



MINISTÉRIO DA  
CIÊNCIA, TECNOLOGIA  
E INOVAÇÕES



sid.inpe.br/mtc-m21c/2020/10.06.16.15-TDI

**UM NOVO PROCESSO PARA ANALISAR E TRATAR  
AS INFLUÊNCIAS DA OBSOLESCÊNCIA E DA  
REDUÇÃO DA ROBUSTEZ DE COMPONENTES  
ELETRÔNICOS SOBRE A DISPONIBILIDADE E A  
CONFIABILIDADE DE EQUIPAMENTOS  
AEROESPACIAIS**

Carlos Eduardo da Silva Santos

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais, orientada pelos Drs. Marcelo Lopes de Oliveira e Souza e Ana Paula de Sá Santos Rabello, aprovada em 18 de setembro de 2020.

URL do documento original:

<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/43CF9HL>

INPE  
São José dos Campos  
2020

## **PUBLICADO POR:**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GBDIR)

Serviço de Informação e Documentação (SESID)

CEP 12.227-010

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/7348

E-mail: pubtc@inpe.br

## **CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELLECTUAL DO INPE - CEPPII (PORTARIA Nº 176/2018/SEI-INPE):**

### **Presidente:**

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

### **Membros:**

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

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

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

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

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

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

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

### **BIBLIOTECA DIGITAL:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon

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

### **REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:**

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

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

### **EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:**

Ivone Martins - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

Cauê Silva Fróes - Serviço de Informação e Documentação (SESID)



MINISTÉRIO DA  
CIÊNCIA, TECNOLOGIA  
E INOVAÇÕES



sid.inpe.br/mtc-m21c/2020/10.06.16.15-TDI

**UM NOVO PROCESSO PARA ANALISAR E TRATAR  
AS INFLUÊNCIAS DA OBSOLESCÊNCIA E DA  
REDUÇÃO DA ROBUSTEZ DE COMPONENTES  
ELETRÔNICOS SOBRE A DISPONIBILIDADE E A  
CONFIABILIDADE DE EQUIPAMENTOS  
AEROESPACIAIS**

Carlos Eduardo da Silva Santos

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais, orientada pelos Drs. Marcelo Lopes de Oliveira e Souza e Ana Paula de Sá Santos Rabello, aprovada em 18 de setembro de 2020.

URL do documento original:

<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/43CF9HL>

INPE  
São José dos Campos  
2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

---

Santos, Carlos Eduardo da Silva.

Sa59n Um novo processo para analisar e tratar as influências da obsolescência e da redução da robustez de componentes eletrônicos sobre a disponibilidade e a confiabilidade de equipamentos aeroespaciais / Carlos Eduardo da Silva Santos. – São José dos Campos : INPE, 2020.

xxvii + 293 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m21c/2020/10.06.16.15-TDI)

Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2020.

Orientadores : Drs. Marcelo Lopes de Oliveira e Souza e Ana Paula de Sá Santos Rabello.

1. Riscos de Obsolescência. 2. Redução da Robustez. 3. Componentes Eletrônicos. 4. Disponibilidade. 5. Confiabilidade. I.Título.

CDU 629.7.017

---



Esta obra foi licenciada sob uma Licença [Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).



MINISTÉRIO DA  
CIÊNCIA, TECNOLOGIA  
E INOVAÇÕES



**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**  
Serviço de Pós-Graduação-SEPGR  
Pós-Graduação em ETE/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais.

**DEFESA FINAL DE DISSERTAÇÃO DE CARLOS EDUARDO DA SILVA SANTOS**

No dia 18 de setembro de 2020, as 10h, por videoconferência, o(a) aluno(a) mencionado(a) acima defendeu seu trabalho final (apresentação oral seguida de arguição) perante uma Banca Examinadora, cujos membros estão listados abaixo. O(A) aluno(a) foi APROVADO(A) pela Banca Examinadora, por unanimidade, em cumprimento ao requisito exigido para obtenção do Título de Mestre em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Eng. Gerenc.de Sistemas Espaciais. O trabalho precisa da incorporação das correções sugeridas pela Banca Examinadora e revisão final pelo(s) orientador(es).

**Novo Título: "UM NOVO PROCESSO PARA ANALISAR E TRATAR AS INFLUÊNCIAS DA OBSOLESCÊNCIA E DA REDUÇÃO DA ROBUSTEZ DE COMPONENTES ELETRÔNICOS SOBRE A DISPONIBILIDADE E A CONFIABILIDADE DE EQUIPAMENTOS AEROSPAIAIS"**

Eu, Silvio Manea, como Presidente da Banca Examinadora, assino esta ATA em nome de todos os membros.

**Membros da Banca**

Dr. Silvio Manea, Presidente INPE.  
Dr. Marcelo Lopes de Oliveira e Souza, Orientador(a) INPE.  
Dra. Ana Paula de Sá Santos Rabello, Orientador(a) INPE.  
Dr. Alírio Cavalcanti De Brito, Membro da Banca INPE.  
Dr. Gustavo Pamplona Rehder, Convidado(a) USP.



Documento assinado eletronicamente por **Silvio Manea, Tecnologista**, em 28/10/2020, às 15:57 (horário oficial de Brasília), com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <http://sei.mctic.gov.br/verifica.html>, informando o código verificador **6027270** e o código CRC **73BABA4D**.



*"Não se enganem. Se algum de vocês pensa que é sábio segundo os padrões deste mundo, deve tornar-se "louco" para que se torne sábio".*  
1 Coríntios 3:18

*"Se alguma vez chegarmos ao ponto em que pensamos compreender completamente quem somos e de onde viemos,... teremos fracassado".*  
Carl Sagan





*Dedico este trabalho à minha família.*



## AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus por ter me dado sabedoria para concluir mais essa valiosa conquista. Porque dele e por ele, e para ele, são todas as coisas (Rom.11:36).

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), que através do seu Curso de Pós Graduação me proporcionou não somente uma grandiosa oportunidade, mas uma realização pessoal, contribuindo para o meu crescimento pessoal e profissional.

A todos os professores do Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais, Área de Concentração em Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais – ETE/CSE, pelos conhecimentos e ensinamentos compartilhados; e a todos os demais profissionais do INPE que, de alguma maneira, colaboraram para a realização desse trabalho.

Aos meus orientadores Professor Dr. Marcelo Lopes e a Dra. Ana Paula, pela dedicação, comprometimento, ensino, paciência e disposição em ensinar e compartilhar seus conhecimentos.

Aos membros da banca examinadora Dr. Silvio Manea, Dr. Alírio Brito e Dr. Gustavo Rehder, pelas valiosas contribuições, atenção e tempo dispendidos na revisão desse trabalho.

Ao amigo Dr. Fernando Pessotta, pelo companheirismo, ensinamentos, trocas de informações, crescimento pessoal e profissional e tempo dedicado para avaliação de parte deste trabalho.

Aos profissionais da Biblioteca do INPE, Simone Del Ducca e André Luís, pelo auxílio e disponibilidade na finalização e publicação deste trabalho.

Aos meus pais Valdeli e Regina, pela minha vida, pelo amor, apoio e dedicação prestados a mim em todo tempo.

A minha esposa Francine pelo apoio, compreensão, paciência e companheirismo na construção desse trabalho.

Em especial ao meu filho amado Lorenzo, que apesar da pouca idade, indiretamente me deu muito apoio e, que no futuro, irá entender o porquê seu papai ficou tanto tempo na frente de um computador.

As minhas irmãs Alessandra e Aline, pelo apoio e torcida.

A todas as empresas que tive o privilégio de trabalhar, Omnisys, Thales, Mectron, AEL e Avibras, por permitirem meu crescimento profissional. Em especial à Avibras, pelo apoio e incentivo a este trabalho.

A todos os colegas da pós-graduação do INPE, em especial, Paula Renata, Graziela Fernanda, Roberta Porto, Danilo Miranda e Herbi Júnior, pelo apoio, companheirismo e amizade, trocas de informações e conhecimentos.

A todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

O meu muito obrigado e que Deus abençoe a todos!

## RESUMO

A obsolescência de componentes eletrônicos nas indústrias e instituições militares e aeroespaciais afetam todos os equipamentos ao longo do seu ciclo de vida, se estendendo também a indústrias como a automotiva, de equipamentos médicos, de processos, e a outras atividades industriais e/ou comerciais. Além disso, estas precisam manter/suportar um equipamento, subsistema ou sistema por um longo prazo. Mas, a obsolescência se tornou uma preocupação mais séria na última década com a utilização de componentes de prateleira (COTS) em projetos aeronáuticos militares. As causas são externas (econômicas sociais, legais, etc.) e internas (físicas, materiais, construtivas, etc.), causando preocupações às equipes e ônus aos ativos (projetos, equipamentos, etc.) de uma indústria ou instituição, a saber: 1) As mudanças tecnológico-comerciais no mercado dos componentes eletrônicos usualmente e inevitavelmente causam um evento macroscópico incerto e danoso, a obsolescência dos componentes; 2) As mudanças físico-técnicas nas características dos componentes eletrônicos usualmente causam um evento microscópico incerto e danoso, a redução da robustez dos componentes. Independentemente das causas, a indústria aeroespacial sofre efeitos no aumento dos prazos, custos, etc. para sustentar uma capacidade de gestão da obsolescência e da redução da robustez dos componentes (por conta de processos como *Lean Design* ou *Lean Engineering*, uso de COTS, falhas de Logística, etc.), sobretudo dos componentes eletrônicos, devido à necessidade de implementar atualizações ou substituições significativas nos seus equipamentos, subsistemas ou sistemas, para garantir a sua disponibilidade e confiabilidade a longo prazo. Sendo assim, esse trabalho apresenta um novo processo para analisar e tratar as influências da obsolescência e da redução da robustez de componentes eletrônicos sobre a disponibilidade e a confiabilidade de equipamentos aeroespaciais, utilizando: a) FMECA, e sua extensão a projetos FMEP, proposto por Rabello (2017), para a análise e o tratamento das causas e efeitos do evento macroscópico, tal obsolescência, sobre tal disponibilidade; b) métodos tradicionais/consagrados como: FMECA, Predição das Taxas de Falhas, RBD, FTA, PoF, etc. para a análise e o tratamento das causas e efeitos do evento microscópico, a redução de tal robustez, sobre tal confiabilidade. Tal processo, análise e tratamento, os métodos usados, e suas aplicações a três casos de estudo (dois do INPE e um de uma empresa do ramo aeroespacial) sugerem que tal proposta é adequada para a utilização em institutos, centros e parques de P&D, e também em indústrias aeroespaciais, militares, automotivas, de equipamentos médicos, de processos, e outras atividades industriais e/ou comerciais.

Palavras-chave: Riscos de Obsolescência. Redução da Robustez. Componentes Eletrônicos. Disponibilidade. Confiabilidade. Equipamentos Aeroespaciais.



# **A NEW PROCESS TO ANALYZE AND TREAT THE INFLUENCES OF OBSOLESCENCE AND REDUCTION OF ROBUSTNESS OF ELECTRONIC COMPONENTS ON THE AVAILABILITY AND RELIABILITY OF AEROSPACE EQUIPMENT**

## **ABSTRACT**

The obsolescence of electronic components in military and aerospace industries affects all equipment throughout its life cycle, also extending to industries such as automotive, medical equipment, process, and other industrial and/or commercial activities. In addition, they need to maintain/support an equipment, subsystem or system for a long time. But obsolescence has become a more serious concern in the past decade with the use of COTS in military aeronautical projects. The causes are external (economic, social, legal, etc.) and internal (physical, material, construction, etc.), causing concerns to the teams and losses to the assets (projects, equipment, etc.) of an industry, namely: 1) Technological-commercial changes in the electronic components market usually and inevitably cause a macroscopic uncertain and damaging event, the obsolescence of the components; 2) The physical-technical changes in the characteristics of the electronic components usually cause a microscopic uncertain and damaging event, the reduction of the robustness of the components. Regardless of the causes, the aerospace industry is affected by increased times, costs, etc., to support obsolescence management capacity and reduced component robustness (due to processes like Lean Design or Lean Engineering, use of COTS, Logistics failures, etc.) especially of electronic components, due to the need to implement significant updates or replacements in their equipment, subsystems or systems, to ensure their availability and reliability. Therefore, this work presents a new process to analyze and treat the influences of obsolescence and the reduction of the robustness of electronic components on the availability and reliability of aerospace equipment, using: a) FMECA and its extension to projects, FMPEP, proposed by Rabello (2017), for the analysis and treatment of the macroscopic event, such obsolescence, on such availability; b) established methods such as: FMECA, Failure Rate Prediction, RBD, FTA, PoF and etc. for the analysis and treatment of the microscopic event, such reduction of robustness, on such reliability. Such process, analysis and treatment, the methods used, and their applications to three case studies (two from INPE and one from an aerospace industry) suggest that this proposal is suitable for use in R&D institutes, centers and parks, and also in aerospace, military, automotive, medical equipment, industries and other industrial and/or commercial activities.

**Keywords:** Risks of Obsolescence. Robustness Reduction. Electronic components. Availability. Reliability. Aerospace equipment.





## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 2.1 - Curva da Banheira e ciclo de vida de equipamentos. ....	23
Figura 2.2 - Hierarquia de um sistema utilizando predição por Física da Falha .....	31
Figura 2.3 - Matriz de Criticidade - MIL-STD-1629-A. ....	42
Figura 2.4 - Matriz de Criticidade - ECSS-Q-ST-30-02C. ....	44
Figura 2.5 - Matrizes de Cores para a Criticidade Restrita da Ocorrência. ....	46
Figura 2.6 - Matriz do produto cartesiano entre a Indetectabilidade e a Intratabilidade (IDxIT) da Ocorrência. ....	48
Figura 2.7 - Matrizes de Cores da Criticidade Estendida. ....	49
Figura 2.8 - Interfaces da Engenharia de Sistemas com outras disciplinas. ....	56
Figura 2.9 - O ciclo de vida de um projeto espacial. ....	58
Figura 2.10 - Fases de um projeto do setor espacial. ....	59
Figura 2.11 - CBERS-3 e 4. ....	61
Figura 2.12 - Conceito de orientação de mísseis. ....	64
Figura 2.13 - Fases do Voo. ....	65
Figura 6.1 – Processo para Gestão da Obsolescência. ....	103
Figura 6.2 - Avaliação do Risco de Obsolescência (Criticidade Restrita). ....	106
Figura 6.3 - Avaliação do Risco de Obsolescência (Criticidade Estendida). ..	107
Figura 6.4 - Disponibilidade de Estoque vs. Taxa de Consumo. ....	109
Figura 6.5 - Probabilidade da Obsolescência. ....	110
Figura 6.6 - Código de cores referente à severidade da falha. ....	112
Figura 6.7 - Risco de Obsolescência. ....	113
Figura 6.8 - Matriz de criticidade da falha (C=P x S). ....	114
Figura 6.9 - Matriz de produto entre a indetectabilidade e a intratabilidade (ID x IT). ....	116
Figura 6.10 - Matriz da criticidade estendida ((Px S) x (ID xIT)). ....	116
Figura 6.11 - Matriz de Práticas de Gestão de Obsolescência (Criticidade Restrita). ....	120

Figura 6.12 - Matriz de Práticas de Gestão de Obsolescência (Críticidade Estendida).....	121
Figura 7.1 - Etapas do processo e do procedimento propostos aplicadas aos estudos de caso.....	131
Figura 7.2 - Etapas do estudo de caso 1.....	135
Figura 7.3 - Etapas do estudo de caso 2.....	142
Figura 7.4 - Etapas do estudo de caso 3.....	151
Figura A.1 - O potencial para licenciamento de patentes está longe de ser esgotado.....	187
Figura C.1 - Conceito de orientação de mísseis.....	212
Figura C.2 - Fases do Voo.....	213
Figura C.3 - Orientação <i>Beam Rider</i> .....	214
Figura C.4 - Orientação por Comando.....	215
Figura C.5 - Orientação <i>Homing</i> ou Teleguiado.....	216
Figura C.6 - Teleguiado Semi-Ativo.....	217
Figura C.7 - Teleguiado Ativo.....	218
Figura C.8 - Teleguiado Passivo.....	219
Figura C.9 - Retransmissão ou rastreamento via míssil.....	220
Figura C.10 - Giroscópios mecânicos, de fibra ótica e a laser.....	221
Figura C.11 - Conceito de navegação inercial.....	222
Figura C.12 - Sistema de Posicionamento Global usado na orientação de navegação.....	223

## LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
Tabela 2.1 - Valores de $\beta$ relacionados aos efeitos.....	40
Tabela 2.2 - Severidade do efeito da falha.....	43
Tabela 2.3 - Probabilidade de ocorrência do modo de falha. ....	43
Tabela 2.4 - Código referente à Probabilidade de Ocorrência. ....	45
Tabela 2.5 - Código de cores referente à Severidade da Ocorrência. ....	45
Tabela 2.6 - Código de cores referente à Indetectabilidade da Ocorrência. ....	47
Tabela 2.7 - Código de cores referente à Intratabilidade da Ocorrência. ....	47
Tabela 2.8 - FMEP da função “fornecer tempo de bordo” apresentada por Rabello (2017).....	50
Tabela 2.9 - FMEP da função: ameaça “componente indisponível” apresentada por Rabello (2017).....	51
Tabela 2.10 - Relação entre as métricas Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade. ....	54
Tabela 2.11 - Divisão de responsabilidades CBERS-3 e 4. ....	61
Tabela 2.12 - Referências encontradas na literatura sobre os conceitos relacionados a este trabalho. ....	66
Tabela 6.1 - <i>Checklist</i> de Obsolescência. ....	105
Tabela 6.2 - Probabilidade da Obsolescência. ....	110
Tabela 6.3 - Código referente à probabilidade de detecção.....	115
Tabela 6.4 - Código de cores referente à tratabilidade da falha.....	115
Tabela 6.5 - Registro do Plano de Obsolescência. ....	127
Tabela 7.1 - <i>Checklist</i> de Obsolescência para o item 31. ....	136
Tabela 7.2 - Cálculo da taxa de falhas e da contribuição porcentual para o item 31. ....	137
Tabela 7.3 - Probabilidade de Obsolescência para o item 31. ....	137
Tabela 7.4 - Criticidade Restrita, Criticidade Estendida e Estratégia de Mitigação do Risco de Obsolescência para o item 31.....	138
Tabela 7.5 - Plano de Obsolescência para o item 31.....	139
Tabela 7.6 - <i>Checklist</i> de obsolescência para o item 31. ....	143

Tabela 7.7 - Cálculo da taxa de falhas para o item 31. ....	144
Tabela 7.8 - FMECA e a contribuição porcentual para o item 31. ....	144
Tabela 7.9 - Probabilidade de Obsolescência para o item 31. ....	145
Tabela 7.10 - Criticidade Restrita, Criticidade Estendida e Estratégia de Mitigação do risco para o item 31. ....	145
Tabela 7.11 - Plano de Obsolescência para o item 31. ....	146
Tabela 7.12 - <i>Checklist</i> de Obsolescência para o item 1. ....	152
Tabela 7.13 – Premissas para as fases do ciclo de vida da CPU. ....	153
Tabela 7.14 - Cálculo da taxa de falhas e da contribuição porcentual para o item 1. ....	153
Tabela 7.15 - Probabilidade de Obsolescência para o item 1. ....	154
Tabela 7.16 - Criticidade Restrita, Criticidade Estendida e Estratégia de Mitigação do risco para o item 1. ....	154
Tabela 7.17 - Plano de Obsolescência para o item 1. ....	155
Tabela B.1 - Principais diferenças entre os processos <i>Lean</i> e os da manufatura tradicional. ....	206
Tabela D.1 - <i>Checklist</i> de Obsolescência para o estudo de caso 1. ....	226
Tabela D.2 - Cálculo da taxa de falhas e da contribuição porcentual da taxa de falhas para o estudo de caso 1. ....	228
Tabela D.3 - Probabilidade de Obsolescência para o estudo de caso 1. ....	232
Tabela D.4 - Criticidade Restrita, Criticidade Estendida e Estratégia de Mitigação do Risco de Obsolescência para o estudo de caso 1. ....	234
Tabela D.5 - Plano de Obsolescência para o estudo de caso 1. ....	237
Tabela D.6 - <i>Checklist</i> de Obsolescência para o estudo de caso 2. ....	241
Tabela D.7 - Cálculo da taxa de falhas para o estudo de caso 2. ....	243
Tabela D.8 - FMECA e a contribuição porcentual da taxa de falhas para o estudo de caso 2. ....	247
Tabela D.9 - Probabilidade de Obsolescência para o estudo de caso 2. ....	270
Tabela D.10 - Criticidade Restrita, Criticidade Estendida e Estratégia de Mitigação do Risco de Obsolescência para o estudo de caso 2. ....	272
Tabela D.11 - Plano de Obsolescência para o estudo de caso 2. ....	275
Tabela D.12 - <i>Checklist</i> de Obsolescência para o estudo de caso 3. ....	279

Tabela D.13 - Premissas adotadas para os cálculos das taxas de falhas do estudo de caso 3. ....	281
Tabela D.14 - Cálculo da taxa de falhas e da contribuição porcentual da taxa de falhas para o estudo de caso 3. ....	282
Tabela D.15 - Probabilidade de Obsolescência para o estudo de caso 3. ....	283
Tabela D.16 - Criticidade Restrita, Criticidade Estendida e Estratégia de Mitigação do Risco de Obsolescência para o estudo de caso 3. ....	284
Tabela D.17 - Plano de Obsolescência para o estudo de caso 3. ....	288
Tabela AA.1 - Relações de componentes obsoletos utilizados no Projeto Amazônia 1 cadastrados até a data de 25 de Fevereiro de 2013 pelo Departamento de Qualificação e Confiabilidade de Componentes do Laboratório de Integração e Testes (LIT). ....	293



## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AEB	Agência Espacial Brasileira
AWDT	WFI Data Transmitter (Subsistema de Transmissão de Dados da Câmera WFI)
BPMN	Business Process Model and Notation
CGETE	Coordenação Geral de Engenharia e Tecnologia Espaciais
CPPR	Conjunto de Processos Propostos por Rabello (2017)
DMEP	Diagrama de Markov Estendido a Projetos
ECR	Engineering Change Request (Solicitação de Modificação de Engenharia)
ECSS	European Cooperation for Space Standardization
ESA	European Space Agency
FMEA	Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos
FMECA	Análise dos Modos de Falha, seus Efeitos e Criticidade
FMEP	Análise dos Modos de Falha e sua Criticidade Estendida a Projetos
IEC/TC56	International Electrotechnical Commission/ Technical Committee 56: Dependability
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NCR	Non Conformance Report (Relatório de Não Conformidade)
NBR	Non Conformance Board (Comitê para o Tratamento de Não Conformidades)
PAC	Processo Atual Correspondente aos Processos Propostos selecionados
PED	Processo Proposto selecionado de Engenharia da Dependabilidade
PGD	Processo Proposto selecionado de Garantia da Dependabilidade
RAM	Reliability, Availability and Maintainability

R&M	Reliability and Maintainability
SESEQ/ CGETE	Serviço de Engenharia da Qualidade da Coordenação Geral de Engenharia e Tecnologia Espaciais
*****	*****
ASSIST	- Acquisition Streamlining and Standardization Information System
DoD	- USA Department of Defense
DSPO	- USA Defense Standardization Program Office
ECSS	- European Cooperation for Space Standardization
EEPROM	- Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory
EPSMA	- European Power Supply Manufacturers Association
EUA	- Estados Unidos da América
FFF	- Form, Fit, Function
IAC	- Information Analysis Center
IEEE	- Institute of Electrical and Electronic Engineers
IEEE 1413	- Standard Methodology for Reliability Prediction and Assessment of Systems and Equipment
IEEE-RS	- IEEE Reliability Society
IEEE-RS-SC	- Reliability Society Standards Committee
INPE	- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MIL-HDBK-217	- Reliability Prediction for Electronic Systems
MTBF	- Mean Time Between Failures
MTTF	- Mean Time To Failure
NSWC	- Naval Surface Warfare Center
RAC	- Reliability Analysis Center
RCA	- Reliability Stress Analysis for Electronic Equipment
RIAC	- Reliability Information Analysis Center
SAE	- Society of Automotive Engineer



## SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 Contexto .....	1
1.2 Motivação .....	2
1.3 Objetivo.....	3
1.4 Generalidade e utilidade.....	4
1.5 Organização do trabalho.....	5
<b>2 CONCEITOS BÁSICOS E REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>6</b>
2.1 Objetivo.....	6
2.2 Processo.....	6
2.3 Obsolescência .....	7
2.3.1 Tipos de obsolescência.....	10
2.3.1.1 Obsolescência técnica ou funcional.....	10
2.3.1.2 Obsolescência planejada.....	11
2.3.1.3 Obsolescência de estilo .....	12
2.3.1.4 Obsolescência postergada.....	12
2.3.2 Gestão da obsolescência.....	12
2.3.2.1 Fatores analisados na obsolescência .....	13
2.4 Redução da robustez (por processos como <i>lean design</i> e <i>lean engineering</i> , uso de COTS, falhas de logística, etc.).....	13
2.4.1 <i>Lean Design</i> e <i>Lean Engineering</i> .....	16
2.4.2 O uso de COTS.....	18
2.4.3 As falhas de logística .....	19
2.5 Confiabilidade .....	19
2.6 Confiabilidade do sistema.....	21
2.6.1 Métodos tradicionais para a predição da confiabilidade.....	25
2.6.1.1 A predição da confiabilidade através do manual MIL-HDBK-217 .....	25
2.6.1.1.1 Método para a predição da confiabilidade por Contagem de Partes ( <i>Parts Count</i> )- MIL-HDBK-217.....	26

2.6.1.1.2	Método para a predição da confiabilidade por estresse de partes ( <i>Parts Stress</i> )- MIL-HDBK-217 .....	28
2.6.2	Métodos para a predição da confiabilidade por física da falha .....	30
2.6.2.1	A Predição da confiabilidade através do manual FIDES.....	32
2.7	Risco e gestão de risco.....	35
2.8	FMEA, FMECA e FMEP .....	37
2.8.1	FMEA.....	37
2.8.2	FMECA .....	38
2.8.2.1	Cálculo da criticidade pelo manual MIL-STD-1629 .....	39
2.8.2.2	Cálculo da criticidade pelo manual ECSS-Q-ST-30-02.....	42
2.8.3	FMEP .....	44
2.9	Manutenabilidade .....	52
2.10	Disponibilidade .....	53
2.11	Engenharia de sistemas .....	54
2.12	Ciclo de vida de projetos e produtos de satélites .....	57
2.13	Projeto CBERES-3 e 4 - China-Brazil Earth-Resources Satellite.....	60
2.13.1	Subsistema supervisão de bordo (OBDAH - <i>On-board data handling</i> )	63
2.14	Projeto de <i>Seeker</i> para mísseis em geral .....	63
<b>3</b>	<b>FORMULAÇÃO DO PROBLEMA E ABORDAGENS PARA SUA SOLUÇÃO .....</b>	<b>69</b>
3.1	Formulação do problema.....	69
3.2	Objetivo do trabalho.....	70
3.3	Metodologia .....	71
3.4	Abordagens para sua solução .....	72
<b>4</b>	<b>ANÁLISE DAS CAUSAS DA OBSOLESCÊNCIA DE COMPONENTES ELETRÔNICOS E SEUS EFEITOS NOS EQUIPAMENTOS AEROESPACIAIS.....</b>	<b>74</b>
4.1	Objetivo.....	74
4.2	A obsolescência em componentes eletrônicos aeroespaciais .....	74
4.3	A resposta aeroespacial e militar .....	76
4.4	Cooperação industrial .....	77
4.5	Gestão de obsolescência de componentes eletrônicos .....	78

4.6 Efeitos na obsolescência e na gestão da obsolescência de equipamentos aeroespaciais .....	82
<b>5 PROCESSOS ATUAIS DE GESTÃO DA OBSOLESCÊNCIA .....</b>	<b>88</b>
5.1 Objetivo.....	88
5.2 Processos atuais em geral.....	88
5.3 Estratégias de gestão de obsolescências atuais .....	91
5.3.1 Gestão de obsolescência reativa .....	91
5.3.2 Gestão de obsolescência proativa .....	92
5.3.3 Gestão de obsolescência passiva.....	94
5.3.4 Gestão de obsolescência progressiva .....	95
5.4 Gestão de risco da obsolescência (através da criticidade restrita) .....	96
5.5 Planos de mitigação da obsolescência .....	98
5.6 Processos atuais no INPE e nas indústrias aeroespaciais locais .....	99
<b>6 PROPOSTA PARA GESTÃO DA OBSOLESCÊNCIA E AVALIAÇÃO DA ROBUSTEZ DE COMPONENTES ELETRÔNICOS EM EQUIPAMENTOS AEROESPACIAIS.....</b>	<b>101</b>
6.1 Objetivo.....	101
6.2 Processo de gestão da obsolescência .....	102
6.2.1 Etapa 1 - Avaliação do plano de suporte do sistema .....	104
6.2.2 Etapa 2 - Planejamento de recursos .....	104
6.2.3 Etapa 3 - Extração e filtragem da lista de materiais .....	104
6.2.4 Etapa 4 - Aplicação do <i>checklist</i> de obsolescência.....	104
6.2.5 Etapa 5 - Avaliação de risco de obsolescência .....	105
6.2.5.1 Probabilidade do componente se tornar obsoleto.....	108
6.2.5.2 Severidade do componente se tornar obsoleto.....	110
6.2.5.3 Criticidade Restrita da obsolescência de um componente.....	112
6.2.5.4 Criticidade Estendida a Projetos (via FMEP) da obsolescência de um componente.....	114
6.2.5.5 Tratamento da Criticidade/Níveis de Risco de Obsolescência.....	117
6.2.5.5.1 Risco de Obsolescência Crítico (Vinho) .....	117
6.2.5.5.2 Risco de Obsolescência Alto (Vermelho) .....	117
6.2.5.5.3 Risco de Obsolescência Médio (Amarelo).....	118

6.2.5.5.4	Risco de Obsolescência Baixo (Verde) .....	118
6.2.6	Etapa 6 - Definição da mitigação de obsolescência .....	118
6.2.6.1	Substituição / Alternativo .....	122
6.2.6.2	Estoque Estratégico ( <i>Lifetime Buy</i> ) .....	123
6.2.6.3	Compra Estratégica ( <i>Last Time Buy</i> ) .....	124
6.2.6.4	Recuperação ou “Canibalização” .....	124
6.2.6.5	Reprojeto .....	124
6.2.7	Etapa 7 - Registro do plano de obsolescência .....	125
6.2.8	Etapa 8 - Revisão / Atualização .....	126
6.3	Procedimento para avaliação da robustez .....	128
<b>7</b>	<b>APLICAÇÃO DO PROCESSO PROPOSTO PARA A GESTÃO DA</b>	
	<b>OBSOLESCÊNCIA E DO PROCEDIMENTO PROPOSTO PARA A</b>	
	<b>AVALIAÇÃO DA ROBUSTEZ AOS ESTUDOS DE CASO.....</b>	<b>130</b>
7.1	Objetivo.....	130
7.2	Estudos de caso 1 e 2 – Computador da CTU ( <i>Central Terminal Unit</i> ) do CBERS-3 e 4.....	132
7.2.1	Introdução aos estudos de caso 1 e 2 .....	132
7.2.2	Estudo de caso 1 .....	134
7.2.2.1	Resultados do estudo de caso 1 .....	136
7.2.2.2	Conclusão do estudo de caso 1 .....	140
7.2.3	Estudo de caso 2 .....	141
7.2.3.1	Resultados do estudo de caso 2 .....	143
7.2.3.2	Conclusão do estudo de caso 2 .....	147
7.3	Estudo de caso 3 – CPU de SEEKER .....	148
7.3.1	Introdução do estudo de caso 3 .....	148
7.3.2	Estudo de caso 3 .....	149
7.3.3	Resultados do estudo de caso 3 .....	152
7.3.4	Conclusão do estudo de caso 3 .....	156
7.4	Comparação dos resultados .....	157
<b>8</b>	<b>CONCLUSÃO, CONSIDERAÇÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS</b>	
	<b>FUTUROS .....</b>	<b>159</b>
8.1	Conclusão.....	159

8.2 Considerações sobre o desenvolvimento do trabalho .....	161
8.3 Sugestões para trabalhos futuros .....	162
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>164</b>
<b>APÊNDICE A - OBSOLESCÊNCIA .....</b>	<b>177</b>
<b>APÊNDICE B – PROCESSOS <i>LEAN</i>.....</b>	<b>201</b>
<b>APÊNDICE C – MÍSSEIS EM GERAL .....</b>	<b>212</b>
<b>APÊNDICE D – RESULTADOS DOS ESTUDOS DE CASOS .....</b>	<b>226</b>
<b>ANEXO A - GERENCIAMENTO REATIVO .....</b>	<b>290</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Contexto

A obsolescência de componentes eletrônicos nas indústrias e instituições militares e aeroespaciais afetam todos os equipamentos ao longo do seu ciclo de vida. Isso não é limitado a apenas a indústria ou instituição militar ou aeroespacial, mas se estende também a indústrias como a automotiva, de equipamentos médicos, de processos, e a outras atividades industriais e/ou comerciais. Além disso, as indústrias e instituições militares e aeroespaciais precisam manter/suportar um equipamento, subsistema ou sistema por um longo prazo, onde a obsolescência sempre foi um problema a ser tratado. Mas, a obsolescência se tornou uma preocupação mais séria na última década com a utilização de componentes de prateleira (COTS – *Commercial-Off-The-Shelf*) em projetos aeronáuticos militares pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos (DoD - *Department of Defense*), desde 1998. Essa motivação veio por inúmeros benefícios potenciais como a elevada disponibilidade, a aparente redução de custos, e a incorporação rápida de novas tecnologias nos sistemas militares durante as fases de desenvolvimento do ciclo de vida do produto (ALFORD, 1999). Desde então, isto tem se estendido à indústria aeroespacial e outras. As causas são externas (econômicas sociais, legais, etc.) e internas (físicas, materiais, construtivas, etc.), causando preocupações às equipes e ônus aos ativos (projetos, equipamentos, etc.) de uma instituição, a saber:

- a) As mudanças tecnológico-comerciais no mercado dos componentes eletrônicos (como aumento do desempenho e variedade, redução do tamanho e preço) em decorrência da competitividade do mercado, das novas tecnologias e conquistas científicas, das novas normas e padrões, dos novos produtos e serviços, das novas preferências e usos, etc., usualmente e inevitavelmente causam **um evento macroscópico incerto e danoso, que é a obsolescência dos componentes** e, por consequência, a indisponibilidade dos equipamentos;

- b) As mudanças físico-técnicas nas características dos componentes eletrônicos (como redução de tamanho, massa e potência - *Size, Weight and Power* - SWaP) decorrentes de causas similares às de 1) e, sobretudo pela Engenharia/Projeto “Enxuto” (*Lean Engineering/Design* - LED), uso de COTS, falhas de Logística, etc., usualmente causam **um evento microscópico incerto e danoso, que é a redução da robustez dos componentes**, tanto no uso/operação quanto no seu armazenamento, e, por consequência, reduzem a confiabilidade dos equipamentos;
- c) A eletrônica altamente miniaturizada tem apresentado novos modos de falhas (intermitentes ou outros comportamentos não intuitivos) em vez de apresentar falhas historicamente padronizadas à medida que os componentes eletrônicos se miniaturizam;
- d) A confiabilidade dos equipamentos também diminui com a sua complexidade (número e tipo de componentes eletrônicos, de interfaces, de interações, de funções, etc.); e
- e) Os softwares ou firmwares continuam sendo um fator limitante à confiabilidade dos equipamentos ao longo da vida, devido à dificuldade de mensurar a sua confiabilidade.

## 1.2 Motivação

A motivação para este trabalho são as causas e efeitos apontados acima, em especial, as preocupações e ônus relacionados aos eventos: (i) macroscópico, a obsolescência; e (ii) microscópico, a redução da robustez (devido a processos como *Lean Design* ou *Lean Engineering*, uso de COTS, falhas de Logística, etc.) os quais afetam todos os componentes eletrônicos comercialmente disponíveis. Essas preocupações variam entre as implicações do uso de tecnologias de ponta (a tecnologia imatura dificilmente possui níveis satisfatórios de confiabilidade) até a obsolescência planejada, na qual os componentes eletrônicos são geralmente projetados para durar apenas o tempo de vida útil especificado. Em consequência, os projetos atuais possuem

baixas margens de confiabilidade, disponibilidade e etc., fora do tempo de vida útil especificado, colocando os clientes em uma situação de análise e substituição de componentes obsoletos em seus equipamentos.

Independentemente das causas, as indústrias e instituições militares e aeroespaciais sofrem efeitos no aumento dos prazos, custos, etc. para sustentar uma capacidade de gestão da obsolescência e da redução da robustez (por processos como *Lean Design* ou *Lean Engineering*, uso de COTS, falhas de Logística, etc.), desses eventos incertos e danosos, sobretudo dos componentes eletrônicos, devido à necessidade de implementar atualizações ou substituições significativas nos seus equipamentos ou sistemas, para garantir a sua disponibilidade e confiabilidade a longo prazo. Uma resposta simples como a substituição dos componentes obsoletos e a aquisição de novos, mas iguais, simplesmente ampliam os efeitos, pois as taxas de obsolescência provavelmente aumentam, os tempos de vida útil provavelmente diminuem e os fabricantes continuam a adotar a Engenharia/Projeto “Enxuto” (*Lean Engineering/Design* - LED), a usar COTS, a falhar na Logística, etc. e, portanto, as margens de confiabilidade diminuem. Sendo assim, infere-se o:

### **1.3 Objetivo**

O objetivo desse trabalho é apresentar um novo processo para analisar e tratar as influências da obsolescência e da redução da robustez de componentes eletrônicos sobre a disponibilidade e a confiabilidade de equipamentos aeroespaciais. Para isso, serão analisadas algumas das preocupações relacionadas às: 1) causas do evento macroscópico que é a obsolescência, gestão de obsolescência e limitações logísticas tradicionais (ex. LTB - *Last Time Buy*); 2) causas do evento microscópico que é a redução da robustez (como o *Lean Design*, o uso de COTS, as falhas de Logística, etc.) nas características essenciais dos componentes eletrônicos, e 3) os efeitos que eles têm na disponibilidade e confiabilidade de componentes eletrônicos durante o ciclo de vida de equipamentos aeroespaciais. Isto será aplicado a: 1) componentes geralmente utilizados em computadores de bordo de satélites e



mísseis em geral, mas o trabalho também é aplicável a 2) qualquer equipamento aeroespacial que dependa de componentes eletrônicos, demonstrando a generalidade desse trabalho. O propósito final é fornecer um processo para uma resolução coordenada das preocupações apresentadas utilizando: a) a Análise dos Modos de Falha, seus Efeitos e Criticidade (FMECA), e sua extensão a projetos, o FMEP, proposto por Rabello (2017), para análise e tratamento das causas e efeitos do evento macroscópico, a obsolescência, sobre a disponibilidade dos componentes; b) métodos tradicionais/consagrados como: FMECA, a Predição das Taxas de Falhas, o Diagrama de Blocos de Confiabilidade (RBD), a Árvore de Falhas (FTA), a Física da Falha (PoF), etc. para a análise e tratamento das causas e efeitos do evento microscópico, a redução da robustez, sobre a confiabilidade dos componentes.

Existem muitos outros fatores técnicos e não técnicos envolvidos e muitos trabalhos e planos que buscam tratar a obsolescência ou tratar a redução da robustez (por processos como *Lean Design* ou *Lean Engineering*, uso de COTS, falhas de Logística, etc.). Destes, um número significativo menciona especificamente preocupações relacionadas à disponibilidade ou a confiabilidade de equipamentos aeroespaciais. É provável que as tendências comerciais (como a adoção da Engenharia/Projeto “Enxuto”, *Lean Engineering/Design* – LED, o uso de COTS, as falhas de Logística, etc.) pelas empresas aumentem o impacto dessas preocupações no processo de desenvolvimento destes. Assim, deduzem-se a:

#### **1.4 Generalidade e utilidade**

A generalidade deste trabalho advém de permitir a aplicação do estudo a qualquer equipamento aeroespacial que dependa de componentes eletrônicos; e a outras áreas que tenham interesse nas influências da obsolescência e da redução da robustez de componentes eletrônicos, sobre a disponibilidade e a confiabilidade de equipamentos aeroespaciais, e a outras indústrias, como a militar, automotiva, de equipamentos médicos, de processos, e outras atividades industriais e/ou comerciais.

A utilidade deste trabalho advém de colaborar com as atividades do Grupo de Dependabilidade do INPE, através de um processo para uma resolução coordenada das preocupações apresentadas acima.

### **1.5 Organização do trabalho**

Este trabalho está organizado da seguinte forma:

O Capítulo 2 apresenta os conceitos básicos e a revisão da literatura para o desenvolvimento deste trabalho.

O Capítulo 3 trata da formulação do problema e abordagens para sua solução.

O Capítulo 4 apresenta uma análise das causas da obsolescência de componentes eletrônicos e seus efeitos nos equipamentos aeroespaciais.

O Capítulo 5 apresenta os processos atuais de Gestão da Obsolescência.

O Capítulo 6 apresenta uma proposta para gestão da obsolescência e da avaliação da robustez de componentes eletrônicos em equipamentos aeroespaciais.

O Capítulo 7 apresenta 1) dois estudos de caso com um equipamento espacial; 2) outro estudo de caso com um equipamento aeroespacial para aplicação do processo proposto; e 3) a comparação de seus resultados.

O Capítulo 8 apresenta as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

As seções finais apresentam as Referências Bibliográficas consultadas para o desenvolvimento deste trabalho, e os Apêndices e Anexos.

## **2 CONCEITOS BÁSICOS E REVISÃO DA LITERATURA**

### **2.1 Objetivo**

Este capítulo tem como objetivo apresentar os conceitos básicos principais e a revisão da literatura disponível que estarão presentes no decorrer deste trabalho.

### **2.2 Processo**

Processo é:

- Um conjunto de atividades inter-relacionadas ou interativas que transformam entradas em saídas; e as entradas para um processo geralmente são as saídas de outros processos (ECSS, 2012);
- Um conjunto de atividades inter-relacionadas ou interativas que utilizam entradas para entregar um resultado pretendido. (ABNT, 2015);
- Uma série de atividades sistemáticas direcionadas para alcançar um resultado final de tal forma que se atue sobre uma ou mais entradas a fim de criar uma ou mais saídas. (PMI, 2013);
- Um conjunto de ações ordenadas e integradas para um fim produtivo específico, ao final do qual são gerados produtos e/ou serviços e/ou informações. (BARBARÁ, 2006 citado por ARANHA, 2020);
- Um conjunto de atividades ordenadas e bem estabelecidas, com um propósito definido, que dispõem de entradas e saídas de informações. (ARANHA, 2020).

Segundo Barbará (2006, citado por Aranha, 2020) os processos em uma indústria ou instituição tem um grau de importância relevante, na medida em que estes permitam os seus colaboradores que: assumam mais responsabilidades, adotem mecanismos mais eficazes de participação na realização do trabalho e, empreguem melhores meios de comunicação.

Na literatura consultada e neste trabalho, Processo é um conjunto de atividades inter-relacionadas e integradas, com uma função específica, que transformam entradas em saídas.

### 2.3 Obsolescência

O termo "obsolescência", vindo do latim *obsolescere* que significa perder valor, era utilizado pelos romanos para designar um objeto que não seria útil por muito tempo. (KEEBLE, 2013).

A obsolescência planejada, caracterizada pela intenção dos fabricantes de encurtar a vida útil dos produtos, é uma das formas mais polêmicas de obsolescência devido à alterações nos produtos e equipamentos para cumprir metas de vendas crescentes (DOS SANTOS; FLORES, 2017).

Outra forma de obsolescência, como a tecnológica, utiliza as inovações tecnológicas para introduzir novos modelos no mercado; também seria responsável pela redução da vida útil dos produtos. Ainda que esta forma de obsolescência seja frequentemente criticada, tem permitido a diversificação da oferta graças ao desenvolvimento de produtos inovadores e, em menor medida, ao alargamento da gama de preços (ANDRADE, 2008).

Qualquer que seja a forma, a obsolescência é problemática em termos de **gestão de ativos** de uma indústria ou instituição. O fenômeno da obsolescência é particularmente bem ilustrado no setor de eletrônicos, onde o usuário tende a mudar com frequência para acompanhar o ritmo acelerado da inovação. (VEGA, 2012).

O fenômeno da obsolescência mudou gradualmente os valores relacionados à durabilidade dos bens. Anteriormente, o fornecimento de produtos não era muito diversificado, o equipamento era caro e o poder de compra, menor do que hoje. O consumidor possuía alguns produtos que ele tentava usar até o final de sua vida útil, ou seja, durante o período em que o dispositivo devia funcionar e cumprir a função para a qual foi projetado. Esses objetos eram simples em sua operação e dedicados à realização de uma única tarefa. Quando ocorria uma falha no dispositivo, o reparo geralmente era econômico. Os objetos são projetados atualmente para responder a uma cultura consumista para atender as inovações tecnológicas. Segundo essa ideia, a

quantidade de mercadorias que terminam sua vida útil é sinônimo de falha na relação usuário / objeto (PEREIRA et al, 2016).

O consumidor dificilmente consegue se apegar aos seus produtos, pois está constantemente sujeito a campanhas promocionais, moda, convenções estéticas e inovações tecnológicas que o incentivam a trocar produtos com frequência. Além disso, o reparo, especialmente no setor de eletrônicos, é uma prática que os consumidores nos países ocidentais fazem muito pouco, devido ao seu custo às vezes mais alto comparado à compra de um novo bem (PEREIRA et al, 2016). De fato, os dispositivos eletrônicos são oferecidos em uma ampla variedade de marcas e preços. A natureza de seu *design*, incluindo miniaturização e tecnologia avançada (microchip, placa-mãe), mudou o processo de reparo. Essa situação favoreceu a implantação da obsolescência dos produtos, o alto custo de manutenção e reparo, bem como a competição de novos equipamentos a preços mais competitivos elevou o usuário a optar por uma nova compra do que se manter o equipamento antigo/obsoleto (DOS SANTOS; FLORES, 2017).

Existem vários fatores que tornam um dispositivo ou tecnologia obsoleta. A causa mais comum de obsolescência é o desenvolvimento de novos sistemas ou tecnologias que oferecem desempenho superior ou aprimorado. A obsolescência é um conceito mais econômico do que tecnológico: um bem pode estar em perfeitas condições e fornecer seus serviços sem inconvenientes, mas será considerado obsoleto se já houver bens de produção de maior rendimento (COOPER, 2004).

No entanto, a obsolescência resulta na perda do valor e da utilidade de um produto. Isso se deve à rápida evolução de nossas tecnologias. Este fenômeno se aplica implicitamente aos componentes eletrônicos. Na verdade, o desenvolvimento de tecnologias e, portanto, de vários produtos e equipamentos, significa que alguns de seus componentes rapidamente se tornam obsoletos. Portanto, torna-se necessário substituí-los ou alterá-los por outros similares ou opcionais (SILVA, 2007).

Ainda neste cenário, a obsolescência dos componentes eletrônicos representa um verdadeiro problema de produção nas indústrias ou instituições. A eletrônica obsoleta é um problema significativo e gera uma grande quantidade de custos, de despesas, de prazos e recursos. A redução da vida útil dos produtos eletrônicos é fonte de muito debate. O fabricante é tradicionalmente apontado como o principal culpado desse fenômeno, enquanto o usuário, indústrias ou instituições são geralmente considerados vítimas (HERALD, et al., 2009).

Embora esse fato seja pouco reconhecido, as autoridades políticas também exercem influência na sustentabilidade dos ativos por meio das estratégias que adotam e das regulamentações que estabelecem. A obsolescência é um fenômeno complexo de caracterizar, principalmente no campo dos produtos eletrônicos, e que pode ser confundido com várias outras formas de obsolescência. O fabricante não é o único envolvido na redução da vida útil dos equipamentos eletrônicos, existe a influência dos usuários, autoridades políticas, regulamentações, acordos políticos e estratégicos, oligopólios de fabricantes e entre outros (KEEBLE, 2013).

Portanto, é urgente encontrar soluções. Isso começa com a integração da antecipação e gerenciamento da obsolescência de componentes eletrônicos nas políticas de gerenciamento da empresa. Os gestores dessas empresas devem, portanto, monitorar e gerenciar melhor a cadeia de suprimentos dos vários componentes eletrônicos. Para isso, eles precisam de um distribuidor de componentes eletrônicos capaz de encontrar esses componentes o mais rápido possível, que se tornaram obsoletos e, portanto, raros (COOPER, 2004).

A obsolescência afeta todos os produtos e impacta em todos os estágios de suas vidas. O termo “produto” inclui ativos, infraestruturas, bens de consumo duráveis, consumíveis e programas de software. A Obsolescência é inevitável, mas através de um provisionamento e planejamento cuidadosos, pode ter seus efeitos e altos custos potenciais minimizados. A Obsolescência pode ser traduzida como: “A transição de um item de disponível através de seu fabricante original para indisponível” (IEC 62402:2007).

Um componente se torna obsoleto quando este não está mais disponível através de seu fabricante original, em sua especificação original. Em projetos com grande ciclo de vida, a obsolescência tem se tornado um dos maiores problemas, pois impossibilita a manutenção do sistema (SOUZA et al., 2007): Itens, componentes, peças ou subsistemas são obsoletos se a remoção dos mesmos do sistema compromete a funcionalidade do mesmo e, estes itens, componentes, peças ou subsistemas não podem ser reparados ou trocados, isto é, não há peças sobressalentes ou substitutos disponíveis (incluindo a ausência de competências ou processos para restabelecer uma falha específica) (COOPER, 2004).

Para o propósito deste trabalho, a seguinte definição de Obsolescência é adotada: Um componente se torna obsoleto quando este não está mais disponível através de seu fabricante original, em sua especificação original; independentemente da causa desta indisponibilidade: embargo comercial / regulatório, obsolescência programada ou planejada, obsolescência técnica ou funcional, falência do fornecedor, etc.

### **2.3.1 Tipos de obsolescência**

De acordo com as definições e tipos de obsolescências encontradas na literatura e para o alinhamento de conceitos, a obsolescência tem as seguintes definições e tipos para esse trabalho:

#### **2.3.1.1 Obsolescência técnica ou funcional**

A Obsolescência Técnica é quando um produto não é mais tecnicamente superior a outros, ou produtos semelhantes. Obsolescência Funcional, por outro lado, é quando um produto não pode mais ser usado da maneira que era utilizado quando foi adquirido pela primeira vez (MAGERA, 2013). As Obsolescências Técnica ou Funcional podem ocorrer:

- a) Quando um produto novo não é mais funcional ou uma nova tecnologia substitui a anterior;

- b) Quando um produto fica sem utilidade devido a mudanças em outros produtos;
- c) Quando, por exemplo, (embora não expressado quantitativamente), as peças sobressalentes se tornam tão caras que se torna mais viável a compra de um novo produto;
- d) Quando materiais de qualidade ruim diminuem o tempo de vida do produto;
- e) Quando peças e componentes não estão mais disponíveis para a manufatura do item. O gerenciamento deste tipo de obsolescência é necessário se a disponibilidade a longo prazo de um produto é importante;
- f) Quando novos produtos similares e/ou alternativos têm desempenho ou funções melhores para fins similares; “melhor” pode significar menor, mais barato, mais rápido, mais confiável ou afins.

### **2.3.1.2 Obsolescência planejada**

Obsolescência Planejada (também conhecida como Obsolescência Interna) é uma decisão consciente por parte de uma empresa de produzir um bem de consumo que se tornará obsoleto e/ou não funcional após um tempo definido (ANDRADE, 2008).

A Obsolescência Planejada traz grandes benefícios para um fabricante na medida que um consumidor irá comprar seu produto repetidamente, visto que o antigo não é mais funcional ou desejável. É utilizada em muitos produtos, desde veículos a lâmpadas, construções a software. Há, todavia, o potencial de perda de alguns consumidores à medida que tomam ciência dessa obsolescência; estes consumidores podem questionar sua lealdade e comprar produtos de outras companhias que atendem seu desejo de produtos mais duráveis (MAGERA, 2013).



Estimativas de obsolescência planejada podem influenciar as decisões de uma companhia a cerca da engenharia de produto. Por este motivo, a companhia pode usar componentes mais baratos para atender as projeções de duração/tempo de vida. Tais decisões são parte de uma disciplina mais abrangente conhecida como Engenharia de Valor (SOUZA et al., 2007).

### **2.3.1.3 Obsolescência de estilo**

Quando um produto não é mais desejável porque ele saiu da moda/gosto popular, seu estilo é obsoleto. Um exemplo é o da calça jeans manchada; embora este artigo de moda ainda seja perfeitamente funcional, ele não é mais desejado porque a tendência de moda vigente não prega mais este tipo de vestimenta (SILVA, 2007).

### **2.3.1.4 Obsolescência postergada**

Obsolescência Postergada se refere a uma situação onde melhorias tecnológicas não são introduzidas num produto, mesmo sendo possível isto. Um exemplo é quando uma montadora de veículos desenvolve uma nova funcionalidade em sua linha de veículos, mas escolhe não a implementar em sua linha de produtos mais barata (ANDRADE, 2008).

## **2.3.2 Gestão da obsolescência**

O Processo/Plano de Gestão da Obsolescência é uma “descrição das estratégias para a identificação e mitigação dos efeitos da obsolescência ao longo de todos os estágios da vida de um produto” (IEC 62402:2007).

A Gestão da Obsolescência se refere às atividades que são executadas a fim de mitigar os efeitos da obsolescência. As atividades podem incluir *last-time buys*, *lifetime buys* e monitoramento da obsolescência, entre outras (HERALD, et al., 2009).

O objetivo da Gestão da Obsolescência é assegurar que a obsolescência seja gerenciada como uma parte integral do projeto, desenvolvimento, produção e pós-venda a fim de minimizar os custos e efeitos prejudiciais ao longo do ciclo de vida do produto. A obsolescência se apresenta de duas formas: o item não é

mais adequado para suas exigências atuais, ou o item não é mais disponível no seu fabricante original, por exemplo, devido a restrições econômicas (SILVA, 2007).

### **2.3.2.1 Fatores analisados na obsolescência**

Os fatores que devem ser analisados quanto à obsolescência para quantificar os seus efeitos incluem (HERALD, et al., 2009):

- a) Disponibilidade contínua pelos fornecedores ou OEM;
- b) Suporte contínuo dos itens/peças/componentes, isto é, manutenção e atualizações;
- c) Compatibilidade com as últimas gerações dos equipamentos substituídos em termos de forma, ajuste e função;
- d) Possíveis mudanças regulatórias que limitam, controlam ou afetam de alguma forma a posse ou uso de algum equipamento (por exemplo, combustíveis, componentes explosivos, aparatos militares estratégicos e produtos potencialmente nocivos ao meio ambiente).

No Apêndice A deste documento é apresentada uma revisão mais detalhada da literatura sobre o assunto “obsolescência” em geral e seus diferentes tipos e definições.

## **2.4 Redução da robustez (por processos como *lean design* e *lean engineering*, uso de COTS, falhas de logística, etc.)**

A Robustez é:

- Uma importante qualidade em sistemas bem-sucedidos em aplicações espaciais. É definido como o nível de tolerância a variações que os componentes de um sistema suportam em seu ambiente de aplicação. Geralmente, é definida como a resistência de um sistema sob condições variáveis do seu ambiente. (MOORE; SVETLIK; WILLIAMS, 2017).

- A capacidade de um circuito operar adequadamente ao longo de uma gama específica de variações de temperatura, fabricação, tensão da fonte de alimentação entre outros fatores, onde esta variação está de acordo com as tolerâncias dos componentes e circuitos. Algumas restrições no desenvolvimento do projeto também simplificam a obtenção de robustez. (THOMPSON; LAYZELL, 2000).
- A capacidade de resistir ou sobreviver a choques externos e de ser estável, apesar da incerteza (BANKES, 2010 citado por CAPANO; WOO, 2017).
- A capacidade de um sistema suportar perturbações na estrutura sem mudança na função (JEN, 2003 mencionado por CAPANO; WOO, 2017).
- A capacidade de um sistema complexo permanecer funcional diante de choques ou distúrbios (MENS et al. 2011 citado por CAPANO; WOO, 2017).
- A capacidade dos processos de desenvolvimento permanecerem íntegros, apesar do impacto das perturbações ambientais; e, em termos de resiliência ecológica, é a capacidade de manter as funções e o controle na presença de perturbações externas (JEN, 2003 citado por CAPANO; WOO, 2017)
- O estado em que o desempenho da tecnologia, do produto ou do processo é minimamente sensível aos fatores que causam variabilidade (seja na fabricação ou no ambiente de aplicação (PARK et al., 2006).
- A insensibilidade de produtos ou processos contra diferentes fontes de variação, tais como tolerâncias de produção ou montagem, cenários de carga não (totalmente) especificados ou condições ambientais de operação (KEMMLER et al., 2015).
- A insensibilidade ao ruído (ou seja, variação no ambiente operacional, fabricação, distribuição, etc., e todos os fatores e tensões no ciclo de vida do produto) (BYRNE, 2008).

A robustez de um projeto de sistema pode ser predeterminada, avaliada, projetada e etc., por meio das seguintes técnicas (MOORE; SVETLIK; WILLIAMS, 2017):

- Teste de vida útil – São testes de validação e verificação para determinar o valor da vida útil do sistema, podendo ser testes em condições de operação ou teste altamente acelerados da vida útil (HALT).
- Fator de segurança - O fator de segurança é uma margem de projeto acima da resistência ou rendimento final calculado de um material. Ao utilizar um fator de segurança em uma análise, a equipe de engenharia pode garantir que um projeto seja construído com margens suficientes para que falhas estruturais nem sejam possíveis de acontecerem dentro das condições de uso definidas.

O desenvolvimento de um projeto robusto é definido como um projeto:

- Que satisfaça os requisitos funcionais, processuais e ambientais definidos, sendo ele insensível a variações (PARK et al., 2006).
- De produtos ou processos que funcionem como pretendidos apesar de variações como: controle de qualidade, fatores de segurança, etc., e custos adicionais ou ineficiências embutidos nos produtos (KEMMLER et al., 2015).

Um processo de validação da robustez demonstra que um produto executa suas funções pretendidas com margens suficientes sob um cenário de missão definido para sua vida útil especificada. Esse processo exige: i) a especificação de requisitos com base em um cenário de missão, ii) uma análise de FMEA para identificar os riscos potenciais associados aos mecanismos de falha significativos e, iii) teste de vida acelerado, *burn-in* ou análise de degradação aceitável para determinar as margens da robustez. O processo é baseado na medição e maximização da diferença entre os requisitos de aplicação conhecidos e a capacidade do produto dentro do prazo e das restrições

econômicas. Abrange as atividades de verificação, validação legal e validação da margem de risco da instituição (BYRNE, 2008).

Neste trabalho será considerado que a redução da robustez está associada ao aumento da sensibilidade ou diminuição da insensibilidade do componente às condições/parâmetros do ambiente de desenvolvimento, produtivo ou operacional. As condições/parâmetros podem estar associadas a ações humanas ou ao ambiente, como:

- Interferência Eletromagnética;
- Vibração e Choque;
- Temperatura;
- Umidade;
- Pressão Atmosférica;
- Salinidade;
- Descarga Eletrostática (ESD);
- Descarga Elétrica;
- E outros.

Na literatura consultada e neste trabalho, considera-se que a Redução da Robustez resulta, sobretudo, das mudanças das características físicas e técnicas do componente eletrônico por razões econômicas, chamadas de **Engenharia/Projeto Enxuto (*Lean Design/Engineering*)**, a saber:

#### **2.4.1 *Lean Design e Lean Engineering***

O *Lean Design* é conhecido também por Desenvolvimento “Enxuto”. Este é um dos métodos utilizados por diversas empresas para remover os exageros de projeto (*overdesigns*), excessos de provimento (*procurement excesses*), desperdícios (*wastes*) da própria produção, pois todos são considerados

perdas que causam prejuízos à empresa. Por exemplo, de acordo com Reis (2004), o *Lean Design* ou Desenvolvimento “Enxuto”, é responsável por retirar do produto e do processo toda a estrutura que pode ser definida como "excesso". Sendo assim, por meio deste mesmo autor, os "excessos" ou "exageros" são fragmentos que não somam valor à mercadoria, como a utilização de instrumentos especiais, que não auxiliam às técnicas de ergonomia e não são necessárias ao processo.

