



## Seleção e Customização de Requisitos da Garantia do Produto aplicados em Satélites de Pequeno Porte.

Inaldo Soares de Albuquerque<sup>1</sup>, Alirio Cavalcanti de Brito<sup>2</sup>, Leonel Fernando Perondi.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil

Aluno de Doutorado do curso de Engenharia e Tecnologia Espaciais, Área de Concentração em Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais - CSE.

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil

Inaldo.albuquerque@inpe.br

---

**Resumo.** *Este artigo propõe um processo de seleção e de customização de requisitos de garantia do produto aplicado a missões espaciais de pequeno porte, objetivando ganhos em tempo de fabricação, escopo ou custo, sem que com isso incorra aumento no risco de execução do projeto. O processo proposto não afeta o objetivo de que a missão cumpra seus requisitos e seja realizada com sucesso. De modo a garantir um ciclo de vida com a confiabilidade especificada, toda missão espacial exige requisitos de garantia do produto adequados para que os riscos e custos do programa situem-se em níveis predefinidos. Propõe-se uma abordagem em que missões sejam classificadas conforme a margem aceita para o risco de execução do projeto, definida por stakeholders. Uma vez definidas as classes de risco de missões, efetua-se um exercício de alocação dos requisitos referentes às diversas disciplinas da garantia do produto a cada classe, compatível com a margem de risco aceita para a missão.*

---

**Palavras-chave:** Seleção de Requisitos de Garantia do produto; Satélite pequeno porte; Satélite médio porte; Confiabilidade de missões espaciais; Garantia do Produto.

### 1. Introdução

A garantia do produto, juntamente com a engenharia de sistemas e o gerenciamento de projetos, constituem-se em disciplinas essenciais para o desenvolvimento de sistemas para missões de aplicação crítica. Os requisitos da garantia do produto desempenham papel essencial no desenvolvimento do produto. Se definidos de forma correta e consistente, garantem que o produto seja seguro e confiável.

Missões espaciais são, normalmente, classificadas em categorias, tomando-se um de seus parâmetros definidores como referência para a classificação. Os parâmetros custo e massa são os de maior uso para classificações. Neste trabalho, faremos uso do parâmetro massa e proporemos, na Seção 3.1, uma classificação de missões espaciais em missões de pequeno, médio e grande portes.



Os requisitos definidos para uma missão espacial podem, igualmente, ser classificados em categorias. Há grande variedade de propostas de classificação, que diferem por autor e padrão de referência, conforme Kramer e Cracknell (2008) e Weeden (2010). De forma geral, a maioria dos esquemas de classificação distingue os *requisitos de garantia do produto*, que, por sua vez, podem ser classificados em: (a) *requisitos associados ao produto*, tais como, desempenho, disponibilidade, confiabilidade, escalabilidade e portabilidade, entre outros; e (b) *requisitos associados a processos de execução do projeto*, tais como, controle de configuração, controle de mudanças, controle de partes, materiais e processos, gerenciamento de risco, gerenciamento do ciclo de vida do projeto, entre outros. Na Seção 3.2, é abordada a categorização de requisitos.

Efetuada-se a customização dos requisitos de garantia do produto associados à execução do projeto, como os exemplificados acima, é possível, em princípio, gerar ganhos na redução de custo e de prazo de fabricação, desde que não ocorram não-conformidades impactantes durante as fases de verificação de sistema, subsistemas e equipamentos<sup>1</sup>. A pesquisa realizada mostra que para missões de pequeno porte, por envolverem, normalmente, baixos custos e tempos de desenvolvimento mais exíguos, há, em princípio, margem para a implementação de uma estratégia como esta. Nas Seções 3.2 e 3.3, é discutido um processo que busca implementar esta estratégia.

O objetivo do trabalho é mostrar a possibilidade de que se definam classes de missões, em função do nível de exposição ao risco do tempo de fabricação e custo, e se elabore um processo para a seleção de requisitos da garantia do produto correspondentes a cada classe, de forma a se obter eventuais ganhos na redução de custo e de tempo de fabricação, no desenvolvimento de missões correspondentes à classe em questão. Este artigo se concentra na seleção e na customização dos requisitos das disciplinas da garantia do produto, alocados à classe de missões de pequeno porte.

A Seção 4 apresenta um sumário e as conclusões da presente pesquisa.

