terão apenas seus planos de manufatura, montagem e testes definidos no Plano de AIV.

2.3.1.5 Fase D: Qualificação e Produção

Marcada pela produção tanto do Satélite quanto da Estação de Solo, caso necessário, a fase D é uma fase com pouca margem para mudanças, devido ao alto custo tanto financeiro quanto em tempo ou eficiência de uma alteração tardia no projeto. Ainda assim, devido a quantidade de testes, é possível encontrar erros que irão demandar mudanças no projeto. Para evitar isso, reitera-se a necessidade de atenção nas definições e, principalmente, nas especificações feitas em fases anteriores. A característica da Fase D mais importante, por outro lado, é o fato de ser nela que são feitas todas as validações e garantias do Satélite, algo que é reforçado por Cappelletti, Battistini e Malphrus (2020) que sugere apenas poucos documentos apresentados na última revisão da Fase D, a Revisão de Qualificação (AR):

Quadro 4 – Status da Documentação na Fase D.

Fase	Reunião	Nome	Status do Documento
D	AR	Relatórios de Teste	Novo/finalizado
D	AR	Documento de Controle de Verificação	Finalizado
D	AR	Documento de Conceito de Operação da Missão	Finalizado
D	AR	Procedimentos de Operação da Missão	Finalizado

Fonte: Adaptado de Cappelletti, Battistini e Malphrus (2020)

2.3.2 Garantia de Produto Espacial

A garantia de produtos pelo modelo da ECSS está normatizada na série de documentos ECSS-Q-ST e tem como objetivo garantir um nível de excelência mínima comum a qualquer projeto espacial que siga suas diretrizes, normatizando e assegurando que os diferentes entes em um projeto espacial terão confiança em seus pares, levando uma mais fácil intercambialidade e parcerias com ganhos para todos.

Para tal, o Padrão define princípios gerais de qualidade, confiabilidade, segurança e conformidade dos produtos espaciais, desde o planejamento até a implementação do projeto através de gerenciamento de riscos, controle de itens críticos, controle de não conformidades, documentação e gerenciamento de informações, além de quaisquer outros aspectos relativo ao tema para todos os segmentos e componentes da missão, sejam materiais, peças mecânicas, componentes elétricos, eletrônicos e eletromecânicos, processos ou software.

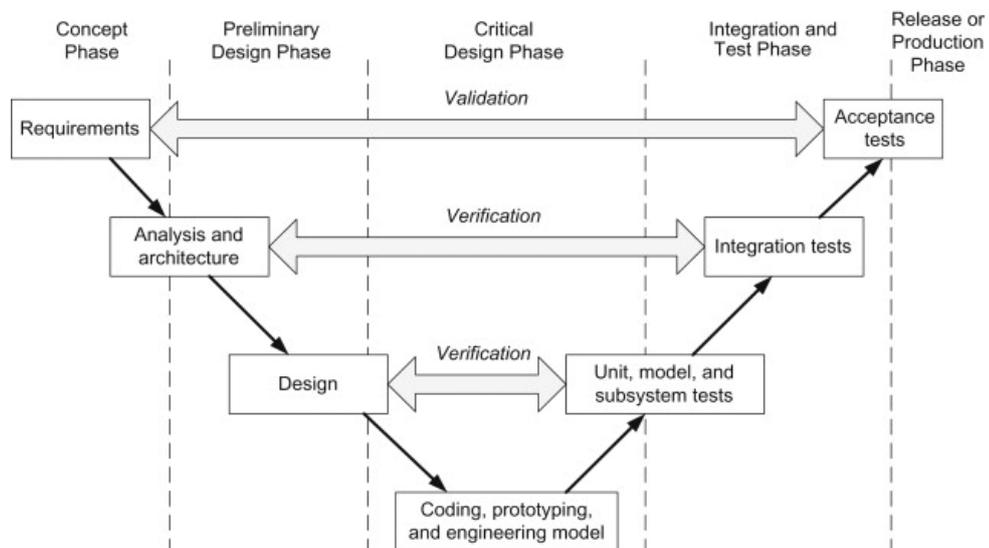
Dessa forma, vale-se notar que ele deve ser implementado nas primeiras etapas do projeto, sendo de vital importância, principalmente, para a definição do

conceito durante toda a Fase B, visto que após ela, as mudanças no projeto devem ser as mínimas possíveis. Posteriormente para as Fase D, ela se torna mandatória nos protocolos para testes e validações de todo o equipamento, garantindo assim a possibilidade de voo da missão.

2.3.3 Engenharia de Sistemas Espacial

A Engenharia de Sistemas tem como objetivo minimizar riscos técnicos e custos em um projeto de engenharia. Assim, um projeto multidisciplinar como um espacial, carregado de custos e riscos, necessita de uma base sólida para integrar os diversos setores, otimizar os processos e manter uma interface funcional entre cliente e fornecedor. Assim, as normas para Engenharia de Sistemas Espacial foi baseada na estrutura de Engenharia de Sistemas do Modelo em V, o qual se difere do Modelo de Fases por aprofundar-se no sistema e então realizar uma extensa bateria de verificações e testes como mostrado na Figura 11 de forma a entregar uma visam entregar uma série de diretrizes para um melhor desenvolvimento de produto.

Figura 11 – Modelo em V



Fonte: Adaptado de Fowler e Silver (2015)

Tendo como princípio o ECSS Secretariat (2017), é a partir dela que são definidos alguns dos principais documentos entregues nas revisões já mostradas, como é visto na Quadro 5. Além de explicá-los, o padrão entrega uma base de quais informações ele deve conter, seguindo como uma via de mão dupla, tanto para consulta de onde um cliente deve achar certa informação buscada, como guiar o desenvolvedor sobre quais são as informações que devem ser documentadas e como fazer para uma melhor saúde de todo o projeto.