Em um mercado de mudanças tão rápidas, com concorrência global constante, surge a necessidade de manter processos ágeis, porém robustos, que possam oferecer a flexibilidade e a qualidade necessárias para lidar com esses desafios, ao mesmo tempo em que reduz os custos de maneira implacável. (JAMEEL, 2017).

Diante desses desafios a indústria dos eletrônicos se vê na necessidade de implantação dos processos *Lean Manufacturing* para atender as demandas do mercado extremamente competitivo e remover ineficiências e desperdícios de processos. E esses desafios são (LITTLEFIELD; ROBERTS, 2013):

- Redução das margens operacionais;
- Cadeias de suprimentos complexas;
- Gerenciamento de serviço e garantia;
- Ciclos de vida curtos do produto;
- Sustentabilidade / Conformidade Regulatórias mais rígidas;
- Demanda incerta.

Mas, ao reduzir os “excessos”, os processos *Lean* reduzem, simplificam, ou até eliminam margens, etapas, testes, ao estritamente contratado ou percebido pelos interessados, reduzindo a robustez do produto.

No Apêndice B é apresentado um estudo mais detalhado sobre os processos *Lean*, em especial sobre *Lean Manufacturing*, Seis Sigma e *Lean Seis Sigma*.

### **2.4.2 O uso de COTS**

Segundo Zednícek (2016, citado por Junqueira e Manea, 2020) o surgimento da utilização de componentes COTS se deu pela mudança de políticas de consumo, marcado no século anterior pela influência da necessidade dos estados na aquisição e uso dos dispositivos e componentes eletrônicos. Mas se tornou uma preocupação na última década, com a utilização de componentes (COTS) em projetos aeronáuticos militares pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos (DoD), desde 1998, motivado por inúmeros benefícios potenciais como: a elevada disponibilidade, a aparente redução de custos e a incorporação rápida de novas tecnologias; e vem se estendendo às indústrias aeroespaciais e outras (ALFORD, 1999).

De acordo com Zednícek (2016, citado por Junqueira e Manea, 2020) as consequências para as indústrias e instituições aeroespaciais e militares foram a diminuição da influência dessas no mercado de componentes eletrônicos e o aumento da necessidade de fabricantes de componentes especializados. Porém, segundo Pignol (2010, citado por Junqueira e Manea, 2020), mesmo os fabricantes de componentes especializados podem necessitar do uso de COTS, pela disponibilidade no mercado e a evolução tecnológica muito acelerada. E ele ainda cita que, geralmente, para um componente ser classificado como “espacial” leva-se um tempo que os projetos em desenvolvimento talvez não consigam suportar.

A indústria eletrônica aeroespacial descobriu que, embora não se possa controlar as fontes/fornecedores de componentes eletrônicos, pode-se gerenciar os processos que se usam para selecionar e utilizar componentes para garantir funcionalidade, segurança, confiabilidade e relação custo-benefício, além de minimizar os efeitos da obsolescência de componentes (RIBEIRO, 2013). Para esse fim, Comitês foram formados para preparar guias para o uso de COTS e componentes fora das faixas de temperatura especificadas (HOWARD, 2002), isto é, explorando sua robustez.

### 2.4.3 As falhas de logística

A Disponibilidade medida pelo usuário é uma função da ausência de falhas e da manutenção corretiva requisitada, com que frequência a manutenção preventiva é realizada, a rapidez com que as falhas indicadas podem ser isoladas e reparadas, a rapidez com que tarefas preventivas de manutenção podem ser executadas e por quanto tempo os atrasos de suporte logístico contribuem para o tempo de inatividade (DoD, 2005).

Os dois principais riscos associados à obsolescência são a **quebra logística** devido à obsolescência de um componente na cadeia produtiva e o **aumento dos preços e prazos** de entrega dos componentes no final da vida útil. Gerenciar a obsolescência é uma questão estratégica para empresas em geral. Esta é uma etapa também essencial em um processo de manutenção preventiva para garantir a continuidade logística da produção, manutenção e assistência ao cliente.

Gerenciar a obsolescência é uma questão estratégica para as indústrias e instituições militares e aeroespaciais para resolver um problema de um evento que é incerto e danoso, e que, ao mesmo tempo, é técnico e gerencial. Esta é uma etapa também essencial em um processo de manutenção preventiva para garantir a continuidade logística da produção, manutenção e assistência ao cliente.

## 2.5 Confiabilidade

A Confiabilidade é:

- A capacidade de um item executar uma função requerida, sob determinadas condições e em um determinado intervalo de tempo (ECSS, 2012). Geralmente, o desempenho da Confiabilidade é quantificado usando medidas apropriadas. Em algumas aplicações, essas medidas incluem uma expressão do desempenho da Confiabilidade como uma probabilidade.



- A capacidade de um item executar uma função como requerido, sem falhar, por um determinado intervalo de tempo, sob determinadas condições. Ainda mencionam que determinadas condições incluem aspectos que afetam a Confiabilidade, tais como: modo de operação, níveis de estresse, condições ambientais e manutenção (IEC/TC56, 2018) (IEC, 2018).
- A probabilidade de um item executar sua função pretendida por um intervalo especificado sob determinadas condições (NASA, 2017) (DoD, 2005).
- A probabilidade de que um componente ou sistema funcione dentro dos limites especificados de projeto, não falhe durante um período de tempo previsto para a sua vida, dentro das condições de agressividade do meio (LAFRAIA, 2001).
- Uma disciplina de projeto de engenharia que aplica conhecimento científico para assegurar que um produto irá desempenhar sua função esperada pelo período de tempo requerido, dado um determinado ambiente. Isso inclui projetar a habilidade de manter, testar e suportar um produto através de seu ciclo de vida.
- A Confiabilidade é mais bem descrita como o desempenho de um produto ao longo do tempo. É aperfeiçoada simultaneamente por outras disciplinas de projeto que contribuem com a seleção de materiais, arquitetura, processos e componentes – tanto hardware quanto software; seguidas pela verificação das seleções feitas através de análises e testes (IEEE, 2012).
- “A probabilidade de que um dispositivo ou sistema irá exercer uma função requerida, sob condições especificadas, por um período de tempo determinado”. A Confiabilidade do sistema depende de vários fatores como a qualidade, a idade dos componentes e a complexidade do sistema analisado. Ela fornece informações probabilísticas sobre o comportamento do sistema no futuro, baseada em informações probabilísticas sobre o comportamento do sistema no passado, ao longo do tempo e dos componentes (Souza e Carvalho, 2005).

Da literatura consultada e neste trabalho, a Confiabilidade é a probabilidade do componente ou equipamento funcionar sem ocorrência de falhas, durante um período de tempo determinado e sob condições especificadas.

## 2.6 Confiabilidade do sistema

Os métodos de confiabilidade surgiram das preocupações dos militares norte-americanos na década de 1950 sobre a confiabilidade e disponibilidade dos sistemas eletrônicos. Duas abordagens principais para a avaliação da confiabilidade são os métodos tradicionais/consagrados/fenomenológicos, baseados na Avaliação Probabilística de Dados de Campo; e métodos atuais/inovadores/causais, baseados na Análise de Mecanismos de Falha e Física da Falha. Os métodos tradicionais foram mais usados na década de 1970 e continuam sendo usados com frequência, pois são mais fáceis de aplicar (Economou, 2004).

Ao definir as características de confiabilidade de cada componente, é possível utilizar um *software* para calcular a função de confiabilidade para todo o sistema e obter uma ampla variedade de resultados de análises de confiabilidade do sistema, incluindo a capacidade de identificar componentes críticos e calcular a estratégia ideal de alocação de confiabilidade para atingir uma meta de confiabilidade do sistema. Da mesma forma, quando se definem as características de manutenção dos componentes no *Reliability Block Diagram* (RBD), pode-se usar um *software* para simular a operação do sistema e obter uma variedade de resultados de disponibilidade e manutenção do sistema que ajudarão a tomar decisões sobre o *design* e / ou a operação do sistema (TRISCH, 2015).

Um Diagrama de Blocos de Confiabilidade (RBD) é um método diagramático para mostrar como a confiabilidade dos componentes contribui para o sucesso ou falha de um sistema complexo. O RBD também é conhecido como Diagrama de Dependência (DD) (ECSS, 2012).

Com dados adequados, pode-se demonstrar que, em média, uma porcentagem de componentes falham num certo intervalo de tempo. Isso é chamado de taxa

média de falhas e é representado por com uma porcentagem de unidades de falhas / tempo. Seu limite é a taxa instantânea de falhas  $\lambda(t)$ . O método mais fácil para representar a confiabilidade de um componente é sua probabilidade de falhas, expressa como uma distribuição contínua (exponencial, normal, etc.), onde  $R(t)$  é a Confiabilidade (*Reliability*), ou seja, a probabilidade de o componente não falhar dentro do intervalo de tempo  $(0, t)$ .

Existem outras distribuições disponíveis para representar falhas no equipamento, mas elas requerem informações mais detalhadas sobre o dispositivo e uma análise mais detalhada. Para a maioria das situações, a distribuição exponencial é adequada (DOS SANTOS; FLORES, 2017).

Vale a pena notar que a distribuição exponencial assume uma taxa de falhas constante. À medida que  $t$  aumenta a partir de 0,  $R(t)$  passa de 1 a 0. A velocidade com a qual isso ocorre depende do valor da taxa de falhas  $\lambda(t)$ ; ou seja, quanto maior for a taxa de falhas  $\lambda(t)$ , mais rapidamente a confiabilidade diminuirá. Usualmente, para um novo dispositivo, a taxa de falhas é inicialmente alta devido a defeitos de fabricação, defeitos de material etc. A seguir, é apresentado um período de taxa de falhas relativamente constante. Este é o período durante o qual a distribuição exponencial é mais aplicável. Finalmente, à medida que o dispositivo envelhece, a taxa de falhas aumenta eventualmente. Juntos, formam a “curva da banheira” (*bath tube curve*), representada pela Figura 2.1.

Figura 2.1 - Curva da Banheira e ciclo de vida de equipamentos.



Fonte: Sellitto (2005).

No período de **mortalidade infantil**, a taxa de falhas é alta, porém decrescente. As falhas preliminarmente são causadas por defeitos congênitos ou fraquezas, erros de projeto, peças defeituosas, processos de fabricação inadequados, mão-de-obra desqualificada, estocagem inadequada, instalação imprópria, partida deficiente entre outras. A taxa de falhas diminui com o tempo, conforme os reparos de defeitos eliminam componentes frágeis ou à medida que são detectados e reparados erros de projeto ou de instalação. Sellitto (2005) aponta que, neste período, a melhor estratégia de manutenção é a corretiva, ou seja, cabe à manutenção não apenas reparar o equipamento, mas corrigi-lo, para que a falha não se repita.

Entre  $t_1$  e  $t_2$  é a fase de maturidade ou período de **vida útil**. O valor médio da taxa de falha é aproximadamente constante. Nesta fase, as falhas ocorrem por causas aleatórias, externas ao sistema, tais como acidentes, liberações excessivas de energia, mau uso ou operação inadequada, e são de difícil controle. Falhas aleatórias podem assumir diversas naturezas, tais como: sobrecargas aleatórias, problemas externos de alimentação elétrica, vibração, impactos mecânicos, bruscas variações de temperatura, erros humanos de operação entre outros. Falhas aleatórias podem ser reduzidas, projetando equipamentos mais robustos do que exige o meio em que se opera ou padronizando a operação. Sellitto (2005) aponta que, neste período, a melhor

estratégia de manutenção é a preditiva, ou seja, monitoramento para detectar o início da fase de desgaste.

Após  $t_2$ , há crescimento da taxa de falhas, a **mortalidade senil**, que representa o início do período final de vida do item. Esta fase é caracterizada pelo desgaste do componente, corrosão, fadiga, trincas, deterioração mecânica, elétrica ou química, manutenção insuficiente entre outros. Para produzir produtos com vida útil mais prolongada, deve-se atentar para o projeto, utilizando materiais e componentes mais duráveis, um plano de inspeção e manutenção que detecte que iniciou a mortalidade senil e a previna, por substituição preventiva de itens, e supressão dos agentes nocivos presentes no meio (LEWIS, 1994; IRESON, COOMBS E MOSS, 1996; DODSON E NOLAN, 2002; SELLITTO, 2005). Sellitto (2005) aponta que, neste período, a melhor estratégia de manutenção é a preventiva ou seja, já que o equipamento irá falhar, cabe à manutenção aproveitar a melhor oportunidade para substituir ou reformar o item.

Sellitto (2005) destaca que o término da vida útil, sob o ponto de vista de confiabilidade, que ocorre quando o item ingressa no período de mortalidade senil, não deve ser confundido com sua obsolescência do ponto de vista mercadológico ou produtivo. Nesta, o item é substituído por haver desaparecido o valor atribuído à função que desempenha. Naquela, a substituição ocorre por queda na confiabilidade do item em produzir o valor que dele se espera. Siqueira (2005) distingue **vida segura** de **vida econômica**. Naquela, o item opera até que a probabilidade de falha ultrapasse um patamar de segurança. Nesta, o item opera enquanto a função que desempenha continua sendo necessária.

Siqueira (2005) diz que sistemas industriais evoluem na curva da banheira segundo várias características. Lafraia (2001) ressalta que pode não existir alguma fase, passando-se, por exemplo, da mortalidade infantil para a senil, diretamente. Este é o caso da pesquisa com embreagens, relatada em Sellitto, Borchardt e Araújo (2002). Sistemas eletrônicos geralmente apresentam mortalidade infantil e depois apenas falhas aleatórias, estacionando na parte

baixa da curva. Tal região é dita sem memória de falha (*failure memoryless*), pois a incidência de uma falha num instante de tempo  $t_1$  não tem correlação com o intervalo de tempo  $\Delta t = t_2 - t_1$  até a próxima falha nem com o instante de tempo desta em  $t_2$ . Em software, as falhas de programação geralmente têm apenas mortalidade infantil, pois uma vez corrigidas, é impossível a reincidência, pois não se originam de processos dissipativos de energia.

### **2.6.1 Métodos tradicionais para a predição da confiabilidade**

Tradicionalmente, o método para a predição da confiabilidade de equipamentos espaciais, aeroespaciais e militares consiste em decompor o produto/sistema em combinações de subsistemas, equipamentos e componentes. Os componentes são analisados individualmente com os Dados de Campo das múltiplas fontes ou manuais de predição da confiabilidade. As combinações dos componentes podem ser representadas em Modelos Lógicos de Confiabilidade, como Diagrama de Blocos de Confiabilidade (*Reliability Block Diagram - RBD*); e/ou, se pensarmos nas falhas dos blocos, podemos representá-los em uma Árvore de Falhas (*Fault Tree Analysis - FTA*). Esses tipos de modelamentos associados/combinados nos fornecem dados da confiabilidade de um equipamento, subsistema, sistema ou produto. O resultado disso, normalmente é mais conservador, mais impreciso e não realista para os dias de hoje (2020).

A referência padrão mais utilizada pelas indústrias e instituições militares e aeroespaciais para predição da confiabilidade de componentes eletrônicos é Manual MIL-HDBK-217 (*Reliability Prediction for Electronic Systems* (1991, 1992, 1995)). Na seção seguinte (2.6.1.1) são detalhadas as metodologias apresentadas nesse manual.

#### **2.6.1.1 A predição da confiabilidade através do manual MIL-HDBK-217**

Os processos de análise e melhoria da confiabilidade de sistemas vêm sendo aprimorados progressivamente com base nos resultados encontrados em sistemas já avaliados e em suas modificações. Isto resulta em processos de padronização através de manuais que estabelecem condições e propriedades

que ajudam a avaliar e a mensurar a confiabilidade dos componentes, equipamentos, subsistemas e sistemas, como o manual MIL-HDBK-217 (1991, 1992, 1995).

Trata-se de um manual com o intuito de proporcionar estimativas conservadoras e rigorosamente seguras para o cálculo da confiabilidade de equipamentos eletrônicos.

As predições de confiabilidade são meios de determinar a viabilidade de um sistema específico. Em geral, existe uma hierarquia de técnicas de predição de confiabilidade disponíveis para o desenvolvedor de projetos, dependendo da profundidade do conhecimento do projeto e da disponibilidade de dados históricos sobre confiabilidade de equipamentos e componentes.

O manual MIL-HDBK-217 (1991, 1992, 1995) é dividido em dois métodos para a predição da confiabilidade: Contagem de Partes (*Parts Count*) e Estresse de Partes (*Parts Stress*). O método para a predição da confiabilidade por Contagem de Partes (*Parts Count*) é usado na fase de Projeto Preliminar, enquanto o método para a predição da confiabilidade por Estresse de Partes (*Parts Stress*) é usado na fase de Projeto Detalhado do sistema. A predição por Contagem de Partes exige menos informações, mas é uma abordagem mais conservadora, levando a uma menor exatidão na predição da confiabilidade, de acordo com o manual. Nas seções seguintes (2.6.1.1.1 e 2.6.1.1.2) são apresentados os dois métodos do manual MIL-HDBK-217 (1991, 1992, 1995).

#### **2.6.1.1.1 Método para a predição da confiabilidade por Contagem de Partes (*Parts Count*)- MIL-HDBK-217**

De acordo com o manual MIL-HDBK-217 (1991, 1992, 1995), o método por Contagem de Partes (*Parts Count*) é uma abordagem mais simples para usar durante a fase inicial do projeto (Projeto Preliminar), quando não foram definidos todos os componentes nem suas condições de uso. Essa técnica assume níveis médios de solicitações (exigência de carga) como um meio de proporcionar uma estimativa inicial das taxas de falhas. Este método exige um número menor de informações a serem inseridas, por exemplo, qualidade,

quantidade, ambiente, pois supõe condições normais de funcionamento. Esse método utiliza a somatória das taxas de falhas e considera todos os componentes do sistema em série e com confiabilidades exponenciais.

A predição da confiabilidade por Contagem de Partes (*Parts Count*) é usada quando o número de tipos de componentes é razoavelmente fixo e a complexidade de projeto geral não é esperada para mudar. O método por Contagem de Partes assume que o tempo até a falha das partes é distribuído exponencialmente, levando a uma taxa de falhas constante.

Neste método de predição, uma taxa de falhas da parte (Equação 2.1) é dada por uma taxa de falhas genérica de cada tipo de peça específica multiplicada por um fator de qualidade, ambos apresentados no manual MIL-HDBK-217 (1991, 1992, 1995) de acordo com o tipo de parte e a condição do ambiente.

$$\lambda_p = \lambda_g \pi_Q \quad (2.1)$$

Onde,  $\lambda_p$  = Taxa de falhas da parte

$\lambda_g$  = Taxa de falhas genérica por tipo de parte

$\pi_Q$  = Fator de qualidade

A taxa de falhas geral é calculada pela soma direta das taxas de falhas de cada parte e a confiabilidade é dada pela Equação 2.2.

$$R = e^{-\left(\sum_i \lambda_{p_i}\right)t} \quad (2.2)$$

Onde,  $R$  = Confiabilidade

$t$  = Duração da Missão

$\lambda_p$  = Taxa de falhas da parte

$i$  = Parte



### 2.6.1.1.2 Método para a predição da confiabilidade por estresse de partes (*Parts Stress*)- MIL-HDBK-217

De acordo com o manual MIL-HDBK-217 (1991, 1992, 1995), o método de predição por Estresse de Partes (*Parts Stress*) é usado normalmente quando os circuitos e os hardwares vigentes estão sendo projetados, não devem ser utilizados para uma predição até que o programa tenha amadurecido (Projeto Detalhado), de tal forma que esses estresses possam ser quantificados pelo uso de ferramentas de simulação. Essa metodologia se baseia na combinação lógica das taxas de falhas de cada componente do sistema.

O procedimento para calcular o nível da taxa de falhas para o sistema, usando o método por estresse das partes, é a soma das taxas de falhas de cada componente calculadas em condições específicas. De forma genérica, a modelagem matemática usada no manual MIL HDBK 217 (1991, 1992, 1995) para cada componente é uma multiplicação. Essa multiplicação consiste em utilizar a taxa de falhas nas condições de referência e aplicar fatores de correções usuais como de qualidade, estresses do ambiente e próprio ambiente de aplicação. Porém, esses fatores podem variar, dependendo da sensibilidade do componente ou do ambiente de aplicação.

Neste método de predição, o manual MIL-HDBK-217 (1991, 1992, 1995) descreve um modelo de predição para as classes de componentes eletrônicos apresentados abaixo nos itens de 1 a 9:

1. Microprocessadores e portas lógicas, Equação 2.3:

$$\lambda_p = (C_1 \cdot \pi_T + C_2 \cdot \pi_E) \pi_Q \cdot \pi_L \quad (2.3)$$

2. Memórias (ROM, PROM, EPROM, RAM, SRAM, DRAM),  
Equação 2.4:

$$\lambda_p = (C_1 \cdot \pi_T + C_2 \cdot \pi_E + \lambda_{CYC}) \pi_Q \cdot \pi_L \quad (2.4)$$

3. Diodos (*Low Frequency*), Equação 2.5:

$$\lambda_P = \lambda_b \cdot \pi_T \cdot \pi_S \cdot \pi_C \cdot \pi_Q \cdot \pi_E \quad (2.5)$$

4. Transistores (*Low Frequency*), Equação 2.6:

$$\lambda_P = \lambda_b \cdot \pi_T \cdot \pi_A \cdot \pi_R \cdot \pi_S \cdot \pi_Q \cdot \pi_E \quad (2.6)$$

5. Resistores (RLR, RNR), Equação 2.7:

$$\lambda_P = \lambda_b \cdot \pi_T \cdot \pi_P \cdot \pi_S \cdot \pi_Q \cdot \pi_E \quad (2.7)$$

6. Capacitores (CMR, CKR), Equação 2.8:

$$\lambda_P = \lambda_b \cdot \pi_T \cdot \pi_{CV} \cdot \pi_{SR} \cdot \pi_Q \cdot \pi_E \quad (2.8)$$

7. Capacitores (CSR), Equação 2.9:

$$\lambda_P = \lambda_b \cdot \pi_T \cdot \pi_{CV} \cdot \pi_{SR} \cdot \pi_Q \cdot \pi_E \quad (2.9)$$

8. Conectores (*General*), Equação 2.10:

$$\lambda_P = \lambda_b \cdot \pi_T \cdot \pi_K \cdot \pi_Q \cdot \pi_E \quad (2.10)$$

9. Cristais, Equação 2.11:

$$\lambda_P = \lambda_b \cdot \pi_Q \cdot \pi_E \quad (2.11)$$

A taxa de falhas geral é calculada pela soma direta das taxas de falhas de cada parte e a confiabilidade é dada pela Equação 2.12.

$$R = e^{-\left(\sum_i \lambda_{P_i}\right)t} \quad (2.12)$$

Onde,        R   = Confiabilidade  
              t   = Duração da Missão  
               $\lambda_P$  = Taxa de falhas da parte  
              i   = Parte

### 2.6.2 Métodos para a predição da confiabilidade por física da falha

Uma abordagem que permite uma maior precisão e realismo são os métodos mais atuais/inovadores que utilizam a Física da Falha e, também, utilizam os mesmos dados, mencionados acima, como entrada para obter a confiabilidade de componentes.

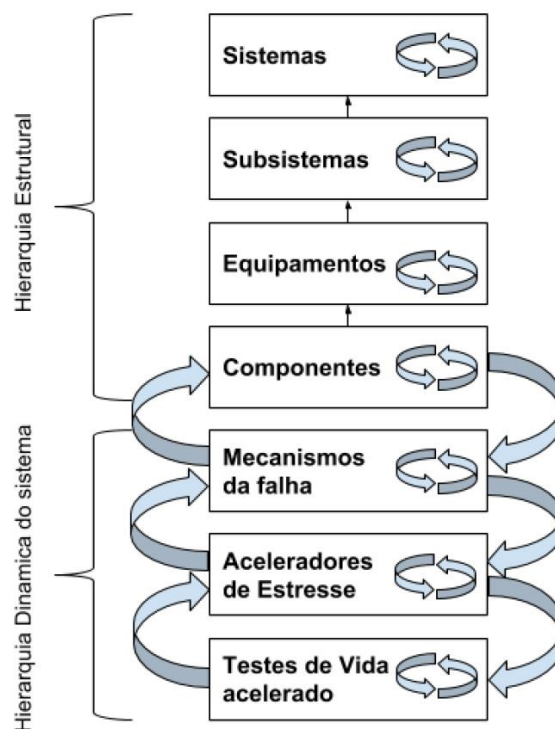
A abordagem por física da falha é baseada nos princípios fundamentais da Ciência e da Engenharia e oferece uma visão que não se limita aos aspectos de vida e confiabilidade do componente, mas oferece dados de mecanismos de degradação, o que aprimora o entendimento de causas raízes da falha (Varde, 2010).

Em geral, as etapas para obter esses dados de confiabilidade de um componente seguindo os métodos baseados na física da falha, como manual FIDES (2009), são:

- a) Entender um determinado mecanismo de falha e desenvolver seu modelo correspondente;
- b) Identificar aceleradores de estresse desse mecanismo de falha e;
- c) Planejar e implementar testes de vida acelerados para coletar dados de falha e validar o modelo.

Segundo Modarres et al. (2015), a etapa mais crítica quando se usa a abordagem de análise por física da falha é entender os mecanismos da falha (por exemplo, corrosão ou fadiga) para então evoluir para uma modelagem que seja adequada à degradação e ao tempo em que a falha acontece. A segunda etapa é feita por meio da identificação dos aceleradores de estresse do mecanismo da falha; e a etapa seguinte é realizada por meio de testes de vida acelerados, com base em modelos de física da falha. Essa é uma forma de diminuir testes longos e onerosos. Nesta última etapa, é realizada a comparação das propriedades físicas e químicas dos materiais com métricas de confiabilidade (como por exemplo, vida útil, degradação ou ainda ciclos a falhas). Isto é estruturado de acordo com uma adaptação da hierarquia de um sistema utilizando a análise por física da falha proposta por (Modarres et al., 2015), como demonstrado na Figura 2.2.

Figura 2.2 - Hierarquia de um sistema utilizando previsão por Física da Falha.



Fonte: Adaptado de Modarres et al. (2015).

### **2.6.2.1 A Predição da confiabilidade através do manual FIDES**

Os processos de análise e melhoria da confiabilidade de sistemas vêm sendo aprimorados progressivamente com base nos resultados encontrados em sistemas já avaliados e em suas modificações. Isto resulta em processos de padronização através de manuais que estabelecem condições e propriedades que ajudam a avaliar e a mensurar a confiabilidade dos componentes, equipamentos, subsistemas e sistemas, como o método FIDES (2009).

O Manual FIDES (*Reliability Prediction for Eletronic Systems* (2009)) é um padrão utilizado por algumas organizações europeias para a predição da Confiabilidade de componentes eletrônicos. As organizações que utilizam esse método e o atualizam são: AIRBUS France, Eurocopter, Nexter Electronics, MBDA Missile Systems, THALES Avionics, THALES Services SAS, THALES Airborne Systems, THALES Underwater Systems, DGA e outros.

As predições de confiabilidade são meios de determinar a viabilidade de um sistema específico. Em geral, existe uma hierarquia de técnicas de predição de confiabilidade disponíveis para o desenvolvedor de projetos, dependendo da profundidade do conhecimento do projeto e da disponibilidade de dados históricos sobre confiabilidade de equipamentos e componentes.

De acordo com o manual FIDES (2009), a predição da confiabilidade pode ser calculada por dois métodos: Contagem de Partes (*Parts Count*), usado na fase de Projeto Preliminar; ou Estresse de Partes (*Parts Stress*), usado na fase de Projeto Detalhado do componente. No entanto, a predição por Contagem de Partes exige menos informações, mas é uma abordagem mais conservadora levando a uma menor exatidão na predição da confiabilidade, de acordo com método esse manual.

O manual FIDES (2009), também reconhece diferentes condições generalizadas de ambientes de estresse, como: condições de temperatura e esforços elétricos, aplicações e fatores ambientais, como o método MIL HDBK 217 (1991, 1992, 1995). Mas reconhece também outros fatores, como qualificação do componente e também do fornecedor, processo de fabricação,

fatores de estresse ambientais como: ciclo térmico, umidade, vibração, salinidade e etc., nível de robustecimento do componente, entre outros fatores utilizados para tornar a análise de confiabilidade mais precisa e realista.

O método de predição da confiabilidade utilizado pelo manual FIDES (2009) descreve modelos diferentes de predição para cada tipo de componente eletrônico utilizado no equipamento a ser avaliado. A equação geral para a taxa de falhas é a somatória das contribuições físicas multiplicadas pelos fatores de qualidade das contribuições dos processos, conforme apresentado na Equação 2.13:

$$\lambda = \left( \sum_{\text{Physical\_contributions}} \right) \times \left( \prod_{\text{Process\_contributions}} \right) \quad (2.13)$$

Onde:

- $\lambda$  = Taxa de falhas do item;
- $\sum_{\text{Physical\_contributions}}$  = Somatória de todos dos fatores físicos e tecnológicos que contribuem para a confiabilidade;
- $\prod_{\text{Process\_contributions}}$  = Multiplicação dos impactos dos processos de desenvolvimento, produção e operação na confiabilidade.

De acordo com manual FIDES (2009), na prática a Equação 2.13 torna-se a Equação 2.14:

$$\lambda = \lambda_{\text{Physical}} \cdot \prod_{\text{PM}} \cdot \prod_{\text{Process}} \quad (2.14)$$

Onde:

- $\lambda_{\text{Physical}}$  - Taxa de falhas das contribuições físicas;
- $\prod_{\text{PM}}$  (PM - Part Manufacturing) – Representa o fator de qualidade do fabricante, do componente e do fornecedor;
- $\prod_{\text{Process}}$  – Representa o fator de qualidade e controle técnico sobre os processos de desenvolvimento, fabricação e uso de cada

item.

As contribuições físicas são expressas na Equação 2.15:

$$\lambda_{\text{Physical}} = \left[ \sum_{\text{Physical\_Contributions}} (\lambda_0 \cdot \Pi_{\text{acceleration}}) \right] \cdot \Pi_{\text{induced}} \quad (2.15)$$

Onde:

- $\lambda_{\text{Physical}}$  - Taxa de falhas das contribuições físicas
- $\lambda_0$  - Taxa de falhas genérica de cada componente
- $\Pi_{\text{acceleration}}$  (Operação) – Representa os fatores de estresses de operação:
  - $\Pi_{\text{Térmico}}$
  - $\Pi_{\text{Elétrico}}$
  - $\Pi_{\text{Ciclo\_Térmico}}$
  - $\Pi_{\text{Mecânico}}$
  - $\Pi_{\text{Umidade}}$
  - $\Pi_{\text{Químico}}$
- $\Pi_{\text{induced}}$  (*overstress*) – Representa o fatores de estresses induzidos:
  - $\Pi_{\text{Aplicação}}$
  - $\Pi_{\text{Robustecimento}}$
  - $\Pi_{\text{Sensibilidade}}$
  - $\Pi_{\text{Meio}}$

Os dois métodos, por Contagem de Partes (*Parts Count*) e por Estresse de Partes (*Parts Stress*) são calculados da mesma maneira, utilizando as Equações acima (2.13 à 2.15). A única diferença entre eles é que no método por Contagem de Partes (*Parts Count*), os valores dos fatores de estresse são pré-determinados e não calculados como no método por Estresse de Partes (*Parts Stress*).

A taxa de falhas geral é calculada pela soma direta das taxas de falhas de cada parte e a confiabilidade é dada pela Equação 2.16.

$$R = e^{-\left(\sum_i \lambda_{P_i}\right)t} \quad (2.16)$$

- Onde,
- R = Confiabilidade
  - t = Duração da Missão
  - $\lambda_{P_i}$  = Taxa de falhas da parte
  - i = Parte

## 2.7 Risco e gestão de risco

A ECSS descreve Risco em seu glossário (Documento ECSS P-001B, 2004) como sendo uma situação indesejável ou circunstância que tem uma Probabilidade de Ocorrência (P) e uma possível consequência negativa (Severidade (S)) sobre um projeto.

Na Teoria do Risco, a Probabilidade P, a Severidade S, a Criticidade  $C = P \times S$ , são tradicionalmente aplicadas para quantificar o risco de um evento incerto e danoso. Neste trabalho  $C = P \times S$ , será denominado **Criticidade Restrita**.

O PMBOK Guide, 5 ed. (PMI, 2013), descreve o risco em projetos como sendo uma condição ou um evento incerto que, se ocorrer, terá um efeito positivo ou negativo sobre ao menos um objetivo do projeto. O PMBOK Guide, 5 ed. (PMI, 2013) considera que os riscos em projetos podem resultar em uma oportunidade.



Os riscos surgem da incerteza devida à falta de previsibilidade ou controle dos eventos, são inerentes a qualquer projeto, e podem surgir a qualquer momento durante o ciclo de vida do projeto (ECSS, 2004), podendo ter impactos nas mais diversas áreas do projeto, tais como: cronograma, orçamento, escopo, processos, política ou legal. Sendo assim, a redução destas incertezas negativas ou o aproveitamento das oportunidades apresentadas pelas incertezas positivas estão diretamente relacionados com o sucesso ou o fracasso de algum dos objetivos do projeto. Com isto, surge a necessidade da Gestão dos Riscos de Projeto.

Não há dúvida de que projetos críticos para a missão, tais como os projetos aeroespaciais, estarão sujeitos a riscos ao longo de todos os processos do ciclo de vida deste; por isso, tem a necessidade de lidar com tais riscos. Risco em projetos é um evento futuro que pode ocorrer e tem potencial para impactar um ou mais objetivos do projeto. Esperar pela realização do risco antes de se antecipar aos efeitos desde, não é a melhor estratégia de Gestão de Riscos de qualquer projeto, muito menos para projetos com alto custo agregado. Para lidar com riscos, é necessário se antecipar e prevenir que este ocorra. Sendo assim, faz-se necessário contarmos com ferramentas e mecanismos de Gestão de Riscos de Projeto nos processos de Gestão do Projeto, que sirvam de sinais de alerta de possíveis problemas ou oportunidades futuras; ou que, ao menos, nos ajudem a minimizar os efeitos de riscos negativos ou maximizar os efeitos de riscos positivos ao longo das fases do ciclo de vida do projeto. (RIBEIRO, 2013).

Conforme o PMBOK Guide, 5 ed. (PMI, 2013), risco nem sempre se trata de algo negativo: aceitar riscos, os quais tenham sido previamente avaliados e bem calculados, que tenham apresentado possíveis resultados positivos, e para os quais seja possível minimizar eventuais impactos negativos, pode ser crucial para o sucesso do projeto em execução.

Gestão de Riscos é a otimização sistemática e iterativa dos recursos do projeto, realizada de acordo com o estabelecimento de Políticas de Gestão de Riscos do Projeto. Por sua vez, a ECSS descreve as Políticas de Gestão de

Riscos do Projeto, como sendo o documento que descreve a atitude da organização para os riscos, como a organização conduz a Gestão de Riscos, os riscos que a organização está disposta a aceitar, e define os principais requisitos para o Plano de Gestão de Riscos (Norma ECSS, 2004).

Com isto, é necessário conhecer em detalhes os seis processos da Gestão de Riscos de Projetos apresentados pelo PMBOK Guide, 5 ed. (PMI, 2013):

- Plano de Gestão de Riscos.
- Identificação dos Riscos.
- Análise Qualitativa dos Riscos.
- Análise Quantitativa dos Riscos.
- Plano de Resposta aos Riscos.
- Monitoramento e Controle dos Riscos.

Na Gestão de Riscos a diferença entre o sucesso e o fracasso do projeto, quando comparado com a execução de um concorrente, está diretamente relacionada com a maneira como são desenvolvidos os Planos de Gestão de Riscos e na maneira de reagir ao risco (PMI, 2013).

## **2.8 FMEA, FMECA e FMEP**

### **2.8.1 FMEA**

A Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos, ou simplesmente FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis*) é um estudo sistemático e estruturado das falhas potenciais que podem ocorrer em qualquer parte de um sistema para determinar o efeito provável de cada uma sobre todas as outras peças do sistema e no provável sucesso operacional, tendo como objetivo melhoramentos no projeto, produto e desenvolvimento do processo, produção, segurança, custo, qualidade, etc. (Rausand, 2004).

A FMEA é uma técnica desenvolvida para (DA SILVA, 2016):

1. Identificar possíveis modos de falha para um produto ou processo;
2. Avaliar o risco associado a esses modos de falha;
3. Classificar os problemas em termos de importância;
4. Identificar e executar ações corretivas para tratar das preocupações mais sérias;

A execução de uma FMEA ajuda a identificar os potenciais modos de falha, com base na experiência com os produtos e processos semelhantes ou baseados na lógica comum da falha. A FMEA é amplamente usada no desenvolvimento dos processos de fabricação das indústrias em diversas fases do ciclo de vida do produto. Refere-se à avaliação das consequências dessas falhas em diferentes níveis do sistema (Rausand, 2004).

A FMEA pode ser usada para avaliar a segurança e a confiabilidade dos componentes do sistema na indústria aeroespacial. Seu principal objetivo é antecipar problemas de projeto e evitar que esses problemas ocorram, ou minimizar suas consequências. Além disso, a FMEA pode fornecer uma abordagem formal e sistemática para o desenvolvimento do projeto. Ela determina, pela análise de cada modo de falha, o efeito na operação do sistema e identifica pontos de falha únicos que são críticos para o sucesso da missão.

### **2.8.2 FMECA**

A Análise dos Modos de Falha, seus Efeitos e Criticidade, ou simplesmente FMECA (*Failure Modes, Effects and Criticality Analysis*), estende a Análise dos Modos de Falha e seus efeitos (FMEA) incluindo a análise da Criticidade dos Modos de Falhas, que é usada para classificar a medida combinada da Severidade de um modo de falha e sua Probabilidade de ocorrência. O resultado destaca modos de falha com probabilidade e/ou severidade de consequências relativamente altas, permitindo que o esforço corretivo seja

direcionado para onde produz o maior valor ou para aquele que contribui mais para a falha. É uma técnica de avaliação de risco para monitorar, por exemplo, a Criticidade dos Modos de Falha (DA SILVA, 2016) (ECSS, 2009c).

Neste trabalho, a Criticidade dos Modos de Falha será tratada como resultado de análise de 1) um evento **macroscópico** incerto e danoso que é a **obsolescência dos componentes** e, por consequência, a indisponibilidade dos equipamentos, ou de 2) um evento **microscópico** incerto e danoso que é a **redução da robustez** de componentes, tanto no uso/operação quanto no seu armazenamento, e, por consequência, reduzem a confiabilidade dos equipamentos.

A FMECA geralmente é realizada durante as fases conceituais e de projeto inicial do sistema, a fim de garantir que todos os modos de falha em potencial tenham sido considerados e as providências adequadas foram tomadas para eliminar essas falhas. A FMECA fornece uma base de conhecimento sobre modos de falha e informações sobre ações corretivas que podem ser usadas como recurso em futuros esforços de solução de problemas e como ferramenta de treinamento para novos engenheiros (DOS SANTOS; FLORES, 2017).

Os pontos fortes da FMECA incluem sua abrangência, o estabelecimento sistemático de relacionamentos entre causas e efeitos de falhas e sua capacidade de apontar modos de falha individuais para ações corretivas no projeto. As fraquezas incluem o trabalho extensivo necessário, o grande número de casos triviais considerados e a incapacidade de lidar com cenários de falhas múltiplas ou efeitos não planejados entre sistemas (VEGA, 2012).

#### **2.8.2.1 Cálculo da criticidade pelo manual MIL-STD-1629**

Tradicionalmente, para a elaboração da FMECA de equipamentos espaciais, aeroespaciais e militares o manual MIL-STD-1629-A (1980) é utilizado. Para o auxílio na identificação dos modos de falha e suas probabilidades de ocorrência, para cada componente do equipamento ou sistema, são usados as referências FMD-91 e 97 (*Failure Mode / Mechanism Distribution – RAC Book*, 1991 e 1997).

De acordo com a norma MIL-STD-1629-A (1980), a Criticidade dos Modos de Falha de cada componente, pode ser calculada utilizando a Equação 2.17.

$$C_m = \beta \alpha \lambda_p t \quad (2.17)$$

Onde:

$C_m$  = Criticidade do Modo de Falha;

$\beta$  = Probabilidade do efeito da falha (valor na Tabela 2.1);

$\alpha$  = Relação do modo de falha (Probabilidade de cada modo de falha retirado da FMD-91 (1991) e FMD-97 (1997));

$\lambda_p$  = Taxa de falha da parte (calculado, por exemplo, pela MIL-HDBK-217(1991, 1992, 1995) ou FIDES (2009));

$t$  = Tempo de operação (duração da fase da missão aplicável em horas ou número de ciclos).

Tabela 2.1 - Valores de  $\beta$  relacionados aos efeitos.

Efeito de Falha	Valor $\beta$
Perda real	$\beta = 1$
Perda provável	$0,1 < \beta < 1$
Perda possível	$0 < \beta \leq 0,1$
Nenhum efeito	0

Fonte: Adaptado de MIL-STD-1629-A (1980).

A Criticidade da falha do componente pode ser calculada utilizando a Equação 2.18.

$$C_r = \sum_{n=1}^j (C_m)_n \quad (2.18)$$

Onde:

$C_r$  = Criticidade da falha do componente;

$n$  = Identificação dos modos de falhas do componente;

$j$  = Identificação do último modo de falha do componente.

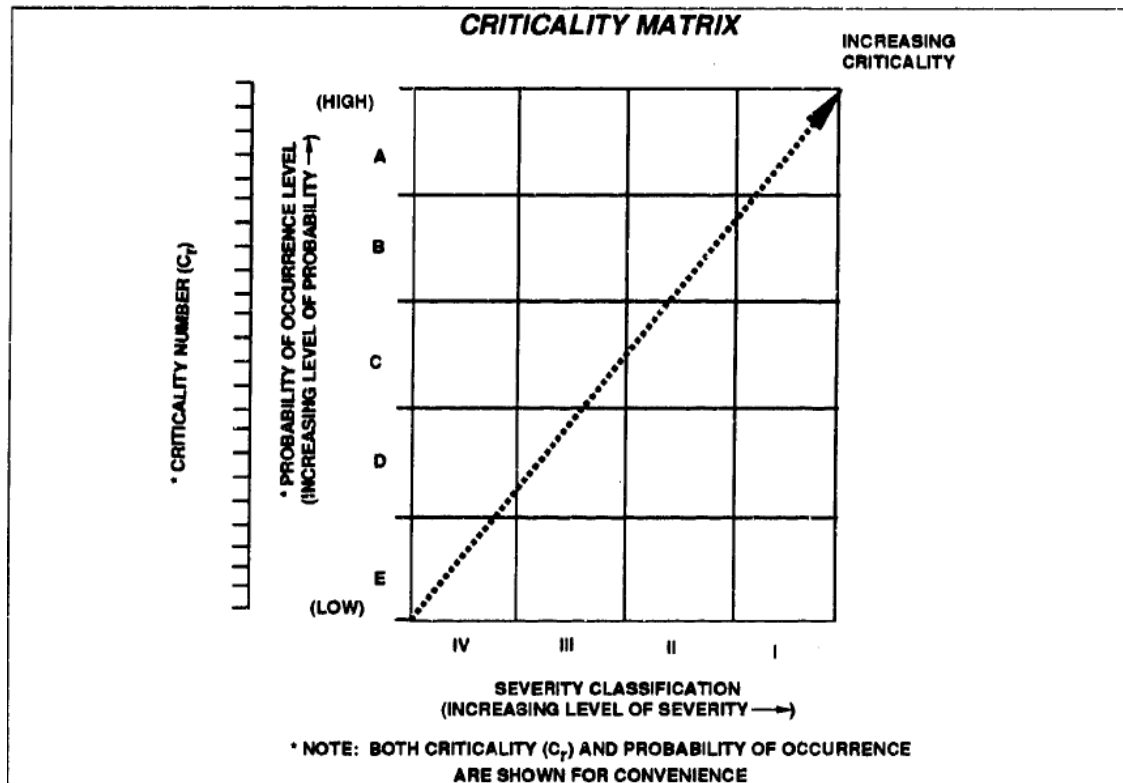
O efeito da falha de cada função do equipamento em todo o sistema é avaliado para entender, de forma qualitativa, a severidade de cada falha. A severidade é classificada de acordo com MIL-STD-1629-A, apresentada conforme listado abaixo:

- Categoria I - Catastrófica - Uma falha que pode causar morte ou perda do sistema de armas (ou seja, aeronave, tanque, míssil, navio, etc.).
- Categoria II - Crítico - Uma falha que pode causar ferimentos graves, grandes danos à propriedade ou grandes danos ao sistema que resultarão na perda da missão.
- Categoria III - Marginal - Uma falha que pode causar pequenos ferimentos, pequenos danos à propriedade ou pequenos danos ao sistema que resultarão em atraso ou perda de disponibilidade ou degradação da missão.
- Categoria IV - Menor - uma falha não grave o suficiente para causar ferimentos, danos à propriedade ou ao sistema, mas que resultará em manutenção ou reparo não programado.

De acordo com o manual MIL-STD-1629-A (1980), a Matriz de Criticidade, apresentada na Figura 2.3, fornece um meio de identificar e comparar cada

modo de falha com todos os outros modos de falhas e com a sua respectiva Severidade.

Figura 2.3 - Matriz de Criticidade - MIL-STD-1629-A.



Fonte: MIL-STD-1629-A (1980).

### 2.8.2.2 Cálculo da criticidade pelo manual ECSS-Q-ST-30-02

Como o manual MIL-STD-1629-A (1980), o manual ECSS-Q-ST-30-02C (2009b), também é tradicionalmente utilizado para a elaboração da FMECA de equipamentos espaciais, aeroespaciais e militares. Como já mencionado na seção 2.8.2.1, para auxiliar na identificação dos modos de falha e suas probabilidades de ocorrência, para cada componente do equipamento ou sistema, são usados os manuais as referências FMD-91 e 97 (*Failure Mode / Mechanism Distribution* – RAC Book, 1991 e 1997).

De acordo com o manual ECSS-Q-ST-30-02C (2009b), a Criticidade dos Modos de Falha de cada componente, pode ser calculada utilizando a Equação 2.19.

$$CN = SN \times PN \quad (2.19)$$

Onde:

CN = Criticidade (CN) para um específico modo de falha (ou Criticidade do Modo de Falha);

SN = Severidade do efeito da falha;

PN = Probabilidade de ocorrência do modo de falha.

As Tabelas 2.2 e 2.3 apresentam exemplos propostos pela ECSS-Q-ST-30-02C (2009b) para valores de Severidade do efeito da falha e da Probabilidade de ocorrência do modo de falha.

Tabela 2.2 - Severidade do efeito da falha.

<b>Severity level</b>	<b>Severity category</b>	<b>SN</b>
1	Catastrophic	4
2	Critical	3
3	Major	2
4	Negligible	1

Fonte: ECSS-Q-ST-30-02C (2009b).

Tabela 2.3 - Probabilidade de ocorrência do modo de falha.

<b>Level</b>	<b>Limits</b>	<b>PN</b>
Probable	$P > 1E-1$	4
Occasional	$1E-3 < P \leq 1E-1$	3
Remote	$1E-5 < P \leq 1E-3$	2
Extremely remote	$P \leq 1E-5$	1

Fonte: ECSS-Q-ST-30-02C (2009b).



A Figura 2.4, apresenta a Matriz de Criticidade, também como um exemplo, para classificar o item conforme o número da Criticidade calculado.

Figura 2.4 - Matriz de Criticidade - ECSS-Q-ST-30-02C.

Severity category	SNs	Probability level			
		10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-1</sup>	1
		PNs			
		1	2	3	4
<b>catastrophic</b>	<b>4</b>	4	8	12	16
<b>critical</b>	<b>3</b>	3	6	9	12
<b>major</b>	<b>2</b>	2	4	6	8
<b>negligible</b>	<b>1</b>	1	2	3	4

Fonte: ECSS-Q-ST-30-02C (2009b).

Neste trabalho a **Criticidade do Modo de Falha**, obtida pelo método proposto pelo manual MIL-STD-1629-A (1980), ou pelo manual ECSS-Q-ST-30-02C (2009b), será denominada **Criticidade Restrita**.

### 2.8.3 FMEP

Tradicionalmente as tabelas de FMECA apresentam as colunas referentes à Probabilidade de Ocorrência da falha (1<sup>a</sup>. coluna) e Severidade da Ocorrência da falha (2<sup>a</sup>. coluna) para avaliar a Criticidade Restrita da Ocorrência da falha. Frisk (1996), citado por Teixeira (2005), apresentou em seu trabalho que a Detectabilidade e a Tratabilidade da Ocorrência da falha podem ser classificadas como fraca ou forte, o que motivou Rabello (2017) a: 1) estender a FMECA tradicional (“Restrita”) a projetos; 2) representar o conhecimento dos especialistas por escalas de palavras, cores e números; 3) avaliar a Detectabilidade da Ocorrência (3<sup>a</sup>. coluna) e a Tratabilidade da Ocorrência (4<sup>a</sup>. coluna) e 4) incluí-las na tabela e no cálculo da FMECA proposta (“Estendida”).

Conforme apresentado por Rabello (2017), o objetivo da FMECA Estendida a Projetos (FMEP) é proporcionar a avaliação das ocorrências de **ameaças**

("modos de falha") detectadas durante a execução de processos (como aqui são os de adaptação e ou troca de componentes eletrônicos devido à **obsolescência ou à eventual redução da robustez**), de forma qualitativa, através da determinação da Probabilidade, Severidade e Criticidade Restrita da Ocorrência; e a Detectabilidade, Tratabilidade, e Criticidade Estendida da Ocorrência. Onde:




- Probabilidade de Ocorrência: foi apresentada nas seções 2.7 e 2.8.2 e será definido em intervalos, pelo menos, qualitativos e até quantitativos que caracterizam as probabilidades de ocorrência da ameaça/falha (Tabela 2.4), conforme apresentado por Rabello (2017);
- Severidade da Ocorrência: foi definida nas seções 2.7 e 2.8.2 e sua classificação será através de códigos de cores, substituindo-se as faixas de valores por cores, segundo a simbologia apresentada na Tabela 2.5 por Rabello (2017);

Tabela 2.4 - Código referente à Probabilidade de Ocorrência.

<b>Probabilidade baixa de ocorrência</b>	<b>Probabilidade média de ocorrência</b>	<b>Probabilidade alta de ocorrência</b>
Exemplo: $0 < Probabilidade \leq 1/3$	Exemplo: $1/3 < Probabilidade \leq 2/3$	Exemplo: $2/3 < Probabilidade \leq 1$
Pb	Pm	Pa

Fonte: Rabello (2017).

Tabela 2.5 - Código de cores referente à Severidade da Ocorrência.

<b>Severidade alta</b>	<b>Severidade média</b>	<b>Severidade baixa</b>
		

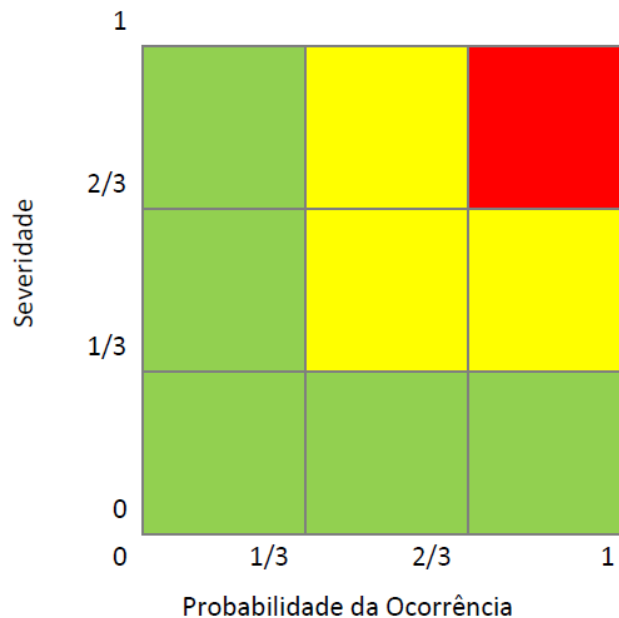
Fonte: Rabello (2017).

- Criticidade (neste trabalho: Criticidade Restrita) da Ocorrência: é a medida combinada entre a probabilidade de ocorrência da ameaça/falha e sua severidade, representada por uma matriz do produto cartesiano, conforme apresentado na Figura 2.5. De acordo com Rabello (2017),

para obtenção da matriz de criticidade é considerado, por exemplo, que a:

- Severidade alta assume, p.ex.:  $\frac{2}{3} < \text{Valor numérico} \leq 1$  de um máximo conhecido ou estimado;
- Severidade média assume, p.ex.:  $\frac{1}{3} < \text{Valor numérico} \leq \frac{2}{3}$  de um máximo conhecido ou estimado;
- Severidade baixa assume, p.ex.:  $0 < \text{Valor numérico} \leq \frac{1}{3}$  de um máximo conhecido ou estimado;

Figura 2.5 - Matrizes de Cores para a Criticidade Restrita da Ocorrência.






Fonte: Rabello (2017).

- Detectabilidade: é a habilidade/capacidade de detectar uma ameaça/falha através da manipulação de informações disponíveis no projeto/sistema e sensíveis à ocorrência da ameaça/falha, sob condições determinadas e num intervalo de tempo determinado. No caso aleatório, ela seria medida por sua probabilidade de sucesso. Adaptando a proposta de Rabello (2017), neste trabalho será avaliada a **Indetectabilidade**. Sua classificação será através de códigos de cores, substituindo-se as faixas de probabilidades por cores, segundo a simbologia apresentada na Tabela 2.6 adaptada de Rabello (2017).




- **Tratabilidade:** é a habilidade/capacidade de tratar uma ameaça/falha através da manipulação de itens de ação/providências disponíveis no projeto/sistema para minorar/corriger a ocorrência da ameaça/falha, sob condições determinadas e num intervalo de tempo determinado. No caso aleatório, ela seria medida por sua probabilidade de sucesso. Adaptando a proposta de Rabello (2017), neste trabalho será avaliada a **Intratabilidade**. Sua classificação será através de códigos de cores, substituindo-se as faixas de probabilidades por cores, segundo a simbologia apresentada na Tabela 2.7 adaptada de Rabello (2017);

Tabela 2.6 - Código de cores referente à Indetectabilidade da Ocorrência.

Indetectabilidade Alta	Indetectabilidade Média	Indetectabilidade Baixa
		

Fonte: Adaptado de Rabello (2017).

Tabela 2.7 - Código de cores referente à Intratabilidade da Ocorrência.

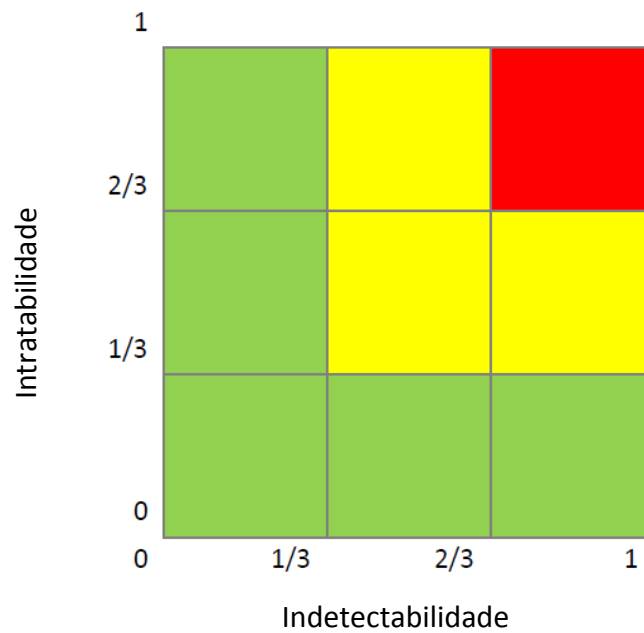
Intratabilidade Alta	Intratabilidade Média	Intratabilidade Baixa
		

Fonte: Adaptado de Rabello (2017).

- **Criticidade Estendida:** Adaptando de Rabello (2017), é a medida combinada entre a probabilidade de ocorrência, sua severidade, sua intratabilidade, e sua indetectabilidade, representada por uma matriz do produto cartesiano desses fatores. Para obtenção da criticidade estendida da falha, é proposto considerar:
  - Matriz do produto cartesiano entre a indetectabilidade e a intratabilidade (Figura 2.6) considerando, por exemplo, que a:
    - Indetectabilidade baixa assume, p.ex.:  $0 < \text{Valor numérico} \leq \frac{1}{3}$ ;
    - Indetectabilidade média assume, p.ex.:  $\frac{1}{3} < \text{Valor numérico} \leq \frac{2}{3}$ ;
    - Indetectabilidade alta assume, p.ex.:  $\frac{2}{3} < \text{Valor numérico} \leq 1$ ;

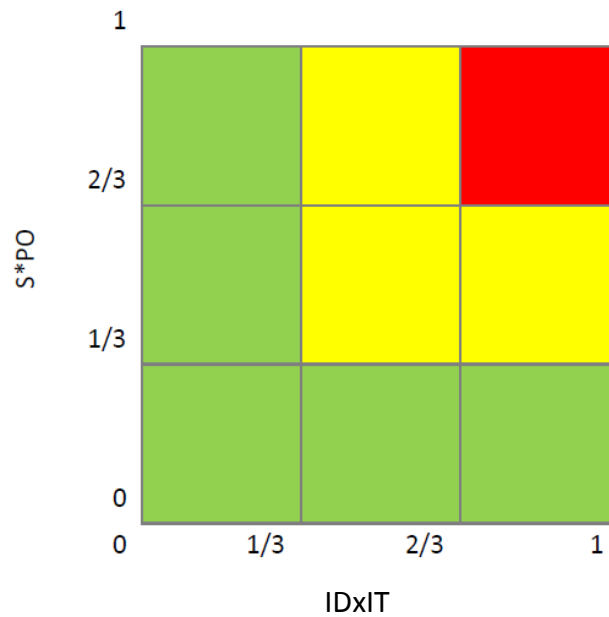
- Intratabilidade baixa assume, p.ex.:  $0 < \text{Valor numérico} \leq \frac{1}{3}$ ;
- Intratabilidade média assume, p.ex.:  $\frac{1}{3} < \text{Valor numérico} \leq \frac{2}{3}$ ;
- Intratabilidade alta assume, p.ex.:  $\frac{2}{3} < \text{Valor numérico} \leq 1$ ;
- Matriz do produto cartesiano (Severidade x Probabilidade de Ocorrência x Indetectabilidade x Intratabilidade) (Figura 2.7).

Figura 2.6 - Matriz do produto cartesiano entre a Indetectabilidade e a Intratabilidade (IDxIT) da Ocorrência.



Fonte: Adaptado de Rabello (2017).











Figura 2.7 - Matrizes de Cores da Criticidade Estendida.



Fonte: Adaptado de Rabello (2017).




















As Tabelas 2.8 e 2.9 apresentam exemplos de aplicação da FMEP, conforme descrito por Rabello (2017). É importante citar que esses exemplos trazem a avaliação dos parâmetros Detectabilidade e Tratabilidade, conforme a proposta original.

Tabela 2.8 - FMEP da função “fornecer tempo de bordo” apresentada por Rabello (2017).

Função	Modo de falha	Causa da falha	Efeito da falha	Severidade (S)	Probabilidade de ocorrência (PO)	Detectabilidade (D)	Tratabilidade (T)	Criticidade (S*PO)	Criticidade estendida
Fornecer tempo de bordo	Não fornece tempo de bordo	Perda capacidade de processamento (HW e/ou SW) Perda do canal de comunicação	Perda da capacidade de fornecer efemérides; perda da capacidade comandos temporizados; perda da capacidade de telemetria armazenada; perda da capacidade de fornecimento do tempo de bordo para os equipamentos e subsistemas;		Pb				
	Fornecer tempo de bordo de forma intermitente	Processamento intermitente (HW e/ou SW) Canal de comunicação intermitente	Fornecimento intermitente de efemérides; execução intermitente de comandos temporizados; telemetria armazenada com tempo intermitente; fornecimento intermitente do tempo de bordo incorreto para os equipamentos e subsistemas;		Pb				

Fonte: Rabello (2017).

