



Métodos de Priorização dos Resultados da FMECA

Ângela Antunes Dias de Oliveira¹, Silvio Manea², Ana Paula de Sá Santos Rabello³.

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil.

Aluna de Mestrado do curso de Engenharia e Tecnologia Espaciais/ Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais - CSE.

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil.

Divisão de Sistemas Espaciais - DISEP / - CGCE.

³ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil.

Divisão de Sistemas Espaciais - DISEP / - CGCE.

eng.angelaantunes@gmail.com

Resumo. A Dependabilidade (neste trabalho composta pelas métricas Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade) de produtos complexos requer avaliações e melhorias contínuas antecipadas para as fases de desenvolvimento do projeto através de análises e tomadas de decisões com base na experiência acumulada. O emprego dos processos de Engenharia e Garantia da Dependabilidade, auxiliam na redução de retrabalhos, evitando os custos indesejados, revisão do cronograma inicial e impactos negativos na qualidade. A FMEA/FMECA (Failure Mode and Effects Analysis/ Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis) é uma das ferramentas utilizadas, que visa detectar todos os modos de falha em potencial e seus efeitos, com o objetivo de eliminar ou minimizar as falhas de maior severidade. O objetivo deste artigo é apresentar os métodos de priorização dos resultados da FMECA no contexto da Dependabilidade.

Palavras-chave: Dependabilidade; Confiabilidade; FMEA/FMECA.

1. Introdução

De acordo com Verdi e Toledo (2002) a qualidade sempre foi designada por meio de ação reativa e inspeção nas fases de execução, e não por aplicações proativas de prevenção conforme os conceitos do moderno gerenciamento.

Santiago (2004) descreve que o *Design Excellence* utiliza os conceitos do Seis Sigmas para reduzir a variabilidade (que pode ser considerada como causa de falha), e *Lean* que visa reduzir o desperdício (que pode ser considerado como efeito da falha) e melhorar o fluxo de valor. É uma metodologia sistemática utilizada por indústrias médicas, farmacêuticas, automotivas que tem por objetivo identificar áreas críticas para oportunidade de melhorias visando resultado de excelência com ciclos de desenvolvimento menores e custo reduzido. Mullin (2013), afirma que as probabilidades de ocorrências de falhas, muitas vezes são negligenciadas, e conseqüentemente são



devastadoras para o projeto. A utilização de processos para auxílio de análise de possíveis modos de falhas pode contribuir muito na fase do desenvolvimento de projeto, pois conforme Rabello (2017), nessa fase os custos de alterações e modificações são menores e os impactos no cronograma são mais facilmente ajustados. A Figura 1 apresenta um gráfico dos custos de um projeto.

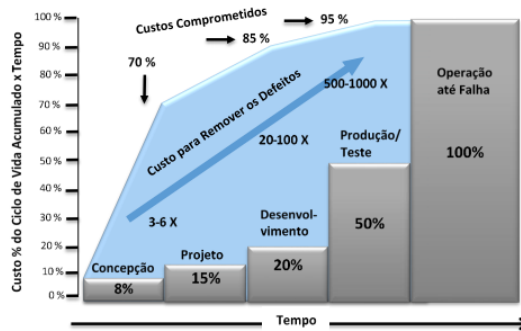


Figura 1 – Custos de um Projeto durante o Ciclo de Vida
Fonte: Rabello (2017).

Os autores acima citados reforçam a relevância dos processos para a melhoria da Dependabilidade e Qualidade dos Produtos, iniciados no desenvolvimento do projeto, principalmente para os projetos complexos como os de satélites. A *European Space Agency* (ESA) estabelece uma padronização para a Dependabilidade na série ECSS-Q-ST-30 (ECSS, 2017) cujas principais métricas são Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade. A *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) apresenta a série de norma 8000 para Segurança, Qualidade, Confiabilidade e Capacidade de Manutenção e NASA-SDT-8729 especificada para R&M (NASA, 2017).