Como é possível notar, a maioria dos documentos transpassam por pelo menos

Quadro 5 – Documentos entregáveis de Engenharia de Sistemas

Título do Documento	Documento ECSS	Ref.	DRD	MDR	PRR	SRR	PDR	CDR	QR	AR	ORR	FRR	LRR	CRR	ELR	MCR
Documento de descrição da missão	ECSS-E-ST-10	Anexo B	X	X												
Especificações																
Especificação preliminar de requisitos técnicos	ECSS-E-ST-10-06	Anexo A	X	X												
Especificação de requisitos técnicos	ECSS-E-ST-10-06	Anexo A			X											
Documento de requisitos de interface	ECSS-E-ST-10-24	Anexo A		X	X	X										
Plano de engenharia de sistemas	ECSS-E-ST-10	Anexo D	X	X	X	x	X	x	x							
Plano de tecnologia	ECSS-E-ST-10	Anexo E		X	X	X										
Lista de Status de Prontidão Tecnológica	ECSS-E-ST-10	Anexo E	X	X	X	X										
Matriz de tecnologia	ECSS-E-ST-10	Anexo F		X	X	X										
Plano de verificação	ECSS-E-ST-10-02	Anexo A		X	X	X	X	X	X							
Plano de AIT QM/FM	ECSS-E-ST-10-03	Anexo A				X	X	X	X							
Plano de mitigação de detritos espaciais	ECSS-U-AS-10	Anexo A	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Outros planos relacionados	ECSS-E-ST-10	Anexo D		X	X	X	X	X	X							
Documento do sistema de coordenadas	ECSS-E-ST-10-09	Anexo A	X	X	X	X	X	X								
Arquivo de definição de design	ECSS-E-ST-10	Anexo G		X	X	X	X	X								
Árvore de funções	ECSS-E-ST-10	Anexo H		X	X	X										
Árvore de produtos	ECSS-M-ST-10	Anexo B		X	X	X										
Árvore de especificações	ECSS-E-ST-10	Anexo J			X	X										
Orçamento técnico	ECSS-E-ST-10	Anexo I		X	X	X	X	X	X							
Especificações técnicas preliminares para o próximo nível	ECSS-E-ST-10-06	Anexo A		X	X											
Especificação de requisitos técnicos para o próximo nível	ECSS-E-ST-10-06	Anexo A			X	X										
Arquivo de definição de design para o próximo nível	ECSS-E-ST-10	Anexo G				X	X	X	X							
Documento de controle de interface	ECSS-E-ST-10-24	Anexo B			X	X	X	X	X	X	X	X				
Manual do usuário do produto / Manual do Usuário	ECSS-E-ST-10	Anexo P				X	X									
Arquivo de justificativa de design	ECSS-E-ST-10	Anexo K		X	X	X	X	X								
Matriz de rastreabilidade de requisitos com relação ao próximo nível	ECSS-E-ST-10	Anexo N		X	X	X										
Arquivo de justificativa de requisitos	ECSS-E-ST-10	Anexo O	x	X	X	X										
Relatório de conceito do sistema	ECSS-E-ST-10	Anexo C	X	X												
Relatórios de compensação	ECSS-E-ST-10	Anexo L	X	X	X	X	X									
Documento de controle de verificação	ECSS-E-ST-10-02	Anexo B		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Especificação de teste	ECSS-E-ST-10-03	Anexo B					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Descrição do modelo matemático	ECSS-E-ST-32	Anexo I		X	X	X	X									
Relatório de correlação	ECSS-E-ST-31	Anexo C					X	X								
Procedimento de teste	ECSS-E-ST-10-03	Anexo C					X	X	X	X	X					
Relatório de teste	ECSS-E-ST-10-02	Anexo C					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Relatório de verificações	ECSS-E-ST-10-02	Anexo F					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Arquivo de justificativa de design para o próximo nível	ECSS-E-ST-10	Anexo K					X	X	X							
Relatório de revisão de design	ECSS-E-ST-10-02	Anexo D					X	X								
Relatório de Inspeção	ECSS-E-ST-10-02	Anexo E					X	X	X							

Fonte: Adaptado de ECSS Secretariat (2017)

uma etapa e alguns por várias, como o "Plano de Mitigação de Detritos Espaciais" que, devido ao risco de lixo espacial, estará em todas as revisões, mesmo que nas primeiras sejam bem preliminares, como só uma ideia do que será feito com o satélite no final de sua vida útil, até o fim da missão, onde será feito um relatório sobre como ocorreu o descarte do objeto.

Pelo Quadro 5, também podemos destacar três grupos de documentação importantes. O de Requisitos de Sistemas, o de Desenvolvimento da Solução e o de Produção e Testes.

Primeiramente, os Requisitos de Sistema, que iniciam na Fase 0 com suas versões de mais alto nível, que serão aos poucos desenvolvidas no avançar do projeto gerando requisitos técnicos durante a Fase B. A partir deles, durante a própria Fase 0, ainda com os requisitos de alto nível, iniciará já o desenvolvimento de uma solução com pesquisas de mercado e os status da tecnologia. Com o avançar dos requisitos, serão então gerados princípios de solução ainda em alto nível que servirá de base, após a geração dos requisitos técnicos, para o desenvolvimento das possíveis soluções que

serão então unificadas em um conceito. Tal conceito será detalhado na Fase C, tendo ainda a baliza das restrições e requisitos finais que ainda serão o principal critério de avaliação do projeto.

Por fim, durante o detalhamento, serão gerados uma série de documentos que explicarão como o será a produção, montagem, operação e teste dos equipamentos. Eles serão principalmente importantes na Fase D. Esses, feitos visando as garantias de produto, marcam o final do desenvolvimento do projeto, com os reportes dos resultados dos testes e confirmação que o produto está apto para cumprir sua missão.

2.3.4 Sustentabilidade Espacial

A documentação de Sustentabilidade Espacial tem como principal objetivo garantir que as atividades espaciais sejam responsáveis e sem risco para a humanidade ou futuras explorações. Dessa forma, há um principal foco na questão sobre o lixo espacial, definindo boas práticas mandatórias sobre o tema. Apesar da pouca documentação específica para Cubesat, esse braço da ECSS não pode ser ignorado dada sua importância para o bem estar da humanidade. Além do mais, o desrespeito a normas de sustentabilidade e falta de planos firmes pode inviabilizar projetos, visto que existem leis internacionais que podem proibir o lançamento de satélites que põe em risco o futuro da exploração espacial.

3 ESTUDO DE CASO: CIMATELIT

Com o objetivo de estruturar de um centro de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) no setor Aeroespacial, o Senai Cimatec, por meio do projeto Cimatelite-01, buscou capacitar uma equipe técnica no desenvolvimento de Cubesat pelo Padrão da ECSS. Para isso, foi realizada uma parceria de transferência tecnológica com a SpaceLab da Universidade Federal de Santa Catarina, procurou replicar a bem sucedida Missão FloripaSat-01, carregando, em grande parte, sua herança de vôo.

Por ser um projeto de Cubesat e, principalmente, uma transferência de Tecnologia, algumas alterações nos padrões foram feitas, seguindo um modelo único, de fácil aprendizagem, e que possibilitaram um projeto mais enxuto e rápido, mas que também trouxe algumas dificuldades que serão abordadas posteriormente.

A mudança mais significativa foi com o ciclo de revisões adotados, onde, em vez de contar com cinco revisões de projetos como é tipicamente feita para Cubesats e sim quatro revisões. Sendo elas a MDR, PDR, CDR e AR.

3.1 FASE 0 - MDR

A primeira fase do projeto contou com uma apresentação da plataforma do FloripaSat-1 pela UFSC e uma apresentação geral das normas da ECSS e documentação a ser entregue. Com isso, a equipe passou a organizar as informações, pesquisar por normas e padrões e estudar sobre projetos espaciais.

Nesse momento, foram separados três grandes eixos de pesquisa, sendo eles nomeados pelo autor como: “Técnica”, “Gerencial” e “Organizacional”.

3.1.1 Técnica

Focado no desenvolvimento de produto, este eixo foi marcado por pesquisas sobre o funcionamento de um Cubesat, projetos semelhantes, tecnologias prontas e as especificações de missões, como Requisitos e Riscos.

A equipe do SpaceLab preparou uma apresentação de sua plataforma. Onde foram mostrados os principais subsistemas que foram usados e serão replicados que serviu de base para, no documento, listar-se a prontidão tecnológica do projeto, removendo então, um dos maiores possíveis entraves do projeto e acelerando a fase.

Além disso, com essas informações, a equipe do Cimatelet produziu as informações sobre a missão, sendo elas uma lista de Objetivos e Restrições, as quais geraram os Requisitos do Projeto, além dos riscos principais que poderiam já ser mapeados.

3.1.2 Organizacional

Nesta dimensão, foi definido como seguirá o projeto, o objetivo de cada fase, como se dariam as revisões e as justificadas das escolhas. Também foram feitas pesquisas normativas, onde encontrou-se as definições da ECSS e escolhidos os documentos a serem apresentados. A equipe do SpaceLab também preparou uma apresentação, onde foram mostradas as normas da ECSS, as escolhas de documentação deles e discutido a melhor rota a ser adotada para o desenvolvimento do projeto do Cimetelet.

Nesse momento, foi definido, por exemplo, junto ao *SpaceLab*, que a revisão da Fase A, a PRR, não seria realizada e todos os documentos da Fase 0 seriam agrupados em apenas um, que levaria o nome da própria Revisão, a MDR.

3.1.3 Gerencial

A equipe do SENAI Cimates realizou um levantamento interno de pessoal, separando as funções esperadas para cada membro da equipe, um orçamento preliminar e um cronograma para a missão.

3.1.4 Revisão: MDR

Quando todas as informações estavam definidas (atividades e documentação) foram apresentada à UFSC. Com isso, foi realizada uma revisão do que foi construído até o momento. Após algumas sugestões e correções, o documento foi aceito e a Fase 0 foi finalizada, iniciando então as Fases A e B.