Tabela 2.9 - FMEP da função: ameaça “componente indisponível” apresentada por Rabello (2017).

Função no projeto	Modo de falha	Causa da falha	Efeito da falha	Severidade (S)	Probabilidade de ocorrência (PO)	Detectabilidade (D)	Tratabilidade (T)	Criticidade (S*PO)	Criticidade estendida
Adquirir partes EEE e equipamentos	Atraso na definição da lista de partes EEE e equipamentos para aquisição	Cronograma não adequado	Partes EEE e equipamentos indisponível Atraso no cronograma Custo adicional		Pm				
	Alteração na lista de partes EEE e equipamentos para aquisição	Embargos comerciais	Partes EEE e equipamentos indisponível Atraso no cronograma Custo adicional		Pm				
	Falta de equipe qualificada para realizar a aquisição	Planejamento de recursos humanos não adequado	Partes EEE e equipamentos indisponível Atraso no cronograma Custo adicional		Pb				
	Atraso na liberação de recursos financeiros para a aquisição	Alteração nas diretrizes do governo	Partes EEE e equipamentos indisponível Atraso no cronograma Custo adicional		Pa				

Fonte: Rabello (2017).



## 2.9 Manutenibilidade

A Manutenibilidade é:

- É a facilidade de realizar manutenção em um produto. E ainda, a Manutenibilidade pode ser expressa como a probabilidade de que uma ação de manutenção em um produto possa ser executada dentro de um intervalo de tempo definido, usando procedimentos e recursos estabelecidos (ECSS, 2012).
- É a capacidade de um item, sob determinadas condições de uso, ser mantido em ou restaurado a um estado para funcionar como requerido, sob determinadas condições de uso e manutenção (IEC/TC56, 2018).
- É uma medida da facilidade e rapidez com que um sistema ou equipamento pode ser restaurado para o status operacional e, também, a probabilidade de um item ser mantido ou restaurado em uma condição especificada dentro de um determinado período de tempo, quando a manutenção é executada de acordo com os procedimentos e recursos prescritos (NASA, 2017).
- A capacidade de um item ser mantido ou restaurado em uma condição especificada, quando a manutenção é realizada por pessoas com níveis de habilidade especificados, usando procedimentos e recursos prescritos, em cada nível prescrito de manutenção e reparo (DoD, 2005).
- É uma característica de projeto que define a facilidade de manutenção, o tempo de manutenção, os custos e as funções que o item executa (Lafraia, 2001).

Na literatura consultada e neste trabalho, a Manutenibilidade é a probabilidade de que o componente ou equipamento seja restaurado com êxito após a falha, durante um período de tempo que pode ser determinado, sob condições especificadas e usando procedimentos e recursos prescritos.

## 2.10 Disponibilidade







A Disponibilidade é:

- A capacidade de um item estar em um estado para realizar uma função requerida sob determinadas condições e em um determinado instante ou intervalo de tempo, supondo que os recursos externos requeridos sejam fornecidos. Note-se que essa capacidade depende dos aspectos combinados do desempenho de Confiabilidade, do desempenho de Manutenibilidade e do desempenho do Suporte à Manutenção (ECSS, 2012).
- A capacidade de um item estar em uma condição para executar conforme requisitado. A Disponibilidade depende das características combinadas de Confiabilidade, Recuperabilidade e Manutenibilidade de um item, e do desempenho do suporte à manutenção (IEC, 2018).
- Uma medida do grau em que um item está em um estado operável e pode estar disponível no início de uma missão quando a missão é solicitada em um momento desconhecido (aleatório). A Disponibilidade medida pelo usuário é uma função da ausência de falhas e da manutenção corretiva requisitada, com que frequência a manutenção preventiva é realizada, a rapidez com que as falhas indicadas podem ser isoladas e reparadas, a rapidez com que tarefas preventivas de manutenção podem ser executadas e por quanto tempo os atrasos de suporte logístico contribuem para o tempo de inatividade (DoD, 2005).
- A probabilidade de que um sistema esteja em condição operacional em um determinado instante de tempo (Lafraia, 2001).
- Uma métrica que reflete a probabilidade de que o item esteja operacional em um determinado momento (i.e., não falhou ou foi restaurado após a falha) (Reliasoft, 2007).

Para este trabalho, a Disponibilidade é definida, conforme Reliasoft (2015), como a probabilidade de que o item esteja funcionando corretamente quando for solicitado, sob condições especificadas.

A Disponibilidade é um critério de desempenho para itens reparáveis, que representa tanto as propriedades de Confiabilidade como as de Manutenibilidade. Desta forma, a Tabela 2.10 ilustra a relação entre Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade.

Tabela 2.10 - Relação entre as métricas Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade.

<b>Confiabilidade</b>	<b>Manutenibilidade</b>	<b>Disponibilidade</b>
 Constante	 Diminui	 Diminui
 Constante	 Aumenta	 Aumenta
 Diminui	 Constante	 Diminui
 Aumenta	 Constante	 Aumenta

Fonte: Reliasoft (2015).

## 2.11 Engenharia de sistemas

Os engenheiros de sistemas estão no centro da criação de novos sistemas de sucesso. Eles são responsáveis pelo conceito, arquitetura e *design* do sistema. Eles analisam e gerenciam a complexidade e o risco. Eles decidem como medir se o sistema implantado realmente funciona como pretendido. Eles são responsáveis por uma miríade de outras facetas da criação do sistema. A engenharia de sistemas é a disciplina que torna seu sucesso possível - suas ferramentas, técnicas, métodos, conhecimentos, padrões, princípios e conceitos. O lançamento de sistemas de sucesso pode invariavelmente ser rastreado até uma engenharia de sistemas inovadora e eficaz. A Engenharia de Sistemas é uma abordagem transdisciplinar e integrativa para permitir a realização, uso e retirada bem-sucedidos de sistemas projetados, usando princípios e conceitos de sistemas e métodos científicos, tecnológicos e de gestão (MAGERA, 2013).

A Engenharia de Sistemas é:

- Uma abordagem interdisciplinar que administra o esforço técnico total de transformar os requisitos em uma solução de sistema (ECSS, 2009) (ECSS-E-ST-10C);
- Uma abordagem interdisciplinar e meios que permitem a realização de sistemas de sucesso. Ela se concentra em definir as necessidades dos clientes e a funcionalidade necessária no início do ciclo de desenvolvimento, documentando requisitos, e depois prosseguindo com a síntese do projeto e a validação do sistema considerando o problema completo: operações, custo e cronograma, desempenho, treinamento e suporte, teste, fabricação e descarte. A Engenharia de Sistemas considera as necessidades do negócio e técnicas de todos os clientes com o objetivo de oferecer um produto de qualidade que atenda às necessidades do usuário (INCOSE, 2011).

Dentro deste campo, existem várias definições de “sistema”, incluindo:

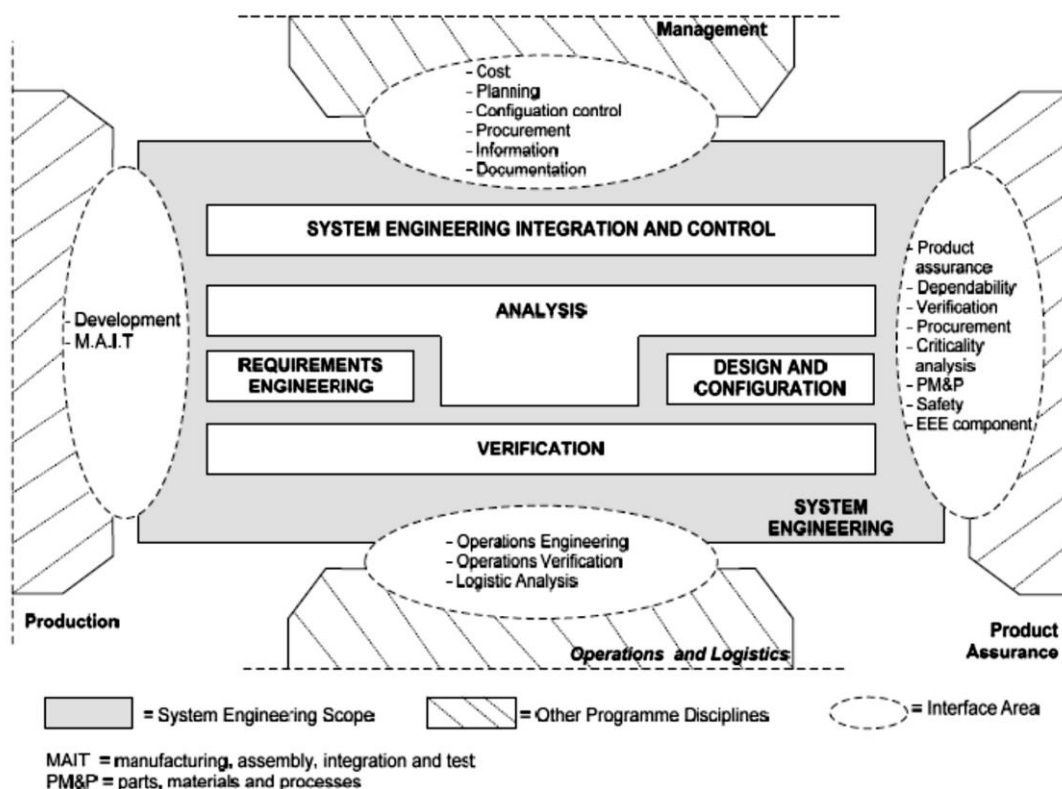
- “Conjunto integrado de elementos para realizar um objetivo definido. Esses elementos incluem hardware, software, firmware, recursos humanos, informação, técnicas, serviços de apoio e outros elementos de suporte” (ECSS, 2009) (ECSS-E-ST-10C);
- “Um conjunto ou arranjo de elementos e processos que estão relacionados e cujo comportamento satisfaz às necessidades operacionais do cliente e fornece o sustento para o ciclo de vida do produto” (IEEE STD 1220, 1998);
- “Uma agregação de produtos finais e capacitação de produtos para atingir um determinado propósito” (ANSI/EIA-632, 1999);
- “Uma entidade homogênea que exhibe comportamento pré-definido no mundo real e é composta de partes heterogêneas que não exibem

individualmente esse comportamento e uma configuração integrada de componentes e / ou subsistemas” (INCOSE, 2007);

- “A combinação de elementos que funcionam juntos para produzir a capacidade de atender a uma necessidade. Os elementos incluem todo o hardware, software, equipamento, instalações, pessoal, processos e procedimentos necessários para esse fim” (NASA, 2007);
- “Uma combinação de elementos interagentes organizados para alcançar um ou mais propósitos declarados” (ISO/IEC 15288, 2008).

Conforme apresentado na ECSS (2009) (ECSS-E-ST-10C), a Engenharia de Sistemas possui interfaces com as disciplinas referentes à produção, operação, garantia do produto, e gestão, conforme apresentado na Figura 2.8.

Figura 2.8 - Interfaces da Engenharia de Sistemas com outras disciplinas.



Fonte: ECSS (2009).

## 2.12 Ciclo de vida de projetos e produtos de satélites

De uma forma geral, o IEC (2018) define ciclo de vida de um item como uma série de estágios identificáveis pelos quais um item passa, desde sua concepção até o descarte. Como exemplo, o ciclo de vida de um sistema consiste tipicamente em: conceito e definição; projeto (*design*) e desenvolvimento; construção, instalação e testes; operação e manutenção; atualização de meia-vida ou extensão de vida; e encerramento/desativação e descarte. O IEC (2018) ainda observa que os estágios identificados variam com a aplicação.

O ciclo de vida de um produto é composto por todas as fases da vida de um produto, desde a identificação das necessidades até o descarte (ECSS, 2012). De acordo com IEC/TC56 (2018), as fases do ciclo de vida de um produto são estágios definidos que se referem aos vários intervalos de tempo desde a concepção de um produto até sua final retirada de uso e descarte.

O ciclo de vida de um projeto é a série de fases pelas quais um projeto passa do início ao término (PMBOK, 2013), em que projeto é um esforço temporário empreendido para criar um produto, serviço ou resultado único.

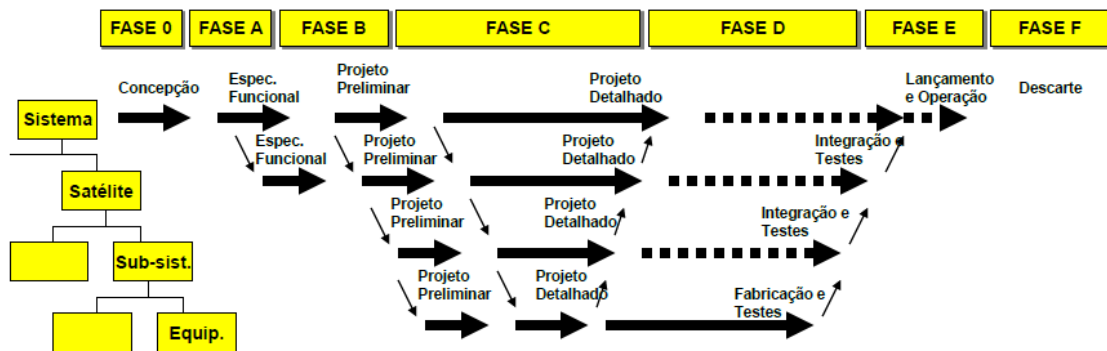
Com relação ao ciclo de vida de projetos espaciais, o INPE está de acordo com a ECSS (ECSS, 2009). Como exemplo de ciclo de vida de um projeto da indústria espacial, podemos citar o ciclo de vida de um satélite, o qual é normalmente dividido em 7 fases, segundo Souza (2008):

- Fase 0 – Trata-se da fase onde são definidos os objetivos da missão espacial.
- Fase A – Trata-se da fase onde são definidas as especificações funcionais do projeto.
- Fase B – Trata-se da fase de elaboração e revisões preliminares do projeto.

- Fase C – Trata-se da fase de elaboração e revisões detalhadas do projeto.
- Fase D – Trata-se da fase de procura, recebimento, fabricação, montagem, integração e testes, aceitação do produto.
- Fase E – Trata-se da fase de lançamento e operação do produto.
- Fase F – Trata-se da fase de descarte do produto.

A Figura 2.9 abaixo demonstra a correlação entre cada uma das 7 fases do ciclo de vida de um satélite com etapas do processo de desenvolvimento dos sistemas, subsistemas e equipamentos do satélite.

Figura 2.9 - O ciclo de vida de um projeto espacial.



Fonte: Souza (2010).

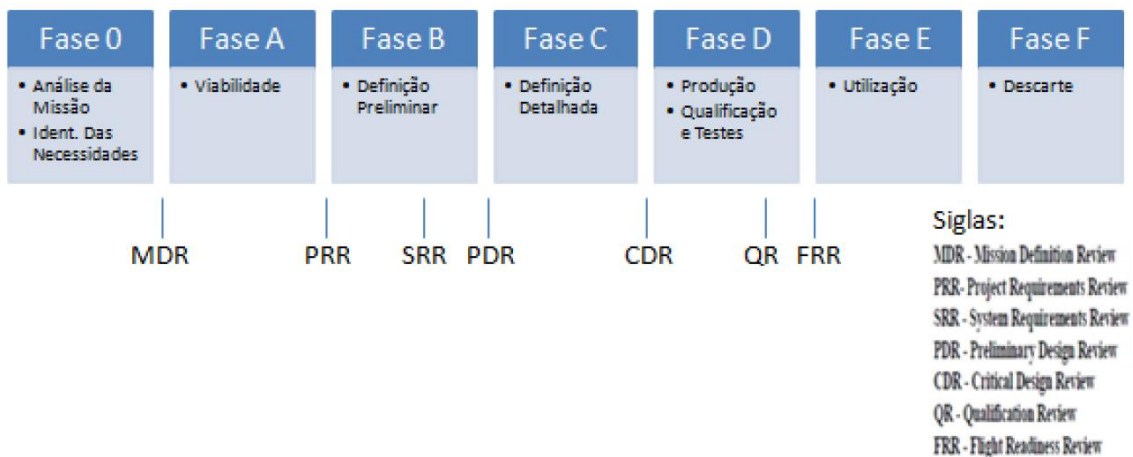
Ao fim das fases, há também as entregas representadas pelas revisões que são marcos importantes do projeto. Segundo Rabello (2017), os projetos de satélites do INPE, de uma maneira geral, possuem um ciclo de vida semelhante entre si e aos da ECSS (ECSS, 2009). A autora ainda menciona que esse ciclo de vida pode ser dividido em fases distintas, que se encerram com as seguintes revisões:

- MDR: Revisão de Definição da Missão (*Mission Definition Review*);
- PRR; Revisão dos Requisitos de Projeto (*Project Requirements Review*);

- SRR: Revisão de Requisitos de Sistema (*System Requirements Review*);
- PDR: Revisão Preliminar de Projeto (*Preliminary Design Review*);
- CDR: Revisão Crítica de Projeto (*Critical Design Review*);
- QR: Revisão de Qualificação (*Qualification Review*);
- AR: Revisão de Aceitação (*Acceptance Review*); ou
- FRR: Revisão de Prontidão para Vôo (*Flight Readiness Review*);.

Um dos conceitos fundamentais utilizados no setor espacial para o gerenciamento de sistemas e o gerenciamento do ciclo de vida do projeto, consiste em uma categorização de tudo o que deve ser feito para cumprir um programa ou projeto em fases distintas, separadas por eventos que são revisões de tomada de decisão, ou seja, a autoridade determina se um programa / projeto está pronto para avançar para a próxima fase do ciclo de vida, conforme pode ser visualizado na Figura 2.10 (LOUREIRO, 1999).

Figura 2.10 - Fases de um projeto do setor espacial.



Fonte: Loureiro (1999).



### **2.13 Projeto CBERS-3 e 4 - China-Brazil Earth-Resources Satellite<sup>1</sup>**

Conforme o Objetivo desse trabalho (Capítulo 1), um estudo de caso será de componentes geralmente utilizados em computadores de bordo de satélites. Foi escolhido o computador de bordo do CBERS-3 e 4. Então se faz necessário essa seção para apresentação do programa CBERS-3 e 4.

Conforme está descrito no site do INPE- CBERS (2018), o Programa CBERS nasceu de uma parceria inédita entre o Brasil e a China no setor técnico-científico espacial, em vigor desde 1988. Com isto, o Brasil ingressou no seleto grupo de países detentores da tecnologia de geração de dados primários de sensoriamento remoto.

O Programa CBERS contemplou num primeiro momento apenas dois satélites de sensoriamento remoto, os CBERS-1 e 2. O sucesso do lançamento pelo foguete chinês Longa Marcha 4B e o perfeito funcionamento do CBERS-1 e CBERS-2 produziram efeitos imediatos.

Ambos os governos decidiram expandir o acordo e incluir outros três satélites da mesma categoria, os satélites CBERS-2B e os CBERS-3 e 4, como uma segunda etapa da parceria Sino-Brasileira.

Devido ao sucesso do CBERS-1 e 2, os dois governos decidiram, em novembro de 2002, dar continuidade ao Programa CBERS firmando um novo acordo para o desenvolvimento e lançamento de mais dois satélites, os CBERS-3 e 4.

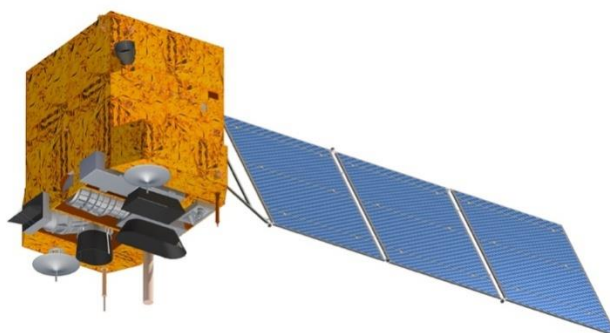
Nesse projeto, a participação brasileira foi ampliada para 50%, o que leva o Brasil a uma condição de igualdade plena com o parceiro chinês.

---

<sup>1</sup> As informações apresentadas na Seção 2.13 foram extraídas do site do INPE.

Os satélites CBERS-3 e 4 (Figura 2.11) representam uma evolução em relação aos satélites CBERS-1, 2 e 2B. Para os CBERS-3 e 4, são utilizadas no módulo carga útil quatro câmeras (Câmera Pancromática e Multiespectral - PAN, Câmera Multiespectral Regular - MUX, Imageador Multiespectral e Termal - IRS, e Câmera de Campo Largo - WFI) com desempenhos geométricos e radiométricos melhorados.

Figura 2.11 - CBERS-3 e 4.



Fonte: INPE - CBERS (2019).

Na Tabela 2.11 abaixo é apresentada a divisão de responsabilidades entre os dois países para o fornecimento dos subsistemas do satélite:

Tabela 2.11 - Divisão de responsabilidades CBERS-3 e 4.

<b>Divisão de Responsabilidades</b>	
<b>Brasil</b>	<b>China</b>
<b>Estrutura</b>	Controle Térmico
<b>Suprimento de Energia</b>	Controle de Atitude e Orbital
<b>Telemetria e Telecomando</b>	Supervisão de bordo *
<b>Câmera MUX (20m)</b>	Câmera PAN (5m/10m)
<b>Câmera WFI (64m)</b>	Câmera IRS (40m/80m)

Continua

Tabela 2.11 – Conclusão.

<b>DCS – Coleta de Dados</b>	SEM – Monitoramento do Ambiente Espacial
<b>DDR – Gravador de Dados</b>	Cablagem
<b>MWT – Transmissor de Dados Câmeras MUX e WFI</b>	PIT – Transmissor de Dados das Câmeras PAN e IRS

Fonte:- CBERS (2018).

\* Para alcançar o percentual de participação estabelecido no acordo de cooperação, os equipamentos *Central Terminal Unit* (CTU) e *Remote Terminal Unit* (RTU) do subsistema de Supervisão de Bordo (OBDH) de responsabilidade da China passaram a ser de responsabilidade do Brasil.

Mediante o sucesso do lançamento do CBERS-4, Brasil e China resolveram assinar um novo protocolo complementar para fabricação de um novo satélite do Programa CBERS: O CBERS 04A. Este foi lançado e colocado em órbita com sucesso no dia 20/12/2019 pelo foguete Longa Marcha 4B.

A família de satélites de sensoriamento remoto CBERS trouxe significativos avanços científicos ao Brasil. No país, praticamente todas as instituições ligadas ao meio ambiente e recursos naturais são usuárias das imagens do CBERS.

Suas imagens são usadas em importantes campos, como o controle do desmatamento e queimadas na Amazônia Legal, o monitoramento de recursos hídricos, áreas agrícolas, crescimento urbano, ocupação do solo, em educação e em inúmeras outras aplicações.

Também é fundamental para grandes projetos nacionais estratégicos, como o PRODES, de avaliação do desflorestamento na Amazônia, o DETER, de avaliação do desflorestamento em tempo real, e o monitoramento das áreas canavieiras (CANASAT), entre outros.

### 2.13.1 Subsistema supervisão de bordo (OBDH - *On-board data handling*)<sup>2</sup>

O subsistema OBDH inclui os computadores de bordo do satélite Sino-Brasileiro CBERS 3&4 CTU (*Central Terminal Unit* – Unidade Terminal Central), e RTU (*Remote Terminal Unit* – Unidade Terminal Remota). O subsistema é responsável:

- Pelo recebimento, processamento e manuseio de telecomandos recebidos das estações terrestres;
- Pela coleta, processamento e envio de telemetrias do satélite para as estações terrestres;
- Por prover capacidade de comandos controlados por programa, grupos de comandos e comandos vinculados a tempo;
- Por armazenar e recuperar dados importantes trocados entre o OBDH e o computador de Controle de Atitude e Órbita do satélite (AOCS);
- Por prover capacidade de processamento de manutenção, incluindo configuração do sistema, dados de status e relatórios de eventos e diagnósticos de falhas;
- Por gerenciar o barramento de comunicação de dados do satélite;
- Por prover capacidade de autocontrole *onboard*, processamento dedicado a usuário e formatação de dados.

### 2.14 Projeto de *Seeker* para mísseis em geral

Conforme o Objetivo desse trabalho (Capítulo 1), um estudo de caso será de componentes geralmente utilizados em computadores de bordo de mísseis em geral. Foi escolhido o computador de bordo de buscadores (“*seekers*”). Então se faz necessário essa seção para apresentação dos projetos de mísseis em geral.

Os mísseis, em geral, são capazes de procurar e navegar com precisão até o alvo sem a ajuda de um operador humano. Muitos dos métodos usados para a

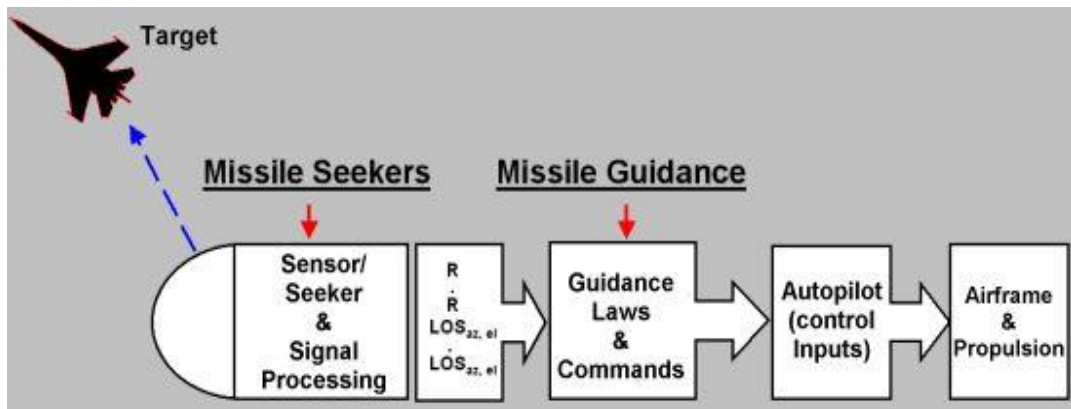
---

<sup>2</sup> As informações apresentadas na Seção 2.13.1 foram extraídas do site do INPE.

orientação de mísseis são os mesmos usados para navegação de aviões tripulados, como os aviões comerciais ou até mesmo os caças (AQUINO et al., 2011).

Os mísseis podem ser categorizados de muitas maneiras diferentes, dependendo de sua missão ou plataforma de lançamento. As duas maneiras que abordaremos nesse trabalho dizem respeito ao tipo de orientação do míssil e ao tipo de sensor ou buscador (“seeker”) (BASTOS e PAULA, 2009). Essas duas maneiras são frequentemente usados de forma intercambiável, conforme apresentado na Figura 2.12.

Figura 2.12 - Conceito de orientação de mísseis.



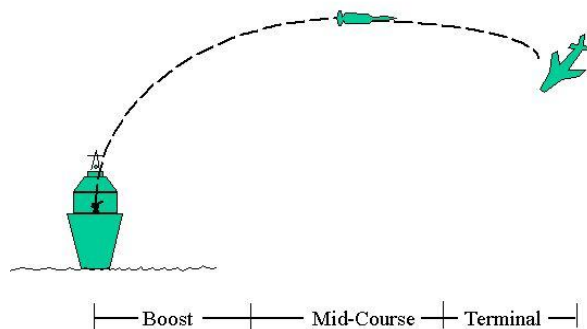
Fonte: Bastos e Paula (2009).

A orientação de mísseis refere-se ao método pelo qual o míssil recebe seus comandos para se mover ao longo de um determinado caminho para alcançar um alvo. Em alguns mísseis, esses comandos são gerados internamente pelo piloto automático do computador. Em outros, os comandos são transmitidos ao míssil por alguma fonte externa. O sensor ou buscador (“seeker”) de mísseis, por outro lado, é um componente dentro do míssil que, baseado em sensores, gera dados que alimentam o computador. Esses dados são processados pelo computador e usados para gerar comandos de orientação (VASCONCELOS, 2013). Os tipos de sensores usados atualmente incluem infravermelho, radar e o sistema de posicionamento global (GPS). Com base na posição relativa entre

o míssil e o alvo em qualquer ponto do voo, o piloto automático do computador envia comandos para ajustar o curso do míssil (BASTOS e PAULA, 2009).

Em muitos mísseis, o sistema de orientação é dividido em três fases, como mostra a Figura 2.13. A primeira é uma fase de lançamento ou *boost*, na qual o sistema de orientação geralmente é desativado para permitir que o míssil se afaste com segurança da plataforma de lançamento. A maior parte do voo é realizada usando orientação pré-determinada, durante a qual o míssil faz pequenos ajustes em sua trajetória, permitindo alcançar a proximidade do alvo (AQUINO, et al., 2011). A fase final é a orientação terminal quando o míssil usa um sistema de rastreamento altamente preciso para fazer manobras rápidas para interceptar o alvo. Muitos mísseis usam na fase intermediária um tipo diferente de orientação do que usam na fase terminal.

Figura 2.13 - Fases do Voo.



Fonte: Aquino et al., (2011).

As principais formas de orientação de mísseis estão descritas no Apêndice C deste trabalho.

Para o estudo de caso desse trabalho, será utilizado um projeto na fase preliminar de um computador para o buscador (“*seeker*”) de mísseis em geral que fazem uso de um sistema computacional para processamento de sinais.

Em síntese, a Tabela 2.12 abaixo reúne as principais referências encontradas na literatura sobre os conceitos apresentados principalmente neste Capítulo 2 e Apêndices.

Tabela 2.12 - Referências encontradas na literatura sobre os conceitos relacionados a este trabalho.

Conceitos relacionados ao trabalho	Seção deste trabalho em que apresenta o conceito	Principais referências encontradas na literatura sobre o conceito
<b>Processo</b>	2.1	ABNT (2015a) PMI (2013) ECSS (2012) ARANHA (2020)
<b>Obsolescência</b>	2.2 e Apêndice A	KEEBLE, 2013 ANDRADE, 2008 COOPER, 2004 SOUZA et al., 2007 HERALD, et al., 2009 SILVA, 2007 IEC 62402:2007. MAGERA, 2013
<b>Robustez</b>	2.3	MOORE et al., 2017 THOMPSON; LAYZELL, 2000 CAPANO; WOO, 2017 PARK et al., 2006 KEMMLER et al., 2015 BYRNE, 2008
<b>Lean Design</b>	2.3	REIS, 2004 ARAÚJO, 2007 WOMACK, et al. 2004 TAKTICA, 2008 LIKER, et al. 2007 SOUZA, et al. 2009
<b><i>Lean Manufacturing e Seis Sigma</i></b>	2.3 e Apêndice B	JAMEEL, 2017 LITTLEFIELD; ROBERTS, 2013 CHAHAL; NARWAL, 2017 YOGESH et al., 2014 PSAROMMATIS et al., 2020 PEIMBERT-GARCÍA et al., 2011 BENTO et al., 2020 WOMACK et al., 1990 CORNELISSEN et al., 2013 REALYVÁSQUEZ et al., 2018 NITHIA et al., 2015 CAWLEY, 2013 WAHAB et al., 2013 ABERDEEN GROUP, 2006 SMTA, 2020 NWANYA; OKO, 2019 RAZMAH et al., 2017
<b>Confiabilidade</b>	2.4	ECSS, 2012 EC/TC56, 2018 IEC, 2018 NASA, 2017 DOD, 2005 LAFRAIA, 2001 IEEE, 2012 SOUZA E CARVALHO, 2005. RABELLO, 2017

continua

Tabela 2.12 – Continuação.

Conceitos relacionados ao trabalho	Seção deste trabalho em que apresenta o conceito	Principais referências encontradas na literatura sobre o conceito
<b>Confiabilidade Sistema</b>	2.5	ECONOMOU, 2004 VARDE, 2010 MODARRES et al., 2015 VEGA, 2012 TRISCH, 2015 ECSS, 2012 DOS SANTOS et al., 2017 DA SILVA, 2016 SELLITTO, 2005 LAFRAIA, 2001
<b>Gestão de Riscos</b>	2.10	ECSS, 2004 PMI, 2004 ECSS, 2004 RIBEIRO, 2013
<b>FMEA,FMECA e FMEP</b>	2.11	RAUSAND, 2004 ECSS, 2009C FRISK, 1996 TEIXEIRA, 2005 RABELLO, 2017 DA SILVA, 2016 TRISCH, 2015 DOS SANTOS; FLORES, 2017 VEGA, 2012
<b>Manutenabilidade</b>	2.6	ECSS, 2012 IEC/TC56, 2018 NASA, 2017 DOD, 2005 LAFRAIA, 2001 RABELLO, 2017
<b>Disponibilidade</b>	2.7	ECSS, 2012 IEC, 2018 DOD, 2005 LAFRAIA, 2001 RELIASOFT, 2007 RABELLO, 2017
<b>Engenharia de Sistemas</b>	2.8	ECSS, 2009 INCOSE, 2011 IEEE STD 1220, 1998 ANSI/EIA-632, 1999 NASA, 2007 ISO/IEC 15288, 2008
<b>Ciclo de Vida de Satélites</b>	2.9	IEC, 2018) ECSS, 2012 PMBOK, 2013 SOUZA, 2008 RABELLO, 2017 LOUREIRO, 1999
<b>CBERS-3 e 4</b>	2.13	SITE DO INPE

continua



Tabela 2.12 – Conclusão.

Conceitos relacionados ao trabalho	Seção deste trabalho em que apresenta o conceito	Principais referências encontradas na literatura sobre o conceito
<b>Mísseis (Seeker)</b>	2.14 e Apêndice C	AQUINO et al., 2011 BASTOS E PAULA, 2009 VASCONCELOS, 2013 GIBSON E KEMMERLY, 2009 HASTEDT, 2007 JOHNSON, 2002 ZARCHAN, 2012 FLEEMAN E SCHETZ, 2012

Fonte: Produção do Autor.

Por fim, este capítulo apresentou uma breve revisão bibliográfica sobre os conceitos relevantes para este trabalho, cujo objetivo é apresentar um novo processo para analisar e tratar as influências da obsolescência e da redução da robustez de componentes eletrônicos sobre a disponibilidade e a confiabilidade de equipamentos aeroespaciais. Assim:

- A Obsolescência que é “A transição de um item de disponível através de seu fabricante original para indisponível”.(IEC 62402:2007), foi abordada nesse trabalho como: “Um componente se torna obsoleto quando este não está mais disponível através de seu fabricante original, em sua especificação original; independentemente da causa desta indisponibilidade: embargo comercial / regulatório, obsolescência programada ou planejada, obsolescência técnica ou funcional, falência do fornecedor, etc.”
- A Redução da Robustez está associada ao aumento da sensibilidade do componente às condições/parâmetros, ruídos e perturbações do ambiente de desenvolvimento, produtivo ou operacional.

NOTA: Todo sistema, equipamento, componente é projetado para trabalhar dentro de limites seja de qualquer natureza estabelecidas em requisitos entre contratante e contratado. Fora desses limites, ocorrendo falhas não significa que não há robustez. Robustez é uma característica projetada.

### **3 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA E ABORDAGENS PARA SUA SOLUÇÃO**

#### **3.1 Formulação do problema**

O problema a ser estudado neste trabalho é como analisar e tratar as causas e efeitos do evento macroscópico incerto e danoso, a obsolescência de componentes eletrônicos, sobre a disponibilidade de equipamentos aeroespaciais; e como analisar e tratar as causas e efeitos do eventual evento microscópico incerto e danoso, a redução da robustez de componentes eletrônicos, sobre a confiabilidade de equipamentos aeroespaciais.

As maiores influências são sofridas pelas indústrias e instituições aeroespaciais e militares que precisam planejar e tomar ações para garantir a disponibilidade a longo prazo e a alta confiabilidade de seus complexos produtos ou sistemas. Isto afeta equipamentos e subsistemas ao longo de todo o ciclo de vida de um produto ou sistema e não está limitado só às indústrias aeroespaciais ou militares, mas também às automotivas, de equipamentos médicos, de processos, e outras atividades industriais e/ou comerciais.

Existem muitas causas para o evento macroscópico obsolescência de componentes eletrônicos, mas as que têm maior influência e efeito nas indústrias e instituições aeroespaciais e militares são usualmente: o rápido avanço tecnológico, a necessidade cada vez maior da utilização de componentes COTS, a utilização de processos *Lean* em seus projetos, etc.

Desde os 1990s, isto vem causando preocupações às equipes e ônus aos ativos (projetos, equipamentos, etc.) de uma indústria ou instituição, pois as consequências desses eventos incertos e danosos são projetos com baixa disponibilidade e confiabilidade, fora do tempo de vida útil especificado, colocando as indústrias, as instituições e, até mesmo os clientes, em uma situação de contenção do problema e substituição imediata do componente obsoleto em seus equipamentos; sem tempo para analisar e tratar o problema de forma a mitigá-lo com coordenação e planejamento.

Independentemente das causas, a indústria aeroespacial vem descobrindo a duras penas que o problema com o componente obsoleto não pode ser ignorado durante o desenvolvimento do projeto e/ou durante o ciclo de vida de um produto ou sistema. As consequências, se forem ignoradas, são bastante dispendiosas em recursos monetários e humanos para mitigá-los ou resolvê-los com eficácia. E, com isso, sofre efeito no aumento dos custos para sustentar uma capacidade de gestão da obsolescência e da redução da robustez, para garantir a sua disponibilidade e confiabilidade a longo prazo.

Na revisão da literatura, Capítulo 2, verificou-se que o problema e a natureza da obsolescência e da gestão da obsolescência não têm sido bem compreendidos pelas indústrias ou instituições, bem como pelos gestores de projetos. Os gestores, muitas vezes, tendem a resolver o problema de um modo reativo e tentam corrigir o problema implementando soluções para contenção rápida/imediata do problema. Outra suposição incorreta identificada foi que a obsolescência do componente poderia ser atribuída a uma gestão logística ineficaz. A obsolescência de componentes também era frequentemente vista como a principal razão para um reprojeto ou atualização tecnológica de equipamento ou sistema.

Portanto, a obsolescência de componentes eletrônicos tornou-se um grande problema para as indústrias ou instituições aeroespaciais e militares, pois impacta no aumento dos custos não planejados para suportar e garantir a alta confiabilidade e disponibilidade dos complexos equipamentos e sistemas a longo prazo. E, está se tornando, um dos maiores riscos técnicos que tem efeito direto na disponibilidade operacional e manutenção de equipamentos e sistemas.

### **3.2 Objetivo do trabalho**

Assim sendo, este trabalho tem por objetivo apresentar um novo processo para analisar e tratar as influências da obsolescência e da redução da robustez de componentes eletrônicos sobre a disponibilidade e a confiabilidade de equipamentos aeroespaciais. Tem o intuito de fornecer um processo para uma

resolução coordenada das preocupações apresentadas utilizando: a) a FMECA, e sua extensão a projetos, o FMEP, proposto por Rabello (2017), para análise e tratamento das causas e efeitos do evento macroscópico, a obsolescência de componentes eletrônicos, sobre a disponibilidade de equipamentos aeroespaciais; b) métodos tradicionais/consagrados. para a análise e tratamento das causas e efeitos do evento microscópico, a eventual redução da robustez de componentes eletrônicos, sobre a confiabilidade de equipamentos aeroespaciais.

### **3.3 Metodologia**

Para atingir o objetivo deste trabalho, adotou-se a seguinte metodologia:

- I. Buscou-se a literatura disponível e discutiram-se, principalmente com relação ao estado da arte, descrições, discussões, modelos e análises:
  - das mudanças tecnológico-comerciais no mercado dos componentes eletrônicos;
  - dos seus efeitos na obsolescência, na gestão da obsolescência e na disponibilidade de equipamentos aeroespaciais;
  - das mudanças físico-técnicas nas características dos componentes eletrônicos (por *Lean Design* ou *Lean Engineering*, uso de COTS, falhas de Logística, etc.);
  - dos seus efeitos na redução da robustez de componentes eletrônicos e na confiabilidade de equipamentos aeroespaciais;
  - dos métodos tradicionais/consagrados como: Predição das Taxas de Falhas, Análise dos Modos de Falha, seus Efeitos e Criticidade (FMECA) e Diagrama de Blocos de Confiabilidade (RBD), Árvore de Falhas (FTA), Física da Falha (PoF), etc.
  - dos métodos FMEP (FMECA Estendido a projetos).

- II. Selecionaram-se os componentes eletrônicos de um equipamento espacial e um aeroespacial para serem investigados como estudos de caso;
- III. Desenvolveu-se um processo para analisar e tratar as influências da obsolescência sobre a disponibilidade dos componentes eletrônicos selecionados para o estudo de caso pelo método FMEP;
- IV. Desenvolveu-se um procedimento para análise das influências da redução da robustez sobre a confiabilidade dos componentes eletrônicos selecionados por métodos consagrados;
- V. Por fim, aplicaram-se os modelos propostos a três estudos de caso e compararam-se os resultados.

### **3.4 Abordagens para sua solução**

Este trabalho tem como objetivo final fornecer um processo para uma resolução coordenada das preocupações apresentadas, utilizando:

1. Teoria e Análise: pela aplicação de métodos consagrados de predição de taxas de falha, análise dos modos de falha, seus efeitos e criticidade (FMECA) e Física da Falha (PoF) para a análise e tratamento das causas e efeitos da obsolescência e da redução da robustez sobre a confiabilidade;
2. Modelagem e Simulação: pela aplicação do FMEP, proposto por Rabello (2017), para a análise e tratamento das causas e efeitos da obsolescência e da redução da robustez sobre a disponibilidade e confiabilidade.
3. Observação e Experimentação: pela aplicação dos modelos propostos a três estudos de caso e comparação dos resultados

O novo processo é apresentado em detalhe no Capítulo 6 deste trabalho. A seleção dos casos de estudo, suas aplicações aos estudos de caso e a

comparação de seus resultados estão no Capítulo 7. A Conclusão e as Sugestões para Trabalhos Futuros estão no Capítulo 8. Com isso, se percebe a importância do estudo e entendimento da análise e tratamento das influências da obsolescência e da redução de robustez voltados aos componentes eletrônicos aeroespaciais.

## **4 ANÁLISE DAS CAUSAS DA OBSOLESCÊNCIA DE COMPONENTES ELETRÔNICOS E SEUS EFEITOS NOS EQUIPAMENTOS AEROESPACIAIS**

### **4.1 Objetivo**

Neste capítulo, são apresentadas e discutidas algumas causas da obsolescência de componentes eletrônicos durante o ciclo de vida de equipamentos das indústrias aeroespacial e militar. Aborda os efeitos específicos da obsolescência de componentes eletrônicos enfrentados por essas indústrias, os quais são considerados de relevância e estão mais diretamente relacionados com o desenvolvimento desta dissertação.

### **4.2 A obsolescência em componentes eletrônicos aeroespaciais**

Os componentes eletrônicos aeroespaciais têm crescido em importância desde o início da era dos aviões a jato. Embora os componentes eletrônicos e os sistemas não sejam os maiores elementos de custo em veículos aeroespaciais, militares ou comerciais, eles são onipresentes: os componentes eletrônicos são encontrados em quase todos os sistemas, incluindo aqueles que são principalmente mecânicos, hidráulicos e pneumáticos (PETERSEN, 2000).

A indústria eletrônica de estado sólido cresceu paralelamente à indústria de aviões a jato. Ambos foram "inventadas" na década de 1940, viram suas primeiras aplicações significativas na década de 1950 e cresceram até a maturidade desde então (HOWARD, 2002). Nos primeiros dias, os fabricantes aeroespaciais, militares e comerciais dependiam de uma infraestrutura de especificações e componentes eletrônicos militares bem desenvolvida para garantir a disponibilidade a longo prazo dos componentes que atendiam às suas necessidades/requisitos. Isso foi possível porque o setor do mercado militar representava cerca de 25% do mercado total; foi responsável por boa parte da inovação de dispositivos e, portanto, "possuía" muitos *designs* de dispositivos. Como resultado, as decisões de *design*, fabricação, suprimento, operação, manutenção e suporte eletrônico aeroespacial, militar e comercial foram baseadas em duas suposições (DOS SANTOS; FLORES, 2017): 1) O

fornecimento de componentes eletrônicos especificados para operar em ambientes aeroespaciais e militares é limitado; 2) O *design* dos componentes permanecerá estável por longos períodos de tempo. Essas suposições não são mais verdadeiras nos dias atuais.

Segundo Hamilton e Chin (2001), os principais mercados de componentes, em 2001, eram computadores, telefones, eletrônicos de consumo e outros, que **não possuem** os exigentes requisitos ambientais ou de ciclo de vida de produção longo dos equipamentos aeroespaciais e militares; portanto, a disponibilidade de componentes especificados para aplicações aeroespaciais e militares, desde aquela época já **estavam diminuindo**. E afirmam que desde 1992, pelo menos 12 grandes fabricantes de componentes eletrônicos, incluindo Motorola, Intel e Philips, deixaram o mercado militar. Pela primeira vez na história dos componentes eletrônicos, a indústria aeroespacial e militar não teve acesso amplo a uma cadeia de suprimentos vertical de componentes eletrônicos.

De acordo com Porter (1998), desde 1998, observa-se que os ciclos de vida de todas as tecnologias de circuitos integrados já estão diminuindo, quase ao ponto em que o termo ciclo de vida da tecnologia de componentes **não tem mais sentido** (PORTER, 1998). Até projetos de componentes "estáveis" são modificados constantemente para reduzir custos, melhorar rendimentos e aprimorar desempenho. As modificações são avaliadas e caracterizadas para aplicações de alto volume, como computadores, mas as aplicações de usuários de baixo volume, como aeroespacial e militar, raramente são consideradas (RIBEIRO, 2013).

Além disso, embora o sistema militar garantisse que os componentes com o mesmo Número de Peça (*Part Number* - PN) teriam especificações idênticas, independentemente de quem os fabricasse, isso **não se aplica** aos componentes não militares. Isso afeta os projetos de novos equipamentos e as substituições de componentes nos equipamentos eletrônicos existentes (SINGH, 2006).



Meyer (1993) afirmou que, desde 1993, as indústrias aeroespacial e militar que dependiam de componentes eletrônicos, **não poderiam mais** contar com fontes estáveis de componentes que são especificados para aplicações aeroespaciais e militares (MEYER, 1993). Precisam então se adaptar a usar componentes produzidos para **outras** indústrias, como automobilística e de processos, que são **bastante diferentes** da indústria aeroespacial e militar.

### 4.3 A resposta aeroespacial e militar

As indústrias aeroespacial e militar responderam vigorosamente ao problema da obsolescência de componentes (AVLONITIS; HART; TZOKAS, 2000). O tópico foi amplamente discutido em quase todos os fóruns do setor. Foram formados grupos de trabalho do setor e foram realizadas conferências para decidir o que pode ser feito para minimizar o efeito da obsolescência de componentes (DOS SANTOS; FLORES, 2017). As atividades para mitigar o efeito da obsolescência são numerosas demais para serem mencionadas aqui, mas seu conteúdo parece se enquadrar em uma de três categorias básicas (RIBEIRO, 2013): (1) Como **antecipar** ocorrências de obsolescência de componentes; (2) Como **reagir** a ocorrências de obsolescência de componentes; e (3) Como **reduzir** os riscos de obsolescência de componentes.

A maior parte da atividade está nas **duas primeiras categorias** listadas acima, e alguns resultados gratificantes foram alcançados. Embora sua importância não deva ser minimizada, eles se concentram principalmente na busca de fontes/fornecedores cada vez menores de componentes que atendam às necessidades dos usuários aeroespaciais e militares (PETERSEN, 2000). De fato, um termo comumente usado na indústria de eletrônicos de defesa é "diminuiu as fontes de fabricação e estamos com escassez de materiais/componentes" (MEYER, 1993). Essas abordagens fornecerão apenas **alívio de curto prazo** para o problema da obsolescência de componentes e devem ser vistas como métodos para ganhar tempo enquanto se buscam outras abordagens que produzam solução a longo prazo. A solução a longo prazo não é fácil, mas começa com o reconhecimento de um fato básico: **Nunca mais** se terá acesso a componentes eletrônicos projetados e fabricados

especificamente para atender às necessidades das indústrias aeroespacial e militar. A conclusão é: as indústrias aeroespacial e militar precisam se **adaptar** a usar componentes eletrônicos fabricados para outras indústrias (HOWARD, 2002).

#### **4.4 Cooperação industrial**

Como a indústria de componentes eletrônicos aeroespaciais e militares é um segmento tão pequeno do mercado de componentes eletrônicos, precisa-se perceber que os benefícios da **cooperação** superam em muito os custos da concorrência. Um exemplo dessa cooperação é a união de vários fabricantes de equipamentos aeroespaciais em uma organização internacional (HAMILTON; CHIN, 2001).

Em 1993, essa associação era composta por representantes de duas grandes indústrias: telecomunicações e aeroespacial. Os membros aeroespaciais incluem: Smiths Industries, British Aerospace (UK), Boeing, Honeywell, Allied Signal Aerospace, Rockwell Collins, Eldec, Litton e Lockheed Martin (MEYER, 1993).

Além de manter uma especificação de componentes, a organização fornece um fórum para tais empresas aeroespaciais discutir questões relevantes sobre componentes e trocar informações em um fórum não competitivo. Os membros também estão descobrindo que podem se comunicar e receber informações substanciais dos fabricantes de componentes, enquanto os caminhos para essa comunicação não estariam disponíveis para eles individualmente (AVLONITIS; HART; TZOKAS, 2000).

A maioria das atividades atuais da organização está sendo conduzida pelos grupos **comerciais de aviônicos** das empresas-membro (PETERSEN, 2000). No entanto, não está fechado para os grupos de **defesa**, e a participação brasileira em ambos os grupos aumentaria nossa capacidade de abordar o problema da obsolescência de componentes.

#### 4.5 Gestão de obsolescência de componentes eletrônicos

“Once it’s in production is obsolete” (Petersen, 2000:1-2).

A frase de abertura sugere que a obsolescência é um problema de difícil solução. De fato, considerando que a obsolescência de um equipamento consiste num fenômeno provocado, por exemplo: pela descontinuidade de produção de um determinado componente, facilmente se deduz que ela terá de ser considerada como um fator importante na gestão do ciclo de vida do equipamento no qual o componente é utilizado. (Carneiro, 2010).

A indústria eletrônica aeroespacial descobriu que, embora não se possa controlar as fontes/fornecedores de componentes eletrônicos, pode-se **gerenciar** os processos que se usam para selecionar e utilizar componentes para garantir funcionalidade, segurança, confiabilidade e relação custo-benefício, além de minimizar os efeitos da obsolescência de componentes (RIBEIRO, 2013). Para esse fim, o Comitê de Gerenciamento de Certificação (*Certification Management Committee-CMC*) do Sistema de Avaliação de Qualidade de Componentes Eletrônicos (*Quality Assessment System for Electronic Components -IECQ*) da Comissão Internacional Eletrotécnica (*International Electrotechnical Committee-IEC*) autorizou um Grupo de Trabalho Aviônico (*Aerospace Working Group-AWG*) a preparar guias para o gerenciamento de componentes eletrônicos e o uso de COTS e componentes **fora das faixas de temperatura** especificadas (HOWARD, 2002), isto é., explorando sua robustez.

Em 1998, cerca de 40 organizações estavam participando do AWG, incluindo a maioria dos fabricantes de estruturas e fornecedores de equipamentos na América do Norte e Europa, FAA, UK MoD, alguns fornecedores de componentes, empresas de teste de componentes e outros. Até o momento, a ênfase está nos produtos **comerciais (de aviônicos)**; mas, como a maioria dos participantes também tem presença significativa na indústria de **defesa**, é altamente desejável que eles usem as mesmas práticas para equipamentos aeroespaciais e militares (PORTER, 1998).

Baseado em um processo em andamento na *Boeing Commercial Airplanes* e em seus fabricantes originais de equipamentos eletrônicos (*Original Equipment Manufacturers* - OEMs) desde 1992, os OEMs de equipamentos preparam e executam um Plano de Gerenciamento de Componentes Eletrônicos (*Electronics Components Management Plan-ECMP*) que documenta os processos que os OEMs usam para atingir os seguintes objetivos (HAMILTON; CHIN, 2001):

1. Aplicação de componentes: os componentes são aplicados corretamente no *design*.
2. Qualificação de componentes: os componentes são qualificados para uso.
3. Garantia de qualidade dos componentes: a qualidade de cada componente individual é garantida.
4. Compatibilidade de componentes com o processo de fabricação de equipamentos: compatibilidade de componentes com integridade em toda a fabricação de equipamentos; montagem de equipamentos; transporte, manuseio e armazenamento de equipamentos; teste, reparo e retrabalho de equipamentos; e o transporte, manuseio e armazenamento de componentes são garantidos.
5. Dados do componente: existe um processo para coletar, armazenar, recuperar, analisar e agir sobre dados relativos a problemas de componentes, além de relatar dados relevantes do componente, projeto de equipamento, fabricação de equipamentos e uso de componentes em serviço.
6. Controle de configuração de componentes: os componentes são selecionados, substituídos e gerenciados sistematicamente para manter a rastreabilidade dos componentes e o controle de configuração dos equipamentos.
7. Componentes para uso fora das especificações dos fabricantes: o uso de componentes fora das especificações do fabricante é minimizado e realizado apenas com processos controlados e documentados que garantem a integridade do equipamento.

8. Gerenciamento de obsolescência de componentes: o efeito da obsolescência de componentes é minimizado por meio de processos documentados que garantem disponibilidade, funcionalidade, integridade e certificação de equipamentos.

Depois que o ECMP do OEM é aprovado pelo cliente ou pelo IECQ, o ECMP se torna o documento de controle para decisões de componentes. Os componentes selecionados e gerenciados de acordo com os processos documentados no ECMP são aprovados para novos projetos ou para substituição em projetos existentes. O Guia de Gerenciamento de Componentes da IECQ incentiva os OEMs a desenvolver um único ECMP que possa ser usado para todos os programas, em contraste com algumas práticas militares, que exigem um plano separado para cada programa. É econômico para OEMs usar processos comuns para todos os clientes (AVLONITIS; HART; TZOKAS, 2000).

Em resposta à pressão constante para usar componentes em **temperaturas maiores** que as especificadas pelos fabricantes de componentes, o AWG vem preparando um plano para documentar e controlar os processos de uso de componentes fora das faixas de temperatura especificadas pelos fabricantes de componentes. Para minimizar os riscos técnicos e legais, as informações estão sendo coletadas: 1) da experiência dos participantes do AWG com essa prática; e 2) de um programa de pesquisas conduzido pelo Centro de Serviços e Produtos Eletrônicos da Universidade de Maryland. O resultado é um processo mais abrangente já definido para o uso de componentes fora das faixas de temperatura especificadas pelos fabricantes (HOWARD, 2002).

Discussões recentes indicam que o uso dos Guias da IECQ permitirá às indústrias aeroespacial e militar aprovar substituições de componentes, determinando que eles passem por processos documentados em conformidade com os Guias. Isso ajudará a otimizar o processo de certificação de equipamentos que devem ser modificados devido à obsolescência dos componentes (RIBEIRO, 2013).

Hamilton e Chin (2001), em 2001, apresentaram o resultado de discussões com empresas que forneciam serviços de teste para componentes: surgiu a perspectiva de empresas de testes receberem certificação da IECQ para conduzir processos de qualificação e garantia de qualidade de componentes (HAMILTON; CHIN, 2001). Além disso, também poderia ser possível para as empresas de testes terceirizarem serviços para conduzir processos para usar componentes além das faixas especificadas pelos fabricantes. Se isso se tornasse realidade, as empresas de testes poderiam se tornar referências de testes para componentes que requeressem processos adicionais para uso em ambientes rigorosos e agressivos. Uma condição necessária para que isso ocorra é que os usuários finais (fabricantes, contratados principais e agências de defesa) precisam concordar com os processos, para que o mercado seja grande o suficiente para justificar o investimento exigido para as instalações das empresas de testes (SINGH, 2006).

A indústria aeroespacial não pode controlar as fontes/fornecedores da maioria de seus componentes eletrônicos, e a curta vida de produção de componentes produzidos para outros mercados causou um grave problema de obsolescência de componentes (AVLONITIS; HART; TZOKAS, 2000). Desde 1998, a principal resposta da indústria aeroespacial foi buscar fontes/fornecedores de componentes existentes que atendam às suas necessidades. Essa resposta não pode ser solução a longo prazo; em vez disso, precisa se adaptar a novas abordagens para o uso de componentes fabricados para outras indústrias. Duas dessas abordagens, descritas em 1998, foram os esforços cooperativos da indústria aeroespacial comercial através da organização Internacional e o IECQ-CMC *Avionics Working Group* para produzir guias da indústria para facilitar processos comuns de uso de componentes existentes (PORTER, 1998). Devem-se trabalhar juntos nesses e em outros esforços para desenvolver soluções de longo prazo para o problema da obsolescência de componentes nas indústrias aeroespacial e militar.

#### **4.6 Efeitos na obsolescência e na gestão da obsolescência de equipamentos aeroespaciais**

Se for perguntado a qualquer fabricante de componentes eletrônicos sobre qual é o principal problema que os preocupa, o que ele responderá? Serão os prazos de entrega, ou que estejam em dia com as últimas tecnologias ou a cadeia de suprimentos de componentes, ou o crescimento da indústria eletrônica na China? Embora essas questões sejam indubitavelmente importantes, a maioria dos fabricantes identificará invariavelmente a obsolescência de componentes como seu principal problema (DOS SANTOS; FLORES, 2017).

É justo dizer que a obsolescência - e, mais importante, como gerenciá-la - é um problema há bastante tempo, mas se tornou algo mais problemático recentemente. Por que isso está acontecendo? Quais são os desafios que os fabricantes enfrentam e o que pode ser feito para superá-los agora e poder controlá-los no futuro? Um fator chave que acelerou recentemente o problema da obsolescência foi a **redução da vida útil** dos componentes eletrônicos (RIBEIRO, 2013). Claramente, esse é um problema para os fabricantes e projetistas de equipamentos que desenvolvem sistemas que possuem uma vida útil longa, especialmente quando usados em equipamentos projetados para operar no fundo do mar, no ar ou em outras áreas onde os níveis de confiabilidade são altos (SCHENKEL et al, 2006). Então, como os setores de alta confiabilidade, como o médico, industrial, transporte pesado, aeroespacial e defesa, superam o problema da obsolescência quando eles não têm o volume ou o poder de compra alto/constante? Claramente, as opções são limitadas quando um fabricante de componentes eletrônicos decide parar de fabricar uma linha de produtos altamente confiável para o mercado, porque seu uso é pequeno comparado a outras linhas de produtos (HAMILTON; CHIN, 2001).

À medida que o ciclo de vida dos componentes diminui, o problema da obsolescência aumenta e os OEMs agora precisam reduzir seus planos para manter disponíveis seus produtos com ciclo de vida longo que contenham

esses componentes. Até o mercado de reposição foi afetado, por conta disso. Além de tudo isso, para atender à crescente demanda por componentes eletrônicos que rapidamente se tornam indisponíveis - e superarem os pequenos problemas de redesenho e recertificação - algumas empresas recorrem a fornecedores de componentes "similares". De fato, foi dito que, para todos os efeitos, a obsolescência leva à "similaridade" (AVLONITIS; HART; TZOKAS, 2000).

No entanto, embora se saiba qual é o problema, antes que se possa encontrar uma solução, precisa-se voltar e entender bem onde a obsolescência se origina no setor de eletrônicos. Uma das principais causas da obsolescência são as fusões e aquisições de fabricantes de componentes, que têm um efeito inevitável na longevidade das cadeias de fornecedores e na disponibilidade de vários componentes. Muitas vezes incentivadas enquanto as empresas tentam melhorar suas ofertas no crescente mercado da Internet das Coisas (IoT), fusões e aquisições quase inevitavelmente contribuem para problemas na disponibilidade do produto, principalmente porque certos produtos tornam-se obsoletos, os Números das Peças (*Part Numbers*, P/Ns) são alterados, há mudanças no processo de fabricação que influenciam os prazos de entrega e, é claro, o custo, que se torna um problema (DOS SANTOS; FLORES, 2017).