Neste trabalho é apresentada uma bibliografia, enfatizando as proposições de métodos de priorização para os resultados da FMECA no contexto da Dependabilidade. Os resultados dessa pesquisa farão parte da Dissertação de Mestrado (em andamento) da autora principal.

2. Conceitos Gerais e Definições

Os conceitos abaixo descritos são pertinentes a esse artigo e visam esclarecer os termos empregados.

a) FMEA/FMECA

A FMEA é uma técnica analítica utilizada nas mais diversas áreas para avaliação da confiabilidade. De acordo com CHEN (2012), a FMEA originou-se dos Estados Unidos por volta de 1950, publicada na *Military Standard MIL-STD-1629*.

Foi nomeada "Modo de Falha e Análise de Efeito" para desenvolver o primeiro sistema de controle de voo. Neste período, apesar da realização somente da análise do modo de falha e seu efeito, sem a determinação da criticidade, ainda alcançou bons resultados.

Chen (2012) descreve que a FMEA examina a falha potencial, os modos de falha de um sistema e seus equipamentos nas suas estruturas funcionais e físicas durante projeto,



processo de fabricação e no uso. Analisa cada modo de falha, seus efeitos e identifica os potenciais pontos fracos propiciando medidas de melhorias e planos de design, de modo a melhorar a confiabilidade do produto.

A FMECA é uma versão da FMEA complementada pela análise da Criticidade. Segundo ROSS e ROSA (2013), apesar de ambas serem consideradas eficazes no tratamento de falhas existem propostas para alterações referentes aos métodos de priorização, uma vez que estes são suscetíveis às restrições para cada segmento de aplicação.

A ECSS-Q-ST-30-02C (ECSS-2009) apresenta uma proposta de implementação da FMEA/FMECA por hierarquia do produto ou processo, no sentido de baixo para cima a partir do elemento até o produto ou processo em análise, em outros termos, do componente para o subsistema, e do subsistema para o sistema (e vice-versa). As definições dos itens são usualmente elaboradas pelos responsáveis por implementar a ferramenta podendo ser avaliadas pelos participantes e pré- estabelecidos de acordo com a relevância no sistema em análise.

A FMEA é uma análise qualitativa, enquanto a FMECA quantitativa, podendo ser utilizada para a priorização dos resultados. A Figura 2 apresenta um exemplo de formulário com conteúdo básico para a FMEA/FMECA, seguido pela descrição requerida em cada campo.

FMECA								
FMEA							Número de Criticidade	
FALHA ①				Classificação de Severidade	Classificação Ocorrência	Método de Detecção		
Item	Modo	Causa	Efeito				⑥	⑦
②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	

Figura 2- Modelo de formulário FMEA/FMECA

[Fonte: autor]

1. Falha: descrição do evento que resulta na incapacidade de execução da função;
2. Item: referente a cada modo (ou efeito) de falha;
3. Modo de falha: descrição do problema, da preocupação;
4. Causa da falha: descrição da razão da falha;
5. Efeito da falha: descrição das consequências que surgem causadas pelos modos de falha;
6. Severidade: é o meio de classificação da consequência de uma falha no pior caso (Maior a severidade, maior é o índice atribuído);
7. Ocorrência: é a probabilidade do surgimento da causa da falha (Maior a ocorrência, maior é o índice atribuído);
8. Detecção: é um valor que mostra a eficiência dos controles de detecção da falha (Menor é a capacidade de Detecção, maior é o índice atribuído);



9. Número de Criticidade (NC): é o índice final de classificação derivado da avaliações dos itens em análise.

O Método Tradicional de obtenção do NC é através do cálculo do *Risk Priority Number* (RPN), através do produto dos Índices de Ocorrência, Severidade e Detecção, descrito na equação (1).

$$RPN = I_{(Ocorrência)} \times I_{(Severidade)} \times I_{(Detecção)} \quad (1)$$

b) Dependabilidade

Porto e Souza (2016) citados por Reis-Aranha (2018) definem Dependabilidade como:

- Uma métrica utilizada para nortear tomadas de decisões do projeto;
- Uma métrica vetorial composta por outras métricas escalares de atributo que forem importantes para a tomada de decisão em questão.