3.2 FASE A - PRR

Para a Fase A, devido ao fato dela apenas iniciar documentação e não finalizar nenhum documento, foi definido que não havia necessidade de uma revisão, sendo que seus documentos seriam revisados ao fim da Fase B. Dessa forma, poupou-se tempo e esforço de uma longa revisão de documentação.

Todavia, infelizmente, a falta da revisão, somada ao curto tempo até a revisão seguinte, trouxe uma indefinição do que seria a Fase A e a Fase B, gerando uma mistura de atividades etapas que não foram corretamente feitas. Por exemplo, os Requisitos de Missão se tornaram ambíguos, não havendo mais os requisitos de mais alto nível da Fase A, apenas gerando os requisitos finais da Fase B. Além do mais, não foi destinado tempo para realizar, Pré-Análises dos Balanços, e a própria arquitetura da missão avançou para muito além do que deveria, sem ser corretamente balizada pelos requisitos.

Tais problemas, para uma replicação de projeto, não são significativos e com algumas poucas revisões e correções, foram superados sem maiores custos. Por outro lado, imaginando um projeto novo e sem um balizador externo experiente (UFSC), talvez isso não fosse possível realizar desta forma.

3.3 FASE B - PDR

Após a teórica fase A, ocorreria a Fase B. No caso do projeto, a mesma ocorreu concomitante a A e, após algumas dificuldades, principalmente nas definições dos Requisitos da Missão e o entendimento de novos documentos, pode seguir corretamente.

A equipe do SpaceLab preparou uma apresentação geral sobre as novas atividades a serem feitas da Fase B, como a elaboração dos Planos de AIV e AIT, como serão feitas as atividades de gerência e os requisitos.

Dessa forma, seguindo a mesma lógica para a Fase 0, a Fase B também pôde ser separada em três eixos distintos principais. “Técnica” “Gerencial” e “Atividades de Integração”. Nesta fase, poderia ocorrer um estudo Organizacional, todavia, foi notado que não seriam necessárias mudanças no planejamento anterior. Apesar disso, em reuniões curtas, foi definido que a entrega da documentação seria dividida em 3 documentos, sendo um geral, com todas as informações, e outros dois que seriam o Plano de AIV e Plano de AIT.

3.3.1 Técnica

Para as atividades técnicas, focou-se na finalização dos requisitos da missão. Garantindo-os que possuem todas as qualidades necessárias. Além disso, foi definido que não seriam iniciados ainda os estudos sobre especificações técnicas tanto da Estação de Solo e a Espacial.

Nesta fase, com relação a Arquitetura da Missão, focou-se nas etapas preliminares como é pedido pela normatização, apresentando a estrutura básica a qual deve balizar toda a operação. Por fim, o Conceito da Missão (CONOPS) foi iniciado e desenvolvido em seus estágios de mais alto nível.

Além disso, iniciou-se as Análises dos Balanços, tanto de massa, quanto energia. Como não havia definições prévias, houve certa dificuldade em evoluir nesses documentos, necessitando, após a própria revisão, realizarem várias correções neles.

3.3.2 Atividades de Integração

Na fase B, iniciaram-se dois importantes planos que devem ser finalizados na fase seguinte. O Plano de Montagem, Integração e Verificação e o Plano de Montagem, Integração e Teste e foi optado por manter os dois no projeto do Cimetelet. O primeiro,

o Plano de AIV, ele descreveria apenas superficialmente o projeto de Montagem e Integração, focando-se em dois pontos principais, as etapas de Verificação e sua filosofia, além dos manuais de usuário dos componentes. Já o Plano de AIT, por sua vez, daria informações detalhadas sobre sequência de montagem e quais testes devem ser feitos no projeto e como proceder com eles.

Nesta etapa, apesar do apoio do SpaceLab, houve uma dificuldade em produzir o documento por ainda não haver definições de baixo nível, ou seja, ainda genéricas e sem parâmetros concretos de engenharia, sendo assim, os documentos não estavam apenas sujeitos a alterações nas fases seguintes, deliberadamente incompletos, para apenas terem suas sessões finalizadas na próxima etapa.

3.3.3 Gerencial

Para as atividades gerenciais, as atividades focaram principalmente na atualização do orçamento, pequenas atualizações na equipe e estudos sobre atualização do objetivo da missão. É importante salientar que, em missões comuns, o objetivo da missão tende a ser inalterado, porém, como este projeto visa principalmente capacitar a equipe, o mesmo pode ser moldado dentro de uma faixa de possibilidades ainda abertas devido a Fase B ser de nível intermediário. Desta forma, alterações devem ser documentadas, gerando revisões em documentos já apresentados que irão apresentar o motivo das mudanças.

3.3.4 Revisão: PDR

A segunda revisão possuiu três documentos. Um primário, com a maior parte das informações foi chamado de PDR, consistia nos Requisitos de Missão finalizados, algumas sessões que se mantiveram inalteradas da MDR, como o mapeamento de riscos e os planos organizacionais, todavia, foi acrescentado novas sessões com o que foi produzido de novo no eixo técnico. Todavia, a única questão desse documento que necessitou de atualizações foram as já mencionadas Análises de Budget, tanto de massa, quanto energia e financeira.

Quanto aos outros dois documentos apresentados, por estarem incompletos, já era previsto a necessidade de atualização. Mas, devido ao atraso de entrega dos dois, a equipe do SpaceLab teve pouco tempo para estudá-los, deixando claro uma necessidade de prazos mais amplos entre a entrega do documento para a revisão e a revisão em si.

Além de que, algumas melhorias foram apontadas e necessidade de melhores explicações e alteração de leiaute.

Assim, tendo clara as dificuldades apresentadas durante o processo, algo inerente ao próprio ato de desenvolvimento e capacitação, foi entendido que o projeto

poderia avançar a fase seguinte, porém as correções deverão ainda ser feitas e uma nova versão dos três documentos deverá ser produzida.

3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base na experiência adquirida durante a execução do projeto Cimatelite, é observado que o desenvolvimento de um nanossatélite, embora presumivelmente menos complexa do que a de um satélite convencional de maiores dimensões, acarreta uma série de complexidades e tarefas desafiadoras. Assim sendo, um guia prático para orientar essas atividades, seja ele um grupo de profissionais experientes ou um documento, com o intuito de balizar os procedimentos e mitigar erros comuns, demonstra-se de inestimável valor. A subdivisão das atividades em grupos de trabalho distintos e intercomunicantes também desempenhou um papel crucial na produção de documentos e dados de maior qualidade. Contudo, é imperativo ressaltar a importância das normativas e padrões estabelecidos, uma vez que qualquer desvio destes, mesmo com apoio, pode acarretar em complicações futuras, demandando recursos adicionais para sua correção em estágios avançados do projeto.

Após a conclusão da fase B, dar-se-á início à Definições Detalhadas, momento em que serão definidos os leiautes e as características finais do produto para sua fabricação. Neste estágio, a continuidade das atividades conduzidas durante a Definições Preliminares possibilita a manutenção dos mesmos grupos de trabalho; no entanto, é necessário observar a necessidade de especialização interna desses grupos para atender às demandas específicas da Fase C do projeto.

4 PROPOSTA DE PROCESSO DE PROJETO

A partir da experiência do Cimatelite e dos estudos teóricos sobre metodologias de projeto, mesmo com a forte distinção entre filosofias dos modelos foram identificadas semelhanças e a possibilidade intercambialidade de informações para as fases iniciais do projeto, visto que os testes e verificações requeridas no Padrão da ECSS se tornam exaustivas a partir das fases intermediárias.

Dessa forma, este trabalho entende que há uma possibilidade de se propor um processo de desenvolvimento de produto baseado no modelo consensual já usado comumente em várias empresas com a padronização da ECSS.