Outra causa importante da obsolescência de componentes relacionada aos efeitos colaterais de fusões e aquisições é o comprimento e a complexidade incontroláveis das cadeias de suprimentos que podem surgir (RIBEIRO, 2013).

Canais de comunicação altamente problemáticos podem ser desenvolvidos nessas cadeias quando OEMs, produtores contratados, distribuidores independentes, empresas de teste e profissionais de qualidade, todos têm suas próprias contribuições e demandas (MELO; RIOS; GUTIERREZ, 2001). Para piorar a situação, embora os distribuidores contratados sejam obrigados a cumprir os acordos oficiais para comercializar e vender componentes em nome de seu fabricante original, os distribuidores independentes não.



Para aumentar o problema, a obsolescência é diretamente afetada pelo fato de o setor de eletrônicos ser impulsionado por grandes quantidades de dados (de acordo com a IBM (*International Business Machines*), em 2000, o mundo já produzia 2,5 milhões de terabytes de dados por dia) e isso cria uma forte necessidade de padronização e automação. De fato, é justo dizer que há uma desconexão fundamental entre a coleta de dados e as ações que dela derivam. Se usados corretamente, os dados podem ajudar as empresas a desenvolver **soluções proativas** para o gerenciamento da obsolescência e isso deve ser muito melhor do que tentar resolver o problema de maneira **reativa** - o que levaria tempo, dinheiro; e, obviamente, recursos valiosos, são gastos quando o problema já ocorreu (AVLONITIS; HART; TZOKAS, 2000).

Para resolver o problema levantado pelos principais componentes que não estão disponíveis, é útil ter todas as informações relevantes sobre essas partes - mas isso pode significar uma enorme quantidade de dados. Além disso, existe uma correlação direta com a falta de integridade dos dados, o que torna essencial para os profissionais do setor manterem-se atualizados com o lançamento de dados de fabricantes relevantes e monitorar os sites de notícias mais importantes para resolver esse problema (SCHENKEL et al, 2006).

Os fabricantes de componentes geralmente se comunicam com eficiência, mas dados cruciais sobre obsolescência geralmente não possuem informações suficientes sobre mudanças importantes. De fato, um estudo mostrou que mais de 40% dos componentes eletrônicos que se tornaram obsoletos deixaram de ser fabricados sem que os fabricantes informassem o setor (HAMILTON; CHIN, 2001).

Pior ainda, 30% desses componentes se tornaram obsoletos imediatamente. Ao mesmo tempo, deve-se reconhecer que o problema não está apenas na obsolescência de componentes, mas, relacionado a esse problema, está a obsolescência de técnicas e *softwares*, com um número cada vez menor de pessoas que sabem gerenciar, codificar ou programar os chamados "sistemas preexistentes" (DOS SANTOS; FLORES, 2017).

Nos “sistemas preexistentes”, ou sistemas/produtos já existentes no mercado, a única opção real é comprar componentes obsoletos. Essa poderia ser a melhor solução para a fabricação de um produto que possui itens obsoletos ou se, por exemplo, um fornecedor ou empresa precisar de mais tempo para reprojetar. O comprador poderia avaliar os custos que o reprojeto e a certificação acarretariam; bem como os custos de compra e armazenamento de peças obsoletas e de decidir qual seria a opção mais viável do ponto de vista econômico. Em qualquer um desses cenários, as empresas, sem dúvida, precisam tomar decisões com base nas necessidades e objetivos de seus negócios e, ao mesmo tempo, levar em consideração todas as opções disponíveis (AVLONITIS; HART; TZOKAS, 2000).

Deixando de lado os sistemas pré-existent, fica claro que o desenvolvimento de **soluções reativas** para problemas de componentes à medida que surgem não é viável para as empresas. Devido à combinação de cronogramas reduzidos, custos crescentes e fontes decrescentes de suprimento, as empresas estão sendo forçadas a lutar na vanguarda da batalha em termos de gerenciamento de obsolescência (MELO; RIOS; GUTIERREZ, 2001). Como os clientes podem ser influenciados ao escolher como lidar com a questão da obsolescência? Como se pode eliminar a incerteza daqueles que querem encontrar fontes confiáveis de componentes? Como é possível garantir que as empresas tenham as informações necessárias para tomar decisões com confiança em relação à aquisição de componentes? Para começar, deve-se enfatizar que o gerenciamento de obsolescência precisa passar por muitos departamentos de uma empresa e não deve mais ser considerado apenas um problema de engenharia. Uma solução poderia ser que o gerenciamento de obsolescência fosse identificado como uma disciplina independente ou reconhecido como uma questão de procedimento durante as fases de projeto e desenvolvimento (HAMILTON; CHIN, 2001).

Ao mesmo tempo, cada componente crítico poderia ter várias alternativas de diferentes fabricantes e modelos diferentes para cada tipo de aplicação para atender aspectos técnicos e ambientais. Este seria um cenário ideal, mas, na

realidade, chegar a essa posição levará tempo (RIBEIRO, 2013). Uma solução mais imediata e muito mais realista envolveria mais disciplina por parte das empresas para selecionar o melhor parceiro na cadeia de suprimentos, além de entender que é crucial criar um **plano de gerenciamento de obsolescência** sólido que minimize o risco de alterações na cadeia de suprimentos. Os fabricantes devem se estabelecer como parceiros confiáveis que fornecem serviços e dados para cada componente. Esses serviços podem incluir a previsão de obsolescência de componentes, financiar uma compra estratégica (LTB – *Last Time Buy*) ou ir ao mercado aberto para obter uma busca de um componente substituto similar FFF (*Form, Fit and Function*). Para concluir, problemas de gerenciamento de obsolescência não devem ser aceitos simplesmente como uma fatalidade que não pode ser evitada (DOS SANTOS; FLORES, 2017). De fato, mais e mais empresas do setor de componentes eletrônicos estão percebendo que com um sólido planejamento e uma visão de longo prazo - junto com parceiros sólidos e de alta qualidade da cadeia de suprimentos - certamente é possível resolver este problema.

No processo de desenvolvimento de técnicas vitais e rápidas no mercado atual, as empresas devem usar corretamente os *softwares* de Planejamento de Recursos Empresariais (PRE) e Gerenciamento de Relacionamento com Clientes (GRC) para permitir que as informações sejam compartilhadas por toda a organização. Outras ferramentas que as empresas podem usar para garantir a manutenção de técnicas e informações na organização incluem Inteligência Artificial e Lições Aprendidas (HAMILTON; CHIN, 2001). A obsolescência é obviamente um problema importante, mas a maneira como afeta uma determinada empresa depende em grande parte do nível de proatividade atual e futura da empresa.

Conforme análise realizada da literatura citada e também com o INPE e empresas do setor militar, a lista de causas da obsolescência de componentes eletrônicos em equipamentos aeroespaciais é extensa. A seguir, listamos algumas das causas da obsolescência de componentes eletrônicos já sofridos por equipamentos aeroespaciais e militares de tais instituições, a saber:

- Evolução Tecnológica;
- Uso de COTS;
- Processos *Lean*;
- Redução da vida útil;
- Embargos;
- Formação de Oligopólios de Fornecedores;
- Impedimentos Políticos;
- Logística.

## **5 PROCESSOS ATUAIS DE GESTÃO DA OBSOLESCÊNCIA**

### **5.1 Objetivo**

Neste Capítulo são apresentados os processos atuais praticados pelas indústrias e instituições para a Gestão da Obsolescência de componentes eletrônicos em equipamentos aeroespaciais e militares.

### **5.2 Processos atuais em geral**

Com a aceleração da obsolescência de componentes eletrônicos em equipamentos aeroespaciais e militares, tornou-se essencial que as empresas tenham um certo nível estratégico de gerenciamento de obsolescência para mitigar os riscos da obsolescência. Entre as razões que tornam um componente obsoleto, foram apresentadas do Capítulo 4 algumas causas da obsolescência como: evolução tecnológica, uso de COTS, processos *Lean*, redução da vida útil, embargos, entre outros.

A obsolescência faz parte do atual modelo econômico do setor aeroespacial e militar, constituindo tanto um risco quanto uma oportunidade. A obsolescência é a quarta fase do ciclo de vida de um produto. Após as fases de lançamento, crescimento e maturação, chega a fase de declínio, com a obsolescência do produto e sua saída do mercado como o próprio fim (CARNEIRO, 2010).

Os dois principais riscos associados à obsolescência atualmente, apresentados no Capítulo 2, são a quebra logística devido à obsolescência de um componente na cadeia produtiva e o aumento dos preços e prazos de entrega dos componentes no final da vida útil. Diante desses riscos, as indústrias e instituições do setor aeroespacial e militar tem adotado como estratégia a gestão da obsolescência. Para as indústrias ou instituições que possuem produtos com suporte a longo prazo, como, por exemplo, um rádio militar (que possui suporte de tempo de vida por 15 anos), é essencial a gestão da obsolescência para garantir a continuidade logística da produção, manutenção e assistência ao cliente, em um processo de manutenção preventiva, por exemplo.

Para melhor gerenciar os problemas relacionados à obsolescência, as indústrias ou instituições do setor aeroespacial e militar vêm adotando um certo número de ações para mitigar o efeito da obsolescência. Primeiro, trata-se de prevenir os casos de obsolescência, identificá-los, realizar análises de efeito e, em seguida, construir e adotar planos de ação (preventivos ou corretivos) (CABRAL, et al. 2016).

Neste caso, para evitar o “efeito surpresa”, é necessário estabelecer um procedimento preventivo para detectar os riscos de obsolescência. Esta é uma fase de antecipação e desenvolvimento de planos de ação preventivos. Mas detectar riscos antecipadamente e promover ações proativas não é uma tarefa fácil para as indústrias ou instituições do setor aeroespacial e militar, como descrito por Carneiro (2010) e Ribeiro (2013). Neste contexto de antecipação dos riscos de obsolescência, ferramentas de *software* que permitem a verificação e alertas como as Notificações de Mudanças do Componente/Produto (*Product Change Notifications* – PCN) e a Declaração do Fim de Vida (*End-Of-Life* – EOL) são essenciais para auxiliar na detecção antecipada do risco e escolha de estratégias para mitigar tal risco.

Atualmente existem ferramentas de *software* que nos auxiliam na gestão da obsolescência, como: BOM Intelligence da IHS Markit, AVCOM da BAE System, QSTAR da QTEC Solutions, BOM Manager da SiliconExpert, entre outros. Estes *softwares* possuem os seguintes benefícios em suas propostas: a criação de uma lista de componentes em risco de obsolescência, indicando os detalhes dos componentes em risco, como as notificações PCN e EOL; a criação de um repositório tecnológico, em colaboração com outras empresas ou universidades, para conhecer as tendências e antecipar a obsolescência tecnológica; processos e planos para evitar a obsolescência, de acordo com os fabricantes envolvidos, que incluem a realização de modificações e adaptações dos componentes/produtos para reduzir esse risco, ou a tomada de decisões sobre a data da Última Aquisição (LTB – *Last Time Buy*) de produtos e componentes de reposição ou sobressalentes. Ao mesmo tempo, envolve o monitoramento de alterações nos regulamentos referentes a substâncias

perigosas ao meio ambiente e à saúde humana, a materiais de zonas de conflito ou regulamentados como, por exemplo, o ITAR (*International Traffic in Arms Regulations*).

A análise dos efeitos da obsolescência é fundamental, mas é difícil para as indústrias e instituições terem informações quantificadas sobre o estado de obsolescência de componentes de algum produto, interrupção da produção, embargos e etc.. Esses riscos potenciais podem ter um efeito significativo nos processos de produção, fornecedores, clientes, volume de negócios, produtos comercializados. Porém, quando a extensão do risco de obsolescência puder ser definida e os efeitos identificados, será possível estabelecer planos de ação (preventivos ou corretivos) (CABRAL, et al. 2016).

De acordo com Carneiro (2010), enquanto as empresas precisam lidar diariamente com problemas de obsolescência, os riscos nem sempre são bem identificados. Assim, o *hardware* ou o *software* que não são mais fabricados, que não podem ser reparados, cujo suporte ou atualizações não são mais garantidos, representam certo número de riscos, em termos de desempenho e segurança, sendo eles:

- Problemas de interligação com os outros elementos do sistema, subsistema, equipamento, placa de circuito e etc.;
- Possível indisponibilidade ou interrupção dos serviços;
- Problemas de segurança aumentados, com vulnerabilidades que não são mais corrigidas à medida que são descobertas não conformidades com quaisquer alterações regulamentares;
- Competitividade ou inovação estagnando ou em declínio.

Diante do exposto, nos dias atuais é importante pensar no tratamento de componentes e equipamentos obsoletos e possíveis formas para mitigar tal evento. Ter um banco de dados completo disponível que lista todos os riscos potenciais, todas as mudanças na legislação, embargos e oferecem alternativas para os itens obsoletos será uma vantagem comercial estratégica para as indústrias e instituições.

Por fim, é necessário um conhecimento muito bom do próprio sistema de informação para identificar os problemas de obsolescência. Além disso, revisitações regulares dos próprios produtos permitirão às indústrias e instituições gerenciar bem a obsolescência de alguns componentes e prever com mais assertividade a vida útil de seus produtos. Na seção seguinte, 5.3, são apresentadas algumas estratégias atualmente discutidas na literatura e implementadas nas indústrias e instituições militares e aeroespaciais.

### **5.3 Estratégias de gestão de obsolescências atuais**

Segundo Meyer (2004), várias abordagens são possíveis de ser implementadas para mitigar os efeitos da obsolescência. Essas abordagens podem ser agrupadas em categorias específicas que vão desde as mais utilizadas pelas indústrias e instituições militares e aeroespaciais nos dias de hoje, as estratégias reativas e proativas, até mesmo abordagens mistas/intermediárias (passivas e progressivas). Nas Seções 5.3.1 à 5.3.4 são detalhadas essas abordagens, de acordo com Meyer (2004).

#### **5.3.1 Gestão de obsolescência reativa**

A Gestão de Obsolescência Reativa baseia-se em uma estratégia de espera passiva até que se descubra que um item se tornou obsoleto sem que se tenha tomado alguma ação a respeito. Então, as ações são tomadas apenas quando o aviso de Fim de Vida (EOL – *End of Life*) de um produto é tornado público ou um componente obsoleto falha ou é danificado, seja devido a um componente essencial/crítico para a produção ou a uma redução na cadeia de suprimentos de Componentes de Reposição ou Sobressalentes (*Spare Parts*), a obsolescência pode ser um problema significativo para o responsável pelo ciclo de vida dos produtos da empresa.

Uma estratégia reativa deixa uma janela de ação menor depois que a obsolescência ocorre. Vários planos de ação são possíveis quando um componente se torna obsoleto. Problemas não são previstos de qualquer forma e podem resultar em reparos precipitados para cumprir com os requisitos de disponibilidade, se o item que falhou impactar a disponibilidade do mesmo.



Esta abordagem só é efetiva para itens que não são críticos do ponto de vista operacional ou têm um baixo risco de obsolescência. É aplicada principalmente em itens sob controle do OEM onde as especificações, processos e as capacidades produtivas são consagradas e mantidas. A maioria dos equipamentos mecânicos não complexos são cobertos por esta prática e, tipicamente, incluem itens proprietários onde os dados de manufatura ou licenças podem ser negociadas com o OEM num caso de baixo risco de obsolescência.

A principal consequência desta abordagem é a perda da oportunidade de se aplicar medidas de mitigação sem custos ou com baixos custos, o que pode resultar em atrasos recorrentes devido aos processos de reparo causados pela indisponibilidade das peças ou componentes.

### **5.3.2 Gestão de obsolescência proativa**

A Gestão de Obsolescência Proativa é mais agressiva, pois identifica os riscos de obsolescência no início ou muito cedo no ciclo de vida de um projeto e as ações de mitigação são executadas para remover os problemas o mais rápido possível.

Uma estratégia proativa significa prevenir demandas e esclarecê-las antes que haja algum problema. No contexto da gestão de obsolescência, a antecipação se torna essencial, pois determinados componentes obsoletos dificultam entregas, conseqüentemente os processos de fabricação. Dado o ritmo acelerado da obsolescência dos componentes eletrônicos, é essencial que as empresas tenham um certo nível de estratégia de gerenciamento de obsolescência que permitam mitigar os riscos envolvidos. Nesse sentido, as empresas podem aplicar estratégias proativas. Algumas sugestões para agir proativamente na gestão da obsolescência são:

- Monitorar a Obsolescência: Esse tipo de abordagem proativa inclui o rastreamento dos processos, materiais e componentes usados no *design* do equipamento para provável predição da obsolescência e do risco;

- Observar as notificações de obsolescência: Os fabricantes e vendedores costumam informar sobre a obsolescência de componentes com: Notificações de Mudanças do Componente/Produto (*Product Change Notifications* – PCN) e a Declaração do Fim de Vida (*End-Of-Life* – EOL);
- Utilizar um software de apoio para gestão da obsolescência;
- Considerar no *design*: O requisito de atualização de *design* em estágios posteriores do produto deve ser aplicado desde o início do desenvolvimento do produto como requisito contratual;
- Projetar pensando no tempo de vida do produto: Componentes com tempo próximo de obsoleter não devem ser usados em projetos que desejam ter uma vida longa. Por isso, na boa gestão da obsolescência esse aspecto é analisado desde o início.
- Buscar a transparência tecnológica: A transparência tecnológica faz parte da metodologia de *design*. Esse tipo de abordagem proativa concentra-se principalmente no uso de interfaces padrões e abertas e, é aplicável a equipamentos com *design* modular e alta utilização de componentes;
- Planejar atualizações do sistema: Esse tipo de abordagem proativa compreende a predeterminação de algumas etapas no ciclo de vida do produto, nas quais o *design* parcial/completo ou partes do sistema serão analisados ou verificados para manter-se atualizado;
- Planejar revisões periódicas: Revise a lista de componentes, revise os projetos dos produtos da empresa e veja se não há necessidade de fazer alguma modificação por conta de algum componente estar obsoleto ou próximo de obsoleter;
- Planejar compras estratégicas: A compra estratégica é a aquisição de componentes / parte do sistema ou equipamento para garantir sua capacidade de suporte ao longo do ciclo de vida ou, pelo menos, até a

próxima atualização do sistema, para a mitigação do risco de obsolescência.

Além disso, para identificar a obsolescência de um produto, software, hardware ou infraestrutura, é importante focar nas diferentes possibilidades de uso, substituição, atualização, conformidade com o contexto regulatório e jurídico ou o uso que é feito ou desejado pelos usuários.

O gerenciamento proativo de obsolescência geralmente é uma boa ideia, desde que o componente seja crítico para o processo de produção, porque, se o componente se tornar obsoleto, será difícil substituí-lo, o que, por sua vez, pode levar a um tempo de inatividade dispendioso (ARAÚJO, 2007).

Seria difícil para qualquer empresa controlar o status de obsolescência de todos e cada um dos itens de uma lista de materiais; portanto, os componentes devem ser classificados em ordem de importância e nas medidas pertinentes aplicáveis. O uso dos dados disponíveis do fabricante dos componentes ou de um banco de dados independente, além de examinar algoritmos e dados históricos, pode permitir que uma empresa tenha capacidade de prever mudanças no ciclo de vida com antecedência e decida qual é a solução mais adequada para mitigar ou corrigir o problema (WOMACK, et al. 2004).

A Gestão de Obsolescência Proativa deve incluir soluções de engenharia, produção, manutenção e logística. A opção preferida durante o projeto é na realidade, remover o problema de obsolescência através do reprojeto sempre que a Criticidade Restrita (Probabilidade x Severidade) de obsolescência for alta. Esta abordagem é provavelmente mais dispendiosa de implementar mas, se for corretamente aplicada, será mais eficiente no geral.

### **5.3.3 Gestão de obsolescência passiva**

A Gestão de Obsolescência Passiva fica entre as abordagens Reativas e Proativas, mas tende a inclinar-se para a Gestão de Obsolescência Reativa. É baseada numa abordagem de monitoramento para identificar possíveis riscos de obsolescência. Esta abordagem é aplicada tipicamente onde a

obsolescência do componente tem uma baixa Severidade em um equipamento (sistema), mas onde a Probabilidade de Obsolescência é alta. Monitoramentos regulares para identificar a obsolescência são requeridos durante a operação do equipamento até a data predeterminada para o suporte do sistema ou atualização do projeto.

Durante o desenvolvimento do projeto, os fornecedores são responsáveis por prever e avisar antecipadamente quando ocorrerá a obsolescência de um componente, por força de contrato ou por práticas/processos adotados pelos fabricantes originais dos equipamentos (OEMs). Mas, nem sempre essas informações ou alertas são disponibilizadas para a indústria e instituição, ficando para essas a responsabilidade de prever e gerenciar o risco de um evento de obsolescência.

#### **5.3.4 Gestão de obsolescência progressiva**

A abordagem na Gestão de Obsolescência Progressiva fica entre as abordagens Reativas e Proativas, mas tende a inclinar-se para a Gestão de Obsolescência Proativa. Seu principal objetivo é tomar ações antecipadas para mitigar o risco de obsolescência identificando antecipadamente fontes alternativas de suprimento ou projetando sem riscos de obsolescência e, posteriormente, monitorando a cadeia de suprimentos para reduzir ocorrências e riscos da obsolescência. É baseada, então, em uma abordagem de obtenção de componentes alternativos/substitutos e monitoramento de fontes de fornecimento. Esta abordagem é aplicada tipicamente onde a obsolescência do componente tem uma alta Severidade em um equipamento (sistema), mas onde a Probabilidade de Obsolescência é baixa. Desenvolvimento de projetos com baixos riscos de obsolescência são opções preferenciais nesta abordagem, uma vez que a Severidade é a principal consideração. Para isso, identificar fontes alternativas é um trabalho que deve ser executado pela engenharia de desenvolvimento em conjunto com as áreas de *procurement*, de compras, de contratos e até mesmo de assistência ao cliente.

#### **5.4 Gestão de risco da obsolescência (através da criticidade restrita)**

Segundo Rojo et al. (2012), a gestão de riscos é definida como o processo de identificação, análise e quantificação das probabilidades de perdas e das severidades dos efeitos secundários derivados de eventos incertos e danosos, bem como as correspondentes ações preventivas, corretivas e redutoras que devem ser realizadas. O risco tradicionalmente é função de duas variáveis: a Probabilidade (P) e a Severidade (S) de um evento incerto e danoso, decorrente de uma ameaça e da vulnerabilidade a esta.

Ambas são variáveis necessárias para expressar a Criticidade Restrita do risco, como  $C = P \times S$ . Embora os eventos danosos nem sempre sejam evitáveis, esta é uma abordagem geralmente aplicada nos dias de hoje para a gestão de risco que enfatiza medidas *ex-ante* e *ex-post* e depende essencialmente de:

- Identificação e análise de risco;
- Concepção e aplicação de medidas de prevenção e mitigação;
- Proteção financeira por meio da transferência ou retenção de risco;
- Preparações e ações para as fases subsequentes de cuidados, reabilitação e reconstrução.

Dessa forma, como mencionado por Rojo et al. (2012), o gerenciamento de risco mostra os riscos gerais com base em padrões, por meio de uma agregação da Probabilidade de Ocorrência no nível do componente com a Severidade dos seus efeitos em seus produtos. As opções para mitigação desse risco são geralmente vinculadas a estratégias de redução ou prevenção de riscos técnicos e econômicos.

De acordo com Rojo et al. (2012) e Ribeiro (2013), ser proativo na gestão de riscos não significa abandonar a abordagem reativa para gerar vantagem competitiva, aumentar a lucratividade e projetar a organização em direção ao crescimento futuro. O objetivo da gestão de risco é o seguinte:

- Identificar os possíveis riscos;
- Reduzir ou dividir os riscos;

- Fornecer uma base racional para a tomada de decisão em relação a todos os riscos;
- Planejar.

Neste caso, avaliar e gerenciar riscos são as melhores ferramentas em caso dos eventos incertos e danosos, como a obsolescência de componentes, nos projetos. Ao avaliar o plano para identificar problemas potenciais e desenvolver estratégias para resolvê-los, aumentam-se as chances de sucesso do projeto.

Dessa forma, de acordo com Ribeiro (2013), se os riscos como a obsolescência de componentes, que causam a probabilidade de falha e a indisponibilidade de um produto, não forem conhecidos, existem custos não planejados para sua remoção e paradas de produção. Com o gerenciamento de riscos, as ameaças podem ser identificadas de forma proativa, seus efeitos avaliados e ações de mitigação planejadas, evitando o desenvolvimento de estratégias para controlar os custos do ciclo de vida de um produto não planejados.

Essa é uma questão muito complexa para as indústrias e instituições nos dias de hoje, pois uma falha em avaliar, prevenir ou minimizar adequadamente os eventos incertos e danos dos riscos da obsolescência, pode resultar em gastos não planejados e, até mesmo, na perda de participação no mercado.

Com base na literatura consultada e na experiência do autor percebe-se uma resistência das indústrias e instituições em ser proativo no gerenciamento de riscos de componentes, pois tem um impacto definitivo nas finanças da organização. O investimento necessário pode parecer alto, mas as perdas podem ser muito maiores na ocorrência dos eventos incertos e danos causados pela obsolescência de um componente. Com isso, indústrias e instituições se colocam em uma situação de tentar avaliar de maneira descoordenada qual a melhor abordagem poderia ser aplicada, a reativa ou a proativa, tentando de alguma maneira planejar planos para mitigação desse risco.

## 5.5 Planos de mitigação da obsolescência

Os planos de mitigação da obsolescência, nos dias de hoje, incluem a criação de programas de mitigação de obsolescência, incluindo medidas para que o ativo/produto da empresa continue em operação, como a de estoque estratégico, a fabricação ou até mesmo o desenvolvimento de componentes que podem aumentar a vida útil dos ativos/produtos ou mesmo a “canibalização” de componentes de produtos em pane, com defeito de fabricação ou com falha (LIKER, et al. 2007).

Existem também, fatores externos e internos que podem fazer com que os níveis de obsolescência cresçam; no entanto, é importante evitá-los observando alguns indicadores do mercado, como estoque dos fornecedores. Eles podem enviar pequenos avisos para detectar essas mudanças de tendência. Por exemplo, a rotação ou cobertura de um determinado produto. Um produto que iniciou o ano com alta rotatividade no mercado e mudou ao longo do tempo para rotatividade média ou baixa, pode responder a uma dessas mudanças na demanda (SOUZA, et al. 2009).

Da mesma forma, se com o mesmo estoque médio é possível ver como a taxa de cobertura aumenta, será relatado um alerta no próprio fornecedor sobre o que está por vir. Se não houver reação pelo fabricante e ele mantiver os mesmos níveis de estoque, isto inevitavelmente aumentará o risco de obsolescência. Atualmente a tratativa é essa, mas gerenciar indicadores requer tecnologia, coletando dados em tempo real, tratando-os e preparando relatórios para a tomada de decisões (CABRAL, et al. 2016).

Portanto, a obsolescência é negativa para os resultados das indústrias e das instituições, pois envolvem perdas diretas. Estoques excessivos e compras não planejadas causam prejuízos às indústrias e instituições. Esses problemas são agravados ainda mais se o excesso de estoque acabar em estoque obsoleto, uma vez que a própria venda a menor custo ou a própria destruição e transporte geram ainda mais despesas.

Como se isso não bastasse, o excesso de inventário gerenciado sem o suporte de uma ferramenta ou software é propenso a agir como excelente esconderijo para ineficiências sutis (e, às vezes, não tão sutis...) improdutivas em outras partes do negócio, resultando em custos mais altos. Problemas de qualidade, compras e até vendas podem estar ocultos em um estoque tão vasto e sem controle que ninguém consegue administrar ou gerenciar de maneira certa.

Com isso, a grande dificuldade das indústrias e das instituições atualmente é o mapeamento dos riscos e planejamento coordenado dos planos de mitigação do risco. A correta escolha da abordagem que será adotada na mitigação do risco, reativa ou proativa, é uma questão essencial para a sobrevivência das indústrias ou instituições.

## **5.6 Processos atuais no INPE e nas indústrias aeroespaciais locais**

Em uma Dissertação de Mestrado defendida e aprovada em 2013 e brevemente transcrita no Anexo A, Ribeiro (2013) identificou as práticas então atuais do INPE, e do qual extraiu seu primeiro estudo de caso. Segundo ele, o Departamento de Qualificação e Confiabilidade de Componentes do Laboratório de Integração e Testes (LIT) do INPE, utilizava geralmente as seguintes ações para mitigação da obsolescência:

### **1) Substituição dos componentes por equivalentes, com o mesmo FFF:**

Neste caso: “O mesmo componente também pode vir de um fornecedor com componentes obsoletos armazenados no seu estoque ou de fornecedores conhecidos como “*brokers*” (intermediários, representantes, importadoras e etc.). Assim, um componente de reposição pode ser entregue em tempo ótimo, com impacto mínimo na produção.”.

### **2) Substituição dos componentes por alternativos, com mudança de alguns parâmetros do FFF:**

Neste caso: “A indústria ou instituição também pode escolher outro componente com *FFF* semelhantes, seja do fornecedor original ou de um concorrente. No entanto, isso requer uma análise complexa para garantir que o componente seja exatamente o mesmo em termos de características paramétricas e físicas, dimensionais, interfaces e características



elétricas. Em uma estratégia reativa essa pode ser uma opção viável ou se torna algo impraticável, situação que fica entre os extremos do totalmente “certo” ou totalmente “errado”.

**3) Realização de uma ou várias compras estratégicas para manter um estoque estratégico:** Neste caso: “A indústria ou instituição pode fazer compras estratégicas dos componentes com EOL declarado para manter o mesmo componente na vida útil dos seus produtos, mesmo que isso signifique que os componentes sobressalentes fiquem armazenados e encomendados em uma quantidade que preveja o uso futuro, o que não é sempre possível com precisão.”.

**4) Gestão da Obsolescência reativa à notificação da obsolescência do componente.** Neste caso: “A indústria ou instituição também pode optar por reprojeter o produto, mas isso nem sempre é uma opção estrategicamente boa” Ou: “Se um segundo componente se tornar obsoleto e um segundo reprojeto forem necessários, isso pode ser difícil, muitas vezes complexo e extremamente danoso para as indústrias ou instituições. Provavelmente, um reprojeto não é possível para uma indústria ou instituição que adotou uma estratégia reativa, porque a janela da produção é muito pequena para entrega dos produtos ao cliente.”.

Ribeiro (2013) identificou também as práticas então atuais das indústrias aeroespaciais locais, onde era empregado e da qual extraiu seu segundo estudo de caso. Segundo ele, nas indústrias aeroespaciais locais, a abordagem é a mesma adotada pelo LIT-INPE. Fazem uma Gestão Reativa à notificação da obsolescência do componente. Essa declaração é baseada na experiência do autor nas várias empresas e indústrias aeronáuticas e militares por onde ele trabalhou. Uma proposta dele/nossa e uma tendência então/atual é a adoção da abordagem de Gestão Proativa; mas, por conta do custo alto de recursos para manter essa abordagem, a área de gestão de projetos e custos acaba por assumir o risco de uma gestão reativa do problema obsolescência.

## **6 PROPOSTA PARA GESTÃO DA OBSOLESCÊNCIA E AVALIAÇÃO DA ROBUSTEZ DE COMPONENTES ELETRÔNICOS EM EQUIPAMENTOS AEROESPACIAIS**

### **6.1 Objetivo**

Neste Capítulo é apresentada a proposta para Gestão da Obsolescência e avaliação da robustez de componentes eletrônicos em equipamentos aeroespaciais.

Para a Gestão da Obsolescência de Componentes Eletrônicos, é apresentado um processo, que contempla abordagens vistas no Capítulo 5. Essas abordagens são agrupadas em categorias que vão desde Reativas a Proativas, com as abordagens mistas/intermediárias que chamamos de Passivas e Progressivas.

De acordo com Rojo et al. (2012) a avaliação do risco de obsolescência é essencial para gestão da obsolescência de forma eficaz. Embora haja padrões existentes para gestão da obsolescência, como a IEC62402 (2007), mas nenhum deles define explicitamente um processo para avaliar o risco de obsolescência que pode ser sistematicamente utilizado pela indústria ou instituição. Em Rojo et al. (2012), são apresentadas algumas práticas para a avaliação do risco de obsolescência, com base em um estudo de *benchmarking* apresentado nesse artigo. Tanto esse artigo (Rojo et al., 2012), como a IEC62402 (2007), sugerem o uso dos seguintes critérios para Avaliação de Risco de Obsolescência: custo, impacto e probabilidade. No entanto, nenhum desses termos é definido explicitamente nessas referências.

Nas seções seguintes deste capítulo são apresentadas uma sequência de detalhes e definições utilizadas para o entendimento e desenvolvimento do processo proposto para Gestão da Obsolescência. Com foco na Avaliação de Risco de Obsolescência, tendo o risco uma função de duas variáveis: probabilidade  $P$  e severidade  $S$  de um evento incerto e danoso, decorrente de uma ameaça e da vulnerabilidade a esta. Ambas são variáveis necessárias para expressar a Criticidade Restrita do risco, como:  $C = P \times S$ . Embora os

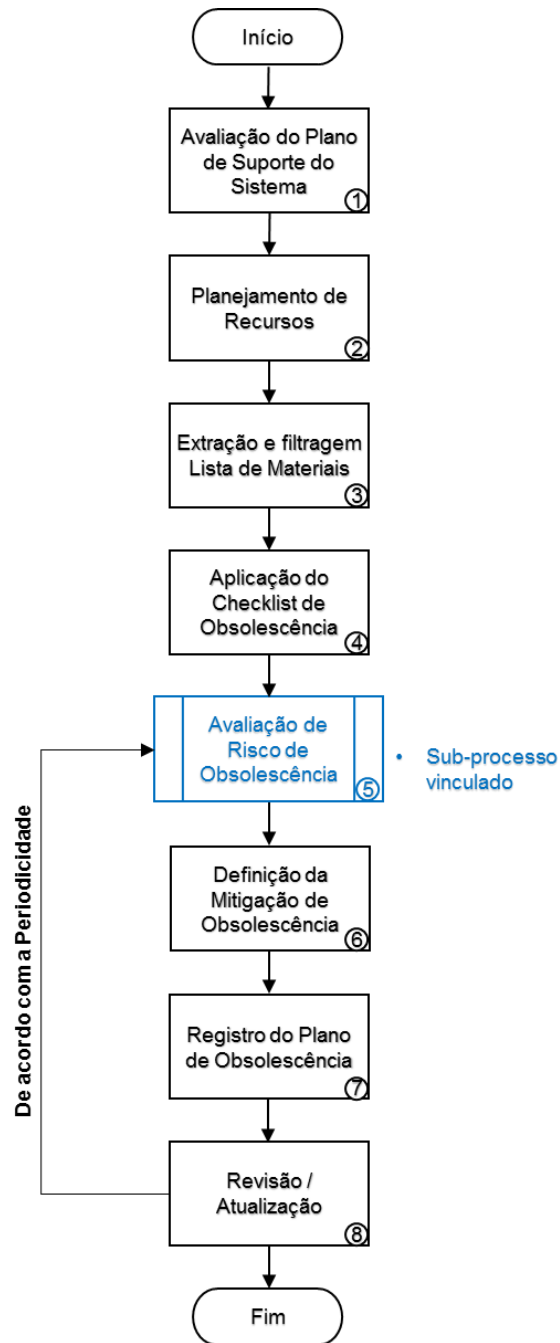
eventos danosos nem sempre sejam evitáveis, esta é uma abordagem abrangente para a Gestão da Obsolescência.

As ações descritas no processo proposto são adaptadas de Rojo et al. (2012) e deverão ser executadas por todas as áreas de uma instituição, como: Engenharia, Compras, Assistência ao Cliente e outras.

## **6.2 Processo de gestão da obsolescência**

A seguir apresentam-se as etapas do processo proposto adaptadas de Rojo et al. (2012). A Figura 6.1 apresenta o fluxograma do processo para Gestão da Obsolescência.

Figura 6.1 – Processo para Gestão da Obsolescência.



Fonte: Adaptado de Rojo et al. (2012).

A seguir, nas Seções 6.2.1 a 6.2.8, é detalhada cada etapa do processo apresentado no fluxograma acima (Figura 6.1).

### **6.2.1 Etapa 1 - Avaliação do plano de suporte do sistema**

Nesta etapa deve-se considerar por quanto tempo o sistema deve ser suportado. É necessário, levar em consideração o planejamento das atualizações de meia-vida, e também, quais subsistemas são susceptíveis à modificação ou substituição nesta fase. Isto permitirá identificar o período no qual cada componente é necessário, e por quanto tempo as peças sobressalentes (*spare parts*) necessárias deverão estar disponíveis.

### **6.2.2 Etapa 2 - Planejamento de recursos**

Nesta etapa deve-se identificar os recursos disponíveis para a gestão da obsolescência, que serão alocados para o projeto: pessoas, ferramentas (ferramentas de monitoramento de obsolescência, como por exemplo os *softwares* destacados no Capítulo 5), e o orçamento para a gestão da obsolescência.

Como esses recursos são limitados, as indústrias ou instituições devem avaliar a estratégia selecionada para o cumprimento dos requisitos de gestão de obsolescência dos termos do contrato.

### **6.2.3 Etapa 3 - Extração e filtragem da lista de materiais**

Nesta etapa deve-se extrair e categorizar todos os componentes da lista de materiais (BoM – *Bill of Materials*) da Estrutura do Produto. O nível de detalhe deve ser o de menor nível prático, que fica a critério da gestão do projeto. A maioria dos problemas de obsolescência são vivenciados no nível de componentes. Portanto, é sugerido que a Lista de Materiais da Estrutura do Produto seja extraída no nível de componente;

### **6.2.4 Etapa 4 - Aplicação do *checklist* de obsolescência**

Para fazer uma seleção de quais itens/peças/componentes serão tratados pelo processo proposto é apresentado um modelo de *Checklist* de Obsolescência (*Obsolescence Checklist* - OC) onde cada item, peça ou componente listada na Estrutura de Divisão do Produto (*Hardware Breakdown Structure* - HBS) de um sistema devem estar sujeitos. Isso permitirá reduzir os esforços que podem ser

gastos incorretamente se tentar aplicar o processo proposto para todos os componentes da lista de materiais. O *Checklist* de Obsolescência é apresentado na Tabela 6.1.

As Perguntas descritas no *Checklist* de Obsolescência estão baseadas nos fatores analisados da obsolescência (Capítulo 2), e suas principais causas (Capítulo 4).

Tabela 6.1 - *Checklist* de Obsolescência.

Nº	Perguntas do <i>Checklist</i> de Obsolescência	Sim	Não
1	O Componente pode ser fornecido por mais de um fornecedor?		
2	O Componente é um item passivo?		
3	O Componente tem mais de 7 anos até o fim da vida (YTEOL – <i>Years To End Of Life</i> )?		
4	O Componente atende um <i>design</i> padrão (arquitetura aberta, conectores padrão, modular)?		
5	A manutenção pode ser realizada com uma simples remoção e troca do componente?		
6	O Componente não é um item mecânico?		
7	Estão sendo utilizados componente COTS?		
8	O Componente não está sujeito a riscos futuros de embargo governamental e/ou comercial?		

Fonte: Produção do Autor.

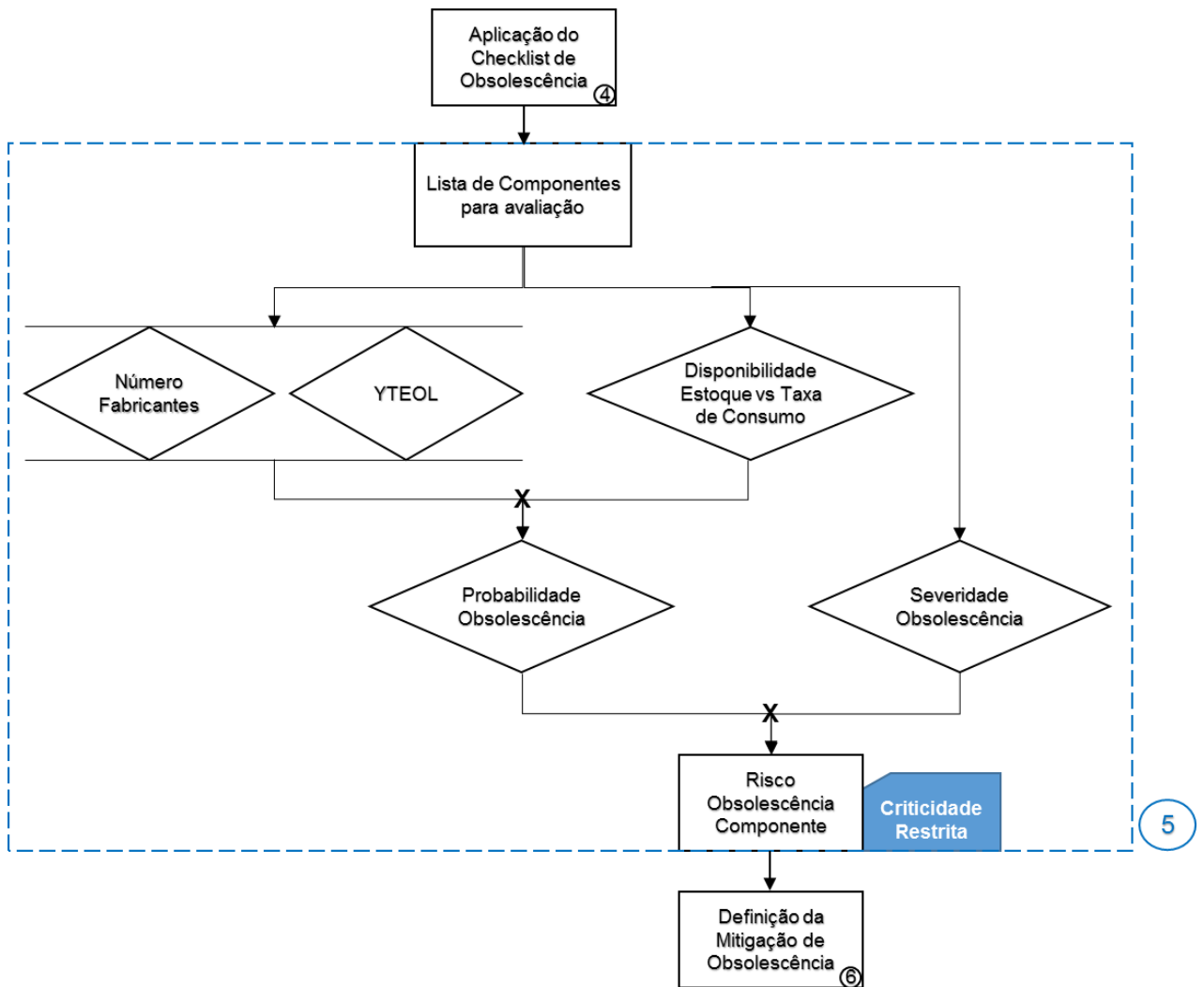
Uma resposta “NÃO” para qualquer uma das perguntas do *checklist* de obsolescência seleciona o componente para ser avaliado pelo processo proposto de avaliação do risco e gestão da obsolescência.

### 6.2.5 Etapa 5 - Avaliação de risco de obsolescência

Nesta etapa, cada componente selecionado pelo *Checklist* de Obsolescência (Tabela 6.1), deve ser avaliado, classificado e registrado como tendo Crítico, Alto, Médio ou Baixo Risco de Obsolescência. A avaliação e classificação deve

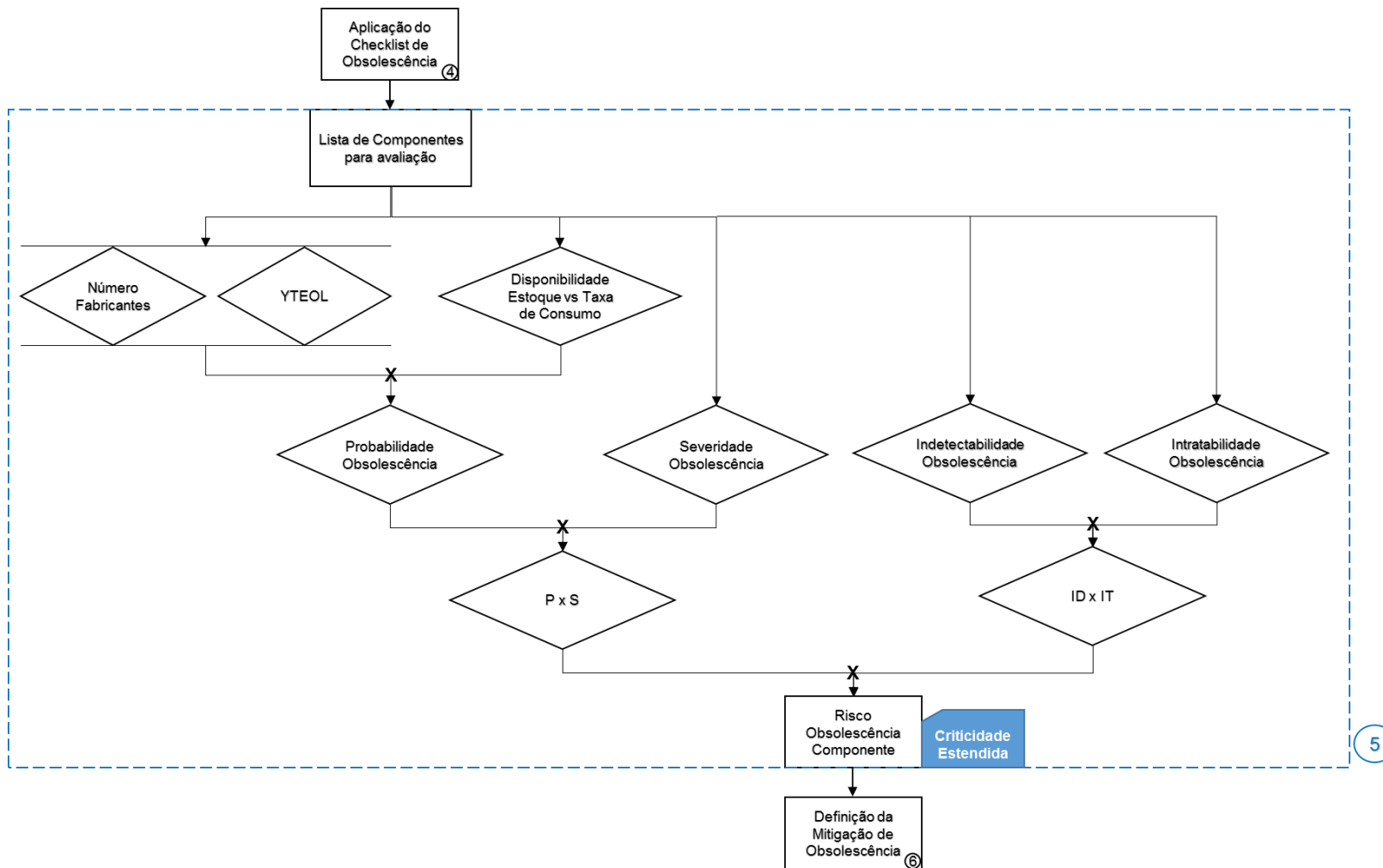
seguir o Fluxograma do Processo de Avaliação do Risco de Obsolescência da Figura 6.2, adaptado de Rojo et al. (2012), que utiliza para medida do Risco de Obsolescência a Criticidade Restrita ( $C = PxS$ ), ou o Fluxograma da Figura 6.3, utilizando para medida do Risco de Obsolescência a Criticidade Estendida ( $C = PxSxDxIT$ ). A definição de qual Processo de Avaliação será adotado deve ser definida pela gestão da instituição ou pela equipe especializada.

Figura 6.2 - Avaliação do Risco de Obsolescência (Criticidade Restrita).



Fonte: Adaptado de Rojo et al. (2012).

Figura 6.3 - Avaliação do Risco de Obsolescência (Críticidade Estendida).



Fonte: Produção do Autor.



O risco de cada componente relacionado na Lista de Componentes para Avaliação deve ser avaliado de acordo com o risco do mesmo se tornar obsoleto. Assim sendo, é essencial considerar vários critérios, conforme será apresentado nas Seções 6.2.5.1 a 6.2.5.5.

#### **6.2.5.1 Probabilidade do componente se tornar obsoleto**

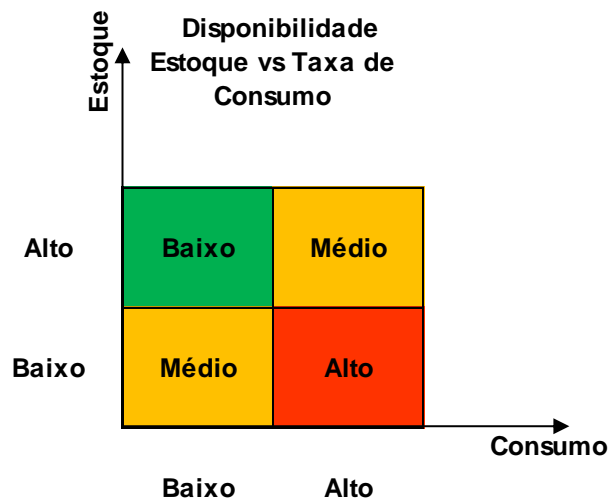
De acordo com Rojo et al. (2012), a Probabilidade do componente se tornar obsoleto, pode ser avaliada considerando o nível de estoque disponível para aquele projeto, comparado com a taxa de consumo do mesmo, com o número de fabricantes ou o número de anos até o fim de vida do componente (qualquer que seja a informação prontamente disponível):

- a) Número de fabricantes disponíveis para atender a mesma especificação:
  - Único > Risco Alto;
  - Dois > Risco Médio;
  - Mais que dois > Risco Baixo.
- b) Anos até o Fim de Vida (*Years to End of Life* - YTEOL):
  - Menos que 2 anos > Risco Alto;
  - Entre 2 e 5 anos > Risco Médio;
  - Mais que 5 anos > Risco Baixo.
- c) Disponibilidade de estoque vs. Taxa de consumo:
  - Baixo estoque & alto consumo > Risco Alto;
  - Baixo estoque & baixo consumo > Risco Médio;
  - Alto estoque & alto consumo > Risco Médio;
  - Alto estoque & baixo consumo > Risco Baixo.

A classificação deve ser executada de acordo com os gráficos, adaptados de Rojo et al. (2012), apresentados abaixo:

- O primeiro gráfico (Figura 6.4 – Disponibilidade de Estoque vs. Taxa de Consumo) mostra seu produto cartesiano modelado em 3 níveis e 3 cores (baixo=verde, médio=amarelo, alto=vermelho) em função delas, ambas modeladas em 2 níveis (baixo, alto);

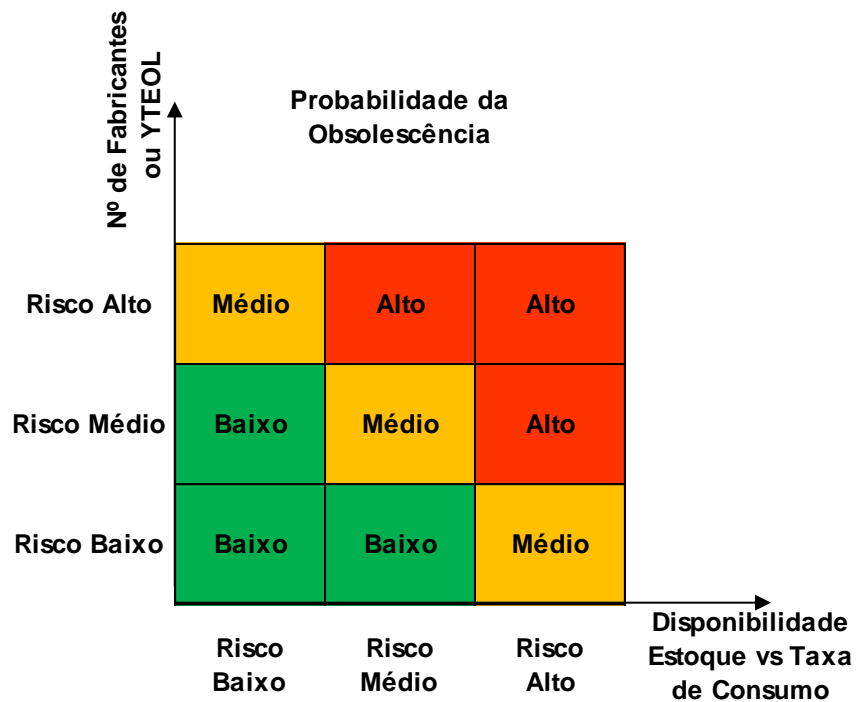
Figura 6.4 - Disponibilidade de Estoque vs. Taxa de Consumo.



Fonte: Adaptado de Rojo et al (2012).

- O segundo gráfico (Figura 6.5 – Probabilidade da Obsolescência) mostra-a modelada em 3 níveis e 3 cores (baixo=verde, médio=amarelo, alto=vermelho) em função do produto cartesiano da Figura 6.4 e do Número de Fontes ou YTEOL, o que for mais crítico (nem sempre será possível a obtenção das duas informações), ambos modelados em 3 níveis (baixo, médio, alto);

Figura 6.5 - Probabilidade da Obsolescência.



Fonte: Adaptado de Rojo et al. (2012).

O registro do resultado da Probabilidade da Obsolescência, para uma melhor gestão visual, pode ser apresentado conforme Tabela 6.2.

Tabela 6.2 - Probabilidade da Obsolescência.

Item	Part Description	QTY	MANUF	Part Number	Estoque	Consumo	Estoque vs Consumo	Número de Fornecedores	Anos até Fim Vida Produto (YTEOL)	Probabilidade Ocorrência Obsolescência

Fonte: Produção do Autor.

### 6.2.5.2 Severidade do componente se tornar obsoleto

Para avaliar a Severidade do componente se tornar obsoleto, devem-se considerar vários aspectos e efeitos deste evento incerto e danoso. Neste trabalho, estes aspectos e efeitos incluem: 1) a eventual **redução da robustez** do componente; e, 2) dependendo da sua **importância relativa** no sistema, 3) a **redução da confiabilidade** do sistema. Eles podem ser analisados por métodos consagrados, como por exemplo:




- Métodos tradicionais para predição da confiabilidade: tem como objetivo decompor o produto/sistema em combinações de subsistemas, equipamentos e componentes. Os componentes são analisados individualmente com os Dados de Campo das múltiplas fontes ou manuais de predição da confiabilidade, como o manual MIL-HDBK-217 (1991, 1992, 1995). O resultado disso, normalmente é mais conservador, impreciso e não realista.
- Métodos de Física da Falha para a predição da confiabilidade: tem o mesmo objetivo do método acima, mas é uma abordagem que permite uma maior precisão e realidade, pois utiliza a Física da Falha (*PoF*) para a predição da confiabilidade. Um manual que utiliza esse método é o FIDES (2009).
- Diagrama de Blocos de Confiabilidade (RBD): tem como objetivo avaliar, de forma estática, os critérios para o sucesso, mostrando as interdependências entre todos os elementos ou grupos funcionais de um objeto (sistema, subsistema e ou equipamento);
- Análise dos Modos de Falha, seus Efeitos e Criticidade (FMECA): tem como objetivo avaliar, de forma estática, os efeitos das possíveis falhas: severidade, probabilidade de ocorrência, e criticidade;
- Arvore de Falhas (FTA): tem como objetivo avaliar, de forma estática, as falhas dos componentes, equipamentos, subsistemas e sistema, podendo representá-los em uma Árvore de Falhas (*Fault Tree Analysis-FTA*).
- Diagrama de Markov tem como objetivo avaliar, de forma cinemática, a probabilidade, severidade, e criticidade da ocorrência das possíveis ameaças nos estados alcançados do projeto.

Como apresentado por Fuqua (2003, citado por Rabello, 2017), em muitas situações, o emprego combinado de técnicas é adequado. Um exemplo são os modelos markovianos que podem ser usados para analisar partes menores de um sistema com dependências fortes que exigem avaliação precisa, com outras técnicas clássicas, como a FMEA/FMECA, que podem ser utilizadas para avaliar sistemas maiores usando cálculos probabilísticos mais simples.

Para obter resultados precisos do processo sugerido, das análises adicionais sugeridas, incluindo a aplicação de técnicas como a FMECA, são necessários dados obtidos através de fontes e manuais padrões para o setor aeroespacial como: MIL-HBDK-217(1991, 1992, 1995), FIDES (2009), RAC-FMD-91 (1991) e RAC-FMD-97 (1997).

A Severidade S pode ser avaliada utilizando como referência manuais consagrados, como MIL-HDBK-217 (1991, 1992, 1995), como dito acima; ou por uma avaliação mais simples, como o código de cores (por exemplo: severidade: baixa (verde), média (amarelo) ou alta (vermelho)), conforme Figura 6.6. A definição de qual método de avaliação será adotado deve ser definida pela gestão da instituição ou pela equipe especializada.

Figura 6.6 - Código de cores referente à severidade da falha.

Severidade alta	Severidade média	Severidade baixa
		

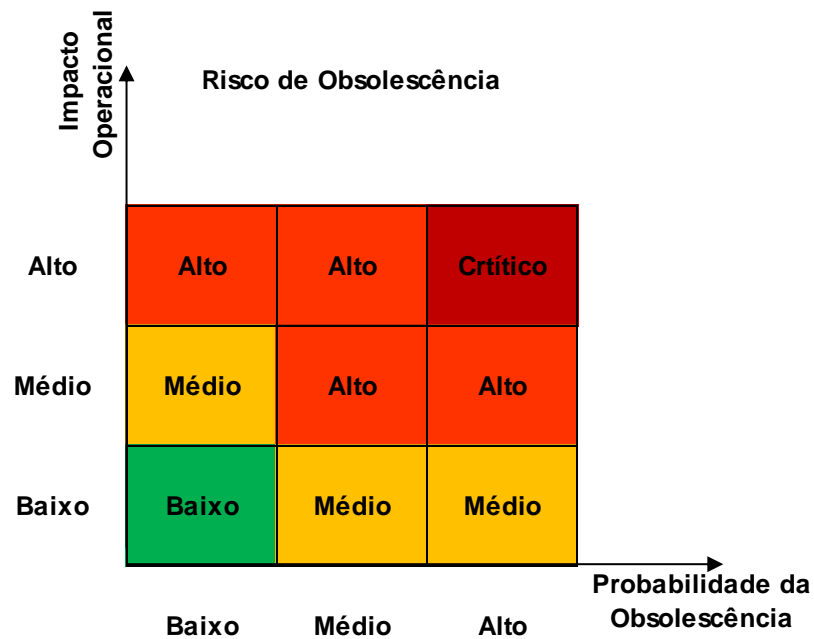
Fonte: Rabello (2017).

### 6.2.5.3 Criticidade Restrita da obsolescência de um componente

Na Teoria do Risco, a Probabilidade P, a Severidade S, a Criticidade Restrita ( $C = P \times S$ ), são tradicionalmente aplicadas para quantificar o risco de um evento incerto e danoso. Aqui, tal evento será a obsolescência de um componente, que é um evento macroscópico, considerando a chance de isto ocorrer e o impacto da perda ou falha potencial na disponibilidade ou capacidade do sistema desempenhar sua função.

De acordo com Rojo et al. (2012) a classificação do Risco de Obsolescência deve ser executada de acordo com o gráfico (Figura 6.7 – Risco de Obsolescência) que mostra a matriz modelada em 4 níveis e 4 cores (baixo=verde, médio=amarelo, alto=vermelho, crítico=vinho) em função da Probabilidade da Obsolescência da Figura 6.5 e do Impacto Operacional, ambas modeladas em 3 níveis (baixo, médio, alto).

Figura 6.7 - Risco de Obsolescência.