Para esse trabalho Dependabilidade é uma métrica composta pelas métricas Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade.

c) Confiabilidade

A NASA (2015) descreve a Confiabilidade (*Reliability*) como a probabilidade de um item (por exemplo, sistema, subsistema ou componente) desempenhar sua função pretendida sem falha por um determinado período de tempo (ou número de demandas ou carga) sob condições ambientais estabelecidas. Em outras palavras, Confiabilidade é a probabilidade de um item estar em um estado de tempo de atividade (ou seja, totalmente operacional ou pronto para executar) para uma missão declarada.

A ECSS (2012) apresenta em nota que em muitas aplicações, ocorre à quantificação de medidas que incluem uma expressão do desempenho de Confiabilidade ou a própria probabilidade, também denominada Confiabilidade.

d) Disponibilidade

Rabello (2017) descreve que a Disponibilidade é a probabilidade de um item realizar as suas funções corretamente quando for solicitado. A mesma autora considera que a Disponibilidade é um critério de desempenho para itens reparáveis, que representa tanto as propriedades de Confiabilidade como as de Manutenibilidade.

e) Manutenibilidade

Segundo Rabello (2017) a Manutenibilidade é a probabilidade da efetiva manutenção de um item, dentro de um intervalo de tempo determinado, sob condições estabelecidas e usando procedimentos e recursos prescritos.

3. Metodologia

A metodologia apresentada neste trabalho tem como base a revisão da literatura com relação ao estado da arte da Dependabilidade. A seleção do processo de elaboração da FMEA/FMECA para o desenvolvimento da Dissertação (em andamento) da autora principal desse trabalho tem como referência a Tese de Rabello (2017), onde é



apresentado um estudo dos processos referentes à Engenharia de Sistemas (INCOSE), Gerenciamento de Projetos (PMBOK), Engenharia da Dependabilidade e Garantia da Dependabilidade (ECSS). Rabello (2017) selecionou e adaptou, dentre todos os processos estudados, um conjunto de processos propostos para aplicação às atividades do INPE com o objetivo de melhorar a Dependabilidade de sistemas espaciais.

Neste artigo é apresentada uma breve introdução de três métodos de priorização. O primeiro é o método do RPN, descrito na seção 2 e exemplificado na seção 4.1, denominado Método Tradicional. O segundo é o Método Gráfico com exemplificação na seção 4.2. O terceiro método é o Método baseado na teoria de Grey apresentado na seção 4.3.

4. Resultados e Discussão

4.1 Método Tradicional

CAVALCANTE *et all* (2007) afirmam que as avaliações presentes nos índices I_O (ocorrência), I_D (detecção) e I_S (severidade) permitem apenas comparações do tipo maior, menor ou igual e não consideram as relações lógicas na análise das três dimensões.

Um exemplo do Método Tradicional para FMECA, que calcula o RPN, é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Exemplo cálculo RPN

Item	SEVERIDADE	OCORRÊNCIA	DETECÇÃO	RPN
1	8	3	5	120
2	5	5	5	125

[Fonte: autor]

Na análise do resultado pelo Método Tradicional o Item 2 é considerado prioritário em relação ao Item 1, porém se a análise considerar uma abordagem em que a Severidade é mais relevante essa indicação torna-se inadequada, limitando esse método.

4.2 Método Gráfico

O segundo é o Método Gráfico apresentado por Ross e Rosa (2008) onde o índice de ocorrência de um modo de falha é identificado no o eixo vertical e a severidade de um modo de falha no eixo horizontal. Neste gráfico são definidas três áreas de prioridades: alta indicada pela cor vermelha (A), média pela cor amarela (M) e baixa pela cor verde (B). Para exemplificar são apresentados os mesmos dados da Tabela 1 utilizados na exemplificação do Método Tradicional.