As correlações mais básicas a serem feitas são das próprias fases, em que, pode-se perceber que seus objetivos, em geral, não se distanciam, às vezes até se relacionam, como podemos ver na Tabela 6

Quadro 6 – Diferenças de Atividades nos Modelos

Modelo Consensual	ECSS
Informacional: Gerar informações por meio de pesquisa e levantamento de dados para definir com precisão o sistema-problema e as especificações do projeto.	Fase 0: Estuda as condições para realização da missão, necessidades de projeto e de desenvolvimento de produtos.
Conceitual: Elaborar a concepção do produto, definindo os princípios da solução de forma a guiar todo o desenvolvimento do projeto.	Fase A: Consolidação das condições de missão. Desenvolvimento dos planos de projeto. Primeiras visões de alto nível do produto final.
Preliminar: Desenvolver o conceito gerado, atentando-se a questões técnicas e interações do produto com o meio, buscando encontrar o leiaute otimizado do produto.	Fase B: Finalização dos planos de projetos. Entrega do leiaute preliminar. Início da produção dos planos de integração, montagem, verificação e testes.
Detalhado: Finalizar o projeto do produto, gerando um leiaute definitivo para ser enviado à produção, detalhando aspectos físicos, técnicos e financeiros.	Fase C: Entrega do leiaute final do produto. Finalização dos planos de integração, montagem, verificação e testes. Início da fabricação de produto.

Fonte: Autor(2024)

Nesta comparação, tem-se que apenas a Fase A e a Fase de Projeto Conceitual tendem a se diferenciar, muito porque partem de métodos distintos de resolução de problemas. Todavia, por objetivarem pontos de término similares, com maior adaptação, as diferenças podem ser superadas e as fases seguintes requerem menor adaptação.

Também vale-se lembrar que a padronização da ECSS pede alguns

documentos que perpassam várias fases. Já o modelo consensual aceita a existência desses documentos, nomeados de Documentos Transversais de forma bem semelhante.

Assim, uma forma de integrar os modelos será apresentada a seguir, a partir de um esqueleto de Plano de Engenharia de Sistemas, onde serão mostradas as atividades a serem realizadas por diferentes grupos de trabalho e documentos a serem entregues.

4.1 INFORMACIONAL

As resoluções principais da Fase Informacional no modelo proposto são detalhadas na lista a seguir:

1. Definir o Objetivo: A descrição do documento, seu escopo e suas funções.
2. Atualizar/Revisar de Demanda: Busca estudar os motivos para o desenvolvimento do produto, a definição de um sistema-problema a ser resolvido, os benefícios do produto e sua viabilidade, o grau de maturidade tecnológica e produtos similares, além das especificações do mesmo, como premissas, riscos e restrições, e todos os agentes que podem está relacionados a ele.
3. Listar Normas e Legislações: A listagem de todas as padronizações, normatizações e leis que podem está relacionadas ao produto.
4. Levantar as Propriedades intelectual: Patentes e Estado da Arte de toda tecnologia que pode está relacionada ao projeto.
5. Definir o Ciclo de Vida do Produto: Estado do produto e onde ele se localiza no mercado.
6. Levantar as Necessidades e Geração de Requisitos de Projeto: A geração de todos os requisitos balizadores do projeto nas fases seguintes.

Ao observar as tarefas, percebe-se que a normatização da ECSS demanda, para Cu- besat, quase todas essas atividades, excetuando o Ciclo de Vida de Produto, além de diferenciar, também, nos requisitos que ainda não são finalizados nesta fase. Apenas formalizados os de mais alto nível.

Outra questão importante é que, como a ECSS é uma normatização para todas as fases do projeto, não apenas o desenvolvimento de produto, ela requer alguns documentos administrativos para a revisão, os quais, em geral, são feitos antes do projeto entrar na sua fase informacional. Dessa forma, foi optado por definir alguns documentos que, apesar de estarem na revisão e deverão ser apresentados junto com o relatório, são nomeados e caracterizados separadamente.

Assim, este trabalho sugere dividir os documentos da revisão da Fase Informacional em três conjuntos de documentos que devem ser revisados no mesmo período, sendo eles os: documentos de capitação, que seriam feitos antes de se firmar o

acordo e iniciar o desenvolvimento de produto em si e focado em etapas como definição orçamentaria e de pessoal; relatório informacional, que seria a parte principal da fase, compilado em um único relatório com a maior parte das informações requisitadas; e os documentos trans- versais, que são aqueles que iniciarão nesta fase, mas serão retrabalhados ou continuados em fases seguintes.

4.1.1 Atividades Propostas para Fase

Dessa forma, também são visíveis as atividades a serem desempenhadas nesta fase, as quais, podem ser separadas em três braços diferentes, sendo eles: O Braço de Capitação e o Técnico. Cada um tendo seu grupo de tarefas:

O Braço de Capitação será responsável por entrar em contato com os possíveis clientes e preparar o projeto e a equipe, fazendo as definições orçamentarias, de cronograma e de equipe. Após isso, com o projeto já em andamento, junto a toda equipe, será responsável pela produção do SEP e o contato com os clientes para sua pactuação.

O Braço Técnico será formado pelo corpo técnico do projeto e deverá fazer uma série de atividades que precisariam ser feitas em conjunto. A primeira delas é o estudo e entendimento dos sistemas espaciais, módulos de cubesat e projetos anteriores, sempre alinhadas a partir de reuniões e possíveis apresentações. Quando a equipe estiver em maturidade e integrada o suficiente, passará por uma serie de reuniões para um entendimento do projeto, as demandas e necessidades do cliente, além de suas dores as quais o projeto visa sanar. Após isso, um estudo mais profundo sobre documentação e especificidades deverá ser feito, para, ao fim, reuniões com toda a equipe serem feitas para definição das especificidades do projeto. Como mostrada na Imagem 12

Figura 12 – Atividades Desenvolvidas na Fase Informativa

Etapa 1	Informativa	
	Braço 1.1	Capitação
	Atividade 1	Definição Orçamentária
	Atividade 2	Definição de Cronograma
	Atividade 3	Definição de Equipe
	Atividade 4	Produção do SEP
	Braço 1.2	Técnico
	Atividade 1	Pesquisa de Informações sobre o problema do projeto e o padrão Cubesat.
	Atividade 2	Definir os critérios do Objetivo da Missão e suas Premissas.
	Atividade 3	Definir as Restrições da Missão.
	Atividade 4	Mapear os Riscos do Projeto.
	Atividade 5	Definir os Stakeholders.
	Atividade 6	Realizar uma Análise Operacional em MBSE
	Atividade 7	Definir a estratégia de Mitigação de Detritos Espaciais.

Fonte: Autor(2024)

4.1.2 Documentos de Capitação

Esses documentos, que visam iniciar a negociação para um projeto são importantes para a organização ter noção do que irá tratar e como pode ser seu projeto de Cubesat. Eles, de forma alguma, são absolutos e, mediante a validação com todos os membros interessados ou financiadores do projeto, podem ser repactuados. Assim, existem três documentos a serem trabalhados nessa sessão:

- Orçamento Preliminar: Um balanço dos custos do projeto. Ele incluirá balanço de equipamento, pessoal alocado, transporte, serviços prestados ou qualquer outra questão. Todavia, vale ressaltar que, como um projeto de Cubesat é muito complexo, as previsões iniciais podem ser muito diferentes dos resultados finais,

por isso, necessita-se de alguma experiência prévia para fornecer valores mais acertivos.

- Cronograma Preliminar: Posteriormente, esse documento será englobado ao Plano de Engenharia de Sistemas (SEP) e melhor definido, porém, aqui serão marcadas quando devem ser as macro-entregas e os períodos separados para as fases.
- Arvore de Funções: Nome dado pela ECSS ao documento que visa definição de funções para a equipe. Nessa etapa, apesar de ainda superficial, é importante, ao menos, definir quantas pessoas seriam dadas a cada tarefa e o nível técnico requerido para cada um deles.