## 2. Metodologia

A metodologia utilizada nesta pesquisa organiza-se em quatro etapas, descritas a seguir:

- a) **definição do problema** –inexiste uma metodologia para a seleção dos requisitos da garantia do produto para satélites de pequeno e médio portes;
- b) **pesquisa bibliográfica** - efetua-se pesquisa bibliográfica sobre a classificação de missões espaciais e sobre requisitos de garantia do produto para sistemas espaciais;
- c) **desenvolvimento de proposta para classificação de missões espaciais** – será realizado um trabalho de justificativa e definição das classes de satélites e alocação de requisitos de qualidade; nesta fase do trabalho, será utilizada uma ferramenta denominada de multicritério de decisão (MCDA), a qual aplica-se a situações em que vários critérios conflitantes precisam ser avaliados para que se possa efetuar uma escolha entre múltiplas alternativas;

---

<sup>1</sup> Parte ascendente do diagrama em V, referência da engenharia de sistemas.



- d) **aplicação da metodologia a um estudo de caso** – pretende-se avaliar o modelo de seleção de requisitos da garantia do produto para satélites de pequeno porte, efetuando-se um estudo de caso dentre as missões desenvolvidas no INPE.

### 3. Discussão

#### 3.1. Classificação de Missões Espaciais

Existem vários estudos sobre a classificação de missões espaciais em categorias, entre os quais citam-se, como exemplos, Weeden (2010), Capó-Lugo e Bainum (2011), Encyclopedia of Science (2015), Wikipedia (2015). Pessota (2018), tomando a massa do satélite como referência, efetuou uma comparação entre as diversas classificações, apresentando, como resultado de seu estudo, a classificação apresentada na Tabela 1.

**Tabela 1. Classificação conforme a massa, como proposta por Pessota (colunas 1 e 2) e classificação proposta nesta pesquisa (coluna 3) . Fonte: Pessota, (2018).**

(1) Classificação	(2) Massa (kg)	(3) Presente Pesquisa
Satélites Grandes	> 1.000	Grande Porte
Satélites Médios	500 - 1.000	Médio Porte
Minisatélites/Satélites Pequenos	100 – 500	
Microsatélites	10 – 100	Pequeno porte
Nanosatélites	1 – 10	
Picosatélites	0,1 - 1	
Femtosatélites	< 0,1	

Para os objetivos do presente artigo, que busca ilustrar um método para a seleção de requisitos para missões com satélites de pequeno porte, far-se-á uso de uma classificação simplificada, com três classes, como ilustrado na coluna à direita, na Tabela 1.

Observa-se que, no âmbito das missões desenvolvidas pelo INPE, as missões do Programa CBERS (CBERS 1, 2, 2B, 3, 4 e 04A) são classificadas como de porte grande. Já as missões dos Programas EQUARS e AMAZONIA-1 são classificadas como de porte médio e as missões do Programa MECB SCD (SCD 1 e 2), assim como SACI e SATEC são classificadas como de pequeno porte.



### 3.2. Atuação sobre Requisitos de Missões Espaciais

Nesta seção, é discutida a categorização de requisitos.

Pesquisas realizadas sobre a causa de falhas em projetos têm mostrado, de forma sistemática, que o tratamento de requisitos se encontra entre os principais fatores que determinam o sucesso ou a falha de um projeto. Cita-se, como exemplo, pesquisa quantitativa que identificou entre sete causas principais duas relacionadas a requisitos, a saber: descrição incompleta de requisitos e alterações de requisitos ao longo do projeto (Standish Group, 1995).

Este e outros estudos indicam a extrema importância que deve ser atribuída ao tratamento de requisitos em projetos. Indicam, também, que quaisquer alterações que sejam propostas para o tratamento de requisitos, diversas daquelas recomendadas por padrões ou conjuntos de boas práticas, como o objeto tratado neste artigo, devem ser abordadas com grande cautela, sob pena de induzirem resultados contrários aos pretendidos

A pesquisa realizada neste trabalho toma por base as diretivas para tratamento de requisitos constantes do padrão ECSS.

A Tabela 2 apresenta a classificação dos principais requisitos típicos de um projeto em quatro categorias: Físicos, Técnicos, Usuários e Garantia do produto. A categorização de requisitos aqui utilizada é adaptada de Pessota (2018).

A primeira coluna indica as categorias acima definidas e a segunda coluna identifica os principais requisitos típicos de um projeto, já classificados conforme coluna 1. Trata-se de um exemplo para ilustrar a metodologia que vem sendo desenvolvida no âmbito da pesquisa realizada e exposta neste trabalho.