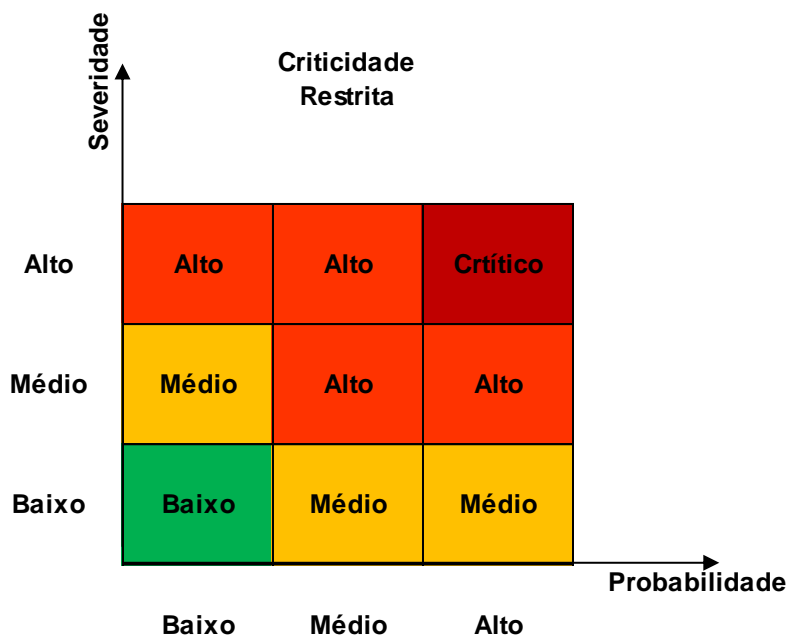


Fonte: Adaptado de Rojo et al. (2012).

Neste trabalho para avaliar o Impacto Operacional, proposto por Rojo et al. (2012), é utilizada a Severidade do componente se tornar obsoleto para avaliar o Risco de Obsolescência.

Com isso, a Criticidade Restrita, pode ser utilizada para avaliar o Risco de Obsolescência, pelo gráfico (Figura 6.8 – Matriz de criticidade da falha  $C=P \times S$ ) mostra-a modelada em 3 níveis e 3 cores (baixo=verde, médio=amarelo, alto=vermelho) em função do produto cartesiano da Probabilidade e da Severidade da obsolescência, adaptado de Rabello (2017).

Figura 6.8 - Matriz de criticidade da falha (C=P x S).



Fonte: Adaptado de Rabello (2017).

#### 6.2.5.4 Criticidade Estendida a Projetos (via FMEP) da obsolescência de um componente




Na sua Tese de Doutorado, Rabello (2017) propôs e aplicou a FMECA Estendida a Projetos (FMEP) utilizando os dois fatores da Criticidade Restrita, Probabilidade (P) e Severidade (S), e propôs e aplicou a Criticidade Estendida  $C = ((P \times S) \times (ID \times IT))$  (Obs.: adaptado a Detectabilidade e a Tratabilidade), onde ID é a Indetectabilidade e IT é a Intratabilidade do evento incerto e danoso. Baseado nisto, neste trabalho adotaremos a FMEP, com a Criticidade Restrita e até com a Criticidade Estendida, para avaliar o Risco de Obsolescência, que é um evento macroscópico, e viabilizar a aplicação das técnicas como a FMECA, mesmo quando as informações de repositórios e banco de dados não são suficientes ou estão indisponíveis, considerando principalmente o conhecimento dos especialistas nas análises qualitativas.

A Criticidade Estendida (FMEP),  $C = ((P \times S) \times (ID \times IT))$ , de acordo com Rabello (2017), pode ser avaliada utilizando o gráfico da Figura 6.10 Matriz da

criticidade estendida ((PxS) x (IDxIT)), que mostra-a modelada em 3 níveis e 3 cores (baixo=verde, médio=amarelo, alto=vermelho) em função do produto cartesiano da (Probabilidade x Severidade) x (Indetectabilidade x Intratabilidade).




E como apresentado por Rabello (2017); por uma avaliação simples de baixa (verde), média (amarelo) ou alta (vermelho), pode-se avaliar a Indetectabilidade e Intratabilidade conforme Tabelas 6.3 e 6.4.

Tabela 6.3 - Código referente à probabilidade de detecção.

Indetectabilidade Alta	Indetectabilidade Média	Indetectabilidade Baixa
		

Fonte: Adaptado de Rabello (2017).

Tabela 6.4 - Código de cores referente à tratabilidade da falha.

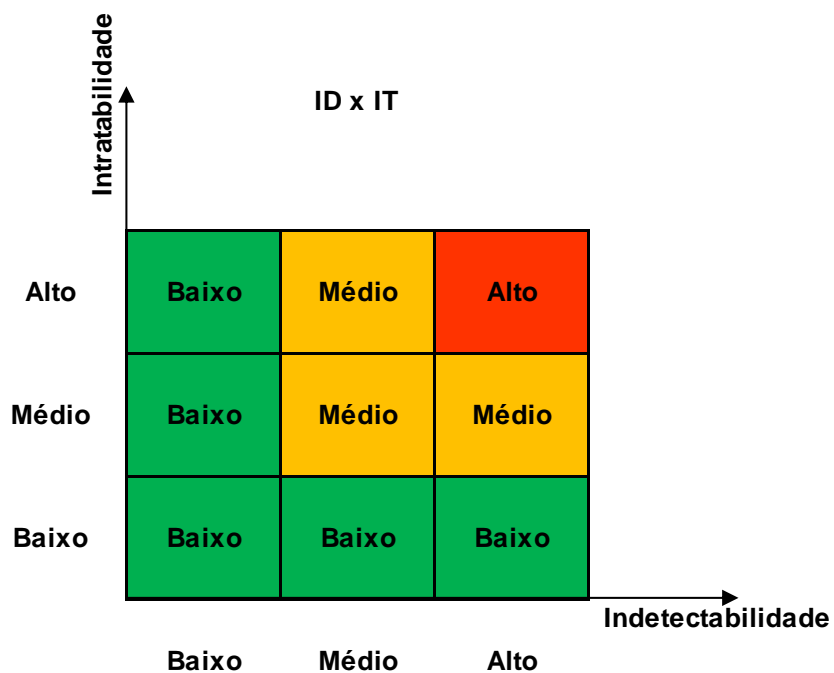
Intratabilidade Alta	Intratabilidade Média	Intratabilidade Baixa
		

Fonte: Adaptado de Rabello (2017).

A Figura 6.9 mostra a matriz de produto entre a indetectabilidade e a intratabilidade

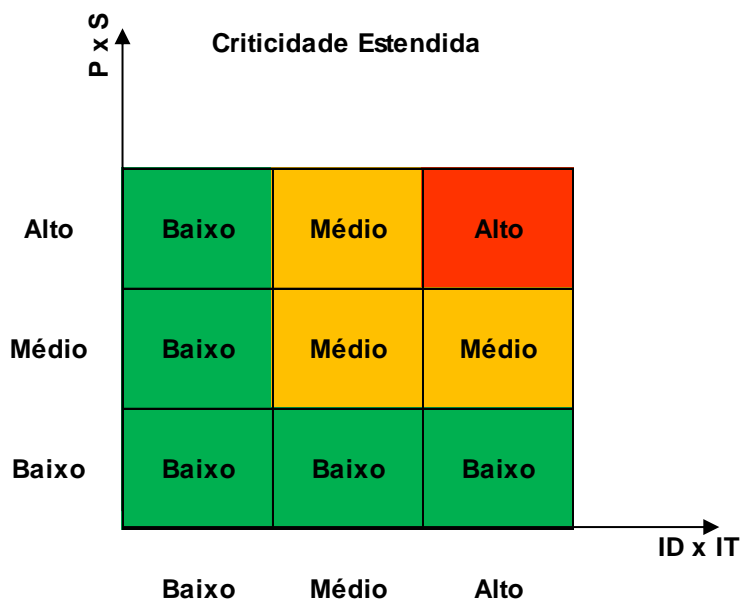


Figura 6.9 - Matriz de produto entre a indetectabilidade e a intratabilidade (ID x IT).



Fonte: Adaptado de Rabello (2017).

Figura 6.10 - Matriz da criticidade estendida ((Px S) x (ID x IT)).



Fonte: Adaptado de Rabello (2017).

A definição de qual método de avaliação será adotado, **Criticidade Restrita ou Criticidade Estendida**, deve ser definida pela gestão da instituição ou pela equipe especializada.

#### **6.2.5.5 Tratamento da Criticidade/Níveis de Risco de Obsolescência**

Há algumas iniciativas para tratar todos os níveis de risco de obsolescência sistematicamente na literatura, mas para esse trabalho são apresentadas nas seções seguintes (Seção 6.2.5.5.1 à 6.2.5.5.4) algumas iniciativas adaptadas de Rojo et al. (2012). Para entendimento dessas seções a Figura 6.8 deve ser considerada.

##### **6.2.5.5.1 Risco de Obsolescência Crítico (Vinho)**

Estes componentes devem receber uma atenção especial, e as estratégias de mitigação devem ser implementadas para reduzir a probabilidade e a severidade que os problemas de obsolescência podem ter no sistema. Existem algumas estratégias de mitigação recomendadas:

- Considerações de projeto;
- Transparência tecnológica e uma clara compreensão do processo de fabricação;
- Acordos de parceria com fornecedores;
- Monitoramento da obsolescência;
- Atualizações planejadas do sistema;
- Mitigação de riscos de compra.

##### **6.2.5.5.2 Risco de Obsolescência Alto (Vermelho)**

Estes componentes são permanentemente analisados. O nível de proatividade necessário para lidar com estes componentes é menor que o da categoria anterior. As estratégias devem ser implementadas para reduzir o risco de obsolescência e mitigar seus efeitos. As estratégias indicadas anteriormente, também podem ser aplicadas de acordo com a gestão do projeto.

#### **6.2.5.5.3 Risco de Obsolescência Médio (Amarelo)**

Os componentes contidos nesta categoria devem ser monitorados, para que qualquer problema de obsolescência possa ser gerido proativamente.

#### **6.2.5.5.4 Risco de Obsolescência Baixo (Verde)**

Para estes componentes, uma abordagem proativa não é sugerida, por não ser economicamente eficaz. Portanto, é sugerido para estes componentes, que os problemas de obsolescência sejam lidados reativamente.

Os riscos de obsolescência classificados como “alto” ou “crítico” ou que sejam representativos para o programa, devem assegurar que seja implementada a solução mais economicamente eficaz quando um item é identificado como obsoleto. Isto envolve a avaliação de soluções alternativas e de ações (planos de ação) para resolver os problemas. A seguir, de acordo com Meyer (2004) estão os passos típicos de resolução de gestão de obsolescência:

- Identificar e verificar os problemas de obsolescência;
- Avaliar a severidade no Sistema;
- Identificar os componentes substitutos ou alternativos;
- Identificar as fontes ou fornecedores alternativos;
- Implementar políticas de padronização de componentes a fim de reduzir a variedade de componentes e assim, o número de possíveis problemas de obsolescência;
- Identificar soluções ótimas e viáveis de engenharia;
- Recomendar soluções;
- Avaliar soluções alternativas;
- Priorizar e planejar estas soluções; e,
- Avaliar os custos para implementar as soluções selecionadas.

#### **6.2.6 Etapa 6 - Definição da mitigação de obsolescência**

Segundo Meyer (2004), o Risco de Obsolescência pode ser mitigado tomando ações em todas as áreas da indústria ou instituição, tais como:

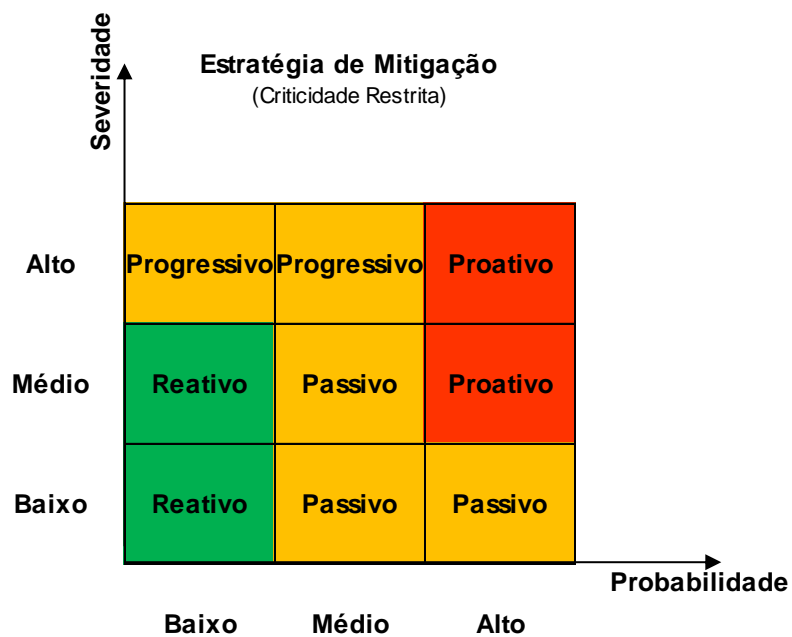
- a) Padronização do projeto e modularização para promover a intercambiabilidade de componentes;
- b) Ter um ambiente onde a gestão de obsolescência é uma parte integrante do Processo da Engenharia de Sistemas;
- c) Controlar a evolução da Estrutura de Divisão do Produto (*Hardware Breakdown Structure* - HBS) de um sistema através do Sistema de Controle de Configuração;
- d) Definir a probabilidade e a severidade da obsolescência causado pelo risco de obsolescência para cada componente e gerir o banco de dados para determinar o custo, risco de obsolescência e alternativas para se evitarem os problemas de obsolescência.

A melhor metodologia para avaliar o risco de obsolescência é dividir as “estratégias de mitigação” e “abordagens”. O termo “mitigação” se refere às medidas tomadas para minimizar a severidade e/ou a probabilidade obsolescência de se ter um problema de obsolescência uma vez que este aparecer.

Usando a Matriz de Práticas de Gestão de Obsolescência, adaptada de Meyer (2004), deve se definir para cada componente qual **abordagem** de Gestão de Obsolescência será adotada.

A Figura 6.11 apresenta a Matriz de Práticas de Gestão de Obsolescência utilizando a **Criticidade Restrita**, avaliando a probabilidade e a severidade da obsolescência. Se a probabilidade de uma obsolescência for baixa e sua severidade média, então é justo assumir uma abordagem reativa para a mitigação da mesma. Da mesma forma, se for provável que um componente se torne obsoleto e se isto for severo, então é imprescindível agir de maneira proativa quando se considera a forma de mitigação mais adequada.

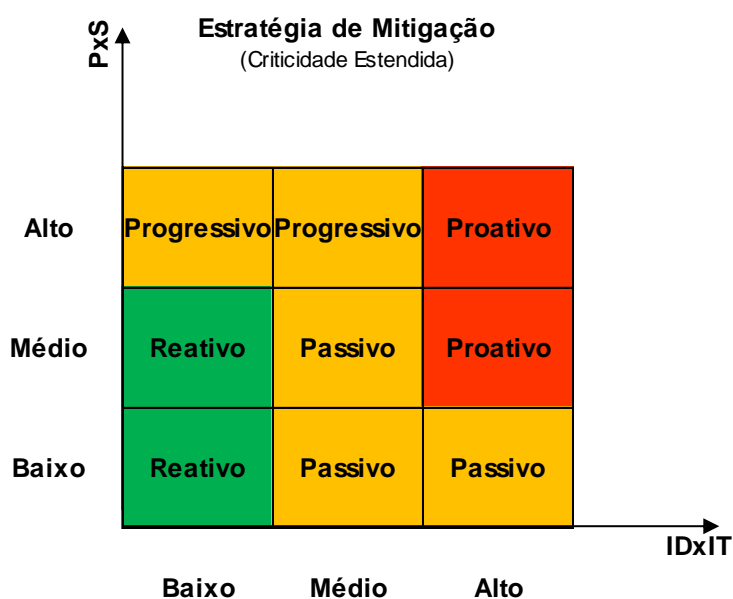
Figura 6.11 - Matriz de Práticas de Gestão de Obsolescência (Críticidade Restrita).



Fonte: Produção do Autor.

A Figura 6.12 apresenta a Matriz de Práticas de Gestão de Obsolescência utilizando a **Críticidade Estendida**, avaliando a probabilidade, a severidade, a indetectabilidade e a intratabilidade da obsolescência. Se a Indetectabilidade x Intratabilidade uma obsolescência for baixa e sua Críticidade Restrita (PxS) for média, então é justo assumir uma abordagem reativa para a mitigação da mesma. Da mesma forma, se a Indetectabilidade x Intratabilidade for alta e se isto for alta, então é imprescindível agir de maneira proativa quando se considera a forma de mitigação mais adequada.

Figura 6.12 - Matriz de Práticas de Gestão de Obsolescência (Criticidade Estendida).



Fonte: Produção do Autor.

Com o resultado da avaliação do Risco de Obsolescência, a partir da Criticidade Restrita ou da Criticidade Estendida, a **Matriz de Práticas de Gestão de Obsolescência** apresenta uma forma simples e rápida para identificar qual a melhor abordagem é sugerida para mitigação desse risco, onde várias características de um componente que está sendo analisado são consideradas. A posição na matriz fornece uma diretriz para o componente que pode ser quantificada e comparada.

Segundo Meyer (2004), algumas **estratégias de mitigação** podem ser adotadas para cada abordagem selecionada:

- Abordagem Reativa:
  - Não fazer nada até o recebimento do aviso de obsolescência;
  - Implementar ações de mitigação após o risco de obsolescência se tornar eminente.
- Abordagem Passiva:
  - Monitorar a obsolescência;

- Preparar opções de solução;
- Decidir depois da notificação de obsolescência qual solução será implementada.
- Abordagem Progressiva:
  - Obter Alternativos/Substitutos;
  - Projetar evitando problemas de Obsolescência na atualização de projeto ou atualização partes do projeto;
  - Monitorar fontes de fornecimento.
- Abordagem Proativa:
  - Projetar sem componentes obsoletos;
  - Implementar soluções de engenharia (atualização tecnológica, reprojeto, novo design, etc.);
  - Avaliação de risco proativa e planejamento da Gestão de Obsolescência.

Baseados nessas estratégias de mitigação, nas seções seguintes (Seção 6.2.6.1 à 6.2.6.5) são apresentadas cinco ações tipicamente utilizadas pela indústria de componentes eletrônicos para mitigação do risco da obsolescência.

#### **6.2.6.1 Substituição / Alternativo**

Se um componente não está mais disponível, a solução ideal seria encontrar um alternativo ou substituto, com *FFF* iguais ou similares. Apesar de esta ser a solução menos dispendiosa, ainda há grandes custos com a busca por componentes alternativos ou substitutos através de múltiplas fontes de fornecimento, contatando os fornecedores, coletando *datasheets* e buscando dados necessários para verificar a substituição. Para auxiliar nessa busca programas (software) para gerenciamento da obsolescência, apresentados no capítulo 5.3, podem auxiliar na localização dos alternativos ou substitutos e também na diminuição dos custos da busca.

Essa ação de mitigação é classificada de acordo com tipo de substituição usada e está dividida em quatro categorias: componente idêntico, componente equivalente, componente alternativo e componente simulado:

1. Componente idêntico – consiste na substituição de um item por outro exatamente igual;
2. Componente equivalente – consiste na substituição de um item por outro diferente, mas com a mesma *FFF*. Um componente equivalente é um substituto funcional, parametricamente intercambiável, sem nenhuma mudança adicional. Esta classificação não requer testes de requalificação e, é frequentemente um alternativo a longo prazo. Entretanto, é muito difícil encontrar um substituto com a mesma forma, ajuste e função
3. Componente alternativo - consiste na substituição de um item por outro diferente, mas alguma mudança na *FFF*. Um componente alternativo pode ser definido como “um componente cuja *performance* pode ser inferior ao especificado originalmente por uma ou mais razões (por exemplo, em termos de qualidade ou confiabilidade; tolerância; parâmetros; faixa de temperatura, etc.), e deve ser obrigatoriamente testado”. Esta classificação requer testes de requalificação.
4. Componente simulado – consiste no desenvolvimento de componentes com a mesma forma, ajuste ou função (*FFF*) dos componentes obsoletos que serão substituídos na forma simulada, usando componentes atuais e/ou componentes COTS; pode ser considerado como uma solução de curto prazo.

#### **6.2.6.2 Estoque Estratégico (*Lifetime Buy*)**

Se existirem quantidades suficientes, outra opção é a compra de componentes suficientes para atender toda a necessidade prevista durante a vida útil do Sistema ou do contrato vigente, produzindo um estoque estratégico. Para buscar esses componentes no mercado, tipicamente estes são encontrados em “brokers” (empresas intermediárias, representantes ou importadoras) ou em fontes do mercado de reposição. Esta opção resulta em um alto custo inicial, bem como, custos para um armazenamento contínuo. Existe também o risco de estimar as quantidades necessárias para período previsto. Componentes podem se perder ou ser danificados ao longo do tempo e o estoque pode sofrer



com as condições necessárias para o armazenamento dos componentes, como por exemplo alguns componentes têm uma expectativa de vida limitada.

### **6.2.6.3 Compra Estratégica (*Last Time Buy*)**

*Last Time Buy* (LTB) é a última oportunidade de comprar um componente para o ciclo de vida restante de um produto antes que o fornecedor pare a produção deste componente, por exemplo, antes que o componente se torne obsoleto (o componente atinge seu Fim de Vida (*End of Life* – EOL)).

As ações para Compra Estratégica começam depois que a indústria ou instituição recebem um aviso prévio da descontinuação do componente por parte do OEM (quando a companhia e o OEM têm esta obrigação/acordo no contrato de fornecimento) ou por programas (software) para gerenciamento da obsolescência, apresentados no Capítulo 5.3.

Esta é uma típica estratégia reativa adotada em relação à obsolescência e é muito dispendiosa.

### **6.2.6.4 Recuperação ou “Canibalização”**

Se a empresa não consegue encontrar um substituto ou estoque suficiente, a próxima opção é procurar pelo componente e recuperá-lo ou salvá-lo de outro equipamento que utiliza o mesmo componente original. Esta opção também envolve custo, tempo e risco significantes. A empresa precisa localizar um produto no qual o componente foi utilizado, determinar as condições do componente, remover os componentes e às vezes, reformá-los/recuperá-los para atender aos critérios de qualidade e confiabilidade. Em alguns casos, componentes podem ser “canibalizados” de equipamentos similares ou outros equipamentos, resultando na impossibilidade de uso dos mesmos.

### **6.2.6.5 Reprojeto**

O reprojeto ou reengenharia de um componente envolve a execução de um novo projeto para os componentes obsoletos através da atualização/revisão do equipamento ou sistema, com o propósito de melhorar seu desempenho, manutenibilidade, disponibilidade e confiabilidade, bem como possibilitando o

uso de novos componentes. Portanto, esta solução de longo prazo deve ser usada como último recurso e quando a atualização das funcionalidades ou tecnologia se tornarem necessárias. Esta solução é a mais dispendiosa de todas devido à necessidade de requalificação e recertificação do equipamento ou sistema.

### **6.2.7 Etapa 7 - Registro do plano de obsolescência**

Uma vez que as abordagens e as estratégias de mitigação foram definidas para cada componente selecionado para avaliação, elas devem ser registradas, planejadas e implementadas. Todos os dados coletados com as estratégias apropriadas devem ser arquivados em um banco de dados de gestão de obsolescência, o qual deve ser frequentemente atualizado para garantir a melhor abordagem e estratégia de mitigação. A gestão rigorosa da obsolescência é a única forma de manter os riscos de obsolescência sob controle durante longo prazo. Os seguintes campos são de preenchimento obrigatórios no Registro do Plano de Obsolescência:

- Estado da Obsolescência (obsoleto ou não);
- Anos até Fim Vida Produto (YTEOL) do componente;
- Nível de Risco de Obsolescência;
- As estratégias de mitigação adotadas para tratar o componente;
- Ações de mitigação adotadas para tratar o componente;
- Razões prováveis da obsolescência (Número de Fabricantes, Embargo Governamental, Embargo Ecológico, Fim de Vida do produto (*End of Life*), etc.);
- Possíveis alternativos ou substitutos se o componente se tornar obsoleto;

- Avaliação da Robustez do componente alternativo ou substituto, de acordo com o procedimento detalhado na Seção 6.3.

A Tabela de Registro do Plano de Obsolescência (Tabela 6.5) mostra quais informações devem ser controladas para uma melhor gestão visual dos interessados.

#### **6.2.8 Etapa 8 - Revisão / Atualização**

A avaliação de risco de obsolescência (Etapa 5) precisa ser revista, revisada e atualizada se necessário, periodicamente ou por ocorrência de algum evento interno ou externo, e o responsável para tal deve ser designado. A periodicidade para revisar/atualizar o banco de dados durante o ciclo de vida do produto deve ser definida pela gestão do projeto analisado. Os eventos internos e externos, como serão esporádicos, devem ser analisados pela gestão do projeto, para posterior decisão de revisar/atualizar o banco de dados.

Tabela 6.5 - Registro do Plano de Obsolescência.

Plano de Obsolescência										
Item	Descrição do Item	Estado da Obsolescência	Anos até o Fim de Vida (YTEOL)	Risco de Obsolescência	Estratégias de mitigação	Ações de mitigação	Razão Provável de Obsolescência	Possíveis alternativas e/ou substitutos do Item	Avaliação de Robustez	Responsável/Prazo
Número do Item	Descrição do Item	Obsoleto ou Não Obsoleto	Anos até o Fim de Vida do Produto ( <i>Years To End Of Life</i> - YTEOL)	Crítico / Alto / Médio / Baixo	Reativa / Passiva / Progressiva / Proativa	<p><b>Reativa</b> (não fazer nada até o recebimento da notificação do EOL, etc.);</p> <p><b>Passiva</b> (monitorar a obsolescência, preparar opções de solução);</p> <p><b>Progressiva</b> (Obter alternativos/substitutos, monitorar fontes de fornecimento, etc.); ou</p> <p><b>Proativa</b> (atualização tecnológica, reprojeto, novo <i>design</i>, etc.).</p>	Número Fabricantes, Embargo Governamental, Embargo Ecológico, Fim de Vida do produto (YTEOL), etc.	<i>Make or Buy</i> , desenvolvimento de novos fornecedores/fabricantes, mudança tecnológica, etc.	<p>Avaliar a robustez deve-se considerar informações, Como: i) as análises de confiabilidade referentes á predição das taxas de falha, FMEA/FMECA, entre outras, ii) as análises ambientais de operação, como por exemplo da análise térmica e da análise de radiação, iii) a verificação ao atendimento dos requisitos de projeto, como os requisitos funcionais e os de garantia do produto.</p>	Responsável e Prazo para executar as ações.

Fonte: Produção do Autor.

### 6.3 Procedimento para avaliação da robustez

Se o componente se torna obsoleto, faz-se necessário considerar vários aspectos e efeitos deste evento macroscópico incerto e danoso (conforme discutido na seção 6.2.5.2). Neste trabalho, estes aspectos e efeitos incluem: 1) a eventual **redução da robustez** do componente, evento microscópico incerto e danoso; e, 2) dependendo da sua **importância relativa** no sistema, 3) a **redução da confiabilidade** do sistema.

Diante do exposto no parágrafo anterior, o procedimento referente a Avaliação da Robustez deverá ser realizado quando um determinado componente for identificado (de acordo com a Tabela 6.1) com a necessidade de controle da Gestão de Obsolescência.

A robustez do componente e/ou do sistema deve ser avaliada considerando principalmente o seu ambiente de operação, seu nível de qualidade, seu manuseio, seu armazenamento em ambiente controlado, entre outros (conforme discutido na seção 2.4).

O processo para avaliar a robustez deve considerar informações já existentes do componente/sistema, Como: i) das análises de confiabilidade referentes à predição das taxas de falha, FMEA/FMECA, entre outras; ii) das análises ambientais de operação, como por exemplo da análise térmica e da análise de radiação, iii) da verificação ao atendimento dos requisitos de projeto, como os requisitos funcionais e os de garantia do produto.

Para realizar a Avaliação da Robustez, neste trabalho, serão avaliados: i) a predição das taxas de falha, através das referências utilizadas comumente, que consideram para compor a taxa de falhas fatores de qualidade e temperatura de acordo com manuais padrões para o setor aeroespacial como: MIL-HBDK-217 (1991, 1992, 1995), FIDES (2009), entre outros; ii) pela avaliação dos efeitos do ambiente.

Do exposto acima, pode-se concluir que qualquer mudança físico-técnica das características dos componentes eletrônicos, usualmente causam um evento

microscópico que pode ser a redução da robustez do componente ou equipamento, e por consequência a redução da confiabilidade destes. Então, é proposto nesse trabalho o controle e registro da avaliação da robustez através da Tabela 6.5 - Registro do Plano de Obsolescência que possui uma coluna específica intitulada Avaliação da Robustez.

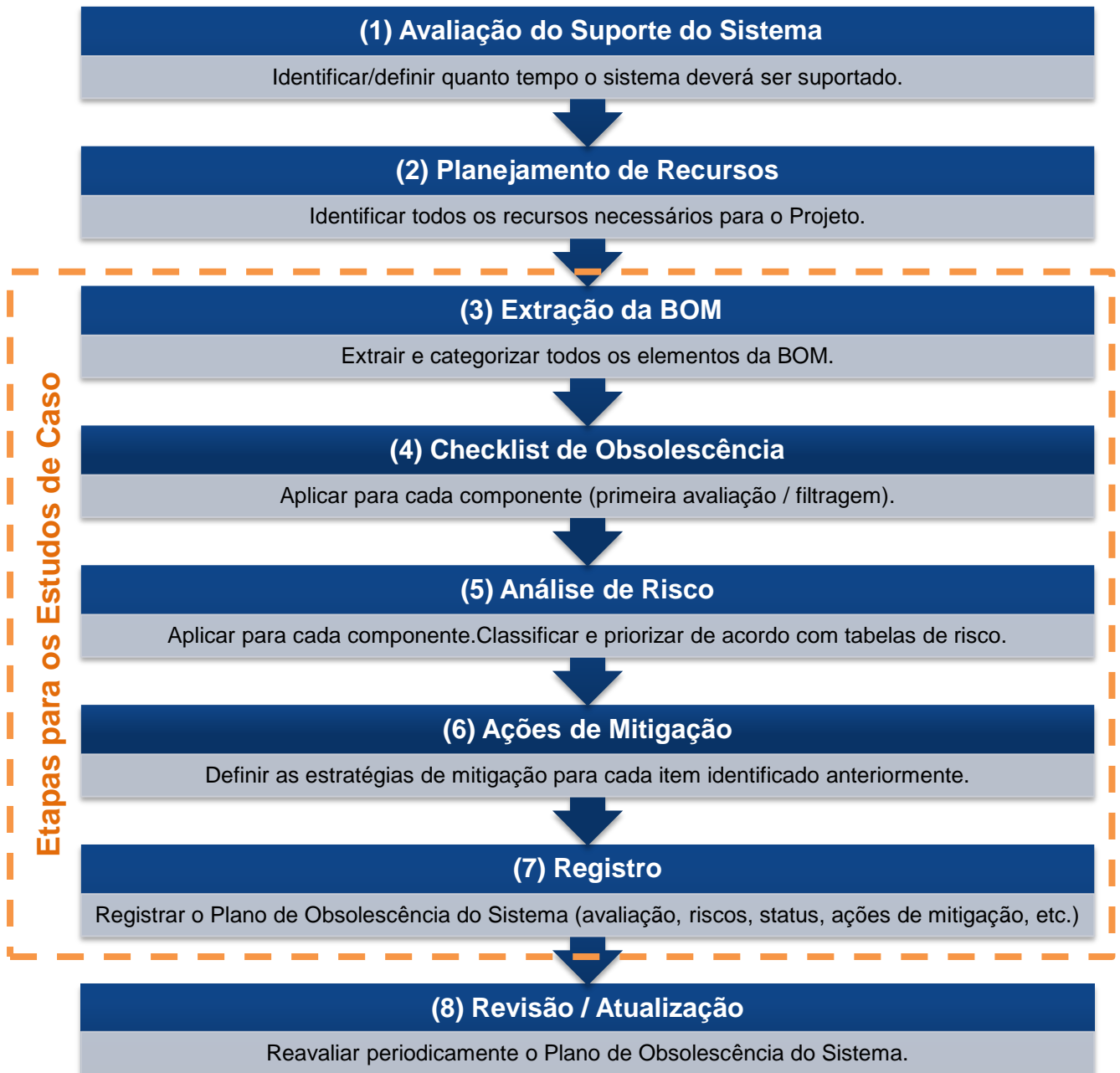
## **7 APLICAÇÃO DO PROCESSO PROPOSTO PARA A GESTÃO DA OBSOLESCÊNCIA E DO PROCEDIMENTO PROPOSTO PARA A AVALIAÇÃO DA ROBUSTEZ AOS ESTUDOS DE CASO**

### **7.1 Objetivo**

Neste Capítulo serão apresentados estudos de caso para aplicação do processo proposto para gestão da obsolescência e do procedimento proposto para a avaliação da robustez, apresentado no Capítulo 6, que podem ocorrer em componentes eletrônicos de equipamentos aeroespaciais.

Diante das propostas apresentadas no Capítulo 6, serão aplicadas nos estudos de caso as etapas de 3 a 7, conforme a Figura 7.1. As outras etapas não aplicadas aos estudos de caso são sugestões para trabalhos futuros, pois são relacionadas a áreas de conhecimento não aprofundadas nesse trabalho, como: Gestão de Projetos, Gestão de Riscos, Gestão de Custos, Planejamento de Projetos, entre outras.

Figura 7.1 - Etapas do processo e do procedimento propostos aplicadas aos estudos de caso.



Fonte: Produção do Autor.



## **7.2 Estudos de caso 1 e 2 – Computador da CTU (*Central Terminal Unit*) do CBERS-3 e 4**

### **7.2.1 Introdução aos estudos de caso 1 e 2**

O Computador da CTU (*Central Terminal Unit*) do subsistema OBDH (*On-Board Data Handling*) dos Satélites CBERS-3 e 4, é um módulo/placa desenvolvido em conjunto pelo Brasil e China.

A arquitetura utilizada nesse projeto é baseada na família de microprocessadores 8086, também chamado de iAPX 86, e seus periféricos.

As principais características dessa família são:

- CPU de 16 bits;
- CMOS;
- Arquitetura x86;
- *Clock* CPU: 5-10MHz;
- Tamanho de dados: 16 bits;
- Tamanho de endereço: 20bits;
- Tamanho mínimo de transistor: 3 $\mu$ m;
- *Set* de instruções: x86-16;
- Transistores: 29.000
- DIP de 40 pinos.

A seleção desse módulo/placa se deve principalmente: à afinidade do autor com o projeto CTU do CBERS-3 e 4, por conta do trabalho realizado como colaborador de uma das empresas parceiras do INPE nesse projeto; à formação acadêmica do autor, Engenharia Eletrônica; e, a experiência do autor com desenvolvimento de projetos eletrônicos na área espacial.

Por razões de confidencialidade desse projeto, foram selecionados alguns componentes que são geralmente utilizados para compor uma arquitetura de computador baseada na família de microprocessadores 8086.

Essa seção foi dividida em dois estudos, para fins de comparação dos resultados e verificação da efetividade do processo e procedimento propostos.

No primeiro estudo de caso, são aplicadas as propostas ao Projeto Preliminar do Computador da CTU do CBERS-3 e 4 disponibilizado em 2007. Os resultados encontrados são resultantes das informações disponíveis em 2007.

No segundo estudo de caso, são aplicadas as propostas ao Projeto Detalhado do Computador da CTU do CBERS-3 e 4, uma vez que este representa o Produto Final/de Vôo. Os resultados encontrados são resultantes das informações atuais (2020).

Diante do exposto acima, as etapas para os estudos de caso levam em consideração a fase de cada projeto e os dados e análises realizadas em cada fase (Projeto Preliminar ou Projeto Detalhado) e tempo (ano 2007 ou ano 2020) do projeto.

As premissas para este estudo foram:

- Ambiente de aplicação: *Space, Flight (SF)*;
- Tempo de missão: 3 anos;
- Taxa de falhas: constante.

E, para obter os valores de Número de Fornecedores e Anos até o Fim de Vida (YTEOL) de cada componente, foi utilizado um *trial* do *software* da SiliconExpert – o *BOM Manager*. Esse *software* nos dá acesso ao banco de dados de componentes da SiliconExpert e nos fornece uma predição de YTEOL, status do ciclo de vida, análise de múltiplos fornecedores disponíveis, alertas de riscos de fim de vida e poucos fornecedores, e alertas programados.

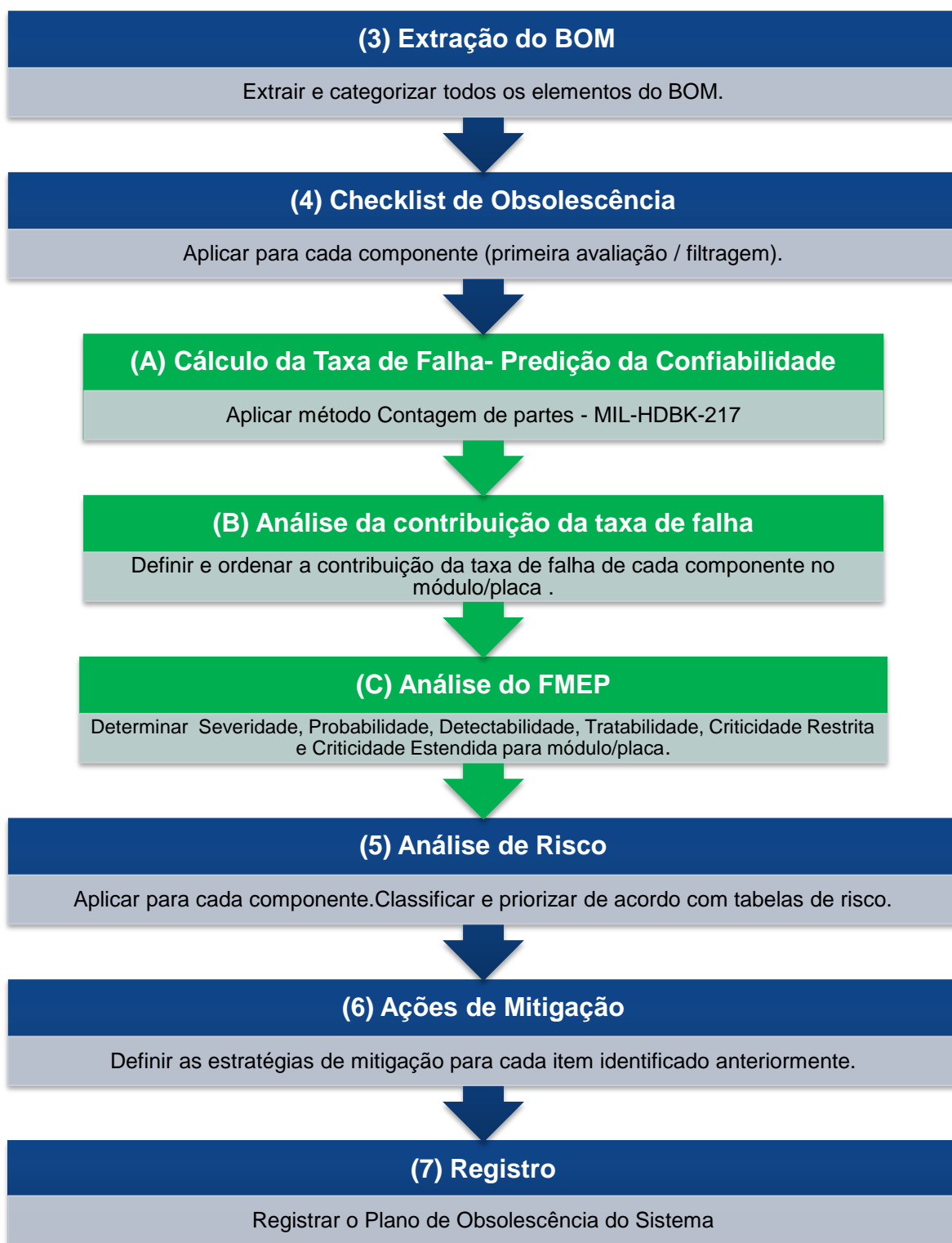
### 7.2.2 Estudo de caso 1

Conforme mencionado na Seção 7.1 deste Capítulo, serão aplicadas as etapas de 3 a 7 do processo proposto; e, para auxiliar na obtenção da Criticidade Restrita (PxS) e da Criticidade Estendida (PxSxDxIT), foram acrescentadas ao processo as etapas de A a C, conforme apresentado na Figura 7.2. A definição de quais métodos serão adotados para auxiliar na obtenção da Criticidade Restrita ou da Criticidade Estendida deve ser feita pela gestão da instituição ou pela equipe especializada.

Para esse estudo de caso 1, foi utilizado para auxiliar na avaliação da severidade da obsolescência (etapas, na cor verde, de A a C da Figura 7.2): taxas de falhas calculadas através da referência MIL-HDBK-217 (1991, 1992, 1995), método da Contagem de Partes (*Parts Count*), detalhado no Capítulo 2 deste trabalho; e a análise da contribuição da taxa de falhas de cada componente. E, para a avaliação do risco de obsolescência foi utilizada a Análise dos Modos de Falha e sua Criticidade Estendida a Projetos (FMPE) para determinar a Criticidade Restrita e a Criticidade Estendida, considerando a: Severidade, Probabilidade, Indetectabilidade e Intratabilidade da obsolescência de cada componente da placa.

Para determinar a Indetectabilidade e a Intratabilidade, foi utilizada a experiência do autor para essa avaliação.

Figura 7.2 - Etapas do estudo de caso 1.



Fonte: Produção do Autor.

### 7.2.2.1 Resultados do estudo de caso 1

Os resultados do estudo de caso 1 estão detalhados no APÊNDICE D desse trabalho.

Para entendimento e demonstração em detalhes das etapas propostas na Figura 7.2 deste estudo de caso, foi destacado o componente com o maior risco de obsolescência. O componente destacado foi o item 31 – Circuito Integrado Processador 80C86.

Depois da extração da Lista de Materiais (BOM), etapa 3, foi aplicado o *Checklist* de Obsolescência, etapa 4. O resultado do *Checklist* de Obsolescência para o item 31 está demonstrado na Tabela 7.1.

Tabela 7.1 - *Checklist* de Obsolescência para o item 31.

ITEM	PART DESCRIPTION	QTY	UNIT	MANUF.	PART NUMBER	Checklist de Obsolescência								Avalia Risco?	
						1	2	3	4	5	6	7	8		
31	IC 80C86 RADIATION HARDENED 16-BIT CMOS MICROPROCESSOR	1	PC	INTERSIL	5962R9572201QQC	N	N	S	S	N	S	S	S	S	SIM

Fonte: Produção do Autor.

Para auxiliar na avaliação da Severidade da Obsolescência foi feito o cálculo da taxa de falhas utilizando a referência MIL-HDBK-217 (1991, 1992, 1995). O método aplicado foi o de Contagem de Partes (*Parts Count*) por se tratar do projeto preliminar da placa. E também, a análise da contribuição porcentual da taxa de falhas de cada componente (etapas A e B). A Tabela 7.2. apresenta o cálculo da taxa de falhas e da contribuição porcentual para o item 31.

Tabela 7.2 - Cálculo da taxa de falhas e da contribuição porcentual para o item 31.

ITEM	PART NUMBER	CLASSIFICATION	QUALITY FACTOR	$\pi Q$	Gen. Fail. Rate (Fail/10 <sup>6</sup> Hr)	Part Fail. Rate (Fail/10 <sup>6</sup> Hr)	Contribution
31	5962R9572201VQC	Microprocessor MOS up to 16 Bits	S	0,25	0,093	0,02325	21,6344%

Fonte: Produção do Autor.

Para determinar a Probabilidade da Obsolescência, por se estar na fase preliminar do projeto, tomou-se como premissa o estoque baixo e o consumo baixo do item 31. O Número de Fornecedores e os Anos Até Fim De Vida (YTEOL) foram fornecidos pelo *trial* do *software* da SiliconExpert – o *BOM Manager*. O resultado da Probabilidade de Obsolescência para o item 31 está apresentado na Tabela 7.3.

Tabela 7.3 - Probabilidade de Obsolescência para o item 31.

ITEM	Part Description	QTY	MANUF	Part Number	Estoque	Consumo	Estoque vs Consumo	Número de Fornecedores	Anos até Fim Vida Produto (YTEOL)	Probabilidade da Obsolescência		
31	IC 80C86 RADIATION HARDENED 16-BIT CMOS MICROPROCESSOR	1	INTERSIL	5962R9572201QQC	Baixo	Baixo	Médio	3	Baixo	2	Médio	Médio






Fonte: Produção do Autor.

Para a avaliação do Risco de Obsolescência (etapa 5), foi utilizada a FMEP (etapa C) para determinar a Criticidade Restrita e a Criticidade Estendida de cada componente da placa. E, para determinar a Severidade, Indetectabilidade e a Intratabilidade foi utilizada a experiência do autor para essa avaliação, como mencionado anteriormente. O resultado da Criticidade Restrita e da Criticidade Estendida para o item 31 está apresentado na Tabela 7.4.

É importante citar que, para a definição dos parâmetros Severidade, Indetectabilidade e Intratabilidade, foi adotada uma abordagem do evento macroscópica do problema causado pela obsolescência do componente.

Com o resultado do Risco de Obsolescência, é possível determinar facilmente a Estratégia de Mitigação do risco (etapa 6) utilizando as matrizes de práticas de gestão de obsolescência descritas no Capítulo 6 (Figuras 6.11 e 6.12). O resultado da Estratégia de Mitigação do Risco de Obsolescência para o item 31 está apresentado na Tabela 7.4.

Tabela 7.4 - Criticidade Restrita, Criticidade Estendida e Estratégia de Mitigação do Risco de Obsolescência para o item 31.

ITEM	PART DESCRIPTION	QTY	UNIT	MANUF.	PART NUMBER	Severidade (S)	Probabilidade (P)	Indetectabilidade (ID)	Intratabilidade (IT)	Criticidade Restrita	Criticidade Estendida	Estratégia de Mitigação
31	IC 80C86 RADIATION HARDENED 16-BIT CMOS MICROPROCESSOR	1	PC	INTERSIL	5962R9572201QQC		<b>Pm</b>					<b>Progressivo</b>

Fonte: Produção do Autor.

Por fim, o registro do Plano de Obsolescência para o item 31, está detalhado na Tabela 7.5. Neste plano, são compilados os dados utilizados para determinar o Risco da Obsolescência e estratégias e ações para mitigar tal risco. Para o item 31 tem-se um Risco de Obsolescência médio com uma Estratégia de Mitigação progressiva. De acordo com a estratégia progressiva, a ação de mitigação indicada é obter/buscar componentes alternativos ou substitutos. Então, foram indicados possíveis componentes alternativos; mas do procedimento para a avaliação da robustez (evento microscópico), pode-se observar a que a utilização desses componentes reduz a robustez da placa, pois por se tratar de componentes militares, não possuem proteção para radiação como os componentes utilizados para a aplicação espacial. Para a utilização desses componentes, a equipe de engenharia deveria desenvolver uma solução de blindagem para proteção da radiação desse componente alternativo.

Tabela 7.5 - Plano de Obsolescência para o item 31.

Item	Part Description	Estado da Obsolescência	Anos até Fim Vida Produto (YTEOL)	Risco de Obsolescência	Estratégias de Mitigação	Ações de Mitigação	Razão Provável Obsolescência	Possíveis Alternativas e/ou substitutos	Avaliação da Robustez	Responsável / Prazo
31	IC 80C86 RADIATION HARDENED 16-BIT CMOS MICROPROCESSOR	Não Obsoleto	2	Médio	Progressivo	Desenvolver alternativo /Substituto	YTEOL	MD80C86-2/883 MD80C86-2/B 8405202QA	Itens alternativos são de aplicação militar e não possuem proteção para radiação, reduzindo a robustez da placa	Desenvolver solução de blindagem para o item alternativo - Eng. Projeto

Fonte: Produção do Autor.



### **7.2.2.2 Conclusão do estudo de caso 1**

Neste estudo de caso, pôde ser observado que algumas ações poderiam ter sido tomadas no projeto preliminar em 2007, por já existirem componentes com Anos Até Fim De Vida (YTEOL) de 2 anos. Se, para esse estudo, tivesse sido utilizado a Criticidade Restrita, proposta por Rojo et al. (2012), para avaliação do Risco da Obsolescência, ações proativas teriam sido tomadas por conta do resultado de risco alto. Mas, como foi utilizada a Criticidade Estendida para avaliação do Risco da Obsolescência, a avaliação foi mais completa com a adição dos parâmetros de Indetectabilidade e Intratabilidade, que resultou em um Risco de Obsolescência médio e uma Estratégia de Mitigação progressiva. Esse resultado faz bastante sentido pois tinha-se (em 2007), até o fim de vida (YTEOL) do componente, 2 anos para desenvolver outra solução para mitigar o risco de obsolescência, antes que o componente se tornasse efetivamente obsoleto. Não seria necessária no momento (ano 2007), uma estratégia de mitigação proativa, que resultaria em um reprojeção da placa. Com isso, alguns componentes poderiam ter sido sugeridos como alternativos; mas, por se tratarem de componentes militares, que não possuem proteção para a radiação, diminuiriam a robustez da placa. Para utilização desses componentes alternativos, ações como desenvolver uma solução de blindagem para proteção da radiação seria uma opção para aumentar a robustez do componente e, conseqüentemente, da placa. Sugestões de componentes alternativos e possíveis ações de mitigação para este estudo de caso são apresentadas no Plano de Gestão de Obsolescência, APÊNDICE desse trabalho, que se tivessem sido aplicadas no Projeto Preliminar do Computador, em 2007, poderiam ter garantido a repetibilidade do projeto a longo prazo ou no tempo que o projeto deveria ser suportado.

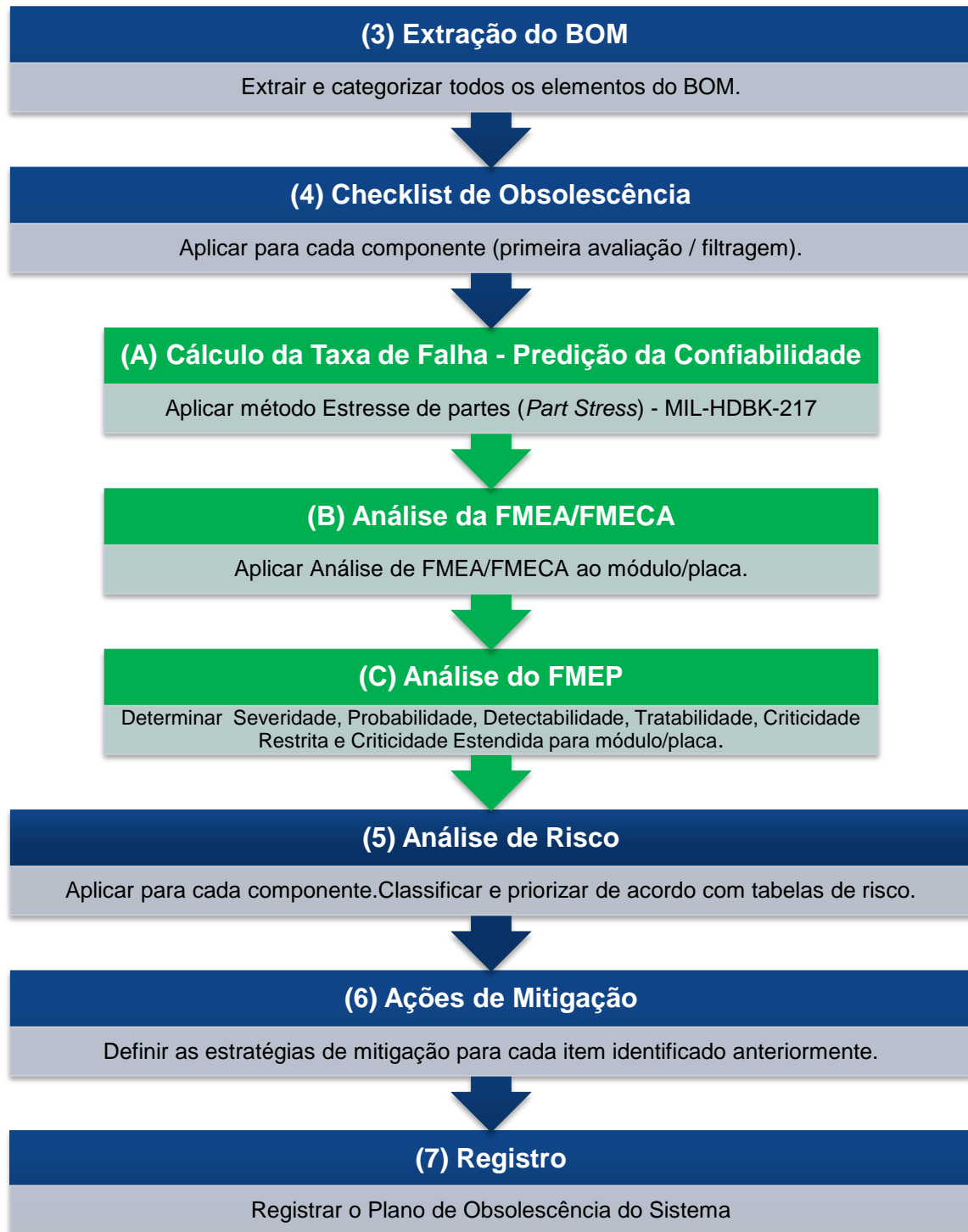
### 7.2.3 Estudo de caso 2

Conforme mencionado na Seção 7.1 deste Capítulo, serão aplicadas as etapas de 3 a 7 do processo proposto; e, para auxiliar na obtenção da Criticidade Restrita (PxS) e da Criticidade Estendida (PxSxDxIT), foram acrescentadas ao processo, as etapas de A a C, conforme apresentado na Figura 7.3. A definição de quais métodos serão adotados para auxiliar na obtenção da Criticidade Restrita ou da Criticidade Estendida deve ser feita pela gestão da instituição ou pela equipe especializada.

Para esse estudo de caso 2, foram utilizadas, para auxiliar na avaliação da Severidade da Obsolescência (etapas na cor verde, de A a C da Figura 7.3): taxas de falhas calculadas através da referência MIL-HDBK-217 (1991, 1992, 1995), o método do Estresse das Partes (*Parts Stress*), detalhado no Capítulo 2 deste trabalho; e, a análise da FMECA para analisar a contribuição da taxa de falhas de cada componente, através do cálculo da Criticidade conforme apresentado na referência MIL-STD-1629 (1980). E, para a avaliação do Risco de Obsolescência foi utilizada FMEP para determinar a Criticidade Restrita e a Criticidade Estendida, considerando a: Probabilidade, Severidade, Indetectabilidade e Intratabilidade de cada componente do módulo/placa.

Para determinar a indetectabilidade e a intratabilidade foi utilizada a experiência do autor para essa avaliação.

Figura 7.3 - Etapas do estudo de caso 2.



Fonte: Produção do Autor.

### 7.2.3.1 Resultados do estudo de caso 2

Os resultados do Estudo de Caso 2 estão detalhados no APÊNDICE D desse trabalho.

Para entendimento e demonstração em detalhes das etapas propostas na Figura 7.3 deste estudo de caso, foi destacado o componente com o maior risco de obsolescência. O componente destacado foi o item 31 – Circuito Integrado Processador 80C86, como no estudo de caso 1, possibilitando futuras comparações.

Depois da extração da Lista de Materiais (BOM), etapa 3, foi aplicado o *Checklist* de Obsolescência, etapa 4. O resultado do *Checklist* de Obsolescência para o item 31 está demonstrado na Tabela 7.6.

Tabela 7.6 - *Checklist* de obsolescência para o item 31.

ITEM	PART DESCRIPTION	QTY	UNIT	MANUF.	PART NUMBER	Checklist de Obsolescência								Avalia Risco?	
						1	2	3	4	5	6	7	8		
31	IC 80C86 RADIATION HARDENED 16-BIT CMOS MICROPROCESSOR	1	PC	INTERSIL	5962R9572201QQC	N	N	S	S	N	S	S	S	S	SIM

Fonte: Produção do Autor.

Para auxiliar na avaliação da Severidade da Obsolescência, foi feito o cálculo da taxa de falhas utilizando a referência MIL-HDBK-217 (1991, 1992, 1995), apresentado na Tabela 7.7. O método aplicado foi o Estresse de Partes (*Parts Stress*) por se tratar da fase de operação da placa, onde temos todos dos dados do projeto detalhado. E também, a análise da FMECA para entender a contribuição porcentual da taxa de falhas de cada componente (etapa A e B), apresentada na Tabela 7.8.(MIL-STD-1629, 1980) (FMD91, 1991) (FMD97, 1997).

Tabela 7.7 - Cálculo da taxa de falhas para o item 31.

ITEM	Part Description	Technology	Gates	C <sub>1</sub>	Junction Temp. (oC)	P <sub>T</sub>	Package	Functional Pins	C <sub>2</sub>	P <sub>Q</sub>	P <sub>E</sub>	Years in Production	P <sub>L</sub>	Ip
31	CID HS1-80C86RH CDIP-40	Microprocessor /MOS	16 bits	0.28	54.8	0.3452	DIP	40	0.015045	0.25	0.5	2	1.0	0,02605

Fonte: Produção do Autor.

Tabela 7.8 - FMECA e a contribuição porcentual para o item 31.

ITEM	PART DESCRIPTION	FUNCTION	FAILURE MODES	NORM DIST.	FAILURE RATE	C <sub>m</sub>	Contribution C <sub>m</sub>	Contribution Component
31	CID HS1-80C86RH CDIP-40	Microprocessor	Opened	18,2%	4,741E-03	2,268E+01	2,03349%	15,84399%
31	CID HS1-80C86RH CDIP-40	Microprocessor	High Leakage Current	15,2%	3,959E-03	1,582E+01	1,41836%	
31	CID HS1-80C86RH CDIP-40	Microprocessor	Electrical Overstress	42,4%	1,104E-02	1,231E+02	11,03647%	
31	CID HS1-80C86RH CDIP-40	Microprocessor	Die/Attachment Failure	12,1%	3,152E-03	1,003E+01	0,89881%	
31	CID HS1-80C86RH CDIP-40	Microprocessor	Output Stuck Low	6,1%	1,589E-03	2,548E+00	0,22843%	
31	CID HS1-80C86RH CDIP-40	Microprocessor	Bent	6,1%	1,589E-03	2,548E+00	0,22843%	

Fonte: Produção do Autor.

Para determinar a Probabilidade da Obsolescência, foi considerado que o computador da CPU está na fase de operação, e tomou-se como premissa o estoque baixo e o consumo baixo do item 31. O Número de Fornecedores e Anos Até Fim De Vida (YTEOL) foram fornecidos pelo *trial* do *software* da SiliconExpert – o *BOM Manager*. O resultado da Probabilidade de Obsolescência para item o 31 está apresentado na Figura 7.9.

Tabela 7.9 - Probabilidade de Obsolescência para o item 31.

Item	Part Description	QTY	MANUF	Part Number	Estoque	Consumo	Estoque vs Consumo	Número de Fornecedores	Anos até Fim Vida Produto (YTEOL)	Probabilidade da Obsolescência
31	IC 80C86 RADIATION HARDENED 16-BIT CMOS MICROPROCESS	1	INTERSIL	5962R9572201QQC	Baixo	Baixo	Médio	1 Alto	0 Alto	Alto






Fonte: Produção do Autor.

Para a avaliação do Risco de Obsolescência (etapa 5), foi utilizada a análise do FMEP (etapa C) para determinar a Criticidade Restrita e a Criticidade Estendida de cada componente da placa. E, para determinar a Severidade, Indetectabilidade e a Intratabilidade foi utilizada a experiência do autor para essa avaliação. Os resultados da Criticidade Restrita e da Criticidade Estendida para item o 31 está apresentado na Tabela 7.10.

Como já mencionado no estudo de caso 1, aqui também dever ser citado que, para a definição dos parâmetros Severidade, Indetectabilidade e Intratabilidade, foi adotada uma abordagem do evento macroscópica do problema causado pela obsolescência do componente.