4.1.3 Documento Principal

Este documento, que também pode ser chamado de Relatório Informacional, é o que deverá conter todas as informações essenciais que precisam ser geradas e finalizadas nessa fase. Dessa forma, este documento, após aprovação no fim da MDR, não deverá mais sofrer alterações e será revisitado apenas para consulta, exceto caso haja uma necessidade extraordinária para uma nova revisão e mudanças.

Para tal, este trabalho sugere que o documento tenha o seguinte formato:

1. Escopo do Documento: Aqui será comentado sobre o que se trata tal documento e contará com as seguintes subseções:
 - a) Documentos Aplicáveis: Normas usadas para formulação deste documento.
 - b) Documentos Referenciados: Documentos gerados pelo projeto ou externos que foram usados de referência.
 - c) Lista de Abreviações: Siglas e Abreviações usadas nesse documento.
2. Atualização de Demanda: Essa sessão irá constar os dados sobre o que é o Projeto.
 - a) Justificativa de Projeto: Motivo sobre qual iniciou-se o projeto. Além do problema motivador do mesmo.
 - b) Definição do Sistema Problema: Aqui será descrito as dificuldades que o projeto deve resolver ou facilitar e as atividades que o mesmo deve desempenhar
 - c) Benefícios Esperados: As vantagens que o projeto deve trazer e como irá aplacar as dificuldades.
 - d) Produto do Projeto: Aqui será explicado sobre o padrão Cubesat, além de constar com uma Árvore de Produto e dedicar algumas subseções a comentar sobre os subsistemas apresentados na Árvore de Produto
 - i. OBDH: Aqui falará sobre o que é o Computador de Bordo, suas funções e especificidades.

- ii. EPS: Aqui falará sobre o que é o sistema elétrico, sua placa de controle de energia, baterias e painéis solares.
 - iii. TT&C: Aqui falará sobre o que é o sistema de comunicação do satélite, sua placa de controle e das antenas.
 - iv. ACS: Aqui falará sobre o que é a Atitude de um corpo, sobre seu controle e a diferença de um ativo e passivo.
 - v. TCS: Aqui falará sobre o que é o controle térmico, sua importância e como ele comumente é feito em um Cubesat.
 - vi. Carga Útil: Aqui falará sobre o que se espera ser a Carga Útil da missão e o que constará nela.
3. Especificações de Projeto: É onde constará as características pedidas pelo sistema, normas ou equipe.
- a) Objetivo da Missão: Serão descritas, de maneira ampla, as tarefas que a missão deve cumprir e o que caracterizará seu sucesso.
 - b) Premissas: Serão descritas, de maneira ampla, as informações que serão bases do projeto, obrigações de seus membros e atividades que serão realizadas pela equipe visando o cumprimento do objetivo da missão.
 - c) Restrições de Missão: Serão descritos os impeditivos e dificuldades mapeadas para a missão em sua etapa mais preliminar.
 - i. Seguimento Espacial: Estarão aqui as restrições para o cubesat.
 - ii. Seguimento de Solo: Estarão aqui as restrições para as Estações de Solo, usuários e sistemas que interagem com o cubesat.
 - d) Riscos da Missão: Serão mapeados os riscos e, de maneira superficial, as ações planejadas para evitá-los ou reduzir seus impactos.
 - e) *Stakeholders*: Serão listados todos os possíveis interessados, parceiros e fornecedores da equipe.
4. Produtos Atuais, Concorrentes e Similares: Aqui será feito um estudo sobre outros cubesats desenvolvidos com o mesmo objetivo, suas dificuldades e soluções.
5. Status Prontidão Tecnológica: Aqui será feita uma pesquisa de mercado sobre as tecnologias que podem ser empregadas no cubesat, seus custos, maturidade e vantagens. Para esta sessão, recomenda-se uma sub-sessão para cada um dos subsistemas.

4.1.4 Documentos Transversais

Em geral, são documentos ou complexos o suficiente que se recomenda produção desde cedo do projeto e ir evoluindo, ou documentos que irão ser importantes e guias em várias etapas de projeto, mas serão modificados durante elas. Esses são:

- Plano de Mitigação de Detritos Espaciais: Este documento, nas antigas versões da ECSS, não era pedido nessa fase, porém pela importância e constante aumento

dos riscos do lixo espacial, foi normatizado que deve ser pensado desde o principio. Como dito antes, para Cubesat não há grandes documentações e ele pode ser atrelado a órbita e o decaimento natural da mesma.

- **Árvore de Produto:** Apesar de existir uma sessão no Documento Principal com o mesmo nome, este será um documento mais amplo. Recomenda-se que seja feito em algum programa de Engenharia de Sistemas baseada em Modelos, como o Capella MBSE. Para esta fase, por sua vez, o levantamento de informações é suficiente apenas para a primeira etapa, a Análise Operacional.
- **Plano de Engenharia de Sistemas, ou SEP:** O documento que deverá guiar toda a organização do projeto. Ele é feito nessa fase, detalhando planejamentos, objetivos das fases e etapas necessárias. Em geral, dentro de uma empresa, ele pode ser padronizado para todos os projetos de Cubesat como um modelo de boas práticas da organização e deverá contar com o ciclo de revisões adotados, as fases do projeto e as atividades a serem desempenhadas em cada uma delas.

4.2 CONCEITUAL

Como demonstrado anteriormente, a segunda etapa é a mais diversa entre entre o Modelo de Fases e a ECSS. Também, ao fazer uma análise mais profunda, atividades tradicionais de geração de conceito, como Sínteses Funcionais e Geração de Matrizes Morfológicas a partir dos Principios de Solução não são de grande proveito visto a padronização do Cubesat e a pouca margem para alterações fundamentais. Com isso, nessa etapa considera-se os princípios da ECSS não como integradoras, mas como uma substituição das atividades do Modelo de Fases.

Para esse caso, o projeto seguirá apenas maturando o que foi produzido na etapa Informacional. As especificações, que antes eram amplas, começam a ganhar contornos técnicos, apesar de ainda não apresentarem valores finais.

Além do mais, aprofundará estudos de desempenho e atividades do Cubesat, os quais ainda funcionarão como guias e serão atualizados futuramente. Dessa forma, os documentos entregues nessa fase serão divididos apenas no Documento Principal e os Documentos Transversais.

4.2.1 Atividades Propostas para Fase

Diante do supracitado, para a Etapa Conceitual o autor propõe separar o Braço Técnico da anterior em dois braços de trabalho, sendo eles o Braço Principal e o Braço de Operação, como mostrado na figura 13

Figura 13 – Atividades Desenvolvidas na Fase Conceitual

Etapa 2	Conceitual	
	Braço 2.1	Principal
		Atividade 1
		Definir os critérios do Objetivo de Missão e suas Premissas em Parâmetros de Engenharia.
		Atividade 2
		Definir as Restrições da Missão discriminados para os Subsistemas.
		Atividade 3
		Mapear os Riscos do Projeto discriminados para os Subsistemas.
		Atividade 4
		Detalhar os Stakeholders e suas funções.
	Braço 2.2	Operacional
		Atividade 1
		Realização da Análise de Sistemas para MBSE
		Atividade 2
		Definição das Atividades do CONOPS em alto nível.
		Atividade 3
		Definição do Balanço de Energia esperado.
		Atividade 4
		Definição do Balanço de Dados esperado.
		Atividade 5
		Produção do Orçamento Preliminar.
		Atividade 6
		Definição do Balanço de Massa esperado.

Fonte: Autor(2024)

O Braço Principal deverá ser responsável pela continuação e maturação do trabalho da fase anterior, devendo realizar pesquisas mais aprofundadas e melhor discretizar as restrições do sistema nos subsistemas do Cubesat.