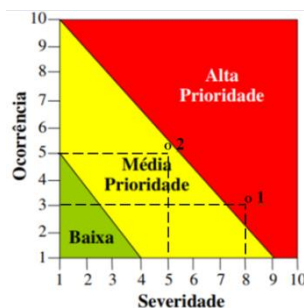


Figura 3 Modelo Gráfico de Priorização

[Fonte: Roos e Rosa (2008)]



Na análise do resultado pelo Método Gráfico o Item 1 (S=8 e O=3) está na área vermelha de prioridade alta (A), mais Crítico do que o Item 2 (S=5 e O=5) apontado na área amarela de prioridade média (M), atendendo, nesse exemplo, a uma abordagem que prioriza a Severidade, que é o oposto do que apresentado no exemplo do Método Tradicional.

4.3 Método baseado na teoria de Grey

O terceiro dispõe o método baseado na teoria de Grey cuja priorização é feita através de uma mensuração para analisar a relação entre séries qualitativas e quantitativas discretas. Segundo Bonanomi *et all* (2010), a abordagem é baseada pelo nível de similaridade e variabilidade entre todos os fatores para estabelecer sua relação, permitindo após análise fazer previsões e tomada de decisão.

Bonanomi *et all* (2010), Ross e Rosa (2008) apresentam o processo do Método baseado na teoria de Grey. No primeiro passo inicia-se o cálculo da diferença da matriz (X), onde O é índice de ocorrência, o S é o índice de severidade e D é o índice de detecção dos seus respectivos modos de falha, subtraída da matriz (Y) com os menores índices de ocorrência de falhas (Om), severidade (Sm), e detecção (Dm) das tabelas de referência da FMECA, resultando na matriz (Z).

$$X = \begin{bmatrix} O1 & S1 & D1 \\ O2 & S2 & D2 \\ \dots & \dots & \dots \\ On & Sn & Dn \end{bmatrix} \quad Y = \begin{bmatrix} Om & Sm & Dm \\ Om & Sm & Dm \\ \dots & \dots & \dots \\ Om & Sm & Dm \end{bmatrix} \quad Z = \begin{bmatrix} \Delta O1 & \Delta S1 & \Delta D1 \\ \Delta O2 & \Delta S2 & \Delta D2 \\ \dots & \dots & \dots \\ \Delta On & \Delta Sn & \Delta Dn \end{bmatrix} \quad (2)$$

No segundo passo, Bonanomi *et all* (2010), Ross e Rosa (2008) descrevem cálculos dos pesos relativos γ a serem representados na matriz (M), onde os valores de β são constantes derivadas da Equação 4, onde o ϵ é um identificador que apenas afeta o valor relativo do risco, sem que a priorização de modos ou causas de falhas sejam afetadas, em geral assumindo um valor de 0,5 cuja especificação é estabelecida entre 0 e 1. Os valores de Δ_{min} e Δ_{max} são retirados da matriz Z.

$$\gamma_{O1} = \frac{\beta}{|\Delta O1 + \epsilon + \Delta_{MAX}} \quad (3)$$

$$\beta = \Delta_{MIN} + \xi \times \Delta_{MAX} \quad (4)$$

Os demais pesos relativos γ devem ser calculados para todos os outros valores de Severidade, Ocorrência e Detecção para a matriz (M), da equação (5)

$$M = \begin{bmatrix} \gamma_{s_1} & \gamma_{o_1} & \gamma_{d_1} \\ \gamma_{s_2} & \gamma_{o_2} & \gamma_{d_2} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \gamma_{s_i} & \gamma_{o_i} & \gamma_{d_i} \end{bmatrix} \quad (5)$$



No próximo passo é definido o grau de relação (C_i) para o modo de falha da Equação 6, onde α_1 , α_2 e α_3 são pesos maiores ou igual a zero atribuídos aos índices de Severidade, Ocorrência e Detecção respectivamente Equação 7.

$$C_i = \gamma_s \times \alpha_s + \gamma_o \times \alpha_o + \gamma_d \times \alpha_d \quad (6) \quad \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1 \quad (7)$$

No último passo é estabelecido o grau de relação entre os índices de Severidade, Ocorrência e Detecção, apresentado na matriz N (equação 8).

$$N = \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_i \end{bmatrix} \quad (8)$$

Segundo Bonanomi *et all* (2010), Ross e Rosa (2008) a priorização é estabelecida a partir dos graus de relação apresentadas na matriz N, cujo menor grau de relação corresponde ao maior efeito do modo de falha.