Com o resultado do Risco de Obsolescência, é possível determinar facilmente a Estratégia de Mitigação do risco (etapa 6) utilizando as matrizes de práticas de gestão de obsolescência descritas no Capítulo 6 (Figuras 6.11 e 6.12). O resultado da Estratégia de Mitigação do risco para o item 31 está apresentado na Tabela 7.10.

Tabela 7.10 - Criticidade Restrita, Criticidade Estendida e Estratégia de Mitigação do risco para o item 31.

ITEM	PART DESCRIPTION	QTY	UNIT	MANUF.	PART NUMBER	Severidade (S)	Probabilidade (P)	Indetectabilidade (D)	Intratabilidade (T)	Criticidade Restrita	Criticidade Estendida	Estratégia de Mitigação
31	IC 80C86 RADIATION HARDENED 16-BIT CMOS MICROPROCESSOR	1	PC	INTERSIL	5962R9572201QQC		Pa					Proativo

Fonte: Produção do Autor.

Por fim, o registro do Plano de Obsolescência para o item 31 está detalhado na Tabela 7.11. Neste plano, são compilados os dados utilizados para determinar o Risco da Obsolescência e estratégias e ações para mitigar tal risco. Para o item 31, tem-se um Risco de Obsolescência alto com uma Estratégia de Mitigação proativa. De acordo com essa estratégia, a ação de mitigação é a atualização tecnológica, ou reprojeto, ou novo *design*, e a requalificação da placa. Ações de contenção, como compra estratégica para formar um estoque estratégico poderiam ter sido sugeridos por não ser recomendada a substituição do componente nesta fase do projeto. Então, foram indicados possíveis componentes alternativos; mas do procedimento para a avaliação da robustez (evento microscópico), pode-se observar a que a utilização desses componentes reduz a robustez da placa, pois por se tratar de componentes militares, não possuem proteção para radiação como os componentes utilizados para a aplicação espacial. Para a utilização desses componentes alternativos a equipe de engenharia deveria desenvolver uma solução de blindagem para proteção da radiação com reprojeto e requalificação da placa.

Tabela 7.11 - Plano de Obsolescência para o item 31.

Item	Descrição do Item	Estado da Obsolescência	Tempo de Disponibilidade do Item	Risco de Obsolescência	Estratégias de Mitigação	Ações de Mitigação	Razão Provável Obsolescência	Possíveis Alternativas e/ou substitutos do Item	Avaliação da Robustez	Responsável / Prazo
31	IC 80C86 RADIATION HARDENED 16-BIT CMOS MICROPROCESSOR	Obsoleto	0	Alto	Proativo	Atualização tecnológica, ou reprojeto, ou novo design e a requalificação da placa	YTEOL	Não recomendado substituição. Compra estratégica para estoque estratégico. Itens Alternativos: MD80C86-2/883, MD80C86-2/B, 8405202QA	Itens alternativos são de aplicação militar e não possuem proteção para radiação, reduzindo a robustez da placa. Necessário reprojeto e requalificação da placa	Desenvolver solução de blindagem para o item alternativo, com reprojeto e requalificação da placa - Eng. Projeto

Fonte: Produção do Autor.

### 7.2.3.2 Conclusão do estudo de caso 2

Neste estudo de caso, foram indicados alguns componentes obsoletos e outros com fornecedores únicos, inviabilizando a produção dessa placa nos dias de hoje (2020). Ações de contenção como compra estratégica para formar um estoque estratégico são as opções mais recomendadas para os itens com risco de obsolescência altos, por não serem recomendadas substituições de componentes, nessa fase do projeto. Mas, para mitigar esse risco, é inevitável o reprojeto, ou a atualização tecnológica, ou novo *design* e, conseqüentemente, a requalificação da placa e da CTU do CBERS-3 e 4. Com isso, alguns componentes foram sugeridos como alternativos; mas, por se tratarem de componentes militares, que não possuem proteção para a radiação, aumentariam a sua sensibilidade a interferências eletromagnéticas no ambiente operacional, o que, por consequência, reduziria a robustez da placa. Para utilização desses componentes alternativos, ações como desenvolver uma solução de blindagem para proteção da radiação seria uma opção para diminuir a sensibilidade do componente a interferências eletromagnéticas e, conseqüentemente, aumentar a robustez do componente e da placa. Sugestões de componentes alternativos e possíveis ações de mitigação deste estudo de caso foram apresentadas no Plano de Gestão de Obsolescência, APÊNDICE D desse trabalho, que, se aplicados, podem garantir a repetibilidade do projeto a longo prazo ou no tempo que o projeto deve ser suportado.



## 7.3 Estudo de caso 3 – CPU de SEEKER

### 7.3.1 Introdução do estudo de caso 3

A CPU é um módulo/placa de processamento dos diversos sinais provenientes de várias interfaces do Computador para Buscador (*Seeker*) de mísseis em geral.

A arquitetura utilizada nesse projeto é baseada na família Stratix V de FPGAs (*Field-Programmable Gate Array*), do fabricante INTEL/ALTERA e seus periféricos.

As principais características dessa família são:

- Dispositivos com mais de:
  - 3.000 blocos DSP;
  - 260.000 módulos lógicos;
  - 2.500 blocos de memória;
- Transceptores de 600 Mbps a 14,1 Gbps integrados que suportam *backplanes* e módulos ópticos;
- Dispositivos otimizados para aplicativos baseados em transceptores e centrados em DSP para aplicações em computação militares, transmissores de alto desempenho;
- Interface com Memória DDR3 e PCI Express;
- Parcialmente reconfigurável;
- Mitigação de *Single Event Upset* (SEU).

A seleção desse módulo/placa se deve principalmente: à afinidade do autor com projeto de computador para Buscador (*Seeker*) para mísseis em geral; à formação acadêmica do autor, Engenharia Eletrônica; e, a experiência do autor com desenvolvimento de projetos eletrônicos na área militar e aeroespacial.

Por razões de confidencialidade desse projeto, foram selecionados alguns componentes que são geralmente utilizados para compor uma arquitetura de CPU baseada na família de FPGAs Stratix V.

Essa seção possui um estudo de caso para fins de verificação da efetividade do processo e procedimento propostos. Nesse estudo de caso, serão aplicadas as propostas em um Projeto Preliminar em Desenvolvimento de uma CPU para um Computador do Buscador (*Seeker*) de mísseis em geral.

As etapas para estudo de caso levam em consideração a fase do projeto e os dados e análises normalmente disponíveis nessa fase.

As premissas para este estudo foram:

- Ambiente de aplicação: *Missile, Launch (ML)*;
- Tempo de operação: 1 hora;
- Tempo de não operação: 10 anos;
- Taxa de falhas constante.

E, para obter os valores de Número de Fornecedores e Anos Até Fim de Vida (YTEOL) de cada componente, foi utilizado um *trial* do *software* da SiliconExpert – *BOM Manager*. Esse *software* nos dá acesso ao banco de dados de componentes da SiliconExpert e nos fornece uma predição de YTEOL, status do ciclo de vida, análise de múltiplos fornecedores disponíveis, alertas de riscos de fim de vida e poucos fornecedores, e alertas programados.

### **7.3.2 Estudo de caso 3**

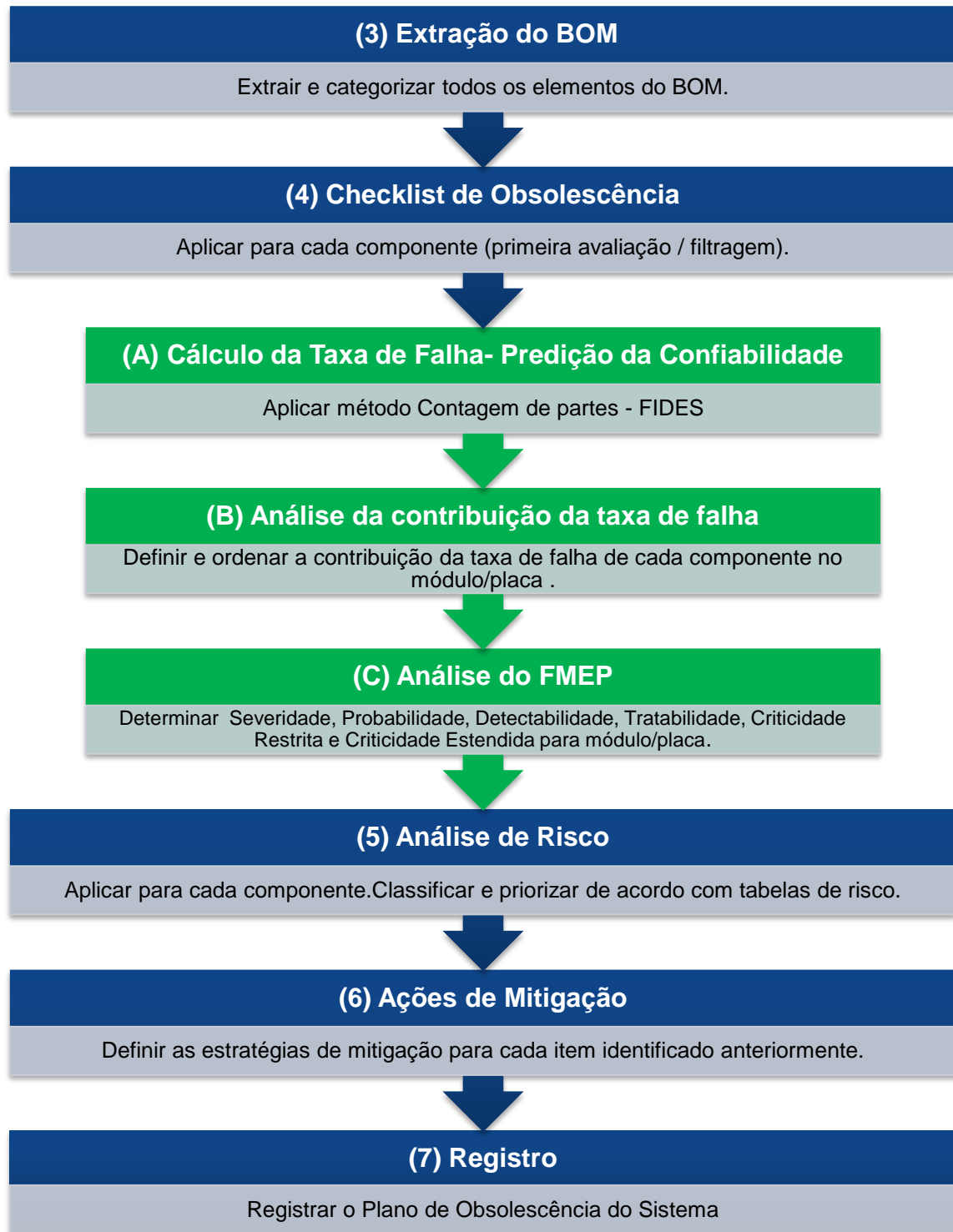
Conforme mencionado na Seção 7.1 deste Capítulo, serão aplicadas as etapas de 3 a 7 do processo proposto; e, para auxiliar na obtenção da Criticidade Restrita (PxS) e da Criticidade Estendida (PxSxIDxIT), foram acrescentadas ao processo as etapas de A a C, conforme apresentado na Figura 7.4. A definição de quais métodos serão adotados para auxiliar na obtenção da Criticidade

Restrita ou da Criticidade Estendida deve ser feita pela gestão da instituição ou pela equipe especializada.

Para esse estudo de caso 3, foram utilizadas, para auxiliar na avaliação da Severidade da Obsolescência (etapas, na cor verde, de A a C da Figura 7.4): taxas de falhas calculadas através da referência FIDES (2009), método de Contagem de Partes (*Parts Count*), detalhado no Capítulo 2 deste trabalho; e a análise da contribuição da taxa de falhas de cada componente. Para esse cálculo foi utilizado a ferramenta FIDES *ExpertTool*, disponível no site da FIDES. E, para a avaliação do Risco de Obsolescência, foi utilizada a FMEP para determinar a Criticidade Restrita e a Criticidade Estendida, com a: Probabilidade, Severidade, Indetectabilidade e Intratabilidade de cada componente do módulo/placa.

Para determinar a Indetectabilidade e a Intratabilidade foi utilizada a experiência do autor para essa avaliação.

Figura 7.4 - Etapas do estudo de caso 3.



Fonte: Produção do Autor.

### 7.3.3 Resultados do estudo de caso 3

Os resultados do estudo de caso 3 estão detalhados no APÊNDICE D desse trabalho.

Para entendimento e demonstração em detalhes das etapas propostas na Figura 7.4 deste estudo de caso, foi destacado o componente com o maior risco de obsolescência. O componente destacado foi o item 1 – Circuito Integrado FPGA.

Depois da extração da Lista de Materiais (BOM), etapa 3, foi aplicado o *Checklist* de Obsolescência, etapa 4. O resultado do *Checklist* de Obsolescência para o item 31 está demonstrado na Tabela 7.12.

Tabela 7.12 - *Checklist* de Obsolescência para o item 1.

ITEM	PART DESCRIPTION	QTY	UNIT	MANUF.	PART NUMBER	Checklist de Obsolescência								Avalia Risco?	
						1	2	3	4	5	6	7	8		
1	IC FPGA 696 I/O 1517FBGA	1	PC	Altera	5SGSMD8K3F40I3	N	N	S	S	N	S	S	S	S	SIM

Fonte: Produção do Autor.

Para auxiliar na avaliação da Severidade da Obsolescência foi feito o cálculo da taxa de falhas utilizando a referência FIDES (2009).O método aplicado foi o de Contagem de Partes (*Parts Count*) por se tratar do projeto preliminar da placa. E também, a análise da contribuição porcentual da taxa de falhas de cada componente (etapa A e B). Diferente do manual MIL-HDBK-217 (1991, 1992, 1995), o manual FIDES (2009) considera nos cálculos o tempo e os parâmetros ambientais de cada fase do ciclo de vida de um produto. Com isso, a Tabela 7.13 apresenta as premissas adotadas para os cálculos das taxas de falhas. A Tabela 7.14 apresenta os resultados do cálculo da taxa de falhas e a contribuição porcentual para item 1.

Tabela 7.13 – Premissas para as fases do ciclo de vida da CPU.

Phase name	On / Off	Calendar time (hours)	Temperature	Temperature cycling				Humidity	Mechanical	Chemical			
			Ambient temperature (°C)	Δt (°C)	Cycle duration (hours)	Number of cycles (/phase)	Maximum temperature during cycling (°C)	Relative humidity (%)	Random vibrations (Grms)	Saline pollution	Environmental pollution	Application pollution	Protection level
Transporte	OFF	120 h	55,00 °C	0,00 °C	12 h	1	55,00 °C	90	1,00 Grms	High	High	High	Non hermetic
Estoque	OFF	87.600 h	30,00 °C	0,00 °C	87.600 h	1	30,00 °C	50	0,00 Grms	Low	Low	Low	Non hermetic
Manutenção	ON	336 h	25,00 °C	0,00 °C	336 h	1	25,00 °C	60	0,00 Grms	Low	Low	Low	Non hermetic
Operação	ON	1 h	65,00 °C	0,00 °C	1 h	1	65,00 °C	90	25,00 Grms	High	High	High	Hermetic

Fonte: Produção do Autor.

Tabela 7.14 - Cálculo da taxa de falhas e da contribuição porcentual para o item 1.

Model	Component type	Component name	Results			
			λ Total	Quantity	λ Unit.	%
PART COUNT	Integrated Circuit & ASIC [PCIC]	Analogue, Mixed FPGA, CPLD, complex ASIC integrated circuit Non Hermetic > 288	22,0	2,000	11,0	4%

Fonte: Produção do Autor.

Para determinar a Probabilidade da Obsolescência, por se estar na fase preliminar do projeto, tomou-se como premissa o estoque baixo e o consumo baixo do item 3. O Número de Fornecedores e os Anos Até Fim De Vida (YTEOL) foram fornecidos pelo *trial* do *software* da SiliconExpert – o *BOM Manager*. O resultado da Probabilidade de Obsolescência para o item 1 está apresentado na Tabela 7.15.

Tabela 7.15 - Probabilidade de Obsolescência para o item 1.

Item	Part Description	QTY	MANUF	Part Number	Estoque	Consumo	Estoque vs Consumo	Número de Fornecedores	Anos até Fim Vida Produto	Probabilidade Ocorrência Obsolescência
1	IC FPGA 696 I/O 1517FBGA	1	Altera	5SGSMD8K3F40I3	Baixo	Baixo	Médio	2 Médio	0,3 Alto	Alto

Fonte: Produção do Autor.

Para a avaliação do Risco de Obsolescência (etapa 5), foi utilizada a FMEP (etapa C) para determinar a Criticidade Restrita e a Criticidade Estendida de cada componente da placa. E, para determinar a Severidade, Indetectabilidade e a Intratabilidade foi utilizada a experiência do autor para essa avaliação. O resultado da Criticidade Restrita e da Criticidade Estendida para o item 1 está apresentado na Tabela 7.16.

É importante citar que, para a definição dos parâmetros Severidade, Indetectabilidade e Tratabilidade, foi adotada uma abordagem do evento macroscópica do problema causado pela obsolescência do componente.

Com o resultado do Risco de Obsolescência, é possível determinar facilmente a Estratégia de Mitigação do risco (etapa 6) utilizando as matrizes de práticas de Gestão de Obsolescência descritas no Capítulo 6 (Figura 6.11 e 6.12). O resultado da Estratégia de Mitigação do risco para o item 1 está apresentado na Tabela 7.16.

Tabela 7.16 - Criticidade Restrita, Criticidade Estendida e Estratégia de Mitigação do risco para o item 1.

ITEM	PART DESCRIPTION	QTY	UNIT	MANUF.	PART NUMBER	Severidade (S)	Probabilidade (P)	Indetectabilidade (D)	Intratabilidade (T)	Criticidade Restrita	Criticidade estendida	Estratégia de Mitigação
1	IC FPGA 696 I/O 1517FBGA	1	PC	Altera	5SGSMD8K3F40I3	●	Pa	●	●	●	●	Proativo

Fonte: Produção do Autor.

Por fim, o registro do Plano de Obsolescência para o item 1 está detalhado na Tabela 7.17. Neste plano, são compilados os dados utilizados para determinar o Risco da Obsolescência e estratégias e ações para mitigar tal risco. Para o item 1 temos um Risco de Obsolescência alto com uma Estratégia de Mitigação proativa. De acordo com essa estratégia, a ação de mitigação é a atualização tecnológica, ou reprojetado, ou novo *design*, e a requalificação da placa. A sugestão à equipe de desenvolvimento do projeto foi para se desenvolver uma solução tecnológica mais atual para FPGAs, como a Família Stratix 10 do fabricante Intel, ou utilizar um componente da mesma família, Stratix V, P/N: 5SGSMD8K3F40I3G. Utilizando uma tecnologia mais atual, tem-se uma previsão de Fim de Vida (YTEOL) incerta, pois não existe histórico ou maturidade do componente no mercado. Já utilizando um componente da mesma família, Stratix V, tem-se a maturidade e histórico do componente, mas uma previsão de Fim de Vida (YTEOL) de  $\pm 3$  anos. Ambos os casos precisam de uma avaliação da gerência do projeto para tomada de decisão de qual caminho seguir. Outro ponto que deve ser avaliado pela equipe técnica e gerência, para ambos os casos, é a necessidade de alteração do processo produtivo de soldagem para adequação da nova categoria da RoHs (*Restriction of Certain Hazardous Substances/ Restrição de Certas Substâncias Perigosas*).

Tabela 7.17 - Plano de Obsolescência para o item 1.

Item	Descrição do Item	Estado da Obsolescência	Anos até Fim Vida Produto (YTEOL)	Risco de Obsolescência	Estratégias de Mitigação	Ações de Mitigação	Razão Provável Obsolescência	Possíveis Alternativas e/ou substitutos do Item	Avaliação da Robustez	Responsável / Prazo
1	IC FPGA 696 I/O 1517FBGA	Não Obsoleto	0,3	Alto	Proativo	Atualização tecnológica, ou reprojetado, ou novo design e a requalificação da placa	YTEOL	Desenvolver nova solução com tecnologia mais atual para FPGAs - Sugestão Família Stratix 10 da Intel ou utilizando a mesma família P/N: 5SGSMD8K3F40I3G	Alteração do processo produtivo de solda para adequação a nova categoria do RoHs.	Fazer análises de estresses ambientais para qualificar o processo de soldagem a nova categoria do RoHs - Eng. Projeto

Fonte: Produção do Autor.



#### 7.3.4 Conclusão do estudo de caso 3

Neste estudo de caso, foram indicados alguns componentes obsoletos, outros com Fim de Vida (YTEOL) próximos, outros não recomendados para novos projetos (NRND) e outros com fornecedores únicos, comprometendo o avanço do projeto preliminar desta placa. Os riscos de obsolescência são variados e, com isso, as estratégias e ações de mitigação também são variadas. Mas, para mitigar os riscos altos, estratégias e ações proativas devem ser adotadas, como o reprojeto, ou a atualização tecnológica e, ou novo *design*. Diante a isso, alguns componentes foram sugeridos como alternativos; alguns deles possuem o mesmo FFF não alterando a robustez da placa; outros possuem algum parâmetro FFF diferente e outros precisam da busca de um alternativo. Um ponto interessante e importante deparado deste estudo de caso é o *trade off* em utilizar uma tecnologia mais atual de FPGAs com uma previsão de Fim de Vida (YTEOL) incerta, pois não existe histórico ou maturidade do componente no mercado; ou utilizar um componente da mesma tecnologia do obsoleto, onde tem-se a maturidade alta e o histórico do componente, mas com uma previsão de Fim de Vida (YTEOL) de  $\pm 3$  anos. Esse *trade off* deve ser amplamente discutido e analisado pela equipe técnica em conjunto com a gerência do projeto para as tomadas de decisão. Sugestões de componentes alternativos e possíveis ações de mitigação deste estudo de caso foram apresentadas no Plano de Gestão de Obsolescência, APÊNDICE D desse trabalho que, se aplicados, podem garantir a repetibilidade do projeto a longo prazo ou no tempo que o projeto deve ser suportado.

#### **7.4 Comparação dos resultados**

Os casos de estudo e seus detalhes expostos no Capítulo 7 sugerem que o processo e procedimento propostos no Capítulo 6 mostram-se mais completos e detalhados que os processos atuais tratados no Capítulo 5 e com base na análise feita no Capítulo 4, para o Gerenciamento da Obsolescência e Redução da Robustez de componentes eletrônicos aeroespaciais e militares. E que, devidamente adaptado, ele pode auxiliar a gestão das industriais aeroespaciais e militares no planejamento das atividades e recursos que são atribuídos na mitigação dos efeitos da Obsolescência e da Redução da Robustez nas várias fases do desenvolvimento e operação de um projeto/equipamento aeroespacial e militar.

Com a Matriz de Práticas de Gestão de Obsolescência (Figuras 6.11 e 6.12) é simples de avaliar onde várias características de um componente analisado são consideradas avaliando a Probabilidade e a Severidade do Risco de Obsolescência. A posição na matriz fornece uma diretriz para o item que pode ser quantificada e comparada. Após se determinar o Risco de Obsolescência, a melhor opção de mitigação pode ser rapidamente definida por essa matriz.

Nos estudos de casos 1 e 2, referentes ao Computador da CTU CBERS-3 e 4 em 2007 e 2020, pode ser observado que algumas ações poderiam ter sido tomadas em 2007, como apresentada no Plano de Gestão de Obsolescência desse estudo de caso (Tabela D.5), que poderiam ter garantido a repetibilidade do projeto até os dias de hoje (2020). Se for pensado fabricar a CTU do CBERS-3 e 4 hoje, o resultado da mitigação da obsolescência é o reprojeito conforme apresentado no Plano de Gestão de Obsolescência desse estudo de caso (Tabela D.11).

Já no estudo de caso 3, referente a um projeto de desenvolvimento preliminar, pode ser observado que já existem itens obsoletos, que ainda são encontrados para compra no mercado, e alguns itens com Fim de Vida (YEOL) baixo ou não recomendados para novos projetos (NRND). Então, conforme apresentado no

Plano de Gestão da Obsolescência (Tabela D.17) desse estudo de caso, é possível executar estratégias de mitigação que atendam as premissas/requisitos de tempo de vida desse projeto/produto. Esse trabalho sugere que para garantir a repetibilidade de fabricação desse projeto/produto é necessário a aplicação dos resultados do processo e procedimento propostos.

Então, diante do exposto acima, pode ser concluído que o processo e procedimento propostos se mostraram mais completos e detalhados que os processos atuais no Gerenciamento da Obsolescência de componentes eletrônicos aeroespaciais e militares.

## 8 CONCLUSÃO, CONSIDERAÇÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Neste capítulo serão expostas as principais conclusões deste trabalho relacionadas aos resultados obtidos e encerrando com as sugestões para trabalhos futuros.

### 8.1 Conclusão

Este trabalho teve como objetivo propor Um Novo Processo para Analisar e Tratar as Influências da Obsolescência e da Redução da Robustez de Componentes Eletrônicos Sobre a Disponibilidade e a Confiabilidade de Equipamentos Aeroespaciais, visando mitigar tais efeitos sobre o ciclo de vida de um projeto em todas suas fases de desenvolvimento e operação. Apresentou: a) FMECA, e sua extensão a projetos FMEP, proposto por Rabello (2017), para a análise e o tratamento das causas e efeitos do evento macroscópico, tal obsolescência, sobre tal disponibilidade; b) métodos tradicionais/consagrados como: FMECA, Predição das Taxas de Falhas, RBD, FTA, PoF, etc. para a análise e o tratamento das causas e efeitos do evento microscópico, a redução de tal robustez, sobre tal confiabilidade.

O processo e o plano propostos atenderam às motivações deste trabalho, pois auxiliam no planejamento das atividades e recursos que são atribuídos a mitigação dos efeitos da obsolescência e da redução da robustez (por processos como *Lean Design* e *Lean Engineering*, uso de COTS, falhas de Logística, etc.) nos componentes, nas várias fases do desenvolvimento e operação de um projeto/equipamento aeroespacial e militar. E, também, na gestão dos riscos da obsolescência e da redução da robustez de componentes eletrônicos aeroespaciais e nas suas influências na confiabilidade dos equipamentos.

Baseado no que foi apresentado, podemos concluir que, durante as fases do desenvolvimento e operação de um projeto/equipamento aeroespacial e militar, o não gerenciamento da obsolescência e da redução da robustez, poderá causar efeito no aumento do custo para sustentar uma capacidade de gestão

da obsolescência, sobretudo dos componentes eletrônicos, devido à necessidade de implementar atualizações ou substituições significativas nos seus equipamentos ou sistemas, para garantir a sua confiabilidade e disponibilidade à longo prazo.

Diante desse fato, as industriais aeroespaciais e militares estão migrando de uma gestão reativa, aplicado atualmente na maioria das indústrias, para uma gestão proativa, entendendo que esta abordagem seria a mais adequada para atender suas expectativas na Gestão do Risco da Obsolescência. Mas, muitas vezes, a Gestão Proativa se torna muito dispendiosa de recursos para o tratamento de um item não crítico para o projeto. Neste contexto, foi proposto um processo de Gestão de Obsolescência baseado uma Matriz de Risco: Probabilidade, Severidade, e Criticidade Restrita de Obsolescência, complementada pela Criticidade Estendida (FMEP).

Dado uma Lista de Materiais (BOM), foi aplicada uma filtragem, por meio de um *checklist*, para selecionar os componentes que terão seus riscos de obsolescência avaliados. Após, o componente é avaliado e classificado como tendo Crítico, Alto, Médio ou Baixo Risco de Obsolescência usando a tabela de avaliação de risco de obsolescência; e, para avaliação da Criticidade Estendida ao projeto, foi utilizado o FMEP. Usando a Matriz de Práticas de Gestão de Obsolescência foi rapidamente definido qual a melhor opção de mitigação será adotada para cada componente.

Por fim, esse trabalho apresenta um comparativo dos resultados dos estudos de casos descritos, podendo-se concluir que o processo proposto se mostrou mais completo e detalhado no Gerenciamento da Obsolescência de componentes eletrônicos aeroespaciais e militares nas fases do desenvolvimento e operação de um projeto/equipamento aeroespacial e militar.

## 8.2 Considerações sobre o desenvolvimento do trabalho

Nesta seção são apresentadas algumas considerações sobre o desenvolvimento deste trabalho, sendo:

### 1. Recursos disponíveis:

- *Trial* do *software* da SiliconExpert – o *BOM Manager* para obter os valores de Número de Fornecedores e Anos até o Fim de Vida (YTEOL);
- Ferramenta FIDES *ExpertTool* para os cálculos das taxas de falhas através da referência FIDES (2009) e a análise da contribuição da taxa de falhas de cada componente.

### 2. Facilidades:

- A afinidade do autor com os projetos dos estudos de casos, por conta do trabalho realizado nas empresas que trabalhou e trabalha atualmente;
- A formação acadêmica do autor, Engenharia Eletrônica;
- A experiência do autor com desenvolvimento de projetos eletrônicos na área espacial, aeroespacial e militar;
- A experiência do autor com análises de confiabilidade de produtos eletrônicos.

### 3. Dificuldades:

- A confidencialidade dos projetos dos estudos de casos. Por essa razão foram selecionados alguns componentes que são geralmente utilizados para compor as arquiteturas desses projetos;

- Adequação dos cálculos e análises para componentes mais atuais aos manuais desatualizados do DoD, como MIL-HDBK-217 (1991, 1992, 1995) e MIL-STD-1629-A (1980);
- Obtenção de fonte de dados sobre os modos de falha e suas probabilidades de ocorrência para cada componente. Foram utilizadas referências bem desatualizadas, a FMD-91 (1991) e a FMD-97 (1997), por estarem disponíveis gratuitamente para consulta. As referências mais atuais são pagas e, por isso, não foram consultadas;
- A criação do questionário para fazer uma seleção de quais itens/peças/componentes seriam tratados pelo processo proposto.

#### 4. Premissas adotadas:

- As avaliações e análises deste trabalho estão limitadas apenas a componentes e equipamentos eletrônicos;
- Os equipamentos eletrônicos utilizados para os estudos de casos foram computadores de bordo de satélites e mísseis em geral;
- Nos estudos de casos foram aplicadas somente as etapas de 3 a 7 do processo proposto.

### **8.3 Sugestões para trabalhos futuros**

Para a continuidade a verificação de aderência do novo processo proposto nesse trabalho, algumas sugestões são descritas abaixo:

- Aplicá-lo a mais estudos de casos visando calibrá-lo/adaptá-lo na melhor forma possível às necessidades da Instituição que venha a utilizar o método proposto;

- Aplicá-lo utilizando o Diagrama de Markov Estendido a Projetos (DMEP) para avaliação de risco de obsolescência, proposta por Rabello (2017), dado que a proposta utilizou apenas o FMECA Estendida a Projetos (FMEP);
- Validar outras partes do processo que não foram tratadas nesse trabalho;
- Implementar e apoiar o processo proposto em uma ferramenta computacional;
- Estende-lo para o tratamento de outros tipos de componentes, como: mecânicos, químicos e outros, dado que a proposta está voltada somente para atender as necessidades de mitigação de componentes eletrônicos;
- Estende-lo para o tratamento de subsistemas e sistemas, dado que a proposta está voltada somente para atender as necessidades de componentes e equipamentos eletrônicos;
- Estende-lo para a aplicação em indústrias ou instituições militares, automotivas, de equipamentos médicos, de processos, e outras atividades industriais e/ou comerciais, dado que a proposta está voltada somente para atender as necessidades das indústrias ou instituições aeroespaciais;
- Aprofundar no estudo da avaliação da robustez dos componentes eletrônicos;
- Aprofundar no estudo da associação e calibração das escalas de palavras, cores e números para avaliação da Severidade, Detectabilidade e Tratabilidade para cada tipo de atuação/aplicação;
- Aprofundar no estudo da construção de questionários, utilizando técnicas e escalas, para selecionar os itens que necessitam da avaliação do risco de obsolescência.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABERDEEN GROUP. **The lean six sigma benchmark report**. [S.l.]: Benchmark Report on Lean Six Sigma Programs, 2006. 29p.
- AHMED, A. **Eletrônica de potência**. São Paulo: Prentice Hall, 2000. 490 p.
- ALFORD JUNIOR, L. D. The problem with aviation COTS. **Aerospace and Electronic Systems Magazine**, v. 16, n. 2, p. 33 – 37, 2001.  
Doi:10.1109/62.904242.
- AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE. **Processes for engineering a system**. [S.l.]: ANSI, 1999. ANSI/EIA-632-1999.
- AMERICAN SOCIETY FOR ENGINEERING EDUCATION. **Circuit troubleshooting based on applying lean six sigma techniques**. 2017.  
Disponível em: <https://www.asee.org/public/conferences/78/papers/18821/view>.  
Acesso em: 20 de jul. 2020
- ANDRADE, P.S.M. **A veloz obsolescência dos aparelhos celulares: o que pensam e sentem jovens usuários desta tecnologia**. 2008. 80f. Dissertação (Mestrado em Psicologia) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.
- AQUINO, M. R. C. et. al. **Planejador de missões aéreas – PMA II**. São José dos Campos: IAEv, 2001. 119p.
- ARANHA, P. R. R. **Detalhamento, comparação e implementação da redução de esforços dentre um novo conjunto de processos para melhorar a dependabilidade de sistemas espaciais**. 2020. 427p.  
Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2020.
- ARAÚJO, C.A.C. **Sistemas de controle lean para fluxos puxados e nivelados**. São Paulo: Hominiss, 2007. p.488-506.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR ISO 9000: 2015: sistemas de gestão da qualidade: fundamentos e vocabulário**. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2015. 57 p.
- AVLONITIS, G. J.; HART, S. J.; TZOKAS, N. X. An analysis of product deletion scenarios. **Journal of Product Innovation Management**, v. 17, p. 41–56, 2000. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/1540-5885.1710041>. Acesso em: 20 de jul. 2020.

BASTOS, E.C.M.; PAULA, V.M.G. **Mísseis no exército brasileiro 1958-2009**. Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), 2009. Disponível em <https://docplayer.com.br/7898092-Misseis-no-exercito-brasileiro-1958-2009.html>. Acesso: 15 ago. 2020.

BAUER NETO, F. **Eficiência energética no aquecimento doméstico de água para banho**. 2013. 77p. Monografia (Graduação em Eletrotécnica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013. Disponível em: [http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/3669/1/CT\\_CEEE\\_I\\_2013\\_07.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/3669/1/CT_CEEE_I_2013_07.pdf). Acesso em: 15 maio 2020.

BENTO, G. S.; SCHULDT, K. S.; CARVALHO, L. C. The influence of supplier integration and lean practices adoption on operational performance. **Gestão & Produção**, v. 27, n.1, e3339. 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/gp/v27n1/0104-530X-gp-27-1-e3339.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2020.

BYRNE, C. **Handbook for robustness validation of automotive electrical/electronic modules**. ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie, 2008. Disponível em: [https://www.zvei.org/fileadmin/user\\_upload/Presse\\_und\\_Medien/Publikationen/2013/Oktober/Handbook\\_for\\_Robustness\\_Validation\\_of\\_Automotive\\_Electrical\\_Robust-Validation-EE-Modules.pdf](https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Publikationen/2013/Okttober/Handbook_for_Robustness_Validation_of_Automotive_Electrical_Robust-Validation-EE-Modules.pdf). Acesso em: 26 de jul. 2020.

CABRAL, H.L.T.B.; RODRIGUES, M.M.O. **A obsolescência programada na perspectiva da prática abusiva e a tutela do consumidor**. São Paulo: Lex Magister, 2016. Disponível em: [http://www.lex.com.br/doutrina\\_22860424\\_A\\_OBSOLENCIA\\_PROGRAMADA\\_NA\\_PERSPECTIVA\\_DA\\_PRATICA\\_ABUSIVA\\_E\\_A\\_TUTELA\\_DO\\_CONSUMIDOR](http://www.lex.com.br/doutrina_22860424_A_OBSOLENCIA_PROGRAMADA_NA_PERSPECTIVA_DA_PRATICA_ABUSIVA_E_A_TUTELA_DO_CONSUMIDOR). Acesso em: 20 jul. 2020.

CARNEIRO, C. A. R. S. C. **Gestão de obsolescência em sistemas de defesa com recurso a componentes comerciais**. Portugal: Instituto de Estudos Superiores Militares, 2010. 96p. Disponível em: [http://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/1149/1/TII\\_CAP%20CARNEIRO.pdf](http://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/1149/1/TII_CAP%20CARNEIRO.pdf). Acesso em: 20 jul. 2020.

CAPANO, G.; WOO, J.J. Resilience and robustness in policy design: a critical appraisal. **Policy Sciences**, v. 50, n. 3, p. 399-426, 2017.

CAWLEY, O. **The application of a lean software development methodology within the regulated domain of medical device software**. 2013. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/291823790\\_The\\_Application\\_of\\_a\\_Lean\\_Software\\_Development\\_Methodology\\_within\\_the\\_Regulated\\_Domain\\_of\\_Medical\\_Device\\_Software](https://www.researchgate.net/publication/291823790_The_Application_of_a_Lean_Software_Development_Methodology_within_the_Regulated_Domain_of_Medical_Device_Software). Acesso em: 20 jul. 2020.

CHAHAL, V.; NARWAL, M. An empirical review of lean manufacturing and their strategies. **Management Science Letters**, v. 7, n. 7, p.321-336, 2017.

Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/316602629\\_An\\_empirical\\_review\\_of\\_lean\\_manufacturing\\_and\\_their\\_strategies](https://www.researchgate.net/publication/316602629_An_empirical_review_of_lean_manufacturing_and_their_strategies). Acesso em: 20 jul. 2020.

COOPER, T. Inadequate life? evidence of consumer attitudes to product obsolescence. **Journal of Consumer Policy**, v. 27, p. 421-429, 2004.

Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/30637923.pdf> . Acesso em: 25 jul. 2020.

CORNELISSEN, R.; TRIENEKENS, J.; DENTONI, D. **What are the main challenges when implementing lean and how do industry and company characteristics influence these challenges?**. Wageningen University, 2013.

Disponível em: <https://edepot.wur.nl/286448>. Acesso em: 20 jul. 2020.

DA SILVA, M. G. Jidoka: conceitos e aplicação da automação em uma empresa da indústria eletrônica. **Revista Espacios**, v. 37, n.2, 2016. Disponível em: <https://www.revistaespacios.com/a16v37n02/16370218.html>. Acesso em: 20 jul. 2020.

DEPARTMENT OF DEFENSE. **Guide for achieving reliability, availability, and maintainability**. U.S.A. 2005. 266 p.

DEPARTMENT OF DEFENSE. **Military handbook, reliability prediction of electronic equipment MIL-HDBK-217F**. Washington DC, 1991. 205p.

DEPARTMENT OF DEFENSE. **Military handbook, reliability prediction of electronic equipment MIL-HDBK-217F (Notice 1)**. Washington DC, 1992. 37p.

DEPARTMENT OF DEFENSE. **Military handbook, reliability prediction of electronic equipment MIL-HDBK-217F (Notice 2)**. Washington DC, 1995. 80p.

DEPARTMENT OF DEFENSE. **Procedures for performing a failure mode, effects, and criticality analysis MIL-STD-1629A**. Washington DC, 1980. 54p.

DOS SANTOS, H. M.; FLORES, D. Os impactos da obsolescência tecnológica frente à preservação de documentos digitais. **Brazilian Journal of Information Science**, v. 11, n. 2, p.28-37, 2017. Disponível em:

<https://revistas.marilia.unesp.br/index.php/bjis/article/view/5550/4511>. Acesso em: 20 jul. 2020.

DODSON, B.; NOLAN, D. **Reliability engineering handbook**. New York: Marcel Dekker, 2002. 592p.

DOWN, R.J. **A survey of electronics obsolescence and reliability**. Victoria, Australia: Department of Defence, 2010. Disponível em: <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a531873.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2020.

ECONOMOU, M. The merits and limitations of reliability predictions. In: RELIABILITY AND MAINTAINABILITY ANNUAL SYMPOSIUM, 2004. **Proceedings...** 2004. p. 352-357.

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION (ECSS). **ECSS-E-ST-10C space product engineering** – system engineering general requirements. Noordwijk, Holanda, 2009a.

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION (ECSS). **ECSS-E-ST-10C failure modes, effects (and criticality) analysis (FMEA/FMECA)**. Noordwijk, Holanda, 2009b.

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION (ECSS). **ECSS-S-ST-00-01C: glossary of terms**. Noordwijk, The Netherlands, 2012. 63p.

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION (ECSS). **ECSS-P-001 standardization policy**. Noordwijk, The Netherlands, 2000

FIDES GROUP. **FIDES guide 2009**. [S.l.]: Edition A, 2009. 465p.

FLEEMAN, E. L.; SCHETZ, J. A. **Missile design and system engineering**. Reston, VA: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2012.

FRISK, E. **Model-based fault diagnosis applied to an SI-Engine**. Linköping, 1996. Disponível em: [https://www.fs.isy.liu.se/Publications/MSc/96\\_EX\\_1679\\_EF.pdf](https://www.fs.isy.liu.se/Publications/MSc/96_EX_1679_EF.pdf). Acesso em: 20 jul. 2020.

GIBSON, M. J.; KEMMERLY, K. G. Intercontinental ballistic missiles. In: AIR COMMAND (Ed.). **AU- 18 space primer**. Maxwell, Alabama: Air University Press, 2009. p. 235-248.

GIL, A. C. **Método e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008. p.80-99.

HAMILTON, P.; CHIN, G. Military electronics and obsolescence part 1: the evolution of a crisis. **COTS Journal**, v. 3, n. 3, p. 77–81, 2001.

HASTEDT, G. Reconnaissance satellites, intelligence, and national security. In: DICK, S.; LAUNIUS, R. (Ed.). **Societal impact of spaceflight**. Washington: U.S. Government Printing Office, 2007. p. 369-384.

HERALD, T.; VERMA, D.; LUBERT, C.; CLOUTIER, R. An obsolescence management framework for system baseline evolution: perspectives through the system life cycle. **Systems Engineering**, v. 12, n. 1, 2009. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/227731905\\_An\\_Obsolescence\\_Management\\_Framework\\_for\\_System\\_Baseline\\_Evolution-Perspectives\\_Through\\_the\\_System\\_Life\\_Cycle](https://www.researchgate.net/publication/227731905_An_Obsolescence_Management_Framework_for_System_Baseline_Evolution-Perspectives_Through_the_System_Life_Cycle). Acesso em: 20 jul. 2020.

HOCH, P. A. A obsolescência programada e os impactos ambientais causados pelo lixo eletrônico: o consumo sustentável e a educação ambiental como alternativas. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE DEMANDAS SOCIAIS E POLÍTICAS PÚBLICAS NA SOCIEDADE CONTEMPORÂNEA, 2016. **Anais...** 2016. Disponível em: <https://online.unisc.br/acadnet/anais/index.php/snpp/article/view/14704%20-%20acesso%2021/06/2018>. Acesso em: 20 jul. 2020.

HOWARD, M. A. Component obsolescence—It's not just for electronics anymore. In: FAA/DOD/NASA AGING AIRCRAFT CONFERENCE, 2002. **Proceedings...** 2002.

HUANG, H. **Development of predictive models for electromagnetic robustness of electronic components**. 2015. Tese (Doutorado em Micro e Nanosistema) – Université de Toulouse, Toulouse, 2015.

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS - IEEE. **Standard for application and management of the systems engineering process – description**. 1998. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/741941>. Acesso em: 20 jul. 2020.

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS - IEEE. **Reliability society**. Disponível em: <http://www.ieee.org/portal/site/relsoc/>. Acesso em: 20 jul. 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **Projeto CBERS**. 2018. Disponível em: <http://www.cbears.inpe.br>. Acesso em: 02 fev. 2019.

INTERNATIONAL COUNCIL ON SYSTEMS ENGINEERING - INCOSE. **Systems engineering handbook v.3.2.2: a guide for system life cycle processes and activities**. San Diego, CA: John Wiley and Sons, 2011. 386p.

INTERNATIONAL COUNCIL ON SYSTEMS ENGINEERING - INCOSE. **Systems engineering handbook v.3.1**. [S.l.]: INCOSE, 2007.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION - IEC. **Reliability data handbook: universal model for reliability prediction of electronics components, PCBs and equipment**. Genebra, 2003. IEC TR 62380.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION - IEC. **IEC/TC56:** definitions. Disponível em: <http://tc56.iec.ch/about/definitions.htm>. Acesso em: 20 jul. 2020.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION - IEC. **Electropedia:** the world's online electrotechnical vocabulary. Disponível em: <http://www.electropedia.org/iev/iev.nsf/index?openform&part=192>. Acesso em: 20 jul. 2020.

INTERNATIONAL ORGANISATION FOR STANDARDISATION - ISO. **Systems and software engineering:** system life cycle processes. ISO/IEC 15288, 2008. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/43564.html>. Acesso em: 20 jul. 2020.

IRESON, W.; COOMBS, C.; MOSS, R. **Handbook of reliability engineering and management**. New York: McGraw-Hill, 1996. 816p.

JAMEEL, A. L. **Lean electronics**. [S.l.]: Four Principles Na Abdul Latif Jameel Company, 2017.

JOHNSON JUNIOR, E. A. **Unmanned undersea vehicles and guided missile submarines:** technological and operational synergies. Alabama: Air University at the Maxwell Air Force Base, 2002. Disponível em: <https://research.au.af.mil/papers/ay2002/csat/csat27.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2020.

JUNQUEIRA, B. C.; MANEA, S. Utilização de COTS em nano satélites. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n.1, p. 1476-1490, 2020. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/viewFile/6021/5360>. Acesso em: 03 nov. 2020.

KARLS, J.; DICKENS, H.; SHON-ROY, L. **Status 1998:** a report on the integrated circuit industry. Arizona: ICE, 1998.

KEEBLE, D. **The culture of planned obsolescence in technology companies**. 2013. Thesis (Bachel in Business Information Technology) - Oulu University of Applied Sciences, Finland, 2013. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/38083105.pdf>.

KEMMLER, S.; EIFLER, T.; BERTSCHE, B.; HOWARD, T. J. Robust reliability or reliable robustness?. In: FACHTAGUNG TECHNISCHE ZUVERLÄSSIGKEIT, 27, 2015. **Proceedings...** 2015. p. 295-306.

LAFRAIA, J. R. B. **Manual de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade** Rio de Janeiro, RJ: Qualitymark, 2001. 374 p.

LEWIS, E. **Introduction to reliability engineering**. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1994.

LIKER, J. K.; MEIER, D. **O modelo Toyota**: manual de aplicação. Porto Alegre: Bookman, 2007.

LITTLEFIELD, M.; ROBERTS, M. **Reducing the cost of quality in electronics**. [S.l.]: LNS Research, 2013.

LOUREIRO, G. Conceitos básicos. In: \_\_\_\_\_. **Curso de engenharia de sistemas**. São José dos Campos: INPE, 2008. 28 slides.

MAGERA, M. **Os caminhos do lixo**: da obsolescência programada à logística reversa. Campinas, SP: Átomo, 2013. Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/613734/mod\\_resource/content/1/Magera\\_2012\\_Os\\_caminhos\\_do\\_lixo.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/613734/mod_resource/content/1/Magera_2012_Os_caminhos_do_lixo.pdf). Acesso em: 10 maio 2020.

MARTINS, D. C.; BARBI, I. **Introdução ao estudo dos conversores CC-CA**. Florianópolis: Edição dos autores, 2008.

MELO, P. R. S.; RIOS, E. C. S. D.; GUTIERREZ, R. M. V. **Componentes eletrônicos**: perspectivas para o Brasil. 2001. Disponível em: [https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/2725/1/BS%202013%20Componentes%20Eletr%C3%B4nicos\\_P.pdf](https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/2725/1/BS%202013%20Componentes%20Eletr%C3%B4nicos_P.pdf). Acesso em: 12 abr. 2020.

MEYER, A. **Management of component obsolescence in the military electronic support environment**. [S.l.]: Universidade Rand Afrikaans, 2002.

MEYER, A. **A model to manage component obsolescence in the South African context**. [S.l.]: Universidade Rand Afrikaans, 2004.

MEYER, A.; PRETORIUS, L.; PRETORIUS, J. H. C. A model to manage electronic component obsolescence for complex or long life systems. In: IEEE INTERNATIONAL ENGINEERING MANAGEMENT CONFERENCE, 2004, Singapore. **Proceedings...** IEEE, 2004. p. 1303-1309.

MEYER, A.; PRETORIUS, L.; PRETORIUS, J. H. C. A model using an obsolescence mitigation timeline for managing component obsolescence of complex or long life systems. In: IEEE INTERNATIONAL ENGINEERING MANAGEMENT CONFERENCE, 2004, Singapore. **Proceedings...** 2004. p. 1310-1313.

MEYER, B. C. Market obsolescence and strategic replacement models. **The Engineering Economist**, v. 38, p. 209–221, 1993. Disponível em: <http://escml.umd.edu/Papers/EngEconMOCA.pdf>. Acesso em: 04 nov. 2019.

MODARRES, M.; AMIRI, M.; JACKSON, C. **Probabilistic physics of failure approach to reliability: modeling**. 2015. Disponível em: <https://book.lat/3377742/1da64e?regionChanged=&redirect=20315044>. Acesso em: 02 fev. 2019.

MOORE, C.; SVETLIK, R.; WILLIAMS, A., Designing for reliability and robustness in international space station exercise countermeasures systems. In: IEEE AEROSPACE CONFERENCE, 2017. **Proceedings...** IEEE, 2017,

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION - NASA. **NASA systems engineering handbook**. Washington: NASA, 2007. NASA/SP-2007-6105 Rev 1. Disponível em: [https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/nasa\\_systems\\_engineering\\_handbook.pdf](https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/nasa_systems_engineering_handbook.pdf) . Acesso em: 01 fev. 2019.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION - NASA. **NASA reliability and maintainability (R&M) standard for spaceflight and support systems**. Washington: NASA, 2017. NASA-STD-8729.1A. Disponível em: <https://standards.nasa.gov/safety-quality-reliability-maintainability>. Acesso em: 20 jan. 2019.

NITHIA, K.K; NOORDIN, M. Y.; SAMAN, M. Lean production weaknesses in manufacturing industry: a review. **Applied Mechanics and Materials**, v. 735, p. 344-348, 2015. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/276388416\\_Lean\\_Production\\_Weaknesses\\_in\\_Manufacturing\\_Industry\\_A\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/276388416_Lean_Production_Weaknesses_in_Manufacturing_Industry_A_Review). Acesso em: 20 jun. 2020.

NOVACEK, J.; VIEHL A.; BRINGMANN, O.; ROSENSTIEL, W. Reasoning-supported robustness validation of automotive E/E components. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SEMANTIC COMPUTING (ICSC), 11., 2017. **Proceedings...** Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7889531>. Acesso em: 03 jan. 2020.

NWANYA, S.; OKO, A. The limitations and opportunities to use lean based continuous process management techniques in Nigerian manufacturing industries – a review. **Journal of Physics: Conference Series**, v.1378, e022086, 2019. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/338013996\\_The\\_limitations\\_and\\_opportunities\\_to\\_use\\_lean\\_based\\_continuous\\_process\\_management\\_techniques\\_in\\_Nigerian\\_manufacturing\\_industries\\_-\\_a\\_review](https://www.researchgate.net/publication/338013996_The_limitations_and_opportunities_to_use_lean_based_continuous_process_management_techniques_in_Nigerian_manufacturing_industries_-_a_review). Acesso em: 20 jun. 2020.

PARK, G.; HWANG, K., LEE, T.; LEE, K. Robust design: an overview. **AIAA Journal**, n. 44, p. 181-191, 2006. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/245426180\\_Robust\\_Design\\_An\\_Overview](https://www.researchgate.net/publication/245426180_Robust_Design_An_Overview). Acesso em: 29 abr. 2020.



PEIMBERT-GARCÍA, R.; LIMON-ROBLES, J.; WINDER, C.F.; BERUVIDES, M. (2011). Cost of quality and lean process improvement. In : ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE AMERICAN SOCIETY FOR ENGINEERING MANAGEMENT, 2011. **Proceedings...** ASEM, 2011. p. 540-546.

PEREIRA, S. M. **Determinação da energia descartada e da emissão de CO2 ao longo do ciclo de vida de produtos eletrônicos tendo em vista a obsolescência programada:** um estudo de caso de notebooks. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/172361/343193.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 15 jul. 2019.

PETERSEN, L. **The use of commercial components in defense equipment to mitigate obsolescence. a contradiction in itself?** [S.l.]: North Atlantic Treaty Organization, 2000.

PORTER, G. Z. **An economic method for evaluating electronic component obsolescence solutions.** Boeing Company White Paper, 1998. Disponível em: <https://www.dau.edu/cop/dmsms/DAU%20Sponsored%20Documents/Economic%20Method%20for%20Evaluating%20Electronic%20Component%20Obsolescence%20Solutions.pdf>. Acesso em: 02 maio 2019.

PRATES, C. C.; BANDEIRA, D. L. Aumento de eficiência por meio do mapeamento do fluxo de produção e aplicação do índice de rendimento operacional global no processo produtivo de uma empresa de componentes eletrônicos. **Gestão & Produção**, v. 18, n. 4, p. 705-718, 2011.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE (PMI). **Um guia do conhecimento em gerenciamento de projetos** (guia PMBOK). 5.ed. Newtown Square, PA: Project Management Institute, 2013. 589 p.

PSAROMMATIS, F.; PROUVOST, S.; MAY, G.; KIRITSIS, D. Product quality improvement policies in industry 4.0: characteristics, enabling factors, barriers, and evolution toward zero defect manufacturing. **Frontiers in Computer Science**, v. 2. 2020. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fcomp.2020.00026/full>. Acesso em: 09 maio 2020.

RABELLO, A. P. S. 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 (FMPE) a projetos.** Tese (Doutorado em Engenharia e Tecnologia Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2017. Disponível em: <http://mtc-m21b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/11.07.17.54/doc/publicacao.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2019.

RABELLO, A. P. S. S., SOUZA, M. L. O. **Relatório de comparação entre os métodos de cálculo para obtenção da taxa de falhas dos conectores “Retangular” e “Rack and Panel” do China Brazil Earth Resources Satellite CBERS 3&4.** São José dos Campos: INPE, 2011.

RAUSAND, M. et al. **System reliability theory: models, statistical methods, and applications.** 2 ed. [S.l.]: Wiley, 2004.

RAZMAH, M.; MASHAHADI, F.; ASHARI, N. The influence of lean six sigma and Kaizen to reduce defect products in automotive industry. **Journal of Emerging Economies and Islamic Research**, v. 5. 2017. Disponível em: <https://docplayer.net/96130462-The-influence-of-lean-six-sigma-and-kaizen-to-reduce-defect-products-in-automotive-industry.html>. Acesso em: 27 jul. 2020.

REALYVÁSQUEZ, A.; ARREDONDO-SOTO, K.; CARRILLO-GUTIÉRREZ, T.; RAVELO, G. Applying the Plan-Do-Check-Act (PDCA) cycle to reduce the defects in the manufacturing industry: a case study. **Applied Sciences**, v. 8, p. 1-17, 2018.

REIS, A. C. C. **Implementação da manufatura enxuta na General Motors do Brasil: avaliação do desdobramento do plano de negócios na planta S-10,** Dissertação (Mestrado) – Universidade de Taubaté , Taubaté, 2004. Disponível em: [http://www.bdt.unitau.br/tesesimplificado/tde\\_arquivos/3/TDE-2006-09-26T083348Z-51/Publico/reis-antonio\\_carlos\\_coutinho\\_dos.pdf](http://www.bdt.unitau.br/tesesimplificado/tde_arquivos/3/TDE-2006-09-26T083348Z-51/Publico/reis-antonio_carlos_coutinho_dos.pdf). Acesso em: 20 jul. 2020.

RELIABILITY ANALYSIS CENTER. **Failure mode / mechanism distribution, FMD-91.** Rome, NY, 1991. 365p.

RELIABILITY ANALYSIS CENTER. **Failure mode / mechanism distribution, FMD-97.** Rome, NY, 1997. 430p.

RELIASOFT CORPORATION. **Reliability engineering resource website.** Disponível em: <http://www.weibull.com> . Acesso em 20 jan. 2019.

RIBEIRO, C.E.V. **Estudo sobre algumas causas da indisponibilidade de componentes e serviços e seus efeitos sobre o ciclo de vida de um projeto aeroespacial.** Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2013.

SANTOS, H. M.; FLORES, D. Las vulnerabilidades de los documentos digitales: obsolescencia tecnológica y ausencia de políticas y prácticas de preservación digital. **Biblios: Journal of Librarian ship and Information Science**, n. 59, p. 45-54, 2015.

SCHENKEL, E. A. et al. Estudo de adesivos condutivos isotrópicos utilizados para a fixação de componentes eletrônicos. **Revista Matéria**, v. 11, n. 4, p. 420-426, 2006.

SELLITTO, M. Formulação estratégica da manutenção industrial com base na confiabilidade dos equipamentos. **Produção**, v.15, n.1, p.44-59, 2005.

SELLITTO, M.; BORCHADT, M.; ARAÚJO, D. Manutenção centrada em confiabilidade: uma abordagem quantitativa. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 22., 2002, Curitiba, PR. **Anais... ABEPRO**, 2002. Disponível em: [http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2002\\_TR17\\_0370.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2002_TR17_0370.pdf). Acesso em: 16 fev. 2020.

SILVA, J. A. Aspectos subjetivos do consumo e implicações no impacto ambiental. In: ENCONTRO DA SUSTENTABILIDADE EM PROJETO DO VALE DO ITAJAÍ, 2007. **Anais... 2007**.

SINGH, P. Obsolescence driven design refresh planning for sustainment-dominated systems. **The Engineering Economist**, v. 51, n. 2, p. 115-139, 2006.

SIQUEIRA, I. **Manutenção centrada em confiabilidade**. Rio de Janeiro: QualityMark, 2005.

SURFACE MOUNT TECHNOLOGY ASSOCIATION - SMTA. **Lean six sigma manufacturing case study defect reduction in equipment manufacturing**. Disponível em: <https://cdn.ymaws.com/smta.org/resource/resmgr/certification/lss-manufacturing-case-smta.pdf> . Acesso: 20 ago. 2020.

SOUZA, A. S. S.; SILVA, C. P. S.; FEIJÓ, N. M.; FERRÃO, P. S.; MADRUGA, V. F. P.; VIEIRA, V. M. A obsolescência planejada: uma reflexão frente aos problemas socioambientais do planeta. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 27., 2007. **Anais... 2007**.

SOUZA, M. L. O.; NETO, H. M., SOUSA, G. B. Use of dissimilar hardware architecture to mitigate design errors in a flight control system application. In: SAE BRAZIL CONGRESS & SHOW, 2009. **Proceedings... 2009**.

SOUZA, M. L. O.; CARVALHO, T. R. The fault avoidance and the fault tolerance approaches for increasing the reliability of aerospace and automotive systems. In: CONGRESS & SHOW SAE BRAZIL, 2005. **Proceedings... 2005**.

SOUZA, P. N. **Histórico do programa espacial brasileiro**. São José dos Campos: INPE, 2008. 36 slides. Curso introdutório em tecnologia de satélites.

TAKTICA CONSULTORIA. **O que é Lean**. Campinas: Business Center I, 2008.

TEIXEIRA, A. J. **Detecção identificação e reconfiguração de falhas múltiplas em sensores de sistemas lineares invariantes no tempo**. 2005. 312 p. Tese (Doutorado em Mecânica Espacial e Controle) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2005.

THOMPSON A.; LAYZELL P. Evolution of robustness in an electronics design. In: MILLER, J.; THOMPSON, A.; THOMSON, P.; FOGARTY, T.C. (Ed). **Evolvable systems: from Biology to hardware**. Berlin: Springer, 2000.

TRISCH, M. **Resfriamento de componentes eletrônicos por jatos sintéticos tangenciais**. [S.l.: s.n.], 2015.

VARDE, P. V. **Physics-of-failure based approach for predicting life and reliability of electronics components**. [S.l.: s.n.], 2010.

VASCONCELOS, Y. De mísseis a radares. **Revista Pesquisa FAPESP**, v. 212, out. 2013. Disponível em: <http://revistapesquisa.fapesp.br/2013/10/17/de-misseis-a-radares/>. Acesso em: 15 ago. 2020.