**Tabela 2. Mapeamento dos Requisitos do Produto**

Fonte: adaptado de Pessota, (2018)

MAPEAMENTO DOS REQUISITOS DO PRODUTO

REQUISITOS		GRANDE PORTE	MÉDIO PORTE	PEQUENO PORTE
Físicos	Massa	X	X	X
	Potência	X	X	X
Técnicos	Taxa de Dados	X	X	X
	Precisão			
Usuários	Missão	X	X	X
	Vida Útil	X	X	X
	Custo	X	X	MELHORAR
	Tempo de Fabricação	X	X	MELHORAR
Garantia do Produto	Materials e Processos	X	X	ATUAÇÃO
	Componentes EEE	X	X	
	Dependabilidade	X	X	
	Segurança	X	X	
	GP de Software	X	X	



As letras “X”, inseridas nos cruzamentos entre linhas e colunas, referentemente às colunas 3, 4 e 5, indicam a inexistência de margem para algum nível de “*tailoring*”, quando se consideram padrões ou conjuntos de boas práticas, para missões de grande, médio e pequeno portes. Assim, missões de grande e médio porte, não apresentariam, em princípio, margem para a customização de requisitos, ou seja, conforme o preconizado no padrão ECSS, não se conseguiu, no âmbito da presente pesquisa, divisar margem para alterações, em geral abrandamentos, que pudessem resultar em ganhos evidentes de custo, cronograma ou escopo.

Para missões de pequeno porte, porém, a pesquisa realizada indica a existência de margem para a customização de requisitos da categoria “Garantia do Produto”, sem que sejam violadas regras basilares, preconizadas no âmbito do padrão ECSS, de modo a propiciar ganhos sensíveis em termos de custo, cronograma e escopo.

Procurou-se indicar este fato na Tabela 2, atribuindo à interseção correspondente à categoria “Garantia do Produto” e missões de “Pequeno Porte” a identificação de “ATUAÇÃO”, indicando que a pesquisa realizada mostrou a possibilidade de customização destes requisitos, propiciando potenciais ganhos em termos de redução de custo e de tempo, indicados na Tabela 2 pelo termo “MELHORAR”. Observa-se que tais ganhos, porém, encontram-se condicionados à não ocorrência de não-conformidades de grande impacto, durante a fase de testes de verificação de sistema, subsistemas e equipamentos.

### 3.3. Processo para a Atuação sobre Requisitos de Garantia do Produto

Como apresentado na seção anterior, a pesquisa descrita neste trabalho indica a existência de margem para a alteração de requisitos da categoria “Garantia do Produto”, com possíveis ganhos no tempo, custo ou escopo de projetos em missões de pequeno porte.

Na literatura pesquisada, encontra-se uma ampla gama de definições para requisitos de qualidade, tais como “... (requisitos de qualidade) *descrevem os critérios necessários para garantir a conclusão dos produtos entregues ao projeto e que demonstrem a conformidade com as normas identificadas e as métricas de qualidade ...*” (PMI, 2020) e “... *Um requisito de qualidade é um requisito que diz respeito a atributos de qualidade que não está coberta por requisitos funcionais ... Os requisitos deste tipo são frequentemente classificados como requisitos não funcionais ...*” (Pohl, K., 2016). Ainda conforme este último autor, em sua descrição mais detalhada de requisitos de qualidade, encontram-se as seguintes caracterizações:

- *requisitos que definem a segurança do sistema, em particular com respeito à prestação de contas, autenticidade, confidencialidade e integridade;*
- *requisitos que definem a confiabilidade, em particular no que diz respeito à disponibilidade, tolerância a falhas e capacidade de recuperação;*
- *requisitos que definem a usabilidade de um sistema, em particular com em relação à acessibilidade, aprendizado e facilidade de uso;*
- *requisitos que definem a manutenção de um sistema, em particular no que diz respeito à reutilização, análise, alterabilidade e testabilidade;*



- *requisitos que definem a portabilidade de um sistema, em particular, em relação à adaptabilidade, instalação e substituição.*

No âmbito do padrão ECSS, são definidas disciplinas da *garantia do produto*, a saber: 1) Garantia da Qualidade; 2) Gerenciamento da garantia do produto; 3) Componentes Elétricos, Eletrônicos e Eletromecânicos (EEE); 4) Processos, Materiais, Partes Mecânicas; 5) Garantia do produto de Software; 6) Dependabilidade e 7) Safety. O padrão ECSS dedicado à Garantia do Produto apresenta em torno de 220 requisitos, distribuídos entre as disciplinas acima descritas (ECSS, 2016).