4.4 Aplicação dos métodos

Elaborado em planilha eletrônica, a Tabela 2 apresenta um exemplo de três métodos: o tradicional (RPN), o Gráfico, e o baseado na teoria de Grey. A coluna X apresenta os índices atribuídos a Severidade, Ocorrência e Detecção utilizados nos três métodos, cujos resultados da priorização são ordenados e alocados nas colunas iniciadas com o símbolo # (a coluna “Item” é referente a cada modo (ou efeito) de falha avaliado). A Figura 04 apresenta um exemplo do Método Gráfico também elaborado na planilha eletrônica, onde os 15 itens são alocados de acordo com seus valores de Severidade e Ocorrência. Para possibilitar uma comparação entre os três métodos, na Tabela 2, considera-se o valor igual a 1 para os Itens alocados na área vermelha (alta criticidade (A)), e valor igual a 7 para os Itens alocados na área amarela (Média criticidade (M)) e valor igual a 15 para os Itens alocados na área verde (Baixa criticidade (B)). No exemplo do Método baseado na teoria de Grey foram atribuídos os valores de α Severidade igual a 0,6; α Ocorrência igual a 0,3 e α Detecção igual a 0,1.



Tabela 2 – Exemplo de Aplicação de três Métodos

Item	Método R P N					Método Gráfico		Método baseado no teorema de Grey											
	X			RPN	# RPN	classe	# Graf.	Y			Z			M			N	# Grey	
	Severidade	Ocorrência	Deteção					Severidade	Ocorrência	Deteção	Severidade	Ocorrência	Deteção	Severidade	Ocorrência	Deteção	Grau de Relação		
1	7	4	6	168	9	A	1	1	1	1	6	3	5	0,414	0,522	0,444	0,449	11	
2	9	7	6	378	2	A	1	1	1	1	8	6	5	0,364	0,414	0,444	0,387	2	
3	3	6	4	72	14	M	6	1	1	1	2	5	3	0,571	0,444	0,522	0,528	14	
4	8	6	8	384	1	A	1	1	1	1	7	5	7	0,387	0,444	0,387	0,404	3	
5	7	7	3	147	11	A	1	1	1	1	6	6	2	0,414	0,414	0,571	0,430	6	
6	9	8	5	360	3	A	1	1	1	1	8	7	4	0,364	0,387	0,480	0,382	1	
7	3	3	6	54	15	M	6	1	1	1	2	2	5	0,571	0,571	0,444	0,559	15	
8	6	7	6	252	5	A	1	1	1	1	5	6	5	0,444	0,414	0,444	0,435	8	
9	7	4	9	252	6	A	1	1	1	1	6	3	8	0,414	0,522	0,364	0,441	9	
10	7	7	4	196	7	A	1	1	1	1	6	6	3	0,414	0,414	0,522	0,425	5	
11	4	4	6	96	13	M	6	1	1	1	3	3	5	0,522	0,522	0,444	0,514	13	
12	7	6	4	168	10	A	1	1	1	1	6	5	3	0,414	0,444	0,522	0,434	7	
13	8	6	4	192	8	A	1	1	1	1	7	5	3	0,387	0,444	0,522	0,418	4	
14	5	8	7	280	4	A	1	1	1	1	4	7	6	0,480	0,387	0,414	0,446	10	
15	5	7	4	140	12	A	1	1	1	1	4	6	3	0,480	0,414	0,522	0,464	12	

[Fonte: Adaptado de Bonanomi (2010)]