VEGA, O. A. Efectos colaterales de la obsolescencia tecnológica. **Facultad de Ingeniería**, v. 21, n. 32, p. 55-62, 2012.

VERNICA I.; WANG, H.; BLAABJERG, F. Design for reliability and robustness tool platform for power electronic systems — study case on motor drive applications. In: IEEE APPLIED POWER ELECTRONICS CONFERENCE AND EXPOSITION (APEC), 2018. **Proceedings...** Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8341261>. Acesso em: 03 jan. 2020.

WAHAB, A. N. A.; MUKHTAR, M.; SULAIMAN, R. A conceptual model of lean manufacturing dimensions. **Procedia Technology**, v. 11, p. 1292-1298, 2013.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **A mentalidade enxuta nas empresas: elimine o desperdício e crie riqueza**. Rio de Janeiro: Elsevier. 2004.

WRIGHT, D. H.; MCCLUSKEY, P. Uprating electronic components for use outside their temperature specification limits. **IEEE Transactions on Components, Packaging, and Manufacturing Technology**, v. 20, n. 2, p. 252-256, 1997.

YOGESH, M.; CHANDRAMOHAN, G.; THOMAS, G. Lean manufacturing in electronics & electrical manufacturing industry in India. **International Journal of Scientific & Engineering Research**, v. 5, n. 12, 2014.

ZAMBON, A. C. et al. Obsolescência acelerada de produtos tecnológicos e os impactos na sustentabilidade da produção. **RAM. Revista de Administração Mackenzie**, v. 16, n. 4, p. 231-258, 2015.

ZARCHAN, P. **Tactical and strategic missile guidance**. 6.ed. Reston, Va.: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2012.

## **APÊNDICE A - OBSOLESCÊNCIA**

### **A.1 Objetivo**

Neste Apêndice, faz-se uma compilação da literatura citada sobre a obsolescência; e discutem-se as responsabilidades do fabricante, do usuário e das autoridades políticas envolvidas no processo da redução da vida útil dos equipamentos eletrônicos sob uma nova perspectiva.

Algumas teorias dizem que a obsolescência – tecnológica, psicológica ou planejada - seria uma invenção norte americana. Por esse motivo, a próxima seção destacará, através de alguns dos principais marcos da história, como as várias formas de obsolescência se manifestaram nos Estados Unidos desde o século XX (ZAMBON et al, 2015). E, será apresentada uma análise de algumas tipologias de obsolescência, elaboradas por DOS SANTOS; FLORES (2015), a fim de analisar uma que se adapte ao tratamento da obsolescência de produtos eletrônicos. Finalizando, será apresentada uma discussão crítica sobre a influência do usuário, do fabricante e das autoridades políticas sobre a diminuição da vida útil dos produtos eletrônicos; e algumas de algumas mudanças e impactos tecnológicos-comerciais, físico-técnicos e ambientais.

### **A.2 A história da obsolescência do século XX nos EUA**

É como resultado de uma inovação tecnológica que uma das primeiras formas de **obsolescência tecnológica** ocorreu, quando as antigas e desconfortáveis manivelas dos carros foram substituídas por partidas elétricas automáticas. Originalmente instalado pelo fabricante Cadillac em 1912, os motores de arranque elétricos foram posteriormente adotados por todo o mercado automotivo na década de 1920. Naquela época, eram principalmente os homens que dirigiam, porque os carros precisavam manipular uma manivela de partida, impraticável para as mulheres por causa da força necessária para ativá-lo. A introdução de motores de partida elétrica contribuiu, em parte, para a emancipação das mulheres que viam seu acesso à direção de um carro mais fácil (DOS SANTOS; FLORES, 2017).

Essa inovação tornou obsoletos os veículos a manivela e resultou na feminização da base de clientes dos carros. Para se adaptar a esses novos clientes, mas também para se diferenciar de seu principal concorrente Ford, a General Motors (GM) introduziu em 1923 uma política de diferenciação, propondo: "Um carro para todos de acordo com seus meios e necessidades". É em resposta à comercialização de uma escolha mais variada de produtos que surgem as primeiras formas de **obsolescência psicológica**. Na busca de competir com a Ford, a GM instituiu o conceito de segmentação de mercado para oferecer diferentes categorias de carros, de acordo com os vários perfis de clientes (PEREIRA et al, 2016).

No início da década de 1930, o consumo das famílias nos EUA caiu drasticamente devido à Grande Depressão, que resultou no acúmulo de grandes estoques não vendidos pelas empresas (HOCH, 2016). Nesta situação de crise econômica, os fabricantes decidiram usar materiais de menor qualidade, oferecendo aos clientes produtos mais baratos (ZAMBON et al, 2015). Vários autores associam o nascimento da **obsolescência programada** à crise econômica da década de 1930. Não obstante, pode-se questionar o surgimento desse fenômeno em relação às verdadeiras intenções dos fabricantes da época: a redução da expectativa de vida não foi a consequência causal de uma decisão tomada pelos fabricantes para reduzir seus custos de produção e oferecer produtos mais baratos? Não há estudo para determinar se os fabricantes realmente planejaram, naquele momento, uma diminuição da vida útil dos produtos manufaturados. No final da década de 1930, as várias formas de obsolescência (psicológica, tecnológica etc.) foram estendidas a todos os produtos fabricados nos Estados Unidos, como eletrodomésticos, móveis, sapatos, roupas e produtos eletrônicos, incluindo rádios e câmeras (DOS SANTOS; FLORES, 2015).

No final da Segunda Guerra Mundial, a sociedade americana teve um novo começo. A retomada das atividades industriais, caracterizada pela generalização do modelo fordista a outras indústrias, possibilitou produzir mais a um custo menor. O trabalho árduo foi compensado pelo aumento dos salários

dos trabalhadores. Numa sociedade pós-guerra em rápida mudança, a classe média viu seu poder de compra aumentar três ou quatro vezes, o que levou a um aumento no consumo. O governo dos EUA, juntamente com os bancos, aumentou o consumo das famílias ao introduzir o cartão de crédito em 1950. Com esse novo método de pagamento, a compra tornou-se instantânea, o que mudou profundamente a maneira como as famílias consomem. Esse momento de consumo também foi acentuado pela diversificação da oferta, principalmente com o surgimento de marcas, embalagens e marketing. Alguns produtos, como automóveis e eletrodomésticos, tornaram-se emblemáticos dessa sociedade de abundância. A posse de novos produtos e propriedades começou a se tornar um vetor importante do status social das famílias na década de 1950, o que favoreceu a implantação de diferentes formas de obsolescência (VEGA, 2012).

Durante a década de 1960, os estilos de vida e as ambições dos jovens trabalhadores, que representavam a primeira geração nascida após a guerra (a dos *babies boomers*), estavam em profunda ruptura com os de seus idosos. A década de 1960, caracterizada pela democratização da cultura e da moda, correspondia a uma sociedade cada vez mais focada no consumo de bens. Os jovens eram grandes consumidores de música, filmes e roupas da moda. Eles exibiram um estilo de vida refletindo os valores cada vez mais efêmeros da sociedade de consumo. Foi nesse período que nasceu o conceito de **produto descartável**. Roupas como gola e mangas de camisa, pôsteres, vestidos, navalhas, lenços, pratos e fraldas foram usadas uma ou duas vezes antes de serem jogadas fora. A década de 1960, influenciada pela Pop Art, marcou o início do reinado de produtos de consumo de curta duração, banalizando a ideia de descartável. Esses produtos eram populares como produtos higiênicos, fáceis de usar, livres de manutenção e respondiam aos estilos de vida efêmeros da época (PEREIRA et al, 2016).

Nesta abundante cultura material da década de 1960, houve uma grande mudança de perspectiva com a Revolução da Paz. Conduzido pelos hippies, esse movimento de contracultura do final dos anos 1960 denunciou a guerra, o capitalismo, a sociedade industrial e a opressão das liberdades individuais.



Essa revolta, apoiada por vários intelectuais americanos como Ralph Nader, Vance Packard e exilados na América, perto da Escola de Frankfurt, foi uma das primeiras a questionar o funcionamento da sociedade de consumo e reivindicar produção de **bens mais ecológicos**. Apesar da Revolução da Paz, as décadas seguintes foram marcadas por uma sociedade de abundância material em que o consumo era percebido como um meio de melhorar o bem-estar individual e coletivo (HOCH, 2016).

No início dos anos 80, uma pesquisa da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) denunciou, por sua vez, o **uso intensivo e não renovável de recursos naturais**, bem como os **resíduos** causados pelo consumo de bens de vida curta nos anos 90. Esse contexto levou à conscientização de diferentes disciplinas associadas à fabricação de produtos, incluindo o *design* industrial. Em 1992, foi realizada uma reunião com vários líderes no Brasil em uma Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (Rio-92), que criou uma consciência geral dos **impactos ambientais** dos padrões de produção e consumo dos países desenvolvidos. Um compromisso com um desenvolvimento mais sustentável emergiu em nível internacional e atenção especial foi dada à vida útil dos bens de consumo. Esse contexto estimulou o desenvolvimento de abordagens e ferramentas para minimizar os impactos ambientais de produtos, como o *design* ecológico, um conceito que foi aprimorado progressivamente através das preocupações sociais e econômicas do ciclo de vida dos produtos. Ao mesmo tempo, algumas organizações, incluindo a *Eternally Yours Foundation*, desenvolveram interesses diferentes da pesquisa do **ciclo de vida** dos produtos, como estratégias para otimizar sua vida útil, abordagens de *design* para prolongar sua vida útil, o estudo das relações usuário-objeto/produto e estratégias de melhoria da obsolescência (DOS SANTOS; FLORES, 2015).

É esse contexto histórico e social que, ao longo dos anos, levou a uma mudança nas preocupações sobre o **prazo de validade dos produtos**. Enquanto, na década de 1930, os debates em torno da obsolescência se concentravam na **qualidade dos produtos**, agora eles se concentram nos

**impactos ambientais** associados aos bens com uma **vida útil curta** (ZAMBON et al, 2015). Sob a influência dos regulamentos implementados principalmente na União Europeia, as empresas melhoraram hoje seus processos de produção para **otimizar o uso de energia e recursos naturais**. No entanto, os benefícios das inovações tecnológicas nos processos de fabricação não são mais suficientes para conter o aumento contínuo do consumo global de mercadorias (DOS SANTOS; FLORES, 2017).

Existe uma falta geral de evidência de que apenas a melhoria do produto será suficiente para levar a economia a um caminho mais responsável. As famílias têm um número crescente de equipamentos eletrônicos cuja vida útil está diminuindo, especialmente no caso de novos produtos de tecnologia da informação e comunicação. Por exemplo, a vida útil de um computador foi de quatro anos e meio em 1992, para três anos em 1998 e dois anos em 2006. Os telefones celulares projetados para durar cinco anos são eliminados pelo usuário após dezoito meses. Além das inovações tecnológicas que poderiam explicar o fim prematuro da vida útil dos equipamentos eletrônicos, quais são as razões para sua eliminação frequente? Quem são os atores que influenciam a vida dos equipamentos eletrônicos? Para fornecer algumas respostas para essas perguntas, a próxima seção apresenta uma análise de **várias tipologias de obsolescência** (PEREIRA et al, 2016).

À luz dessas questões, é essencial focar nas várias formas de obsolescência, planejadas, tecnológicas, psicológicas ou econômicas, que influenciam a natureza da relação usuário / objeto (VEGA, 2012). Na seção seguinte serão analisadas algumas tipologias de obsolescência.

### **A.3 Análise de algumas tipologias de obsolescência**

Como mencionado, a obsolescência assume várias formas. Seja **psicológica, tecnológica, econômica ou planejada**, sempre reflete uma situação em que um ou mais fatores estão envolvidos na redução da vida de um produto. É por esse motivo que autores de diferentes disciplinas, como Economia e Ciências Sociais, *Design*, Direito e Marketing, desenvolveram **tipologias de obsolescência**, enfatizando a influência do fabricante, autoridades políticas e o

usuário no processo de obsolescência (HOCH, 2016). As terminologias da obsolescência diferem de acordo com os autores, bem como as conclusões relativas à responsabilidade dos atores envolvidos na redução da vida útil dos produtos. Uma análise das principais tipologias da obsolescência permitirá discutir, através das várias formas de obsolescência, os principais fatores envolvidos na redução da vida útil dos produtos (PEREIRA et al, 2016). Com base nessa análise, é proposta uma nova tipologia de obsolescência adaptada ao contexto dos produtos/componentes eletrônicos. Esse modelo permitirá compreender melhor a complexidade dos fatores envolvidos na redução da vida útil dos produtos/componentes eletrônicos.

Resultante de um trabalho de análise realizado com os principais textos científicos sobre obsolescência, fornece-se uma síntese das principais tipologias presentes na literatura. O principal objetivo é identificar, de acordo com a posição de cada autor e a terminologia utilizada na obsolescência, os principais fatores envolvidos na redução da vida útil dos produtos/componentes eletrônicos (DOS SANTOS; FLORES, 2017).

À primeira vista, a responsabilidade do fabricante na obsolescência de produtos é geralmente bem identificada, enquanto a do usuário e das autoridades políticas na redução da vida parece menos reconhecida e aparenta ser, como resultado, mais marginal. Mais especificamente, há muito tempo é denunciado o envolvimento do fabricante na redução da vida útil dos produtos. Esses índices, que reconhecem principalmente a influência do fabricante, colocam a **obsolescência planejada** no centro de suas tipologias. Eles identificam várias estratégias implementadas pelo fabricante, levando à diminuição da vida útil dos produtos (VEGA, 2012).

Deste modo, a obsolescência está posicionada em um contexto em que o fabricante é o principal responsável por reduzir a vida útil dos produtos (HAMILTON; CHIN, 2001). É por esse motivo que Dos Santos e Flores (2017) basearam seu modelo em uma crítica da **obsolescência planejada**. Embora reconheçam e entendam a obsolescência das funções, apenas se as inovações tecnológicas permitirem projetar produtos mais eficientes, eles se

rebelam contra a **obsolescência da qualidade**, criticando a deterioração intencional pelo fabricante da qualidade das mercadorias; bem como a **obsolescência psicológica** em que eles consideram o consumidor vítima da moda. Segundo isso, a influência do fabricante é materializada principalmente no nível da vida útil técnica, influenciada pela qualidade da produção (obsolescência por padrão). Enfatiza-se principalmente a influência do usuário na diminuição da vida útil dos produtos pela insatisfação em usá-lo ou por uma mudança de necessidade (DOS SANTOS; FLORES, 2017).

O usuário parece ser o principal responsável pelo fim prematuro da vida (**obsolescência relativa**) que é o descarte de um bem, funcional ou reparável, enquanto o fabricante é responsável pelo fim da vida técnica (**obsolescência absoluta**). Embora, em teoria, essas duas tipologias sejam relevantes, elas podem ser menos adequadas na prática. Mesmo que por suas escolhas (materiais, *design*, produção), o fabricante influencie principalmente a vida técnica de um produto, a maneira como o usuário o utiliza - por exemplo, a manutenção que ele oferece ao bem, a frequência e a intensidade do uso - também influencia essa vida útil técnica. No caso de final de vida útil prematuro, o fabricante também pode ter uma influência significativa na **obsolescência econômica**, por exemplo, dependendo da disponibilidade e do custo de peças de reposição (HOCH, 2016).

Enfatiza-se a disposição dos fabricantes de planejar a vida útil dos produtos, escolhendo materiais que degradam rapidamente, agindo na qualidade do produto ou limitando os reparos. A **obsolescência tecnológica** também destaca a influência do usuário na aceitação ou rejeição de inovações. Se um novo modelo apresentar melhorias que são percebidas como pormenores pelo usuário, seu *marketing* pode ser um fracasso. Segundo este conceito, a obsolescência tecnológica está na origem da substituição de um número maior de produtos que a **obsolescência física**. Em outras palavras, o produto eliminado pelo usuário provavelmente será funcional ou reparável (VEGA, 2012).

Revela-se a influência do fabricante na vida útil dos produtos por meio da **obsolescência tecnológica e econômica**, uma vez que os métodos de fabricação em módulos dificultam o reparo de produtos e também dificultam na transposição de inovações tecnológicas de um modelo para outro. Quanto à **obsolescência tecnológica**, se menciona o papel central das autoridades políticas na promoção da comercialização de produtos certamente mais eficientes, mas também menos prejudiciais ao meio ambiente. Como exemplo, Dos Santos e Flores (2017) explica que o subdesenvolvimento do mercado de veículos híbridos se deve à influência de grupos de *lobby* da indústria automobilística e previsões de reservas de petróleo (DOS SANTOS; FLORES, 2017).

Enquanto se menciona o envolvimento de fabricantes e autoridades políticas na **obsolescência tecnológica**, Dos Santos e Flores (2017) explicam a influência do usuário através da **obsolescência psicológica**, que se divide em **obsolescências estética e social**. Enquanto essas tipologias explicam as razões psicológicas, estética objetiva e subjetiva, para a qual o usuário troca produtos, se acrescenta uma dimensão social como um elemento que pode explicar o fim da vida prematura de um bem.

Embora a literatura seja relativamente abundante em relação aos modelos de obsolescência, nenhuma tipologia é especificamente dedicada ao contexto de produtos/componentes eletrônicos, ainda que esta seja uma das categorias de bens mais afetadas por esse fenômeno (HOCH, 2016). A presente tipologia, baseada nas obsolescências **absoluta e relativa**, difere dos modelos centrados na obsolescência **planejada**, que enfatizam principalmente a influência do fabricante na redução da vida útil dos dispositivos. A obsolescência **programada = planejada** não está representada nesta tipologia, pois pode se manifestar tanto para a obsolescência absoluta quanto relativa, considerando a seguinte definição: um conjunto de estratégias implementadas pelo fabricante para que ele possa prever o período após o qual um bem não deve mais ser funcional (obsolescência **absoluta**) ou desejado (obsolescência **relativa**) por seu usuário (PEREIRA et al, 2016).

Essa tipologia, como as presentes na literatura, oferece uma visão muito teórica das situações de obsolescência de equipamentos eletrônicos, onde: 1) o usuário é mais responsável pelo fim prematuro da vida útil; e 2) o fabricante, é mais responsável pelo fim da vida técnica; considerando que o envolvimento das autoridades políticas não está realmente representado (ZAMBON et al, 2015). A influência do usuário é reconhecida principalmente em termos de obsolescência **psicológica**, incluindo características estéticas e mudanças na situação pessoal e profissional. No entanto, persiste um dilema sobre as obsolescências **tecnológica, econômica e ecológica**, onde as responsabilidades podem parecer mais compartilhadas entre os fatores (HAMILTON; CHIN, 2001). Como pode ser revelado pela análise de escritores-chave, alguns autores estão mais preocupados com a responsabilidade do consumidor pela obsolescência **tecnológica e econômica** dos produtos, e outros, o do fabricante (DOS SANTOS; FLORES, 2017).

Dependendo da situação, o usuário pode ser tentado a possuir o produto mais recente ou forçado a alterá-lo, se o que ele possuir não for mais compatível com as tecnologias do momento. No que diz respeito à obsolescência **econômica**, o usuário pode ignorar a possibilidade de reparar seu dispositivo ou, pelo contrário, tentar um reparo cujo custo e tempo podem ser muito altos em comparação à aquisição de um novo produto (VEGA, 2012). No que diz respeito à obsolescência **ecológica**, a influência das autoridades políticas é sublinhada, em particular pela implementação de estratégias destinadas a remover do mercado produtos que consomem energia (HOCH, 2016). Em todos os casos, parece muito complexo identificar os responsáveis pelo fim prematuro da vida, e aventureiro invocar apenas o papel do fabricante (PORTER, 1998).

#### **A.4 Análise de algumas mudanças tecnológicas - comerciais no mercado em geral**

O surgimento de modelos de **inovação coletiva**, de **inovação colaborativa**, provocou um grande debate nos últimos anos. A inovação coletiva, na qual as empresas confiam menos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) internos e mais em fontes externas, é freqüentemente marcada como uma mudança fundamental no cenário da inovação. Agora, existem dados objetivos para apoiar esta declaração? Os dados são examinados em mais detalhes e a evolução dos mercados de tecnologia e seu papel na promoção de práticas de inovação coletiva e colaborativa são refletidos. Os dados são baseados nas conclusões do Relatório Mundial sobre Propriedade Intelectual: Os Novos Parâmetros da Inovação, publicado em novembro de 2011.

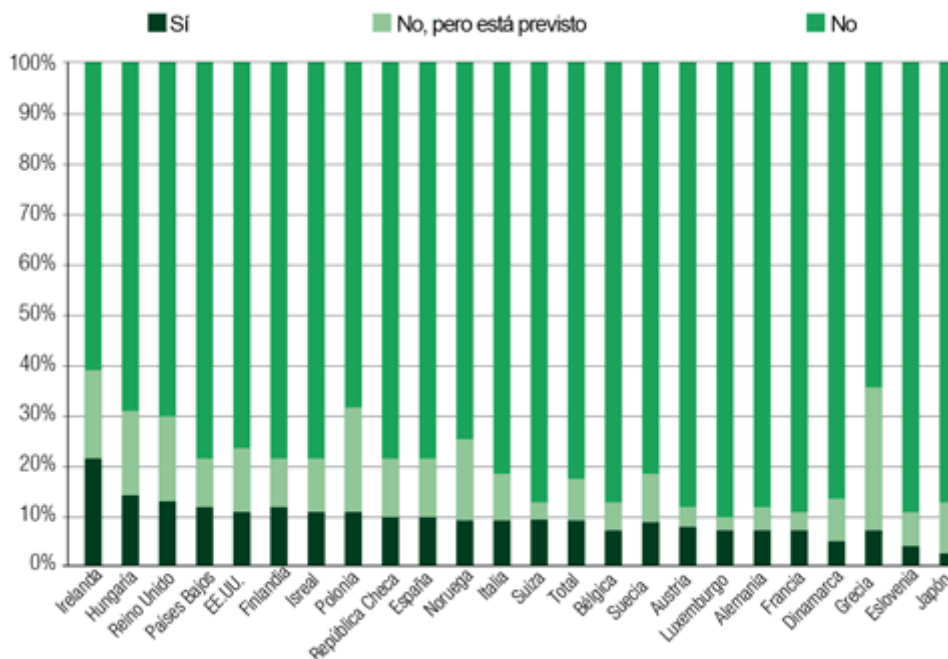
Os mercados de tecnologia desempenham um papel fundamental na facilitação da inovação coletiva. Eles fornecem uma estrutura na qual as empresas podem obter licenças para invenções que complementem e melhorem seus objetivos de negócios. Da mesma forma, eles permitem que as empresas obtenham renda com licenciamento de invenções de que não estão interessadas em desenvolver ou comercializar (TRISCH, 2015).

A **inovação coletiva** incentiva uma troca frutífera de ideias e promove a continuidade da inovação. Na indústria de *smartphones*, as empresas adquirem tecnologias de vários fabricantes de equipamentos e programas para criar uma ampla gama de produtos de consumo. A Apple Inc., por exemplo, complementa seu próprio conhecimento técnico com a aquisição de licenças de tecnologias básicas de empresas como Qualcomm Inc. e Samsung para criar seus atraentes dispositivos de alto desempenho (SCHENKEL et al, 2006).

As empresas estão cada vez mais concedendo licenças de suas invenções para gerar renda adicional. Pesquisas indicam que uma em cada cinco empresas europeias, uma em quatro empresas japonesas e uma em sete empresas norte-americanas possuem licenças de tecnologias patenteadas. Quando o número de empresas que desejam vender licenças em suas

invenções é levado em consideração, a porcentagem aumenta significativamente (Figura A.1).

Figura A.1 - O potencial para licenciamento de patentes está longe de ser esgotado.



Fonte: Trischi (2015).

Em alguns casos, as licenças constituem a base sobre a qual uma empresa é construída. Assim, por exemplo, a empresa americana Qualcomm dedica-se ao negócio de desenvolver tecnologias inovadoras para conceder licenças a fontes externas. Esses contratos de licença com pagamentos de *royalties* geram uma proporção significativa - 36% em 2015 - da receita da empresa. Para a Qualcomm, é fundamental sua capacidade de conceder licenças de uso de sua tecnologia em todo o mundo a mais de 190 fornecedores de dispositivos sem fio, equipamentos e softwares relacionados e obter um retorno razoável do licenciamento de suas patentes (TRISCH, 2015).

Empresas especializadas, que desenvolvem sua vantagem competitiva em uma área específica e se beneficiam licenciando suas tecnologias, formam a base e fomentam a prática da inovação colaborativa. Ressalte-se que o modelo de negócios concedendo inúmeras licenças para a tecnologia e reinvestindo em P&D - está facilitando o sucesso de muitas outras empresas na cadeia de



valor do setor de comunicação sem fio. A ampla disseminação das invenções gerou concorrência entre provedores de serviços e provedores de dispositivos, o que aumentou a escolha dos consumidores e abriu novas oportunidades econômicas para empresas de outros setores relacionados (PRATES; BANDEIRA, 2011).

O surgimento dos **mercados de tecnologia** foi impulsionado por dois fatores principais: maior uso da Propriedade Intelectual (PI) e crescente grau de colaboração entre empresas.

Os direitos de propriedade intelectual convertem ativos intelectuais em produtos comercializáveis. Uma patente, por exemplo, confere o direito de impedir que outras pessoas fabriquem e ofereçam para venda o material definido pelas reivindicações do documento de patente. Essas reivindicações, que definem o escopo da proteção, descrevem os limites de um ativo intelectual, permitindo ao detentor da patente impedir que outros abusem da tecnologia protegida. Esses direitos podem ser aplicados e são transferíveis. Como tal, um ativo intelectual patentado pode ser vendido a terceiros por uma determinada taxa. Esses tipos de transações são freqüentes no ambiente de inovação coletiva (SCHENKEL et al, 2006).

O Sistema de Patentes também contribuiu para impulsionar os mercados de tecnologia na medida em que o requisito de divulgação, de acordo com a Lei de Patentes (o requerente deve descrever a invenção reivindicada em detalhes suficientes para que um especialista na técnica possa fazê-lo), é uma fonte rica de informações tecnológicas gratuitas e disponíveis para qualquer pessoa, ao rastrear as informações publicadas sobre patentes por meio de bancos de dados *on-line*. Essas informações também podem levar a novas ideias para inovação ou novas aplicações das tecnologias existentes. Estudos mostram que os inventores do Japão foram rápidos em reconhecer e tirar proveito dessas oportunidades. O monitoramento rigoroso das informações de patentes também ajuda a proteger contra a violação inadvertida dos direitos de terceiros.

Os economistas argumentam que os mercados de tecnologia não funcionam de maneira ideal quando o sistema de PI é fraco, pois as empresas relutam em conceder licenças para suas tecnologias diante do alto risco de roubo de PI, o que reduz o repertório de tecnologias disponíveis para licenciamento e inibe a inovação coletiva e a continuidade da inovação (SCHENKEL et al, 2006).

No entanto, um regime robusto de PI pode aumentar o custo de aquisição de tecnologias. Em ambientes onde a inovação é cumulativa e a propriedade de tecnologias básicas é distribuída entre muitos detentores de direitos, os licenciados são vulneráveis à "acumulação de *royalties*" (o que aumenta o custo de desenvolvimento de novas invenções devido à soma dos royalties incorridos como resultado da negociação com cada detentor da patente) e o risco de "cativo" de sua invenção (quando um detentor da patente pode se recusar a conceder a licença em uma tecnologia básica, ou somente o fará em troca do pagamento de *royalties* mais altos). Isso também inibe a continuidade da inovação.

Embora seja difícil encontrar o equilíbrio certo para a proteção de PI, mais e mais dados indicam que os mercados de tecnologia, quando existem, facilitam a inovação coletiva (PRATES; BANDEIRA, 2011).

As receitas geradas pelos mercados de tecnologia estão crescendo rapidamente. Durante o período de 1990 a 2009, os *royalties* e direitos de licença derivada da venda internacional de ativos intelectuais cresceram a uma taxa média anual de 9,9%. Em comparação, no mesmo período, o valor gerado pelas importações mundiais de mercadorias aumentou em média a uma taxa de 6,5% ao ano (SCHENKEL et al, 2006).

Um número crescente de países está participando dos mercados de tecnologia. Em 1990, apenas 62 países adquiriram licenças de tecnologias de outros países, mas, em 2007, havia 147 países que o fizeram. Da mesma forma, em 1990, 43 países concederam licenças para suas tecnologias, enquanto, em 2007, esse número alcançou 143 países (MELO; RIOS; GUTIERREZ, 2001).

Embora praticamente todas as tecnologias em que as licenças são concedidas tenham origem em países de alta renda, há pequenas mudanças na composição geográfica dos países que compram e vendem tecnologias. Na última década, a proporção da renda de países de renda média (como Brasil, China e Índia) envolvida na venda e compra de tecnologias em todo o mundo aumentou de 1% em 1999 para 2% em 2009.

Embora os mercados de tecnologia estejam em desenvolvimento, o crescimento permanece concentrado em alguns setores que se destacam, como Biotecnologia, Eletrônica, Semicondutores e Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC). A inovação nesses setores tende a ser cumulativa (onde a nova inovação se baseia em novas formas de tecnologias patenteadas existentes ou as utiliza), de modo que o licenciamento se torna um pré-requisito para a continuidade da inovação. Esses setores estão mais bem preparados naturalmente para participar dos mercados de tecnologia (DA SILVA, 2016).

Apesar dos sinais de crescimento, o mercado de tecnologia ainda está engatinhando. Os dados, quando existem, mostram que o número de transações nos mercados de conhecimento permanece baixo. As empresas pesquisadas em alguns países de alta renda no período de 2013 a 2015 expressaram sua disposição de conceder licenças para suas tecnologias, mas disseram que não podiam fazê-lo. Nos Estados Unidos, das empresas de capital aberto que divulgam detalhes da receita de licenças, apenas algumas geraram receita com o licenciamento, que geralmente representava entre 1% e 3% de suas receitas totais (PRATES; BANDEIRA, 2011).

Os dados indicam uma tendência positiva de crescimento nos mercados de tecnologia e um amplo interesse em participar deles. Então, por que esses mercados não são mais proeminentes? Há duas explicações possíveis, relacionadas às características específicas dos ativos intelectuais e aos problemas relacionados à sua compra e venda.

Os ativos intelectuais são "bens" muito especializados. Isso dificulta o processo de ajuste entre compradores e proprietários de tecnologia. A avaliação da

"adequação" de uma determinada tecnologia às necessidades de uma empresa pode ser difícil. Em muitos casos, as tecnologias disponíveis não estão prontas para funcionar imediatamente, mas devem ser configuradas de acordo com as necessidades específicas do licenciado. Além disso, por razões estratégicas, o licenciante pode decidir reter um conhecimento técnico decisivo que pode ser útil para o licenciado, o que dificulta o uso da tecnologia por completo.

Além disso, ao contrário de uma bolsa de valores, que facilita a transação de ações, tradicionalmente existem poucos mercados que reúnem compradores e vendedores. Isso significa que existem poucos, se houver, parâmetros de referência para avaliar o preço de mercado de ativos semelhantes (DA SILVA, 2016).

Em resposta a esses desafios, estão surgindo novos intermediários que facilitam as transações de tecnologia. Isso inclui câmaras de compensação, trocas, leilões e empresas de corretagem de PI. Estas novas entidades comerciais oferecem uma ampla gama de serviços, como suporte para gerenciamento de PI, plataformas de negociação de PI, criação de portfólios e concessão de licenças PI e estruturas de troca de patentes, às vezes chamadas de agregação preventiva de patentes (PRATES; BANDEIRA, 2011).

Não há análises detalhadas da magnitude e do alcance reais das transações que ocorrem através desses intermediários. Há indícios, no entanto, de que começa a haver atividade vinculada a leilões de patentes, embora em níveis baixos. Mais análises são necessárias para determinar em que medida a colaboração desses intermediários está facilitando a inovação coletiva. (SCHENKEL et al, 2006).

Embora o nível de transações permaneça baixo comparado ao comércio de mercadorias, os mercados de tecnologia estão evoluindo e mostrando grande potencial de crescimento. Se as tendências atuais forem mantidas, é provável que muitas outras empresas entrem no mercado de tecnologia, com o objetivo de adquirir novas tecnologias para continuar inovando e gerar novas fontes de

receita licenciando suas próprias tecnologias. Embora leve algum tempo até os mercados de tecnologia amadurecerem, sua constante evolução promete abrir muitas possibilidades novas e estimulantes de inovação. É, sem dúvida, um setor que não se deve perder de vista (DA SILVA, 2016).

#### **A.5 Análise de algumas mudanças tecnológico - comerciais no mercado dos componentes eletrônicos**

A Era da Eletrônica começou com a invenção do transistor em 1947 e a tecnologia de semicondutores à base de silício. Sete décadas depois, as pessoas estão cercadas por dispositivos eletrônicos e, por mais que se tente negar, confia-se neles na vida cotidiana (DOS SANTOS; FLORES, 2017).

O desempenho de dispositivos baseados em silício melhorou rapidamente nas últimas décadas, principalmente devido a novas tecnologias de processamento e padronização, enquanto a Nanotecnologia permitiu a miniaturização e redução de custos. Por muitos anos, o silício permaneceu a única opção na Eletrônica. Porém, desenvolvimentos recentes em Engenharia de Materiais e Nanotecnologia introduziram novos caminhos para a Eletrônica. Embora a eletrônica tradicional de silício continue sendo o foco principal, tendências alternativas estão surgindo.

O interesse no campo começou com a descoberta do grafeno, uma variante estrutural do carbono. Os átomos de carbono no grafeno formam uma estrutura bidimensional hexagonal, e essa camada espessa de átomos atraiu a atenção devido à sua alta condutividade elétrica e térmica, flexibilidade mecânica e resistência à tração muito alta. Pode-se ter iniciado essa revolução 2D na Eletrônica, mas siliceno, fosforeno e estaneno, alótropos de silício, fósforo e estanho com espessura de átomo, respectivamente, têm uma estrutura de favo de mel semelhante, mas com propriedades diferentes, resultando em aplicações diferentes.

Todos têm o potencial de alterar a Eletrônica como a conhecemos, permitindo miniaturização, maior desempenho e redução de custos. Várias empresas em

todo o mundo, incluindo a Samsung e Apple, estão desenvolvendo dispositivos baseados em grafeno (PRATES; BANDEIRA, 2011).

Ao contrário dos condutores e semicondutores inorgânicos convencionais, os materiais eletrônicos orgânicos são construídos a partir de moléculas ou polímeros orgânicos (à base de carbono), usando síntese química. A Eletrônica Orgânica não se limita à condução de polímeros, mas inclui outros materiais orgânicos que podem ser úteis na Eletrônica. Isso inclui uma variedade de corantes, complexos orgânicos de transferência de carga e muitas outras moléculas orgânicas.

Em termos de desempenho e desenvolvimento industrial, moléculas e polímeros orgânicos ainda não podem competir com seus equivalentes inorgânicos. No entanto, a Eletrônica Orgânica tem algumas vantagens sobre os materiais eletrônicos convencionais. Baixos custos de material e produção, flexibilidade mecânica, adaptabilidade dos processos de síntese e biocompatibilidade tornam a Eletrônica Orgânica uma escolha desejável para determinadas aplicações (DOS SANTOS; FLORES, 2017).

Os produtos de alta tecnologia comercialmente disponíveis, que dependem de semicondutores orgânicos, como telas curvas de televisão, monitores para smartphones, fontes de luz coloridas e células solares portáteis, demonstram a maturidade industrial da Eletrônica Orgânica. De fato, várias empresas de alta tecnologia, investiram em dispositivos eletrônicos-orgânicos baratos e de alto desempenho. Espera-se que o mercado de eletrônicos orgânicos cresça rapidamente nos próximos anos (DOS SANTOS; FLORES, 2017).

Outro surgimento é de um quarto elemento fundamental nas placas de circuito eletrônico (além do resistor, capacitor e indutor) chamado de **memristor**, uma junção das palavras memória e resistor. Enquanto as funções de transistor comumente disponíveis usam um fluxo de elétrons, o memristor acopla os elétrons com íons ou átomos carregados eletricamente. Nos transistores, uma vez que o fluxo de elétrons é interrompido (por exemplo, desligando a energia), todas as informações são perdidas. Os memoristores “memorizam” e

armazenam informações sobre a quantidade de carga que fluía através deles, mesmo quando a energia está desligada (TRISCH, 2015).

A invenção de memristores abre caminho para um melhor armazenamento de informações, tornando os novos dispositivos de memória mais rápidos, mais seguros e mais eficientes. Não haverá perda de informações, mesmo se a energia estiver desligada. Os circuitos baseados em memristores nos permitem ligar e desligar os computadores instantaneamente e começar a trabalhar imediatamente (IEC/TC56, 2018).

*Spintronics* ou Spintrônica, uma palavra que significa "eletrônica baseada em *spin* (rotação)", é uma tecnologia emergente que explora a propensão quântica dos elétrons de girar para processamento de informações. A rotação de elétrons pode ser detectada como um campo magnético com uma das duas orientações: para cima e para baixo. Isso fornece dois estados binários adicionais aos valores lógicos baixos e altos convencionais, representados por correntes simples. O transporte de informações tanto na carga quanto na rotação de um elétron oferece potencialmente dispositivos com uma maior diversidade de funcionalidades (DOS SANTOS; FLORES, 2017).

Até agora, a tecnologia spintrônica foi testada em dispositivos de armazenamento de informações, como discos rígidos e transistores baseados em *spin* (rotação). A tecnologia spintrônica também mostra promessa para a Eletrônica Digital em geral. A capacidade de manipular quatro, em vez de apenas dois, estados lógicos definidos podem resultar em maior poder de processamento de informações, maior velocidade de transferência de dados e maior capacidade de armazenamento de informações (PRATES; BANDEIRA, 2011).

Espera-se que os dispositivos eletrônicos utilizando a tecnologia spintrônica sejam menores, mais versáteis e mais robustos em comparação com seus equivalentes de silício. Até o momento, essa tecnologia está no estágio inicial de desenvolvimento e, independentemente de pesquisas intensas, precisa-se

esperar alguns anos para ver o primeiro componente eletrônico comercial baseado em spin (TRISCH, 2015).

O objetivo final dos circuitos elétricos é a miniaturização. Também conhecida como Eletrônica de Molécula Única, este é um ramo da Nanotecnologia que usa moléculas únicas ou coleções de moléculas únicas como blocos de construção eletrônicos.

A Eletrônica Molecular e a Eletrônica Orgânica descritas acima têm muito em comum, e esses dois campos se sobrepõem em alguns aspectos. Para esclarecer, a Eletrônica Orgânica se refere a aplicações em massa, enquanto a Eletrônica em Escala Molecular se refere a aplicações em nano-escala e molécula única.

Os eletrônicos convencionais são tradicionalmente feitos de materiais a granel (IEC/TC56, 2018). No entanto, a tendência de miniaturização em eletrônicos forçou o tamanho dos recursos dos componentes eletrônicos a diminuir de acordo. Na eletrônica de molécula única, o material a granel é substituído por moléculas únicas. **O tamanho menor dos componentes eletrônicos diminui o consumo de energia e aumenta a sensibilidade (e às vezes o desempenho) do dispositivo.** Outra vantagem de alguns sistemas moleculares é sua tendência de se auto-montar em blocos funcionais. A **automontagem** é um fenômeno no qual os componentes de um sistema se reúnem espontaneamente, devido a uma interação ou fatores ambientais, para formar uma unidade funcional maior (DOS SANTOS; FLORES, 2017).

Várias soluções eletrônicas moleculares foram desenvolvidas, incluindo fios moleculares, transistores de molécula única e retificadores. No entanto, a Eletrônica Molecular ainda está em fase inicial de pesquisa e nenhum desses dispositivos saiu do laboratório.



## **A.6 Análise de algumas mudanças físico-técnicas nas características dos componentes eletrônicos**

Um sistema eletrônico é uma interconexão física de componentes ou peças que reúne várias quantidades de informações. Isso é feito com a ajuda de dispositivos de entrada, como sensores, que respondem de alguma forma a essas informações e, em seguida, usa energia elétrica na forma de uma ação de saída para controlar um processo físico ou executar algum tipo de operação matemática no sinal (DA SILVA, 2016).

Mas os sistemas de controle eletrônico também podem ser considerados como um processo que transforma um sinal em outro, de modo a fornecer a resposta desejada do sistema. Então, pode-se dizer que um sistema eletrônico simples consiste em uma entrada, um processo e uma saída com a variável de entrada para o sistema e a variável de saída do sistema sendo ambos os sinais.

Existem várias maneiras de representar um sistema, por exemplo: matematicamente, descritivamente, pictoricamente ou esquematicamente. Os sistemas eletrônicos são geralmente representados esquematicamente como uma série de blocos e sinais interconectados, com cada bloco tendo seu próprio conjunto de entradas e saídas (TRISCH, 2015).

Como resultado, mesmo o mais complexo dos sistemas de controle eletrônico pode ser representado por uma combinação de blocos simples, com cada bloco contendo ou representando um componente individual ou subsistema completo. A representação de um sistema eletrônico ou sistema de controle de processo como um número de blocos ou caixas interconectados é conhecida como "representação do diagrama de blocos" (PRATES; BANDEIRA, 2011).

Os sistemas eletrônicos têm entradas e saídas sendo produzidas pelo processamento das entradas. Além disso, o (s) sinal (ais) de entrada pode(m) causar alterações no processo ou alterar a operação do sistema. Portanto, as entradas para um sistema são a "causa" da mudança, enquanto a ação resultante que ocorre na saída do sistema devido a essa causa estar presente

é chamada de "efeito", com o efeito sendo uma consequência da causa (DOS SANTOS; FLORES, 2017).

Em outras palavras, um sistema eletrônico pode ser classificado como “causal” por natureza, pois existe uma relação direta entre sua entrada e sua saída. A análise de sistemas eletrônicos e a teoria de controle de processos geralmente são baseadas nessa análise de causa e efeito (DA SILVA, 2016).

A necessidade de componentes eletrônicos está crescendo exponencialmente. Em conjunto com nosso maior uso de dispositivos portáteis e seus ciclos de vida de produto relativamente curtos, há um aumento no uso de eletrônicos em indústrias que tradicionalmente não os usavam. A rápida evolução da indústria aeroespacial e Internet das Coisas (IoT) são dois principais fatos que resultaram em uma demanda mais forte do que o esperado para componentes, que os fabricantes estão encontrando dificuldade para acompanhar o ritmo.

Da mesma forma, os dispositivos IoT nada mais eram do que uma invenção da imaginação há 30 anos, mas agora os dispositivos inteligentes estão adicionando um fardo adicional a um mercado já restrito. De fato, as previsões mostram que os dispositivos IoT devem crescer para quase 31 bilhões em todo o mundo e isso por si só levantou preocupações entre muitos fabricantes (DOS SANTOS; FLORES, 2017).

Conforme explicado, quase todos os setores utilizam componentes eletrônicos e estamos descobrindo que muitos clientes fazem pedidos em dobro e/ou fazem compras estratégicas para tentar eliminar mais atrasos na produção ao longo da linha. No entanto, isso não fornece uma solução adequada a longo prazo (PRATES; BANDEIRA, 2011).

Com a rápida evolução da tecnologia de dispositivos eletrônicos em direção a baixo custo e alto desempenho, os produtos eletrônicos se tornam mais complexos, com maior densidade e velocidade e mais leves para facilitar a portabilidade. No mercado competitivo moderno, baixo custo e alto desempenho são os principais fatores para atrair os clientes para seus produtos.

A crescente complexidade do sistema exige um controle robusto para mitigar o controle e as perturbações do sistema. À medida que mais e mais componentes são integrados a um único chip, a probabilidade de dano aumenta, pois os diferentes componentes têm características e condições operacionais diferentes. Portanto, são empregadas técnicas de monitoramento de condições que abrangem o conhecimento dos mecanismos de falha de uma parte individual ou de um sistema integrado, e diagnosticar a condição de saúde de um sistema em tempo real, de modo que, se deriva dos resultados programados, uma ação apropriada seja tomada antes que ocorra uma deterioração ou avaria grave. O sistema eletrônico precisa de uma metodologia de previsão de falhas para evitar falhas e discrepâncias acidentais (DA SILVA, 2016).

### **A.7 Análises de alguns impactos ambientais**

Seja qual for a forma, a obsolescência é problemática de uma perspectiva de desenvolvimento sustentável. Está na origem da aceleração dos ciclos de aquisição e sucateamento de mercadorias, cuja principal consequência é o rápido crescimento dos resíduos. O fenômeno da obsolescência é ilustrado particularmente bem no setor de eletrônicos, onde o usuário tende a trocar de dispositivo com frequência para acompanhar o ritmo acelerado das inovações (KEEBLE, 2013).

A obsolescência afeta o consumidor de maneiras diferentes. Por um lado, acarreta aumento nos gastos econômicos: o consumidor gasta com frequência em novos produtos. Em um nível psicológico, a obsolescência leva ao consumo compulsivo. Os consumidores se acostumam a comprar, usar e jogar fora, sem pensar em formas mais sustentáveis de dar vida aos produtos. Hoje, a obsolescência afeta muitos produtos que usamos diariamente: carros, baterias de equipamentos eletrônicos, livros, videogames, cartuchos de tinta (COOPER, 2004).

No entanto, o modelo linear de produção e consumo (extrair, produzir, consumir, jogar fora) é fonte de fortes impactos ambientais (uso de recursos,

emissão de gases de efeito estufa, poluição e produção de resíduos mais ou menos perigosos). Prolongar a vida útil dos produtos é uma das vias que visam reduzir seu impacto ambiental (SOUZA et al., 2007).

O objetivo da lei de transição energética para o crescimento verde (transição energética trata de uma mudança profunda na estrutura econômica, social e política no sentido de sair da dependência de combustíveis fósseis, como petróleo, carvão e gás natural, enquanto se diversifica a matriz energética e se aumenta o uso de modos de produção de energia renováveis e limpos). é melhorar o design do produto sancionando a obsolescência, ou seja, o fato de projetar deliberadamente um produto de modo que sua vida útil seja reduzida, e fornecendo experiências para mostrar a vida útil dos produtos (HERALD, et al., 2009). O roteiro para a economia circular (economia circular é um conceito baseado na inteligência da natureza e que se opõe ao processo produtivo linear, onde os resíduos são insumos para a produção de novos produtos) completou o mecanismo que consiste em desenvolver, em consulta com as partes interessadas, um índice de reparabilidade do produto, que se pretende tornar obrigatório em equipamentos elétricos e eletrônicos a partir de 2020.

O prolongamento da vida útil dos produtos manufaturados (equipamentos elétricos e eletrônicos, veículos, produtos têxteis, móveis etc.) é uma das alavancas que pode reduzir significativamente esses impactos. Isso contribui para a prevenção de resíduos, como parte de uma transição para uma economia circular (KEEBLE, 2013). Isso implica:

- Para os fabricantes: projetar produtos com o menor impacto possível no meio ambiente (*eco design*), tornando-os mais robustos, mais facilmente reparáveis, mais adaptáveis aos desenvolvimentos tecnológicos e mais fáceis de manter, bem como promovendo, durante a sua fabricação, o uso de materiais reciclados;
- Aos consumidores: para manter os seus produtos, respeitar as suas condições normais de utilização, repará-los ou mandá-los reparar em

caso de avaria, quando possível, ou / e dar-lhes uma segunda vida, dando-lhes ou revendê-los.

Em teoria, entretanto, a obsolescência não está fadada ao desperdício. Se nada fosse jogado fora, se a economia fosse perfeitamente circular, todo comportamento seria tolerável. Isso exigiria um progresso considerável na reciclagem e produtos, que foram concebidos para se tornarem rapidamente obsoletos, também fabricados de forma a otimizar a recuperação e a reciclagem das matérias-primas mais raras que contêm (ANDRADE, 2008).

## **APÊNDICE B – PROCESSOS LEAN**

### **B.1 Objetivo**

Neste Apêndice, faz-se uma compilação da literatura citada sobre Processos *Lean*, especialmente *Lean Design* e *Lean Engineering*, e suas influências sobre a robustez de componentes eletrônicos.

### **B.2 *Lean design* e *Lean engineering***

O *Lean Design* é conhecido também por Desenvolvimento “Enxuto”. Este é um dos métodos utilizados por diversas empresas para remover os exageros de projeto (*overdesign*), excessos de provimento (*procurement excesses*), desperdícios (*waste*) da própria produção, pois todos são considerados perdas que causam prejuízos à empresa. Por exemplo, de acordo com Reis (2004), o *Lean Design* ou Desenvolvimento “Enxuto”, é responsável por retirar do produto e do processo toda a estrutura que pode ser definida como "excesso". Sendo assim, por meio deste mesmo autor, os "excessos" ou "exageros" são fragmentos que não somam valor à mercadoria, como a utilização de instrumentos especiais, que não auxiliam às técnicas de ergonomia e não são necessários ao processo.

Segundo Araújo (2007), com a finalidade de produtos e processos obterem os resultados positivos do Desenvolvimento “Enxuto”, sendo assim livres dos “excessos”, é essencial que sejam aplicados os princípios “enxutos”. Sendo estes:

- Definir valor: é o uso de técnicas qualitativas e quantitativas, para tornar possível descobrir o que os clientes desejam, como desejam que o produto ou serviço seja entregue e o preço que eles oferecem;
- Mapear o fluxo de valor: o objetivo é usar o valor do cliente como ponto de referência e identificar todas as atividades que contribuem para esses valores;
- Criar fluxo: é garantir que o fluxo das etapas restantes seja executado sem problemas, sem interrupções ou atrasos. Algumas estratégias para

garantir que as atividades de agregação de valor fluam sem problemas incluem: quebrar etapas, reconfigurar as etapas de produção, nivelar a carga de trabalho, criar departamentos multifuncionais e treinar os funcionários para serem qualificados e adaptáveis;

- Perseguir a “perfeição”: melhoria contínua em que todo funcionário deve buscar a “perfeição” enquanto fornece produtos com base nas necessidades do cliente.

Os princípios *Lean* fornecem uma estrutura para a criação de uma organização eficiente e eficaz. O *Lean* permite que os gerentes descubram ineficiências em suas próprias organizações e ofereçam melhor valor aos clientes. Os princípios incentivam a criação de um melhor fluxo nos processos de trabalho e o desenvolvimento de uma cultura de melhoria contínua. Ao praticar todos os cinco princípios, uma organização pode permanecer competitiva, aumentar o valor entregue aos clientes, diminuir o custo dos negócios e aumentar sua lucratividade (REIS, 2004).

Além disso, o *Lean Design* também retrata o trinômio P. Estes 3P's são classificados com uma forma de apresentar os elementos essenciais deste tipo de *Lean*; portanto, no processo de criação da mercadoria, eles significam: os Processos, os Produtos e as Pessoas. Através deste mesmo autor, o desempenho do LPPP, relata que a criação destes processos tem como objetivo agradar e servir as pessoas e não o inverso, pois comprometeria a finalidade do processo. Portanto, no momento em que a pessoa desenvolve o produto, o processo deste se torna valioso. E, ao utilizar o processo, define-se o produto (ARAÚJO, 2007).

*Lean Manufacturing*, pela frequente e esmagadora cultura popular, consiste em um grupo de técnicas que, quando combinadas e amadurecidas, permitem a redução e depois eliminar os desperdícios (*waste*) na manufatura. A ideia central é maximizar o valor do cliente e minimizar o desperdício. Simplesmente, *Lean* significa criar mais valor para clientes com menos recursos. O Sistema do *Lean* não irá somente tornar a empresa mais “enxuta”, mas também irá torná-la

mais flexível e mais responsiva por meio da redução dos desperdícios (WOMACK, et al. 2004).

Na manufatura, onde os produtos passam de uma etapa para a próxima até que sejam concluídos, é fácil ver onde os resíduos são criados, pois basta procurar evidências físicas de gargalos, bloqueadores, etc. Os resíduos, na *Lean Engineering*, são definidos como qualquer atividade, processo ou produto que não agrega valor ao cliente (TAKTICA, 2008). Existem muitas fontes de desperdício em engenharia, incluindo:

- Superprodução: Gerando relatórios, testes e outras análises desnecessárias;
- Inventário: análises, relatórios e testes inacabados;
- Transporte: transferências, validações complexas de decisões e processos;
- Movimentos desnecessários;
- Em espera: por decisões, comentários ou *feedback*;
- Defeitos: Retrabalho devido a requisitos ou entradas incorretos; erros na tentativa de corrigir o problema;
- Superprocessamento: atividades, tarefas e processos desnecessários, especialmente para análise e comunicação; "Reinventar a roda" a cada nova tarefa;
- Potencial de funcionário não utilizado: não envolver engenheiros em melhorias de processo para engenharia.

A aplicação de conceitos *Lean* à engenharia pode ajudar a reduzir a incerteza, aumentar a produtividade e fornecer um método sistemático para a melhoria do processo. Mais importante que isto, um processo *Lean*, é caracterizado pelo fluxo e pela previsibilidade que reduz em muito as incertezas e o caos típico das plantas de manufatura. É uma abordagem de melhoria contínua em quatro fases usada para garantir qualidade e sucesso (LIKER, et al. 2007). Há quatro fases de um contrato de consultoria em Engenharia *Lean*; elas são:



- Avaliar;
- Projetar;
- Implementar;
- Manter.

Além disso, os ativos de engenharia também serão comparados com os padrões e as melhores práticas do setor. Essa avaliação é chamada de modelo *Lean Engineering Maturity*. Após a avaliação, áreas de ineficiências e / ou oportunidades para aumentar o valor dos Ativos de Engenharia podem ser identificadas. Pode então ser determinado que faz sentido iniciar uma iniciativa de melhoria contínua (SOUZA, et al. 2009).

Cada etapa incremental é planejada e justificada antes que as alterações sejam feitas. Esse método de "sucesso e repetição" funciona para ganhar a confiança de todos os membros da equipe, da alta gerência até o funcionário da base (TAKTICA, 2008).

Mas, ao reduzir os “excessos”, os processos *Lean* reduzem, simplificam, ou até eliminam margens, etapas, testes, ao estritamente contratado ou percebido pelos interessados, reduzindo a robustez do produto, focada nesta Dissertação.

### **B.3 Processos *Lean* atuais**

Desde a invenção da válvula eletrônica a vácuo em 1904 por John Ambrose Fleming, até as revoluções do semicondutor desde os 1940s e do microprocessador desde os 1970s, a tecnologia eletrônica tem mudado em um ritmo acelerado. Os produtos eletrônicos estão cada vez mais integrados na vida de todas as pessoas. Em um mercado de mudanças tão rápidas, com concorrência global constante, surge a necessidade de manter processos ágeis, porém robustos, que possam oferecer a flexibilidade e a qualidade necessárias para lidar com esses desafios, ao mesmo tempo em que reduzem os custos de maneira implacável. (JAMEEL, 2017).

A dinâmica do mercado em rápida mudança e a concorrência agressiva dos países emergentes está colocando pressão competitiva nos níveis mais altos, gerando assim a necessidade de tempos de desenvolvimento de produtos mais curtos, produtos mais inovadores e melhores serviços a preços mais baratos no mercado. (JAMEEL, 2017)

É o modo como esses desafios são enfrentados e superados que diferencia os líderes de mercado do restante da indústria. Os desafios são: (LITTLEFIELD; ROBERTS, 2013).

- Redução das margens operacionais;
- Cadeias de suprimentos complexas;
- Gerenciamento de serviço e garantia;
- Ciclos de vida curtos do produto;
- Sustentabilidade / Conformidade Regulatórias mais rígidas;
- Demanda incerta.

Diante desses desafios, a indústria dos eletrônicos se vê na necessidade de implantar processos *Lean Manufacturing* para atender às demandas de um mercado extremamente competitivo e remover ineficiências e desperdícios de processos. (LITTLEFIELD; ROBERTS, 2013).

A *Lean Manufacturing* pode ser uma resposta a esses desafios. O conceito foi desenvolvido para maximizar a utilização de recursos por meio da minimização de desperdícios; posteriormente, o *Lean* foi formulado em resposta ao ambiente de negócios flutuante e competitivo. Portanto, o processo de agregação de valor é necessário para atingir essa perfeição; portanto, implementar um sistema de *Lean Manufacturing* está se tornando uma competência central para qualquer tipo de organização manter-se no mercado. (Yogesh et al., 2014).

A Tabela B.1 abaixo apresenta as principais diferenças entre os processos *Lean* e os da manufatura tradicional: (Chahal; Narwal, 2017).

Tabela B.1 - Principais diferenças entre os processos *Lean* e os da manufatura tradicional.

Major differences between lean and traditional manufacturing approaches

S. No	Process	Lean Manufacturing	Tradition Manufacturing
1	Flexibility	High	Low
2	Inventories	As per demand	Excess demand
3	Production	Customer order	Stock
4	Layout	Product flow	Functional
5	Scheduling	Pull	Push
6	Lead time	Short	Long
7	Inspection	100%-by workers	Sampling
8	Empowerment	High	Low
9	Batch size	Small - continuous	High- batch & queue
10	Customer satisfaction	High	Low

Fonte: Chahal e Narwal (2017).

*Lean Manufacturing* é uma filosofia orientada para a redução de resíduos. Sete desperdícios foram identificados: superprodução ou assincronia (produzir muito ou em um momento inadequado), estoque (armazenar matéria-prima, trabalho em processo e produtos acabados), movimento (movimento corporal desnecessário), defeitos (produto não conforme), transporte (movimentação desnecessária do produto), superprocessamento (processamento além das expectativas do cliente) e espera (tempo gasto antes da próxima atividade) (Chiarini, 2013). (Psarommatis et al., 2020).

*Lean Manufacturing* está ligado à qualidade do produto, onde a qualidade insatisfatória envolve diferentes tipos de resíduos e, conseqüentemente, envolve custos mais elevados. Já melhorar a eficiência dos processos *Lean* só faz sentido quando estes estão atrelados à redução de custos. Se não pudermos vincular essas duas linguagens, a confiabilidade das melhorias *Lean* são falhas. (PEIMBERT-GARCÍA et al., 2011).

Da mesma forma, o desempenho na qualidade é direta e significativamente influenciado pela adoção de práticas *Lean* que, por sua natureza, incluem práticas de gestão relacionadas a sistemas de qualidade (Shah & Ward, 2003; Belekoukias et al., 2014; Inman & Green, 2018). E, também, tem uma relação significativa com a confiabilidade do sistema. (BENTO et al., 2020).

*Lean* é considerado “enxuto” porque usa menos recursos em comparação com a produção em massa: metade do esforço humano, metade do espaço, metade do investimento em ferramentas, metade das horas de engenharia para desenvolver um novo produto na metade do tempo (Womack et al., 1990).

Eroglu e Hofer (2011) descobriram em sua pesquisa que algumas indústrias, por causa do produto específico ou das condições de fabricação, demanda ou oferta, podem não ser adequadas para implementação dos processos *Lean*. (Eroglu e Hofer, 2011 citado por CORNELISSEN et al., 2013). Durante o processo de implementação, vale a pena considerar cuidadosamente quais etapas executar, a fim de evitar resultados abaixo do ideal ou mesmo falhas. Manter constantemente em mente não exagerar nas iniciativas *Lean*, como otimização demais processos críticos, para aumentar as chances de uma implementação bem-sucedida. (CORNELISSEN et al., 2013).

No entanto, ainda hoje, produtos e componentes defeituosos estão presentes na indústria de manufatura, e esta é uma situação crítica que as empresas do setor enfrentam. Mesmo após os devidos cuidados no *design*, seleção de materiais e fabricação do produto, existem peças com defeito (Realyvásquez et al., 2018).

A *Lean Manufacturing* tem sido um dos paradigmas mais populares na eliminação de desperdícios na indústria de manufatura e serviços. Assim, muitas empresas obtiveram os benefícios da prática da *Lean Manufacturing* para aumentar a qualidade e a produtividade. No entanto, pesquisas mostram que existem vários conjuntos de ferramentas ou técnicas que foram adotadas em um certo grau nas empresas, de acordo com seu próprio entendimento de *Lean Manufacturing*, não utilizando os conceitos/metodologia *Lean*. (Wahab et al., 2013).