As variáveis de custo, tempo e escopo têm relação direta com a complexidade da documentação, ambiente de fabricação, nível de qualidade dos componentes, qualificação dos processos, entre outros. Quando se efetua a customização de requisitos da qualidade, com o objetivo de produzir ganhos em termos de tempo, custo e escopo, mesmo que esta ocorra dentro de margens que não resultem na violação de preceitos basilares, deverá ocorrer, em contrapartida, ou o relaxamento de requisitos associados ao produto, tais como desempenho, disponibilidade, confiabilidade, escalabilidade e portabilidade, ou daqueles associados à execução do projeto, tais como controle da configuração, controle de mudanças, controle de partes, materiais e processos, gerenciamento de risco, gerenciamento do ciclo de vida do projeto, entre outros.

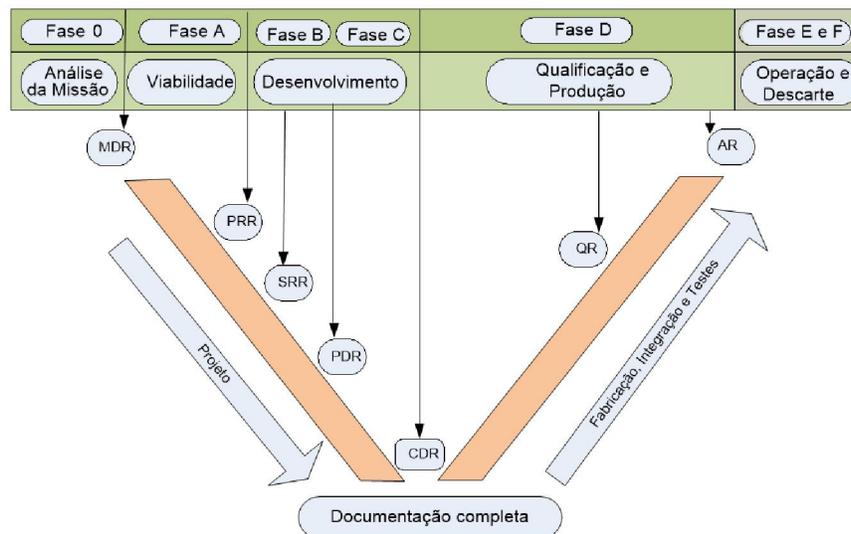
A metodologia proposta consiste, essencialmente, em uma “customização” de requisitos da garantia do produto associados à execução do projeto, para missões de pequeno porte, de modo a reduzir o custo, o tempo de fabricação ou o escopo da missão, sem comprometer o objetivo de que a missão cumpra seus requisitos e seja realizada com sucesso. Assim, a premissa básica para tais customizações de requisitos é a de que estas não afetem a confiabilidade do sistema, ou seja, devem preservar intacta a lógica de engenharia de sistemas, no sentido de que os requisitos de sistema, subsistemas e equipamentos sejam todos verificados através de testes, lógica esta que brevemente descrevemos a seguir.

O Modelo “V” associa as atividades de fabricação e testes às atividades de análise, projeto e verificação. Para cada requisito definido para o produto, existe uma verificação associada. Podemos observar que o lado esquerdo do modelo “V” indica onde é realizada a decomposição e definições de projeto, enquanto o lado direito do “V” indica onde será realizada a verificação, incluindo fabricação, integração e testes do produto. A conexão entre ambos os lados do modelo “V” implica que para cada definição de requisito no lado esquerdo existe uma verificação correspondente do lado direito, com a finalidade de demonstrar, objetivamente, que todos os requisitos foram incorporados ao produto. Este chamado modelo “V” é ilustrado na Figura 1 (Albuquerque, 2012). A customização de requisitos proposta nesta pesquisa não afeta esta lógica, mas somente os prazos e nível de documentação associados à execução do projeto.

Observa-se que a flexibilização de requisitos de execução de projeto, tais como, por exemplo, o controle de configuração ou o controle de partes, materiais e processos, como proposto, pode ter efeitos contrários aos esperados. Por exemplo, a diminuição do nível de documentação, através de simplificações no controle de configuração ou no de partes, materiais e processos, poderá redundar em custos e tempo adicionais, caso ocorra insucesso em testes de verificação de subsistemas e equipamentos. Mais especificamente, a



simplificação de documentação poderá dificultar a rastreabilidade de partes, materiais e processos, por exemplo, resultando em aumento de tempo e custos.