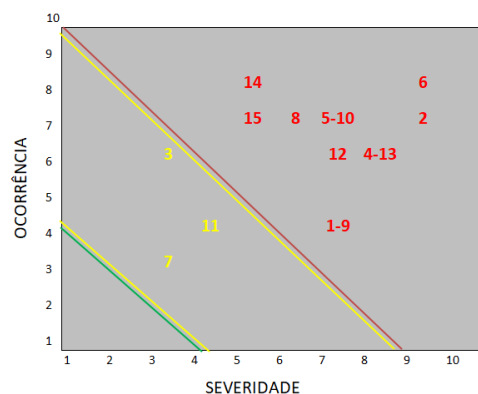


Figura 4 Modelo Gráfico de Priorização
[Fonte: Roos e Rosa (2008)]



O método RPN permite uma lista gradual em que se pode priorizar as tomadas de decisão de forma mais precisa, além da simplicidade de execução, requer apenas o cálculo do produto dos três índices $S \times O \times D$, a classificação e enumeração do resultado, entretanto não permite atribuir um peso aos índices da análise.

O resultado do Método Gráfico apresenta os Itens de priorização em forma de patamar por possuir apenas três classificações, a alta (A), a média (M) e a baixa (B), sem condições para uma classificação gradual.

O método baseado na teoria de Grey assim como o método Tradicional (determinação do RPN), apresentam uma lista de classificação de prioridade de forma gradual, e apesar dos cálculos mais complexos que os demais, a execução é facilitada pelo emprego da ferramenta eletrônica que desenvolve as matrizes e os demais cálculos de forma muito simples. Outra facilidade é a possibilidade de simulação de vários resultados após a variação dos pesos atribuídos a Severidade, Ocorrência e Detecção durante o desenvolvimento do método.

Em uma análise comparativa, verificando a ordenação dos resultados de cada método, observa-se que existem pequenas variações entre o Método Tradicional e o Método baseado na teoria de Grey. Entre ambos e o Método Gráfico as variações são maiores. Por exemplo, o Item 1 se encontra ordenado na 9ª posição no Método Tradicional (#RPN) e na 11ª posição no Método baseado na teoria de Grey (#Grey), enquanto que no Método Gráfico é considerado na área de alta prioridade atribuído na 1ª posição (#Gráfico) juntamente com mais 11 itens.

4. Conclusão

Esse trabalho teve como objetivo apresentar as questões que envolvem os métodos de priorização dos resultados obtidos na FMECA, suportadas pela motivação da importância dessa técnica no contexto da Dependabilidade. Levantou questões referentes à importância da escolha do método de priorização, que podem ser mais exploradas com novos estudos, acrescentando novos métodos, variações dos pesos conforme a necessidade, e até mesmo outras características referentes ao efeito da falha.

Espera-se durante o desenvolvimento da Dissertação de Mestrado da autora principal (em andamento), explorar as diferentes propostas para a priorização dos resultados da FMECA, e propor um processo para elaboração dessa análise em projetos de sistemas espaciais e de áreas afins, com objetivo de melhorar a utilização dos resultados.

Referências

AGUIAR, D.C. Modelo Conceitual para a Aplicação de FEMA de Processo na Indústria Automotiva. 2016 Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica na área de Gestão e Otimização- Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá.

BONANOMI, R.C.; Silva, W.V.; Carso, J.M.D.; Duclós, L.C.s Duclós – Aplicação da Teoria de Grey e FMEA – Análise dos modos de Falha e Efeitos na Priorização de Risco de Projetos de Desenvolvimento de Software Produto. 2010 Revista de Gestão Industrial Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/revistagi/article/view/678> acesso em: 12/10/2021.

CAVALCANTE, FERREIRA, BRITO E ALMEIDA Modelo Multicritério para Priorização de Causas de Falhas: Uma Crítica ao FMECA (2007) XXXIX SBPO – A pesquisa Operacional e o Desenvolvimento Sustentável Disponível em <https://docplayer.com.br/7987446-Modelo-multicriterio-para-priorizacao-de>



causas-de-falha-uma-critica-ao-fmea.html acesso em: 11/10/2021. CHEN, Y; Ye, C. Liu, B. Kang, R. Status of FMECA Research and Engineering Application, (2012) Beihang University, Beijing, China (2012) IEEE.