Já o Braço de Operação começará a planejar, como o nome já diz, as operações do Cubesat, imaginando, ainda em alto nível, as tarefas que serão realizadas e como serão realizadas e, com isso, noções dos módulos a serem utilizados, podendo assim começar fazer pesquisas do custo de energia, financeiro e envio de dados ao sistema.

4.2.2 Documento Principal

Este não se diferenciara muito do anterior. Deveras, esta fase tem sua importancia pela consolidacao e estudo mais aprofundado das especificacoes do projeto. Sendo assim, o documento devera ter, ao menos, o seguinte formato:

1. Escopo do Documento: Aqui sera comentado sobre o que se trata tal documento e contara com as seguintes subsecoes:
 - a) Documentos Aplicaveis: Normas usadas para formulacao deste documento.
 - b) Documentos Referenciados: Documentos gerados pelo projeto ou externos que foram usados de referencia.
 - c) Lista de Abreviacoes: Siglas e Abreviacoes usadas nesse documento.
2. Especificacoes de Projeto: E onde constara as caracteristicas pedidas pelo sistema, normas ou equipe, agora de caracter tecnico e a partir de parametros de engenharia.
 - a) Objetivo da Missao: Serao descritas as tarefas que a missao deve cumprir e quais parametros caracterizarao o sucesso da missao.
 - b) Premissas: Serao descritas informacoes que serao bases do projeto, obrigacoes de seus membros e atividades que serao realizadas pela equipe visando o cumprimento do objetivo da missao.
 - c) Restricoes de Missao: Serao caracterizados os parametros e condicoes capazes de afetar a realizacao da missao.
 - i. Seguimento Espacial: Estarao aqui as restricoes para o cubesat, agora separados nos subsistemas esperados para o mesmo, como os listado a seguir:
 - A. OBDH
 - B. EPS
 - C. ACS
 - D. TCS
 - E. Estrutura
 - F. Carga Util
 - ii. Seguimento de Solo: Estarao aqui as restricoes para as Estacoes de Solo, usuarios e sistemas que interagem com o cubesat.
 - d) Riscos da Missao: Novos riscos, a partir das restricoes atuais poderao surgir e deverao ser mapeados. Os antigos devem ser reavaliados e, se necessario, atualizados.
 - e) *Stakeholders*: Os *Stakeholders* deverao ter as atividades esperadas por eles descritas.

4.2.3 Documentos Transversais

Aqui há dois tipos de documentos. Os que serão atualizados e os novos. Obviamente, como essa é a segunda fase apenas, todos os documentos gerados na fase anterior são atualizados caso haja alguma mudança significativa ou adição a ser feita. Por outro lado, existem dois documentos novos de grande importância para o projeto, que são:

- CONOPS: Documento que deverá constar toda a operação do Cubesat, desde o lançamento até o fim da vida, constando os modos de operação, ações a serem tomadas em caso de falha, ordens que podem ser dadas e qualquer outra atividade do Cubesat.
- Análises dos Balanços: Aqui serão feitos alguns balanços do Cubesat. Sendo esses:
 1. Balanço de Energia: Nesta fase constará todos os gastos de energia esperado no sistema, capacidade de carga dos painéis solares que se planeja adquirir e capacidade de armazenamento de energia das baterias.
 2. Balanço Orçamentário: Aprofundamento das informações sobre o custo do Cubesat, não contando com o valor de pessoal.
 3. Balanço de Massa: Busca do peso esperado de todos os componentes do Cubesat, visando não ultrapassar o limite dado pelo lançador.
 4. Balanço de Dados: Estudo da capacidade de transmissão de dados do sistema de comunicação cruzado com a distribuição de dados que a comunicação do satélite deve cumprir.

Já as atualizações dos antigos serão dadas da seguinte forma:

- Plano de Mitigação de Detritos Espaciais: Não há grandes definições para atualizações do mesmo.
- Árvore de Produto: Com a maturação do projeto, parceiros, funções e restrições, já é possível produzir uma Análise do Sistema.
- Plano de Engenharia de Sistemas, ou SEP: Será atualizado para a próxima etapa, com descrições de atividades a serem feitas e revisões de projeto, além de elencar os responsáveis por elas.

4.3 PRELIMINAR

Com as diferenças da etapa anterior, a Fase Preliminar do Modelo de Fases começa com algumas diferenças para o Padrão da ECSS. Todavia, ao observar o Modelo de Fases, as atividades balizadoras neste momento são:

1. Identificação das Funções: Com os Conceitos escolhidos em mãos, entende-se como cada Princípio de Solução irá atuar e trabalhar junto aos seus pares.

2. Projeto Inicial: A partir do entendimento dos Princípios de Solução, projeta-se o primeiro modelo do produto.
3. Avaliação: Avalia-se a capacidade do produto projetado de atuar e cumprir os seus objetivos.
4. Melhorias: A partir dos resultados da avaliação, volta-se a trabalhar no produto, resolvendo os problemas encontrados ou apenas melhorando suas fragilidades.
5. Finalização: Após alguns ciclos, quando o produto já está maduro o suficiente, apresenta-se o mesmo e passa-se para a próxima etapa.

Com isso, percebemos que os princípios dessa etapa são: A partir dos dados gerados, desenvolver um produto inicial semi-palpável; avaliar o que foi desenvolvido e assim gerar melhorias no mesmo; entregar um projeto próximo da sua etapa de produção, faltando apenas poucas definições. Enquanto isso, a ECSS busca, a partir das caracterizações levantadas na fase anterior, entregar uma modelo de projeto que já consta com maturidade suficiente para que todos os componentes já possam ser definidos, além dos primeiros detalhamentos da produção e testes.

Dessa forma, a partir das diferenças metodológicas e até mesmo do formato das entregas, os dois modelos carregam a mesma função para o projeto. Dessa forma, também é possível intercambia-los, levando apenas algumas leve diferenças nas entregas previstas.

Para a Fase B do ECSS, também é requerido uma nova leva de documentos transversais. Esses, por sua vez, também carregam os princípios de preparação para um detalhamento seguintes e serão de grande importância para montagem, assim, nesta etapa, há um acúmulo de documentação a ser produzida, desta forma, existe uma necessidade de maior tempo e, principalmente, uma etapa anterior bem estruturada para que haja fluidez no decorrer das atividades.

4.3.1 Atividades Propostas para Fase

Nessa fase, surge-se mais um conjunto de atividades a serem feitas. E um conjunto a ser finalizado. Logo, separa-se em três braços distintos de trabalho, sendo eles: o Braço Principal; o Braço de Integração, Montagem, Verificação e Testes e o Braço Operacional como mostrado na Figura 14

Figura 14 – Atividades Desenvolvidas na Fase Preliminar

Etapa 3	Preliminar	
	Braço 3.1	Principal
	Atividade 1	Revisar Objetivo de Missão e suas Premissas em Parâmetros de Engenharia, definido seus valores finais.
	Atividade 2	Definir todas as Restrições da Missão em parâmetros de engenharia com seus valores finais.
	Atividade 3	Transformar todas as Especificações de Projeto em Especificações Técnicas.
	Atividade 4	Revisar o Plano de Mitigação de Detritos Espaciais
	Braço 3.2	Operacional
	Atividade 1	Produzir a Arquitetura Lógica do Sistema
	Atividade 2	Revisar todos os Balanços do Budget Analysis.
	Atividade 3	Detalhar as atividades do CONOPS.
	Braço 3.2	Integração, Montagem, Verificação e Teste
	Atividade 1	Estudos das Normas aplicáveis para Verificação e Teste.
	Atividade 2	Estudos dos Testes normalmente feitos para Cubesat
	Atividade 3	Definição da Filosofia e Estratégia de Verificação
	Atividade 4	Estudo de Modelos de Montagem e Integração
	Atividade 5	Definição das Macro-Etapas de Montagem e Integração.
	Atividade 6	Definição dos Testes que serão feitos nos Modelos de Engenharia e Voo.