**Figura 1. Modelo “V” aplicado ao ciclo de vida de um projeto segundo o Padrão ECSS**  
Fonte: adaptado de Albuquerque, 2012.

A metodologia aqui apresentada tem, assim, como “*driver*” principal o nível de risco de “execução de projeto” que se queira incorrer, com respeito a seus tempo, custo e escopo. Como parte da metodologia, missões de pequeno porte serão, então, classificadas quanto a risco, conforme segue:

Classe A: o perfil Classe A representa missões desenvolvidas com risco mínimo, no que concerne a objetivos de missão, custo e prazos; lançam-se mão de todas as vias possíveis para reduzir a exposição da missão ao risco;

Classe B: o perfil de classe B representa missões desenvolvidas com risco baixo, em termos de objetivos de missão, custo e prazos; buscam-se, através da redução de aplicação dos padrões de garantia de missão, e compensações programáticas em termos de custo e prazo; para missões operacionais e de demonstração;

Classe C: o perfil de classe C representa missões a serem desenvolvidas com risco moderado, em termos de objetivos de missão, custo e prazo; transfere-se a carga de risco do contratante para as melhores práticas dos contratados; para missões exploratórias ou experimentais;

Classe D: o perfil D representa o perfil de risco mais alto para o desenvolvimento de missões com respeito a objetivos de missão, custo e prazo; nesta categoria enquadram-se as missões experimentais, com prazo de desenvolvimento de um ano ou menos.



### 3.4. Mapeamento de Requisitos da Garantia do Produto

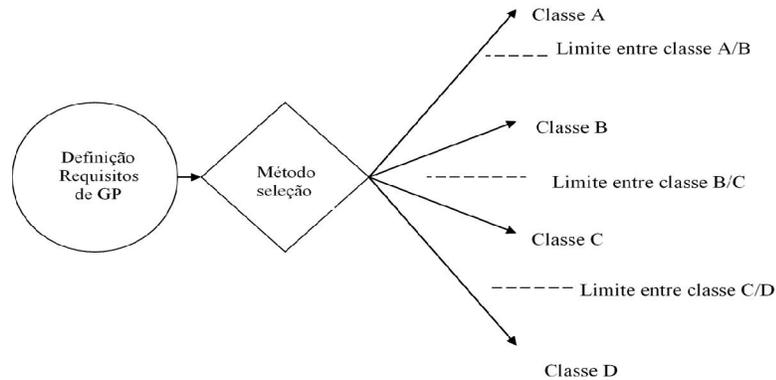
A Tabela 3 ilustra a primeira fase do processo de seleção de requisitos, através de um exemplo esquemático. A coluna à esquerda relaciona a totalidade dos requisitos da Garantia do Produto constantes do padrão ECSS (2016), enquanto as colunas 2 a 6 relacionam características associadas ao produto e as colunas 7 a 11 relacionam características associadas à execução do projeto. Em uma primeira triagem de requisitos, avalia-se para cada requisito o seu impacto sobre características do produto que possam afetar a missão, como aquelas listadas nas colunas 2 a 6. Neste exercício fictício, os requisitos R1 e R2 afetam características do produto e, portanto, não podem ser submetidos a “customização” com respeito a características associadas à execução do projeto, fato indicado pelo sombreadamento das células correspondentes. Já os requisitos R3 e R224, não afetam características associadas ao produto, mas têm repercussão sobre características associadas à execução do projeto e, portanto, podem ser submetidos a “customização”.

**Tabela 3. Seleção de Requisitos - Fonte: adaptado de ECSS, 2016**

(1)	(2) •desem- penho,	(3) disponibili- dade,	(4) •confiabili- dade,	(5) •escalabili- dade,	(6) •portabili- dade	(7) controle da configura- ção	(8) control e de mudan- ças	(9) controle de partes, materiais e processos	(10) geren- ciamento de risco,	(11) gerenciam- ento do ciclo de vida do projeto
R1	X									
R2		X								
R3						X	X		x	
...										
R224							x			x

Procedendo-se assim, obtém-se o conjunto de requisitos que podem, em tese, ser submetidos a “customização”, conforme a classificação da missão quanto a sua exposição ao risco relativamente à “execução de projeto”, como explanado em seções anteriores.

A Figura 2 ilustra, esquematicamente, o procedimento proposto para a customização, o qual, segundo proposta ainda em desenvolvimento, será efetuado utilizando uma técnica denominada “*Analytic Hierarchy Process*” (AHP), cujos principais elementos e sequência de ações são indicados na figura referida (Ishizaka, 2014).