Disponível : <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=6228914> acesso em: 10/10/2021

DEPARTMENT ODF DEFENSE, Military Handbook, Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis. MIL-STD-1629A 1980 Washington DC, 1980.

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION (ECSS). ECSS-Q-ST-30-02C Space Product Assurance – Dependability. 2017. Disponível em: <https://ecss.nl/standard/ecss-q-st-30c-rev-1-space-product-assurance-dependability-15-february-2017/> acesso em: 10/10/2021.

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION ECSS-Q-ST-30-02C space product assurance - failure modes, effects (and criticality) analysis (FMEA/FMECA). 2009. Disponível : <http://everyspec.com/ESA/download.php?spec=ECSS-Q-ST-30-02C.048273.pdf> acesso em: 10/10/2021.

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION ECSS-M-ST-10C Rev.1 Space Project Management. 2009. Disponível : <https://ecss.nl/standard/ecss-m-st-10c-rev-1-project-planning-and-implementation/> acesso em : 10/10/2021

MULLIN, D.R. Failure Modes ,Effects and Criticality Analysis, na Underutilized Safety, Reliability, Project Management and Systems Engineering Tool. 2013 Disponível em : <http://articles.adsabs.harvard.edu/pdf/2013ESASP.715E..94M> acesso : 06/10/2021

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. NASA Technical Handbook – NASA Reliability and Maintainability (R&M) Standard for Spaceflight and Support Systems -- NASA-STD-8729.1 Rev.:A – june 2017.

RABELLO, A.P.S. Um Novo Processo para Melhorar a Dependabilidade de Sistemas Espaciais entre as fases de Planejamento e Projeto Detalhado incluindo Extensões do Diagrama de Markov (DMEP) e da FMECA (FMEP) a Projetos. . 2017 (sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/11.07.17.54-TDI).2017. Tese de Doutorado em Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

REIS-ARANHA, P. R.; SOUZA, M. L. O.; RABELLO, A. P. S. S. Metodologia proposta para detalhar, implementar e comparar um processo para melhorar a Dependabilidade de sistemas espaciais. In: WORKSHOP EM ENGENHARIA E TECNOLOGIA ESPACIAIS, 9. (WETE), 2018, São José dos Campos. Anais... São José dos Campos: INPE, 2018. On-line. ISSN 2177-3114. IBI: <8JMKD3MGPDW34R/3S2EM5H>. Disponível em: <<http://urlib.net/ibi/8JMKD3MGPDW34R/3S2EM5H>>.

ROOS e ROSA (2013) FERRAMENTA FMEA: ESTUDO COMPARATIVO ENTRE TRÊS MÉTODOS EPRIORIZAÇÃO http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008_tn_sto_072_512_11242.pdf acesso em: 10/10/2021.

SANTOS, C. E. S.; RABELLO, A. P. S. S.; SOUZA, M. L. O. Aprimoramento de um método de predição da confiabilidade de equipamentos eletrônicos militares e espaciais. In: WORKSHOP EM ENGENHARIA E TECNOLOGIA ESPACIAIS, 9. (WETE), 2018, São José dos Campos. Anais... São José dos Campos: INPE, 2018. On-line. ISSN 2177-3114. IBI: <8JMKD3MGPDW34R/3S2ELPL>. Disponível em: <<http://urlib.net/ibi/8JMKD3MGPDW34R/3S2ELPL>>. SANTIAGO, N. Excelência de Processos na Cadeia de Valor da Manufatura. 2004 Revista Pharma Manufacturing Disponível em: <https://www.pharmamanufacturing.com/articles/2004/91/> acesso em 10/10/2021.

Verdi & Toledo Metodologia de Gerenciamento da Qualidade em Projetos de Engenharia 2002 XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção Curitiba – PR, ENEGEP ABEPRO Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2002_tr21_0152.pdf acesso: 09/10/2021.