Fonte: Autor(2024)

O Braço Principal, nessa etapa, irá finalizar o ciclo de especificações de projeto. Os objetivos serão revisados pela equipe uma última vez e validados com o cliente, enquanto as premissas e restrições devem ser caracterizadas em parâmetros de engenharia para, assim, poder estudar e formalizar as Especificações Técnicas, com todas as características que o Cubesat deverá ter, como a capacidade de geração de

energia, o consumo máximo de cada placa, temperatura de operação, geometria da estrutura externa entre outros.

O Braço Operacional seguirá detalhando o que foi apresentado anteriormente. As tarefas já terão suas subetapas e todas suas ações, tais como seu custo de energia e fluxo de dados, as condições para iniciar qualquer tarefa, além dos modos de operação do Cubesat a partir do estado de sua bateria ou qualquer defeito encontrado.

O Braço de Integração, Montagem, Verificação e Testes terá uma vital importância por definir todo o andamento da missão após a fabricação e sua exaustiva etapa de testes de forma a garantir a confiabilidade do produto no padrões exigidos pelo Ramo de Garantia de Produtos Espaciais. Assim, focará no início de desenvolvimento dos planos e manuais que envolvam as atividades de produção do Cubesat. Nessa etapa será estudada as formas de verificação de um Cubesat, os testes mínimos requeridos e outros que possam ser realizados, formas de montagem que possam ser feitas e, por fim, definir, na medida do permitido pela maturidade do projeto, as atividades a serem realizadas.

4.3.2 Documento Principal

Assim, o documento principal dessa etapa se portará muito como uma continuação direta do anterior. As restrições serão finalizadas e as especificações técnicas dos módulos do Cubesat e Estação de Solo serão dadas, o que balizará as compras ou detalhamentos dos componentes a serem construídos, serão definidas a partir de todas as especificações do sistema.

1. Escopo do Documento: Aqui será comentado sobre o que se trata tal documento e contará com as seguinte subseções:
 - a) Documentos Aplicáveis: Normas usadas para formulação deste documento.
 - b) Documentos Referenciados: Documentos gerados pelo projeto ou externos que foram usados de referencia.
 - c) Lista de Abreviações: Siglas e Abreviações usadas nesse documento.
2. Especificações de Projeto: É onde constará as características pedidas pelo sistema, normas ou equipe, agora de carácter técnico e a partir de parâmetros de engenharia.
 - a) Objetivo da Missão: Serão descritas as tarefas, de forma mensurável, que a missão deve cumprir e os valores que são necessários para que seja considerado um sucesso.
 - b) Premissas: Serão descritas informações que serão bases do projeto, obrigações de seus membros e atividades que serão realizadas pela equipe visando o cumprimento do objetivo da missão.
 - c) Restrições de Missão: Serão caracterizados, de forma mensurável, os parâmetros e condições capazes de afetar a realização da missão.

- i. Seguimento Espacial: Estarão aqui as restrições para o cubesat, agora separados nos subsistemas esperados para o mesmo, como os listado a seguir:
 - A. OBDH
 - B. EPS
 - C. ACS
 - D. TCS
 - E. Estrutura
 - F. Carga Útil
 - ii. Seguimento de Solo: Estarão aqui as restrições para as Estações de Solo, usuários e sistemas que interagem com o cubesat.
- 3. Especificações Técnicas: A partir das especificações de projetos, estarão descritas aqui as características que o produto deve ter que supere as dificuldades, respeitando as restrições e apresentando a solução para cumprir os objetivos da missão.
 - a) Seguimento Espacial: Estarão aqui as especificações para o cubesat, tanto geral para o sistema, quanto específicos para os subsistemas que estarão no cubesat:
 - i. OBDH
 - ii. EPS
 - iii. ACS
 - iv. TCS
 - v. Estrutura
 - vi. Carga Útil
 - b) Seguimento de Solo: Estarão aqui as especificações para a Estações de Solo, usuários e sistemas que interagem com o cubesat.

4.3.3 Documentos Transversais

Nesse ponto do projeto, já há maturidade o suficiente para o início de dois dos mais importantes documentos para a construção do produto que são os dois planos irão ditar as práticas futuras com os componentes. São eles o Plano de Montagem, Integração e Verificação e o Plano de Montagem, Integração e Testes. Ambos, apesar de serem relativamente parecidos, se distinguem em profundidade e escopo. Por suas complexidades, ambos serão mais detalhados a seguir:

O primeiro, o Plano de Montagem, Integração e Verificação, ou Plano de AIV, recomenda-se o seguinte formato:

1. Escopo do Documento: Aqui será comentado sobre o que se trata tal documento e contará com as seguinte subseções:
 - a) Documentos Aplicáveis: Normas usadas para formulação deste documento.

- b) Documentos Referenciados: Documentos gerados pelo projeto ou externos que foram usados de referencia.
 - c) Lista de Abreviações: Siglas e Abreviações usadas nesse documento.
2. Missão: Constará uma rápida explicação sobre a Missão, o Cubesat e a própria equipe.
 3. Estratégia de Verificação: Constará uma explicação da filosofia de verificação, das abordagens de verificação e dos modelos de "protótipos" usados.
 4. Programa de Montagem e Integração: Será feita uma explicação rápida da filosofia do plano de montagem e integração dos modelos de Engenharia e Voo e como ele foi produzido. Posteriormente será dada uma visão superficial da sequencia de montagem e ações a serem tomadas em cada estágio.
 5. Programa de Verificação: Será listado a sequencia de verificações adotadas e componentes que serão testados.
 - a) Verificações dos Módulos: Para os módulos, é dada uma visão superficial de como será a sequencia padrão de verificações e testes, mas sem entrar nas especificidades de cada módulo, que serão feitas em outro documento.
 - b) Verificações do FlatSat: Caso opte por gerar um modelo de FlatSat, será necessário explicar o método de integração e o que será verificado com o mesmo e como será feita.
 - c) Verificações do Modelo de Engenharia e Voo: Será descrita como serão feitas as verificações durante a montagem e integração dos modelos, ressaltando as especificidades do Modelo de Voo
 - d) Testes Ambientais: Serão listados os testes ambientais e os critérios de aceitação.

Ressalta-se que esta é uma recomendação para o modelo final do documento. Nesse estágio do projeto é provável que ainda não se tenha todas as informações necessárias para o documento e parte dele fique incompleto, como os testes ambientais, onde não terão todos os critérios de aceitação ou a sequencia de montagem, visto que não estará definido as placas e, conseqüentemente, sua organização geométrica.

Já para o Plano de Montagem, Integração e Teste, ou Plano de AIT, recomenda-se o seguinte formato:

1. Escopo do Documento: Aqui será comentado sobre o que se trata tal documento e contará com as seguinte subseções:
 - a) Documentos Aplicáveis: Normas usadas para formulação deste documento.
 - b) Documentos Referenciados: Documentos gerados pelo projeto ou externos que foram usados de referencia.
 - c) Lista de Abreviações: Siglas e Abreviações usadas nesse documento.
2. Missão: Tal qual o Plano de AIV, será feita uma rápida explicação sobre a Missão, o Cubesat e a própria equipe.

3. Sequencia de Montagem e Integração: Aqui será detalhado, de forma clara e objetiva, todas os passos da montagem, cada ação a ser tomada e componentes a serem alinhados. A partir desse documento, o operador deverá ser capaz de realizar uma montagem e integração sem dúvidas ou inferências.
4. Testes de Software: Serão detalhados os testes padrões para os software e firmware, porém sem constar os testes específicos de cada modulo, os quais terão um documento especifico para eles.
5. Testes Ambientais: Serão detalhados todos os testes ambientais, como serão feitos, os valores a serem simulados, critérios de aceitação e qualquer outra informação relevante para os testes.