**Figura 2. Variação do AHP para o processo de “customização” de requisitos.**

Estabelecer-se-ão, primeiramente, limites entre as classes. O círculo representa o conjunto de requisitos da Garantia do produto, o losango “Método de Seleção” significa o processo a ser utilizado para a seleção e customização de requisitos para cada classe de missão, para o que será usado uma derivação do AHP.

#### **4. Sumário e Conclusões**

O trabalho apresenta um modelo para a seleção e customização de requisitos da garantia do produto para missões de pequeno porte, objetivando eventuais ganhos em termos de custo, tempo e escopo associados à execução do projeto.

Como continuidade da presente pesquisa, espera-se disponibilizar um processo que possa ser aplicado a missões de Pequeno Porte, objetivando:

- a) a realização de um estudo de caso, com a aplicação do processo a uma missão dentre as desenvolvidos no INPE, no âmbito do programa espacial brasileiro para com isso validar a metodologia;
- b) sua implementação no INPE, em seus projetos, que, poderá vir a beneficiar o programa espacial brasileiro.

Por fim, o processo proposto será documentado, dispondo todas as disciplinas da garantia do produto e seus respectivos requisitos, para diferentes classificações de missões de pequeno porte. Tal material constituir-se-á em referência de utilidade para diferentes usos.

Espera-se que a aplicação do processo proposto proporcione uma seleção dos requisitos efetivamente necessários para cada classe de missão, evitando com isso, o uso de requisitos que demandem alto custo na implantação em satélites exploratórios, porém, sem que este procedimento redunde em comprometimento da confiabilidade da missão.



## Referências

Albuquerque, I.S. “**Modelo para o gerenciamento da configuração e gerenciamento da informação e documentação do programa espacial brasileiro**”, INPE, 2012.

Capó-Lugo, P. A.; Bainun, P. M. **Orbital mechanics and formation flying: a digital control perspective**. Cambridge, UK: Woodhead Publishing Limited, 2011. 438p. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=GyJtAgAAQBAJ&printsec=copyright#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 10 jul. 2020.

**ECSS-Q-ST-10C: “Space product assurance - Product assurance management”**. Noordwijk, The Netherlands: ESA–ESTEC, Requirements & Standards Division, 2016.

ENCYCLOPEDIA OF SCIENCE. **Satellite mass categories. 2015**. Disponível em: [http://www.daviddarling.info/encyclopedia/S/satellite\\_mass\\_categories.html](http://www.daviddarling.info/encyclopedia/S/satellite_mass_categories.html). Acesso : 27 jul. 2020.

Ishizaka, A., Nemery, P., Pearman, C. “**AHPSort: an AHP- based method for sorting problems**”, 2014.

Kramer, H. J.; Cracknel, A. P. “**An overview of small satellites in remote sensing**”. International Journal of Remote Sensing, v. 29, n. 15, p. 4285– 4337, 2008. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/01431160801914952>. Acesso em: 10 jul. 2020.

Pessota, F, A. “**Uma estratégia para tratamento de falhas sistêmicas (FDIR) em ACDHS de satélites de pequeno e médio porte**”, 2018.

PMI, “**Project Management Institute**” Disponível em: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Project\\_Management\\_Institute](https://pt.wikipedia.org/wiki/Project_Management_Institute). Acesso em 17 jul de 2020.

Pohl K.; Rupp, Chris “**Requirements Engineering Fundamentals Exam Foundation Level / IREB compliant**”, Rocky nook, 2016. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=1VsUDgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT38&dq=requirements+engineering+fundamentals+klaus+pohl&ots=vyhZ5OQecf&sig=WqkXa4V2XZwDHR829bdRxUV14Go#v=onepage&q&f=false> : Acesso em 20 jul 2020

Standish Group,). Disponível em: <https://www.csus.edu/indiv/r/rengstorffj/obe152-spring02/articles/standishchaos.pdf>, 1995.

Weeden, B. “**Small satellite space traffic management**”. In: Beijing Orbital Debris Mitigation Workshop, 2010, Beijing, China. Events.... Disponível em: [http://swfound.org/media/99980/Weeden-Smallsat\\_STM.pdf](http://swfound.org/media/99980/Weeden-Smallsat_STM.pdf). Acesso em: 10 jul 2020.

Wikipedia. “**Miniaturized satellite**”. 2015. Disponível em: [https://en.wikipedia.org/wiki/Miniaturized\\_satellite](https://en.wikipedia.org/wiki/Miniaturized_satellite). Acesso em: 10 jul. 2020.