Tal qual o Plano de AIV, ressalta-se que nesse estágio do projeto não se terá todos os dados essenciais para a finalização do Plano de AIT e, muito provavelmente, esse documento terá várias sessões para serem completadas apenas após o detalhamento.

Além deles, os outros documentos transversais passam a evoluir e se aproximam do seu formato final nesta fase, sendo eles:

- Árvore de Produto: Neste ponto, já há definições suficiente para a formação de uma arquitetura lógica do produto, sendo capaz de prever funcionalidades, atividades e riscos ambientais.
- CONOPS: A partir da Arquitetura Lógica, já é possível definir as atividades desempenhadas e modos de operação, faltando, então, o detalhamento dos mesmos, o qual será feito nas fases seguintes.
- Análises de Balanços: Serão atualizados com dados mais precisos dos componentes.
- Plano de Engenharia de Sistemas, ou SEP: Será atualizado a partir das definições preliminares, com melhor noções de períodos, pessoais e atividades a serem desempenhadas.
- Plano de Mitigação de Detritos Espaciais: Para Cubesats, nessa fase não há grandes definições para mudanças no mesmo.

5 CONCLUSÕES

Com o aumento do interesse das empresas de tecnologia e desenvolvimento de produtos pelo segmento dos Cubesats e diante da escassez de produção nacional nesse campo, este estudo se propôs a criar um método de projeto que adaptasse a padronização da ECSS para desenvolvimento de cubesat com o Modelo de Fases para desenvolvimento de produto. Isso foi realizado por meio de um estudo de caso da parceria de transferência tecnológica entre a UFSC e o Senai Cimatec, que tem como objetivo a capacitação da organização baiana para produção de cubesats com o intuito facilitar a entrada de novas organizações no promissor mercado de nanosatélites.

Pelo estudo das duas metodologias e, com base no estudo de caso, foi possível propor uma estrutura de projeto que integre as fases iniciais de ambos os métodos para o desenvolvimento de Cubesats. Tal modelo aparenta ser robusto o suficiente ao cumprir todos os requisitos do Padrão da ECSS, além de apresentar a maleabilidade de se encaixar na configuração do Modelo de Fases.

Para tal, foi necessário analisar cada uma das etapas de projeto do estudo de caso, detalhando as atividades feitas, e entendendo tanto os princípios basilares e quanto os objetivos da fase. Unindo-se isso a um estudo teórico da literatura, foi verificada certo grau de similitude entre os dois modelos, apesar das diferenças encontradas na segunda fase dos dois. Ainda assim, a unificação das etapas com base nos objetivos comuns foi a base a qual possibilitou a proposição do novo método.

Como resultado, o modelo proposto se fundamenta não apenas em uma estrutura teórica, mas a partir de uma experiência prática, a qual foi estudada visando entender seus erros e encontrar pontos de melhoria. Assim, ele possui certas vantagens a ser implementada em um grupo sem experiência em desenvolvimentos de cubesat, visto que parte do esforço do projeto estudado foi a capacitação de uma equipe para produções futuras. Possuindo ainda uma proposta de separação de atividades de cada etapa e uma configuração de documentação, o modelo se apresenta como um guia facilitador para maturação de novos setores de organizações já existentes.

Todavia, por um projeto de nanossatélite ainda ter uma duração considerável, mesmo que muito inferior a grandes satélites, este trabalho se limitou a acompanhar o estudo de caso do projeto do Cimatelite e, por isso, não avançou para as etapas de detalhamento de projeto ou produção, assim, é recomendável que estudos futuros deem continuidade a este método, apresentando soluções para as fases subsequentes.

Outra questão é que tal proposta é uma melhoria de atividades já feitas com fundamentada na experiência empírica unida a bases teóricas. Desta forma, esta proposta não foi implementada, assim, em trabalhos futuros, recomenda-se fazer uma análise dos resultados deste modelo implementado para garantir sua viabilidade.

REFERÊNCIAS

- CAPPELLETTI, C.; BATTISTINI, S.; MALPHRUS, B. (Ed.). **Cubesat handbook: From mission design to operations**. [S.l.]: Academic Press, 2020.
- CASARIL, L. e. a. **Simulação da dinâmica orbital e controle passivo de atitude de nanossatélites**. 2019.
- CHO, M.; GRAZIANI, F. **Definition and Requirements of Small Satellites Seeking Low-Cost and Fast-Delivery**. 2017. [S.l.].
- ECSS Secretariat. **Project planning and implementation**. [S.l.], 2009.
- ECSS Secretariat. **System engineering general requirements**. [S.l.], 2017.
- FERREIRA, M. G. G. **Utilização de Modelos para a Representação de Produtos no Projeto Conceitual**. 1997. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 1997.
- FORCELLINI, F. **Projeto Conceitual**. Florianópolis: [s.n.], 2003.
- FOWLER, K. R.; SILVER, C. L. Introduction to good development. In: FOWLER, K. R.; SILVER, C. L. (Ed.). **Developing and Managing Embedded Systems and Products**. [S.l.]: Newnes, 2015. p. 1–38. ISBN 9780124058798.
- EL GAMMAL, Y.; KRLEDTE, W. European cooperation for space standardisation (ecss). In: **Product Assurance Symposium and Software Product Assurance Workshop**. [S.l.: s.n.], 1996. p. 43.
- HUBKA, V.; EDER, W. E. **Theory of Technical Systems: a Total Concept Theory for Engineering Design**. London: Springer-Verlag, 1988.
- IARU. **International Amateur Radio Union**. 2023. [S.l.: s.n.]. Accessed: 2023-10-15. Disponível em: <http://www.amsatuk.me.uk/>.
- KULU, E. **Nanosatellite and Cubesat Database**. 2021. [S.l.: s.n.]. <https://www.nanosats.eu/database>. Accessed: 2021-02-14.
- LEE, S. **CubeSat Design Specification**. 2014. 42 p. Cal Poly SLO. Acesso em 09 dez. 2023. Disponível em: <https://www.cubesat.org>.
- LIMA, J. S. S.; JOTHA, L. S.; CARVALHO, M. J. M. **Plano de Gerenciamento do Projeto - CONASAT-0**. [S.l.], 2014. Versão 2.1. Disponível em: </mnt/data/CNS-MNG-SY-00-001-V2.1-GerenciamentodoProjeto.pdf>.
- NASA. CubeSat101: Basic concepts and processes of first-time CubeSat developers. **NASA CubeSat Launch Initiative**, October 2017.
- NASA. **Nasa Space Flight**. 2023. [S.l.: s.n.]. Accessed: 2023-10-15. Disponível em: <https://forum.nasaspaceflight.com/>.
- OGLIARI, A. **Sistematização da concepção de produtos auxiliada por computador com aplicações no domínio de componentes de plástico injetados**. 1999. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 1999.

PAHL, G.; BEITZ, W. **Engineering design: a systematic approach**. 2nd. ed. London: Springer Verlag, 1995. 544 p. ISBN 3-540-19917-9.

PAHL, G. e. a. **Projeto na engenharia**. [S.l.]: Editora Blucher, 2005.

ROMEIRO, E. e. a. **Projeto do produto**. [S.l.]: Elsevier Brasil, 2013.

ROOZEMBURG, N. F. M.; EEKELS, J. **Product Design: fundamentals and methods**. Chichester: John Wiley & Sons, 1995.

Secretariat, E. C. S. S. **Tailored ECSS Engineering Standards for In-Orbit Demonstration CubeSat Projects**. [S.l.], 2016.

SPACE, T. A. **A basic guide to nanosatellites | alén space**. 2019. Accessed on 25/09/2024. Disponível em: <https://alen.space/basic-guide-nanosatellites/>.

U.S. GOVERNMENT. **SmallSat Parts On Orbit Now**. 2023. [S.l.: s.n.]. Accessed: 2023-10-15. Disponível em: <https://spoonsite.com/>.

VDI. **Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte**. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1985. 35 p.