Vários estudos mostram que o *Lean* falha comumente no estágio de implementação: Os fatores que contribuem para a falha da implementação enxuta são os seguintes: (NITHIA et al., 2015)

1. Falta de experiência em implementação;
2. Tendência da organização para reverter à prática anterior, retrocesso;
3. Resistência da organização em aceitar mudanças;
4. Definição de *Lean* mal interpretada;
5. Muito foco na agregação de valor e remoção de resíduos;

6. Percepção errada do valor do produto para os clientes, causando uma produção de tecnologia destrutiva no mercado pela organização e, portanto, perda de participações no mercado;
7. Fraco comprometimento da gestão com o programa de implementação;
8. Falta de treinamento adequado para as partes interessadas, falta de *know how*;
9. Desalinhamento entre o programa de implementação e a estratégia de operação das empresas;
10. Falta de recursos em termos financeiros, expertise e mão de obra.
11. Estresse e desconforto na força de trabalho, levando a descuido as normas e causando risco operacional;
12. O funcionamento do equipamento ou das máquinas próximo à capacidade máxima, causando risco de falhas devido à alta carga de utilização;
13. Falta de flexibilidade para tempo de testes e “tempo para pensar”, por conta da tentativa de eliminar o tempo de espera dos processos.

Preocupações também aparecem no desenvolvimento de software para sistemas críticos de missão ou segurança, como aviação, automotivo e outros. Os desenvolvedores de softwares estão enfrentando dificuldades em garantir adesão aos vários regulamentos que foram impostos, que tem um papel principal de minimizar o risco para os seres humanos e para a segurança (como RTCA, ISO, ANSI, AAMI). Além disso, estão reinterpretando os regulamentos declarando que há abertura e confusão nos requisitos dos mesmos. Diante desses fatos, os desenvolvedores de softwares apresentam o atendimento a essas regulamentações como sendo pesadas e desnecessárias para as empresas, entendendo que a melhor solução seria a aplicação de processos *Lean* no desenvolvimento de software para sistemas críticos. (CAWLEY, 2013).

Apesar dos processos *Lean* terem um impacto positivo na melhoria e competitividade dos negócios da organização, os pontos fracos precisavam ser corrigidos pelas instituições e pelas indústrias. Através da literatura consultada,

os processos *Lean* dificilmente falam dos pontos fracos e sobre questões ambientais e de segurança na fabricação. (NITHIA et al., 2015).

Necessita-se uma abordagem integrada e disciplinada para reduzir defeitos e produzir resultados financeiros mensuráveis, como a Seis Sigma. Com suas raízes na Engenharia Estatística, o conceito Seis Sigma incorpora uma metodologia orientada a dados, focada em reduzir a variabilidade dos processos *Lean Manufacturing* na busca pela perfeição. (ABERDEEN GROUP, 2006).

Seis Sigma é:

- é uma medida estatística que se refere ao número de desvios-padrão a partir do ponto médio (ou médio), numa distribuição gaussiana, também conhecida como distribuição normal. (ABERDEEN GROUP, 2006).
- é mais do que apenas taxas de defeitos, e sim manter uma confiabilidade acima de 99,99966%, onde, em muitas indústrias, 99% de confiabilidade é considerada uma medida excepcionalmente boa; mas, em outras, como dispositivos médicos e aeroespacial e de defesa, mesmo uma taxa de defeito de 1% significa que as pessoas podem morrer. (ABERDEEN GROUP, 2006).
- uma abordagem para melhorar o desempenho e a satisfação reduzindo a taxa de defeitos. O tratamento do defeito segue o processo DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Melhorar, Controlar), a equipe determina as causas-raiz dos defeitos, implementa melhorias para combater essas causas-raiz e estabelece meios de garantir que os ganhos sejam mantidos. (SMTA, 2020).
- É uma das mais eficazes metodologias de gerenciamento de qualidade e melhoria disponíveis. Essa metodologia utiliza várias ferramentas estatísticas e de melhoria de qualidade, como Diagrama de Espinha de Peixe, Gráfico de Pareto, e outras para agregar valor e os benefícios que terão um impacto positivo no desempenho e no sucesso do negócio. (SMTA, 2020).
- é uma filosofia estatística orientada para a redução da variabilidade do produto ou processo. O resultado desejado é definido em função da

necessidade do cliente e de sua visão de defeito para garantir a satisfação do cliente (Linderman et al., 2003 citado por Psarommatis et al., 2020).

- é uma abordagem e metodologia disciplinada e orientada a dados para eliminar defeitos (levando a seis desvios-padrão entre a média e o limite de especificação mais próximo) em qualquer processo - da fabricação à transação e do produto ao serviço. (Nwanya; OKO, 2019).
- é a implementação de uma estratégia baseada em medição que se concentra na melhoria de processos e na redução da variação por meio da aplicação de projetos de melhoria. (Nwanya; OKO, 2019).

*Lean Seis Sigma* surgiu mais recentemente à medida que as organizações se esforçam para cumprir os requisitos de qualidade definidos por seus clientes. Combina os princípios do *Lean Manufacturing* com as melhores práticas do Seis Sigma. O resultado é uma metodologia que serve para melhorar processos, eliminar defeitos de produtos ou processos e reduzir tempos de ciclo e acelerar processos. (ABERDEEN GROUP, 2006).

*Lean Seis Sigma* é:

- é uma combinação de *Lean Manufacturing* e Seis Sigma. A ideia é que o Seis Sigma se concentra bem na qualidade, enquanto o *Lean Manufacturing* se concentra no processo de aceleração. Sua combinação ajuda a alcançar um estado de controle estatístico e melhorias operacionais (Atmaca e Girenes, 2011 citado por Psarommatis et al., 2020);
- é reconhecido como “uma estratégia e metodologia de negócios que aumenta o desempenho do processo, resultando em maior satisfação do cliente e melhores resultados financeiros” (Snee, 2010 citado por Razmah et al., 2017);
- é uma metodologia bem estabelecida para melhorar a velocidade, a qualidade e o custo das indústrias de manufatura e serviços. (Johnstone, Pairaudeau e Pettersson, 2011 citado por Razmah et al., 2017);

- é uma abordagem que se concentra na melhoria da qualidade dos produtos acabados e na melhoria contínua durante a criação desses produtos, reduzindo a variação e eliminando o trabalho que não agrega valor dentro de uma organização. (Burch, Strawderman e Bullington, 2016 citado por Razmah et al., 2017);
- é uma abordagem focada na melhoria da qualidade, reduzindo a variação e eliminando desperdícios em uma organização. É a combinação de dois programas de melhoria, Seis Sigma e *Lean*. (Furterer, 2012 citado por Razmah et al., 2017);
- é uma abordagem centrada no cliente e sistemática baseada na utilização de dados para gerenciar e melhorar a qualidade do desempenho do processo. (Cournoyer, Nobile, Williams, Monsalve-Jones, Renner e George, 2013 citado por Razmah et al., 2017);
- é a redução de custos por meio da minimização de resíduos. (Razmah et al., 2017).

Algumas instituições já estão utilizando a aplicação de técnicas *Lean Seis Sigma* para solução de problemas de circuitos eletrônicos, pois essa metodologia abrange outras técnicas como *Kaisen*, *Poka-Yoke*, Análises de FMEA, Diagrama de Ishikawa, 5W2H (*5 Whys 2 How*), 8D (8 Disciplinas). (*American Society for Engineering Education*, 2018).



## APÊNDICE C – MÍSSEIS EM GERAL

### C.1 Objetivo

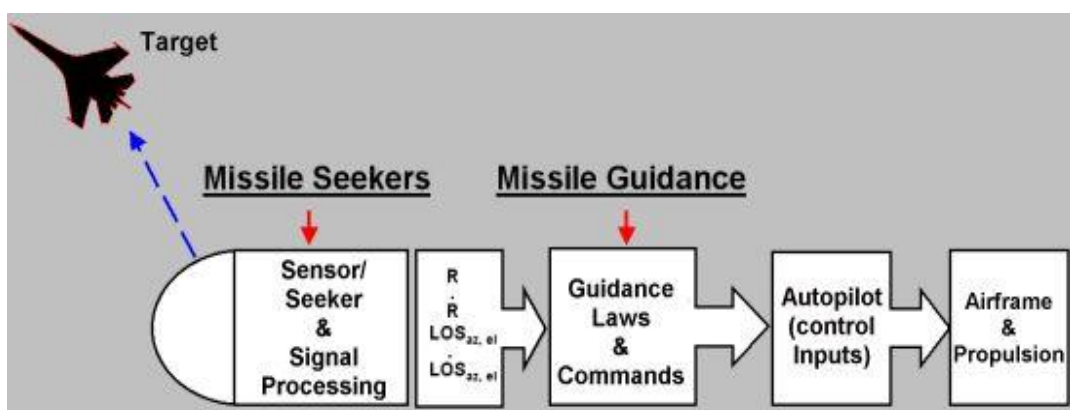
Neste Apêndice, faz-se uma compilação da literatura citada sobre mísseis em geral.

### C.2 Conceitos de mísseis em geral

Os mísseis, em geral, são capazes de procurar e navegar com precisão até o alvo sem a ajuda de um operador humano. Muitos dos métodos usados para a orientação de mísseis são os mesmos usados para navegação de aviões tripulados, como os aviões comerciais ou até mesmo os caças (AQUINO et al., 2011).

Os mísseis podem ser categorizados de muitas maneiras diferentes, dependendo de sua missão ou plataforma de lançamento. As duas maneiras que abordaremos nesse trabalho dizem respeito ao tipo de orientação do míssil (Figura C.1) e ao tipo de sensor ou buscador (“seeker”) (BASTOS e PAULA, 2009). Esses dois conceitos são freqüentemente usados de forma intercambiável.

Figura C.1 - Conceito de orientação de mísseis.

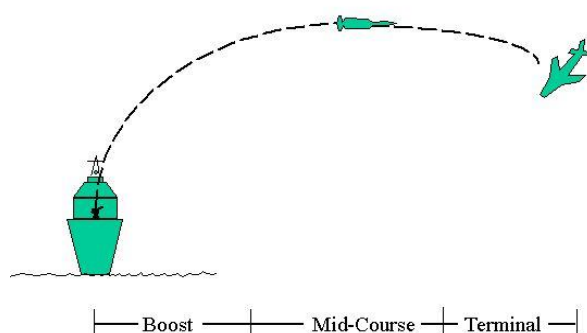


Fonte: Bastos e Paula (2009).

A orientação de mísseis refere-se ao método pelo qual o míssil recebe seus comandos para se mover ao longo de um determinado caminho para alcançar um alvo. Em alguns mísseis, esses comandos são gerados internamente pelo piloto automático do computador. Em outros, os comandos são transmitidos ao míssil por alguma fonte externa. O sensor ou buscador (“*seeker*”) de mísseis, por outro lado, é um componente dentro do míssil que, baseado em sensores, gera dados que alimentam o computador. Esses dados são processados pelo computador e usados para gerar comandos de orientação (VASCONCELOS, 2013). Os tipos de sensores usados atualmente incluem infravermelho, radar e o sistema de posicionamento global (GPS). Com base na posição relativa entre o míssil e o alvo em qualquer ponto do voo, o piloto automático do computador envia comandos para ajustar o curso do míssil (BASTOS e PAULA, 2009).

Em muitos mísseis, o sistema de orientação é dividido em três fases, como mostra a Figura C.2. A primeira é uma fase de lançamento ou *boost*, na qual o sistema de orientação geralmente é desativado para permitir que o míssil se afaste com segurança da plataforma de lançamento. A maior parte do voo é realizada usando orientação pré-determinada, durante a qual o míssil faz pequenos ajustes em sua trajetória, permitindo alcançar a proximidade do alvo (AQUINO, et al., 2011). A fase final é a orientação terminal quando o míssil usa um sistema de rastreamento altamente preciso para fazer manobras rápidas para interceptar o alvo. Muitos mísseis usam na fase intermediária um tipo diferente de orientação do que usam na fase terminal.

Figura C.2 - Fases do Voo.



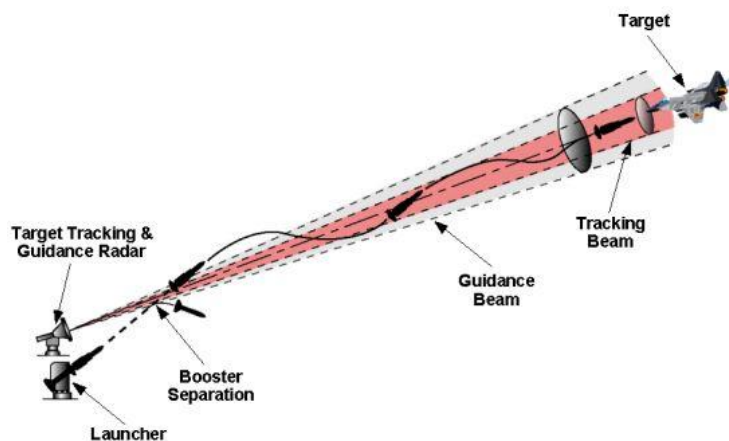
Fonte Aquino (2011).

As principais formas de orientação de mísseis são descritas nas próximas seções com exemplos de mísseis e buscadores usados para realizar esse tipo de orientação.

### C.1.1 Orientação *beam rider*

O conceito de *Beam Rider* depende de uma estação de radar externa terrestre ou de navio que transmite um feixe de energia de radar em direção ao alvo (Figura C.3). O radar de superfície rastreia o alvo e também transmite um feixe de orientação que ajusta seu ângulo à medida que o alvo se move pelo céu (GIBSON e KEMMERLY, 2009).

Figura C.3 - Orientação *Beam Rider*.



Fonte: Kemerly (2009).

O míssil é lançado nesse feixe de orientação e o usa como direção. Os sistemas de varredura a bordo do míssil detectam a presença do feixe e determinam o quão perto o míssil está das bordas. Esta informação é usada para enviar sinais de comando para manter o míssil dentro do raio. Dessa maneira, o míssil trafega dentro do feixe de radar externo até o alvo (GIBSON e KEMMERLY, 2009).

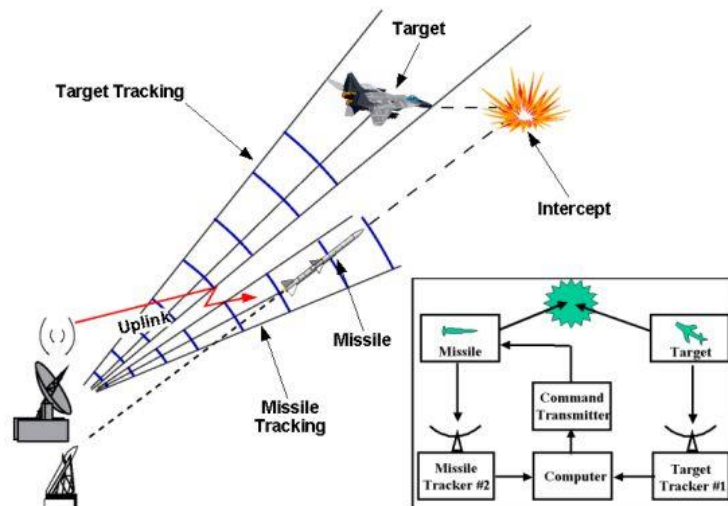
O uso de feixes era freqüentemente usado nos primeiros mísseis terra-ar, mas era considerado impreciso a longas distâncias. Uma melhoria limitada foi

possível usando dois feixes de radar diferentes da superfície, mas o método *Beam Rider* foi amplamente abandonado. A técnica foi usada no míssil superfície-ar lançado pela Marinha dos Estados Unidos da década de 1950 (VASCONCELOS, 2013).

### C.1.2 Orientação por comando

A orientação por comando é semelhante à *Beam Rider*, pois o alvo é rastreado por um radar externo. No entanto, um segundo radar também rastreia o próprio míssil (Figura C.4). Os dados de rastreamento de ambos os radares são alimentados em um base computacional terrestre que calcula o padrão de movimento dos dois alvo e míssil (HASTEDT, 2007).

Figura C.4 - Orientação por Comando.



Fonte: Hastedt (2007).

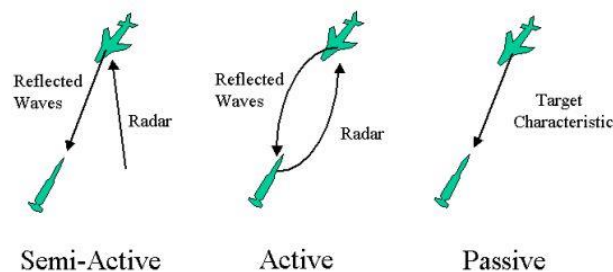
Este computador também determina quais comandos precisam ser enviados às superfícies de controle de mísseis para direcionar o míssil em um curso de interceptação com o alvo. Esses comandos são transmitidos a um receptor no míssil, permitindo que o míssil ajuste seu curso. Um exemplo de orientação de comando é o míssil terra-ar russo SA-2 usado contra aeronaves dos EUA no Vietnã do Norte (VASCONCELOS, 2013).

Observe também que a orientação por comando não se limita apenas ao radar. Outro método que se enquadra na orientação por comando é o uso de sistemas guiados por fio. Nesta técnica, os comandos são enviados ao míssil através de um fio convencional ou cabo de fibra ótica que sai do míssil de volta ao seu lançador. A orientação por fio é frequentemente usada em mísseis anti-tanque como o TOW, que podem ser lançados a partir de veículos terrestres e helicópteros. Muitos torpedos navais disparados de submarinos também usam orientação por fio (GIBSON e KEMMERLY, 2009).

### C.1.3 Orientação *homing* ou teleguiado

A orientação *Homing* ou Teleguiado é a forma mais comum de orientação usada hoje em mísseis antiaéreos. Três formas primárias de orientação se enquadram nesse perfil: semi-ativo, ativo e passivo (Figura C.5) (HASTEDT, 2007).

Figura C.5 - Orientação *Homing* ou Teleguiado.



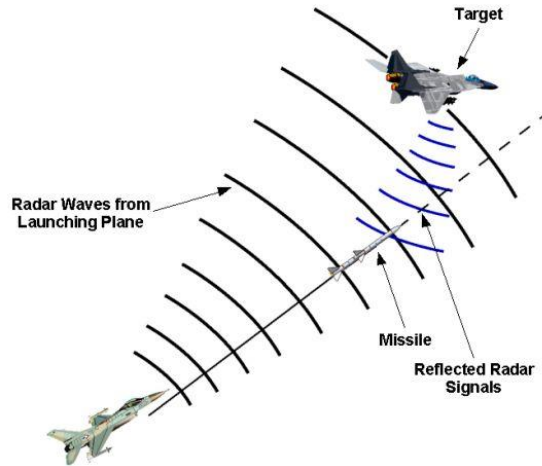
Fonte Hasted (2007).

#### C.1.3.1 Teleguiado semi-ativo

Um sistema semi-ativo é semelhante à orientação por comando, uma vez que o míssil depende de uma fonte externa para iluminar o alvo. A energia refletida por esse alvo é interceptada por um receptor no míssil (Figura C.6). A diferença entre a orientação por comando e a direção semi-ativa é que o míssil possui um computador de bordo nesse caso. O computador usa a energia coletada

por seu receptor de radar para determinar a trajetória relativa do alvo e enviar comandos de correção para que o míssil intercepte o alvo (JOHNSON, 2002).

Figura C.6 - Teleguiado Semi-Ativo.



Fonte: Hasted (2007).

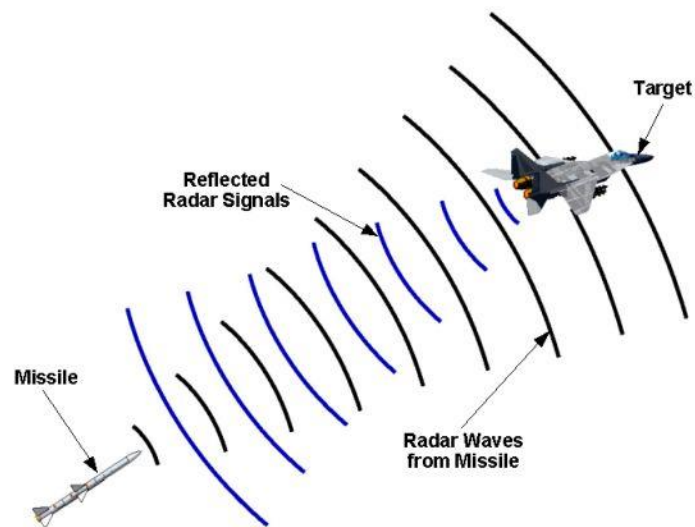
A Figura C.6 ilustra o método de orientação usado em um míssil ar-ar como o Sparrow. Este míssil depende da energia do radar transmitida pela aeronave de lançamento para rastrear e atingir o alvo. Às vezes, esse sistema também é chamado de bistático pois as ondas de radar que interceptam o alvo e as refletidas no míssil estão em ângulos diferentes entre si. O radar bistático é um sistema de radar que compreende um transmissor e receptor que são separados por uma distância comparável à distância alvo esperada (HASTEDT, 2007).

No entanto, deve-se notar que a orientação semi-ativa é usada por outros tipos de buscadores além do radar. Armas guiadas a laser, como a série Paveway, também podem ser consideradas armas semi-ativas, porque a energia do laser que essas bombas rastreiam enquanto se dirigem para um alvo é fornecida por uma fonte externa. A fonte poderia ser uma cápsula de designação a laser na aeronave de lançamento, em uma segunda aeronave ou apontada por um soldado no chão (JOHNSON, 2002).

### C.1.3.2 Teleguiado ativo

O Teleguiado ativo funciona como semi-ativo, exceto que a energia de rastreamento agora é transmitida e recebida pelo próprio míssil. Nenhuma fonte externa é necessária (Figura C.7). É por esse motivo que os mísseis teleguiados ativos costumam ser chamados de "*fire-and-forget*/atire e esqueça" porque a aeronave de lançamento não precisa continuar iluminando o alvo após o lançamento do míssil (GIBSON e KEMMERLY, 2009).

Figura C.7 - Teleguiado Ativo.



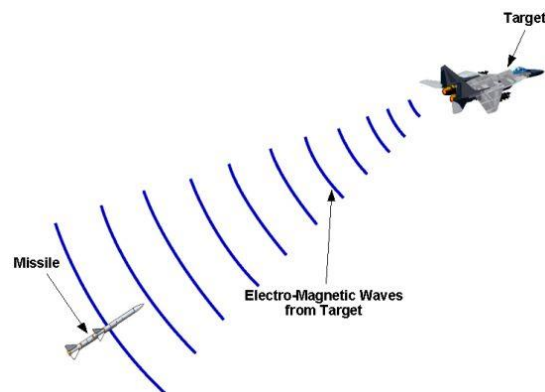
Fonte: Vasconcelos (2013).

Mísseis teleguiados ativos normalmente usam buscadores ("*seekers*") de radar para rastrear seu alvo. Esses buscadores também são chamados às vezes de monoestáticos, porque, diferentemente da orientação semi-ativa, as ondas transmitidas e refletidas estão no mesmo ângulo em relação à linha de visada entre o míssil e o alvo. Exemplos de mísseis teleguiados ativos incluem os mísseis ar-ar-ar AMRAAM e mísseis anti-navio Exocet (VASCONCELOS, 2013).

### C.1.3.3 Teleguiado passivo

Um sistema passivo é como o ativo, na medida em que o míssil é independente de qualquer sistema de orientação externo; e é como o semi-ativo, na medida em que apenas recebe sinais e não pode transmitir. Os mísseis passivos, ao contrário, dependem de alguma forma de energia que é transmitida pelo alvo e pode ser rastreada pelo buscador (“*seekers*”) de mísseis (Figura C.8) (JOHNSON, 2002).

Figura C.8 - Teleguiado Passivo.



Fonte: Hasted (2007).

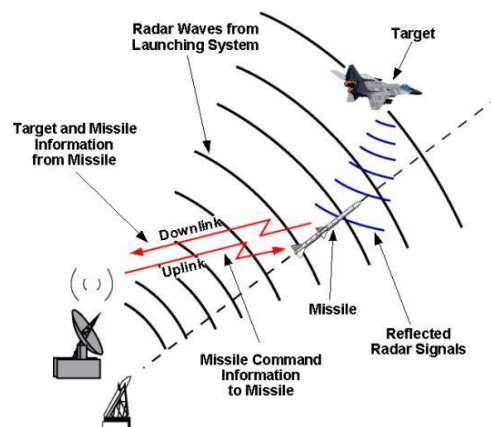
Essa energia pode assumir várias formas. Por exemplo, os buscadores (“*seekers*”) de infravermelho, como os usados no Sidewinder, buscam a assinatura de calor gerada por um alvo. Mísseis anti-radiação como o HARM rastreiam a energia de radiofrequência transmitida por estações de radar terrestres. Torpedos passivos usam sonar, ou ondas sonoras, criados pelos motores dos navios para atacar seus alvos. Sensores eletro-ópticos como os usados no Maverick contam com imagens visuais para guiar em direção a um alvo (HASTEDT, 2007).



### C.1.3.4 Retransmissão ou rastreamento via míssil

Um exemplo mais incomum de orientação é o método de retransmissão. Essa técnica é amplamente semelhante à orientação por comando, mas com um toque único. O alvo é rastreado através de um radar externo, mas o sinal refletido é interceptado por um receptor a bordo do míssil, como no semi-ativo (Figura C.9). No entanto, o míssil não possui computador de bordo para processar esses sinais. Os sinais são transmitidos de volta à plataforma de lançamento para processamento. Os comandos subsequentes são retransmitidos de volta ao míssil para que ele possa ajustar sua trajetória (VASCONCELOS, 2013).

Figura C.9 - Retransmissão ou rastreamento via míssil.



Fonte: Gibson e Kemmerly (2009).

Este método também é chamado de "rastreamento via míssil" "*track via missile*" (TVM), uma vez que o míssil atua como um canal de rastreamento de informações desde o alvo até a estação de controle no solo. A vantagem do TVM é que a maior parte do hardware de rastreamento e processamento está localizado no local onde pode ser reutilizado para futuros lançamentos de mísseis, em vez de ser destruído. Infelizmente, o método também exige excelentes *links* de comunicação de alta velocidade entre o míssil e a estação de controle, limitando o sistema a curtos intervalos. Esse método é usado no míssil terra-ar Patriot (GIBSON e KEMMERLY, 2009).

### C.1.4 Orientação por navegação

Como os teleguiados, a orientação por navegação inclui várias subcategorias. Nesta seção, descreveremos técnicas de navegação inercial, de alcance, celestial e geofísica.

#### C.1.4.1 Orientação por navegação inercial

A navegação inercial depende de dispositivos a bordo do míssil que detectam seu movimento e aceleração em diferentes direções. Esses dispositivos são chamados giroscópios (Figura C.10) e acelerômetros (JOHNSON, 2002).

Figura C.10 - Giroscópios mecânicos, de fibra óptica e a laser.



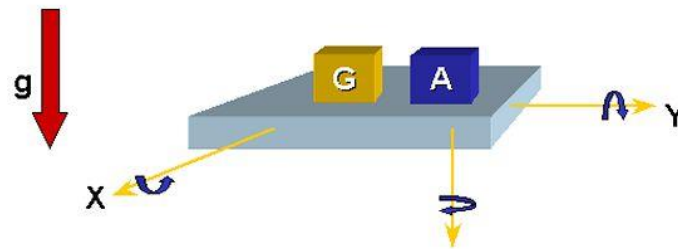
Fonte: Zarchan (2012).

O objetivo de um giroscópio é medir o movimento angular. Vários métodos diferentes para isso foram criados. Um giroscópio mecânico clássico detecta a estabilidade de uma massa em rotação nos eixos. Mais recentes, giroscópios a laser e giroscópios a fibra óptica são baseados na interferência entre os raios laser. Os avanços atuais nos sistemas micro-eleto-mecânicos (MEMS) oferecem o potencial de desenvolver giroscópios muito pequenos e baratos (ZARCHAN, 2012).

Enquanto os giroscópios medem o movimento angular, os acelerômetros medem o movimento linear. As acelerações desses dispositivos são traduzidas

em sinais elétricos para processamento pelo piloto automático do computador de mísseis. Quando um giroscópio e um acelerômetro são combinados em um único dispositivo, juntamente com um mecanismo de controle, ele é chamado de Unidade de Medida Inercial (IMU) ou Sistema de Navegação Inercial (INS) (Figura C.11) (FLEEMAN e SCHETZ, 2012).

Figura C.11 - Conceito de navegação inercial.



Fonte: Hasted (2007).

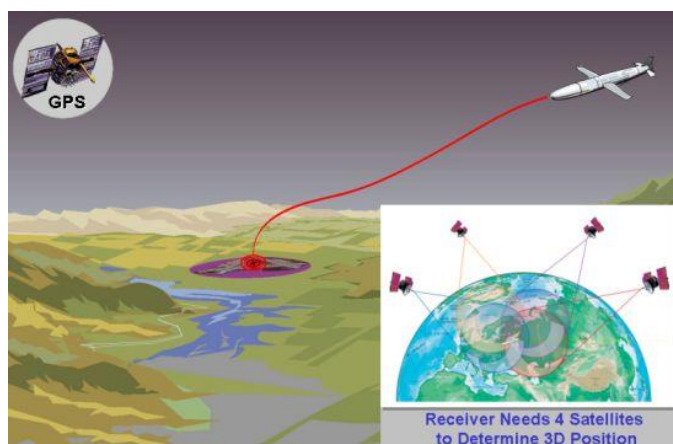
O INS usa esses dois dispositivos para detectar os movimentos em relação a um ponto de origem. A navegação inercial funciona informando o míssil onde ele está no momento do lançamento e como ele deve se mover em termos de translação e rotação ao longo de seu voo. O computador do míssil usa sinais do INS para medir esses movimentos e garantir que o míssil viaje ao longo de seu caminho programado. Os sistemas de navegação inercial são amplamente utilizados em todos os tipos de veículos aeroespaciais, incluindo armas, aeronaves militares, aviões comerciais e naves espaciais. Muitos mísseis usam métodos inerciais para orientação, incluindo AMRAAM, Storm Shadow, Meteor e Tomahawk (HASTEDT, 2007).

#### **C.1.4.2 Orientação por navegação de alcance**

Ao contrário da navegação inercial, que está contida inteiramente a bordo do veículo, a navegação por alcance depende de sinais externos para orientação. A forma mais antiga dessa navegação foi o uso de balizas de rádio desenvolvidos principalmente para serviços aéreos comerciais. Essas balizas transmitem sinais de rádio recebidos por uma aeronave em voo (JOHNSON, 2002). Com base na direção e força dos sinais, o avião pode calcular sua

localização em relação às balizas e navegar pelos sinais (ZARCHAN, 2012). O advento do Sistema de Posicionamento Global (GPS) (Figura C.12). substituiu amplamente essas balizas de rádios no uso militar e civil. O GPS consiste em uma constelação de 24 satélites em órbita geossíncrona ao redor da Terra. Se um receptor de GPS na superfície da Terra puder receber sinais de pelo menos quatro desses satélites, ele poderá calcular uma posição tridimensional exata com grande precisão. Mísseis como JSOW e a série de bombas guiadas JDAM fazem uso de sinais de GPS para determinar onde estão com relação à localização de seus alvos. Ao longo de seu vôo, os mísseis usam essas informações para enviar comandos para controlar e ajustar sua trajetória (GIBSON e KEMMERLY, 2009).

Figura C.12 - Sistema de Posicionamento Global usado na orientação de navegação.



Fonte: Kemmerly (2009).

#### **C.1.4.3 Orientação por navegação celeste**

A navegação celeste é uma das primeiras formas de navegação criadas pelos seres humanos e viu sua maior aplicação nas viagens dos grandes exploradores marítimos como Cristóvão Colombo. A navegação celeste usa as posições das estrelas para determinar a localização, especialmente a latitude, na superfície da Terra. Essa forma de navegação requer uma boa visibilidade das estrelas, por isso só é útil à noite ou em altitudes muito altas. Como resultado, a navegação celeste raramente é aplicada a mísseis, embora tenha

sido usada em muitos mísseis balísticos como Poseidon. O míssil compara as posições das estrelas com uma imagem armazenada na memória para determinar sua trajetória de vôo (FLEEMAN e SCHETZ, 2012).

#### **C.1.4.4 Orientação por navegação geofísica**

Talvez ainda mais antiga que a navegação celeste seja a navegação geofísica, que depende de medições da Terra para obter informações de navegação. Os métodos que se enquadram nessa categoria incluem o uso de bússolas e magnetômetros para medir o campo magnético da Terra, bem como gravitômetros para medir o campo gravitacional da Terra (HASTEDT, 2007).

Embora esses métodos não tenham encontrado muita aplicação em mísseis, uma técnica mais útil é a correspondência de terrenos. Esse método normalmente requer um altímetro radar que use ondas de radar para determinar a altura acima do solo. Ao comparar os contornos do terreno com os dados armazenados a bordo do míssil, o piloto automático pode navegar até um local específico (ZARCHAN, 2012).

Uma técnica relacionada, porém, mais precisa, é chamada de correspondência de cena digital. Em conceito, a correspondência de cenas digitais é pouco diferente de olhar pela janela do seu carro e usar pontos de referência para navegar até um local específico. Mísseis fazem uso dessa técnica comparando a imagem vista abaixo dele com fotos de satélite ou aéreas armazenadas no computador. Se as cenas não coincidirem, o computador envia comandos para controlar e ajustar o curso do míssil até que as imagens concordem. A correspondência digital de cenas é usada no míssil de cruzeiro Tomahawk (GIBSON e KEMMERLY, 2009).

Em resumo, um míssil pode usar uma forma específica de orientação durante o voo ou pode depender de diferentes tipos de orientação em momentos diferentes. Muitas armas também fazem uso de uma combinação de métodos simultaneamente. Em particular, uma técnica comum é um sistema GPS / INS

combinado que tira proveito das orientações inerciais e posição de GPS para melhorar a precisão (ZARCHAN, 2012).

Para o estudo de caso desse trabalho, será utilizado um projeto na fase preliminar de um computador para o buscador (“*seeker*”) de mísseis em geral que fazem uso de um sistema computacional para processamento de sinais.

## APÊNDICE D – RESULTADOS DOS ESTUDOS DE CASOS

### D.1 Resultados do estudo de caso 1

A Tabela D.1 apresenta o resultado do *Checklist* de Obsolescência (Tabela 6.1) para o estudo de caso 1.

Tabela D.1 - *Checklist* de Obsolescência para o estudo de caso 1.

ITEM	PART DESCRIPTION	QTY	MANUF.	PART NUMBER	Checklist de Obsolescência								Avalia Risco?
					1	2	3	4	5	6	7	8	
1	RESISTOR FIXED FILM (INSULATED) 0.125W 5.1KOHMS 2%	1	VISHAY	RLR05C5101GS	S	S	S	S	N	S	S	S	SIM
2	RESISTOR FIXED FILM (INSULATED) 0.125W 1.58KOHMS 1%	1	VISHAY	RLR05C1581FS	S	S	S	S	N	S	S	S	SIM
3	RESISTOR FIXED METAL FILM (INSULATED) 0.125W 10KOHMS 1%	1	VISHAY	RNC55J1002FS	S	S	S	S	N	S	S	S	SIM
4	CAPACITOR MULTILAYER CERAMIC RADIAL 10NF 50V 1%	1	AVX	CCR06CG103FS	S	S	S	S	N	S	S	S	SIM
5	CAPACITOR MULTILAYER FIXED CERAMIC DIELECTRIC AXIAL 22NF 50V 10%	3	AVX	M39014/05-2267	S	S	S	S	N	S	S	S	SIM
6	CAPACITOR MULTILAYER FIXED CERAMIC DIELECTRIC AXIAL 22NF 50V 10%	14	AVX	M39014/05-2267	S	S	S	S	N	S	S	S	SIM
7	CAPACITOR MULTILAYER FIXED CERAMIC DIELECTRIC AXIAL 100NF 100V 10%	5	AVX	M39014/05-2310	S	S	S	S	N	S	S	S	SIM
8	CAPACITOR FIXED ELECTROLYTIC (SOLIDELECTROLYTE) TANTALUM (POLARIZED SINTERED SLUG) 47UF 5% 35V	2	KEMET	M39003/01-5649A	S	S	S	S	N	S	S	S	SIM
9	CAPACITOR MULTILAYER CERAMIC RADIAL 62pF 200V 1%	2	AVX	CCR09CG620FS	S	S	S	S	N	S	S	S	SIM
10	CAPACITOR MULTILAYER FIXED CERAMIC DIELECTRIC AXIAL 1UF 50V 10%	1	AVX	M39014/05-2325	S	S	S	S	N	S	S	S	SIM
11	CAPACITOR FIXED ELECTROLYTIC (SOLIDELECTROLYTE) TANTALUM (POLARIZED SINTERED SLUG) 2.2UF 20V 5%	2	KEMET	M39003/01-5630A	S	S	S	S	N	S	S	S	SIM
12	IC 54HC14 RAD-HARD HEX SCHMITT INVERTER	2	ST MICRO	9409-007-02F	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
13	IC 54HC02 RAD-HARD QUAD 2-INPUT NOR GATE	1	ST MICRO	9201-113-02F	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
14	IC 54HC04 RAD-HARD HEX INVERTER	1	ST MICRO	9401-033-02F	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
15	IC 54HC10 RAD-HARD TRIPLE 3-INPUT NAND GATE	1	ST MICRO	9201-107-02F	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
16	IC 54HC138 RAD-HARD 3-TO-8 LINE DECODER (INVERTING)	1	ST MICRO	9408-046-02F	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
17	IC 54HC373 RAD-HARD OCTAL D-TYPE LATCH WITH 3-STATE OUTPUT NON INVERTING	3	ST MICRO	9203-059-02F	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
18	IC 54HC4060 RAD-HARD 14 STAGE BINARY COUNTER/OSCILLATOR	1	ST MICRO	9204-076-02F	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
19	IC 82C54 RAD-HARD CMOS PROGRAMMABLE INTERVAL TIMER	1	INTERSIL	5962R9571301VXC	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
20	IC 54HC00 RAD-HARD QUAD 2-INPUT NAND GATE	1	ST MICRO	9201-105-02F	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM

Continua

Tabela D.1 – Conclusão.

ITEM	PART DESCRIPTION	QTY	MANUF.	PART NUMBER	Checklist de Obsolescência								Avalia Risco?
					1	2	3	4	5	6	7	8	
21	IC 54HC08 QUADRUPLE 2-INPUT POSITIVE AND GATES	2	ST MICRO	9201-106-02F	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
22	IC54HC74 DUAL D TYPE POSITIVE-EDGE-TRIGGERED FLIP-FLOPS WITH CLEAR AND PRESET	4	ST MICRO	9203-050-02F	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
23	IC 54HC161 SYNCHRONOUS 4-BIT BINARY COUNTERS	2	ST MICRO	9204-059-02F	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
24	IC 54HC164 RAD-HARD 8-BIT PARALLEL-OUT SERIAL-IN SHIFT REGISTERS	1	ST MICRO	9306-041-02F	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
25	IC 54HC4075 HIGH SPEED CMOS LOGIC TRIPLE 3-INPUT OR GATES	2	ST MICRO	9201-129-02F	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
26	IC 54HC244 OCTAL BUFFERS AND LINE DRIVERS WITH 3-STATE OUTPUTS	3	ST MICRO	940104802F	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
27	IC 54HC257 RAD-HARD QUAD 2 CHANNEL MULTIPLEXER (3-STATE)	1	ST MICRO	9408-047-02F	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
28	IC 82C85 RADIATION HARDENED CMOS STATIC CLOCK CONTROLLER/GENERATOR	1	INTERSIL	5962R9582001VXC	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
29	IC 54HC20 RAD-HARD DUAL 4-INPUT NAND GATE	1	ST MICRO	9201-118-02F	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
30	IC 54HCT245 RAD-HARD OCTAL BUS TRANSCEIVER WITH 3-STATE OUTPUTS (NON INVERTED)	2	ST MICRO	9405-014-02F	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
31	IC 80C86 RADIATION HARDENED 16-BIT CMOS MICROPROCESSOR	1	INTERSIL	5962R9572201QQC	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
32	IC 82C52 PROGRAMMABLE UART	1	INTERSIL	5962-9581701VXC	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
33	IC 82C59A/7 PRIORITY INTERRUPT CONTROLLER	1	INTERSIL	5962-9571801VXC	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
34	CONNECTOR MALE 90 DEGREE. 100" SERIES FOR PRINTED CIRCUIT BOARD 90 WAYS	1	INCON	M55302/59A90X	N	S	S	S	N	S	N	S	SIM
35	CRYSTAL UNITS IN METAL HOLDER BASED ON TYPE T1507 FREQUENCY: 12MHz	1	C-MAC	350100270B	N	N	S	S	N	S	N	S	SIM
36	RESISTOR FIXED FILM (INSULATED) 0.125W 10KOHMS 2%	10	VISHAY	RLR05C1002GS	S	S	S	S	N	S	S	S	SIM
37	RESISTOR FIXED FILM (INSULATED) 0.125W 100KOHMS 2%	1	VISHAY	RLR05C1003GS	S	S	S	S	N	S	S	S	SIM
38	RESISTOR FIXED FILM (INSULATED) 0.125W 1MOHMS 2%	1	VISHAY	RLR05C1004GP	S	S	S	S	N	S	S	S	SIM
39	RESISTORS FIXED WIRE WOUND (POWER TYPE) 1.0W 50.5OHMS 0.5%	2	VISHAY	RWR81S50R5DS	S	S	S	S	N	S	S	S	SIM

Fonte: Produção do Autor.



A Tabela D.2 apresenta o cálculo da taxa de falhas e da contribuição porcentual para o estudo de caso 1. O método aplicado foi o por Contagem de Partes (*Parts Count*) do manual MIL-HDBK-217 (1991, 1992, 1995).

Tabela D.2 - Cálculo da taxa de falhas e da contribuição porcentual da taxa de falhas para o estudo de caso 1.

CARD	REF.	PART NUMBER	CLASSIFICATION	QUALITY FACTOR	$\pi Q$	Gen. Fail. Rate (Fail/10 <sup>6</sup> Hr)	Part Fail. Rate (Fail/10 <sup>6</sup> Hr)	Contribution
CPUM	U16	5962R9572201VQC	Microprocessor MOS up to 16 Bits	S	0,25	0,093	0,02325	21,6344%
CPUM	U25	5962-9581701VXC	MOS Tech. Gate/Logic Arrays Digital - 28 Pin DIP (101 to 1000 GATES)	S	0,25	0,048	0,012	11,1662%
CPUM	CNTCPU	M55302/59B90X	Interconnection Assemblies (PCBs)	MIL-SPEC	1	0,027	0,027	6,2810%
CPUM	XTAL1	3501-002-070	quartz crystals	MIL-SPEC	1	0,016	0,016	3,7221%
CPUM			Plated Throughhole circuit boards	MIL-SPEC	1	0,011	0,011	2,5589%
CPUM	U10	9405-013-02B	MOS Tech. Gate/Logic Arrays Digital - 24 Pin DIP (101 to 1000 GATES)	S	0,25	0,01	0,0025	2,3263%
CPUM	U11	9405-013-02B	MOS Tech. Gate/Logic Arrays Digital - 24 Pin DIP (101 to 1000 GATES)	S	0,25	0,01	0,0025	2,3263%
CPUM	U18	9401-048-02B	MOS Tech. Gate/Logic Arrays Digital - 24 Pin DIP (101 to 1000 GATES)	S	0,25	0,01	0,0025	2,3263%
CPUM	U24	9401-048-02B	MOS Tech. Gate/Logic Arrays Digital - 24 Pin DIP (101 to 1000 GATES)	S	0,25	0,01	0,0025	2,3263%
CPUM	U28	9401-048-02B	MOS Tech. Gate/Logic Arrays Digital - 24 Pin DIP (101 to 1000 GATES)	S	0,25	0,01	0,0025	2,3263%
CPUM	U43,U42	27C256	Memories, EEPROM 64K to 256K	S	0,25	0,0072	0,0018	1,6749%
CPUM	U38	5962F9689108VXC	Memories, EEPROM 16K to 64K	S	0,25	0,0059	0,001475	1,3725%
CPUM	U39	5962F9689108VXC	Memories, EEPROM 16K to 64K	S	0,25	0,0059	0,001475	1,3725%
CPUM	U20	9201-106-02B	MOS Tech. Gate/Logic Arrays Digital - 16 Pin DIP (1 to 100 GATES)	S	0,25	0,0057	0,001425	1,3260%
CPUM	U99	9201-106-02B	MOS Tech. Gate/Logic Arrays Digital - 16 Pin DIP (1 to 100 GATES)	S	0,25	0,0057	0,001425	1,3260%
CPUM	U22	9409-007-02B	MOS Tech. Gate/Logic Arrays Digital - 16 Pin DIP (1 to 100 GATES)	S	0,25	0,0057	0,001425	1,3260%

Continua

Tabela D.2 – Continuação.

CARD	REF.	PART NUMBER	CLASSIFICATION	QUALITY FACTOR	$\pi Q$	Gen. Fail. Rate (Fail/10 <sup>6</sup> Hr)	Part Fail. Rate (Fail/10 <sup>6</sup> Hr)	Contribution
CPUM	U1	9306-041-02B	MOS Tech. Gate/Logic Arrays Digital - 16 Pin DIP (1 to 100 GATES)	S	0,25	0,0057	0,001425	1,3260%
CPUM	U3	9203-050-02B	MOS Tech. Gate/Logic Arrays Digital - 16 Pin DIP (1 to 100 GATES)	S	0,25	0,0057	0,001425	1,3260%
CPUM	U6	9203-050-02B	MOS Tech. Gate/Logic Arrays Digital - 16 Pin DIP (1 to 100 GATES)	S	0,25	0,0057	0,001425	1,3260%
CPUM	U26	9203-050-02B	MOS Tech. Gate/Logic Arrays Digital - 16 Pin DIP (1 to 100 GATES)	S	0,25	0,0057	0,001425	1,3260%
CPUM	U27	9203-050-02B	MOS Tech. Gate/Logic Arrays Digital - 16 Pin DIP (1 to 100 GATES)	S	0,25	0,0057	0,001425	1,3260%
CPUM	U4	9201-113-02B	MOS Tech. Gate/Logic Arrays Digital - 16 Pin DIP (1 to 100 GATES)	S	0,25	0,0057	0,001425	1,3260%
CPUM	U5	9201-129-02B	MOS Tech. Gate/Logic Arrays Digital - 16 Pin DIP (1 to 100 GATES)	S	0,25	0,0057	0,001425	1,3260%
CPUM	U31	9201-129-02B	MOS Tech. Gate/Logic Arrays Digital - 16 Pin DIP (1 to 100 GATES)	S	0,25	0,0057	0,001425	1,3260%
CPUM	U12	9408-046-02B	MOS Tech. Gate/Logic Arrays Digital - 16 Pin DIP (1 to 100 GATES)	S	0,25	0,0057	0,001425	1,3260%
CPUM	U13	9408-047-02B	MOS Tech. Gate/Logic Arrays Digital - 16 Pin DIP (1 to 100 GATES)	S	0,25	0,0057	0,001425	1,3260%
CPUM	U14	9401-033-02B	MOS Tech. Gate/Logic Arrays Digital - 16 Pin DIP (1 to 100 GATES)	S	0,25	0,0057	0,001425	1,3260%
CPUM	U19	9201-105-02B	MOS Tech. Gate/Logic Arrays Digital - 16 Pin DIP (1 to 100 GATES)	S	0,25	0,0057	0,001425	1,3260%
CPUM	U21	9201-107-02B	MOS Tech. Gate/Logic Arrays Digital - 16 Pin DIP (1 to 100 GATES)	S	0,25	0,0057	0,001425	1,3260%
CPUM	U23	9201-118-02B	MOS Tech. Gate/Logic Arrays Digital - 16 Pin DIP (1 to 100 GATES)	S	0,25	0,0057	0,001425	1,3260%
CPUM	U30	5962-9571801VXC	MOS-Technology – Gate/logic arrays/digital – 1-100 gates (16 pin DIP)	S	0,25	0,0057	0,001425	1,3260%
CPUM	U34	9204-059-02B	MOS Tech. Gate/Logic Arrays Digital - 16 Pin DIP (1 to 100 GATES)	S	0,25	0,0057	0,001425	1,3260%

Continua

Tabela D.2 – Continuação.

CARD	REF.	PART NUMBER	CLASSIFICATION	QUALITY FACTOR	$\pi Q$	Gen. Fail. Rate (Fail/10 <sup>6</sup> Hr)	Part Fail. Rate (Fail/10 <sup>6</sup> Hr)	Contribution
CPUM	U35	9204-059-02B	MOS Tech. Gate/Logic Arrays Digital - 16 Pin DIP (1 to 100 GATES)	S	0,25	0,0057	0,001425	1,3260%
CPUM	U15	5962R9582001VXC	Floating gate programmable – 24 pin dip	S	0,25	0,0046	0,00115	1,0701%
CPUM	U29	5962R9571301VXC	Floating gate programmable – 24 pin dip	S	0,25	0,0046	0,00115	1,0701%
CPUM	C39	CCR09CG620FS	Cer. Axial Cap. CKR	S	0,03	0,0014	0,000042	0,3257%
CPUM	C1	CCR09CG620FS	Cer. Axial Cap. CKR	S	0,03	0,0014	0,000042	0,3257%
CPUM	C4	M39014/05-2255	Cer. Axial Cap. CKR	S	0,03	0,0014	0,000042	0,3257%
CPUM	C6	M39014/05-2267	Cer. Axial Cap. CKR	S	0,03	0,0014	0,000042	0,3257%
CPUM	C7	M39014/05-2267	Cer. Axial Cap. CKR	S	0,03	0,0014	0,000042	0,3257%
CPUM	C8	M39014/05-2267	Cer. Axial Cap. CKR	S	0,03	0,0014	0,000042	0,3257%
CPUM	C9	M39014/05-2267	Cer. Axial Cap. CKR	S	0,03	0,0014	0,000042	0,3257%
CPUM	C10	M39014/05-2267	Cer. Axial Cap. CKR	S	0,03	0,0014	0,000042	0,3257%
CPUM	C11	M39014/05-2267	Cer. Axial Cap. CKR	S	0,03	0,0014	0,000042	0,3257%
CPUM	C12	M39014/05-2267	Cer. Axial Cap. CKR	S	0,03	0,0014	0,000042	0,3257%
CPUM	C13	M39014/05-2267	Cer. Axial Cap. CKR	S	0,03	0,0014	0,000042	0,3257%
CPUM	C14	M39014/05-2267	Cer. Axial Cap. CKR	S	0,03	0,0014	0,000042	0,3257%
CPUM	C15	M39014/05-2267	Cer. Axial Cap. CKR	S	0,03	0,0014	0,000042	0,3257%
CPUM	C16	M39014/05-2267	Cer. Axial Cap. CKR	S	0,03	0,0014	0,000042	0,3257%
CPUM	C17	M39014/05-2267	Cer. Axial Cap. CKR	S	0,03	0,0014	0,000042	0,3257%
CPUM	C18	M39014/05-2267	Cer. Axial Cap. CKR	S	0,03	0,0014	0,000042	0,3257%
CPUM	C19	M39014/05-2267	Cer. Axial Cap. CKR	S	0,03	0,0014	0,000042	0,3257%
CPUM	C20	M39014/05-2267	Cer. Axial Cap. CKR	S	0,03	0,0014	0,000042	0,3257%

Continua

Tabela D.2 – Continuação.

CARD	REF.	PART NUMBER	CLASSIFICATION	QUALITY FACTOR	$\pi Q$	Gen. Fail. Rate (Fail/10 <sup>6</sup> Hr)	Part Fail. Rate (Fail/10 <sup>6</sup> Hr)	Contribution
CPUM	C21	M39014/05-2267	Cer. Axial Cap. CKR	S	0,03	0,0014	0,000042	0,3257%
CPUM	C22	M39014/05-2267	Cer. Axial Cap. CKR	S	0,03	0,0014	0,000042	0,3257%
CPUM	C23	M39014/05-2310	Cer. Axial Cap. CKR	S	0,03	0,0014	0,000042	0,3257%
CPUM	C24	M39014/05-2310	Cer. Axial Cap. CKR	S	0,03	0,0014	0,000042	0,3257%
CPUM	C25	M39014/05-2310	Cer. Axial Cap. CKR	S	0,03	0,0014	0,000042	0,3257%
CPUM	C30	M39014/05-2310	Cer. Axial Cap. CKR	S	0,03	0,0014	0,000042	0,3257%
CPUM	C31	M39014/05-2310	Cer. Axial Cap. CKR	S	0,03	0,0014	0,000042	0,3257%
CPUM	C3	M39014/05-2325	Tant. Axial Cap. CSR	S	0,03	0,00072	0,0000216	0,1675%
CPUM	C5	M39003/01-5649	Tant. Axial Cap. CSR	S	0,03	0,00072	0,0000216	0,1675%
CPUM	C35	M39003/01-5649	Tant. Axial Cap. CSR	S	0,03	0,00072	0,0000216	0,1675%
CPUM	C2	M39003/01-8072	Tant. Axial Cap. CSR	S	0,03	0,00072	0,0000216	0,1675%
CPUM	C36	M39003/01-8072	Tant. Axial Cap. CSR	S	0,03	0,00072	0,0000216	0,1675%
CPUM	R1	RLR05C1002GS	Metal Film Res. RLR	S	0,03	0,00025	0,0000075	0,0582%
CPUM	R5	RLR05C1002GS	Metal Film Res. RLR	S	0,03	0,00025	0,0000075	0,0582%
CPUM	R9	RLR05C1002GS	Metal Film Res. RLR	S	0,03	0,00025	0,0000075	0,0582%
CPUM	R10	RLR05C1002GS	Metal Film Res. RLR	S	0,03	0,00025	0,0000075	0,0582%
CPUM	R11	RLR05C1002GS	Metal Film Res. RLR	S	0,03	0,00025	0,0000075	0,0582%
CPUM	R16	RLR05C1002GS	Metal Film Res. RLR	S	0,03	0,00025	0,0000075	0,0582%
CPUM	R17	RLR05C1002GS	Metal Film Res. RLR	S	0,03	0,00025	0,0000075	0,0582%
CPUM	R18	RLR05C1002GS	Metal Film Res. RLR	S	0,03	0,00025	0,0000075	0,0582%
CPUM	R19	RLR05C1002GS	Metal Film Res. RLR	S	0,03	0,00025	0,0000075	0,0582%
CPUM	R20	RLR05C1002GS	Metal Film Res. RLR	S	0,03	0,00025	0,0000075	0,0582%
CPUM	R3	RLR05C1003GS	Metal Film Res. RLR	S	0,03	0,00025	0,0000075	0,0582%

Continua

Tabela D.2 – Conclusão.

CARD	REF.	PART NUMBER	CLASSIFICATION	QUALITY FACTOR	$\pi Q$	Gen. Fail. Rate (Fail/10 <sup>6</sup> Hr)	Part Fail. Rate (Fail/10 <sup>6</sup> Hr)	Contribution
CPUM	R4	RLR05C1001GS	Metal Film Res. RLR	S	0,03	0,00025	0,0000075	0,0582%
CPUM	R8	RLR05C1301GS	Metal Film Res. RLR	S	0,03	0,00025	0,0000075	0,0582%
CPUM	R100	RLR05C1004GR	Metal Film Res. RLR	S	0,03	0,00025	0,0000075	0,0582%
CPUM	R22	RNC55J50R5FS	Metal Film Res. RLR	S	0,03	0,00025	0,0000075	0,0582%
CPUM	R23	RNC55J50R5FS	Metal Film Res. RLR	S	0,03	0,00025	0,0000075	0,0582%
CPUM	U17	9204-076-10BF	Single Con. Hand Solder w/ wrapping	MIL-SPEC	1	0,00007	0,00007	0,0163%

Fonte: Produção do Autor.

A Tabela D.3 apresenta o resultado da Probabilidade de Obsolescência (Tabela 6.2) para o estudo de caso 1.

Tabela D.3 - Probabilidade de Obsolescência para o estudo de caso 1.

ITEM	Part Description	QTY	MANUF	Part Number	Estoque	Consumo	Estoque vs Consumo	Número de Fornecedores	Anos até Fim Vida Produto (YTEOL)	Probabilidade da Obsolescência		
1	RESISTOR FIXED FILM (INSULATED) 0.125W 5.1KOHMS 2%	1	VISHAY	RLR05C5101GS	Baixo	Baixo	Médio	3	Baixo	17	Baixo	Baixo
2	RESISTOR FIXED FILM (INSULATED) 0.125W 1.58KOHMS 1%	1	VISHAY	RLR05C1581FS	Baixo	Baixo	Médio	3	Baixo	17	Baixo	Baixo
3	RESISTOR FIXED METAL FILM (INSULATED) 0.125W 10KOHMS	1	VISHAY	RNC55J1002FS	Baixo	Baixo	Médio	3	Baixo	17	Baixo	Baixo
4	CAPACITOR MULTILAYER CERAMIC RADIAL 10NF 50V 1%	1	AVX	CCR06CG103FS	Baixo	Baixo	Médio	3	Baixo	17	Baixo	Baixo
5	CAPACITOR MULTILAYER FIXED CERAMIC DIELECTRIC AXIAL 22NF 50V 10%	3	AVX	M39014/05-2267	Baixo	Baixo	Médio	3	Baixo	17	Baixo	Baixo
6	CAPACITOR MULTILAYER FIXED CERAMIC DIELECTRIC AXIAL 22NF 50V 10%	14	AVX	M39014/05-2267	Baixo	Baixo	Médio	3	Baixo	17	Baixo	Baixo
7	CAPACITOR MULTILAYER FIXED CERAMIC DIELECTRIC AXIAL 100NF 100V 10%	5	AVX	M39014/05-2310	Baixo	Baixo	Médio	3	Baixo	17	Baixo	Baixo
8	CAPACITOR FIXED ELECTROLYTIC (SOLIDELECTROLYTE) TANTALUM (POLARIZED SINTERED SLUG) 47UF 5% 35V	2	KEMET	M39003/01-5649A	Baixo	Baixo	Médio	3	Baixo	19	Baixo	Baixo
9	CAPACITOR MULTILAYER CERAMIC RADIAL 62pF 200V 1%	2	AVX	CCR09CG620FS	Baixo	Baixo	Médio	3	Baixo	17	Baixo	Baixo

Continua

Tabela D.3 – Continuação.

ITEM	Part Description	QTY	MANUF	Part Number	Estoque	Consumo	Estoque vs Consumo	Número de Fornecedores	Anos até Fim Vida Produto (YTEOL)	Probabilidade da Obsolescência		
10	CAPACITOR MULTILAYER FIXED CERAMIC DIELECTRIC AXIAL 1UF 50V 10%	1	AVX	M39014/05-2325	Baixo	Baixo	Médio	3	Baixo	17	Baixo	Baixo
11	CAPACITOR FIXED ELECTROLYTIC (SOLIDELECTROLYTE) TANTALUM (POLARIZED SINTERED SLUG) 2.2UF 20V 5%	2	KEMET	M39003/01-5630A	Baixo	Baixo	Médio	3	Baixo	19	Baixo	Baixo
12	IC 54HC14 RAD-HARD HEX SCHMITT INVERTER	2	ST MICRO	9409-007-02F	Baixo	Baixo	Médio	3	Baixo	17	Baixo	Baixo
13	IC 54HC02 RAD-HARD QUAD 2-INPUT NOR GATE	1	ST MICRO	9201-113-02F	Baixo	Baixo	Médio	3	Baixo	15	Baixo	Baixo
14	IC 54HC04 RAD-HARD HEX INVERTER	1	ST MICRO	9401-033-02F	Baixo	Baixo	Médio	3	Baixo	17	Baixo	Baixo
15	IC 54HC10 RAD-HARD TRIPLE 3-INPUT NAND GATE	1	ST MICRO	9201-107-02F	Baixo	Baixo	Médio	3	Baixo	15	Baixo	Baixo
16	IC 54HC138 RAD-HARD 3-TO-8 LINE DECODER (INVERTING)	1	ST MICRO	9408-046-02F	Baixo	Baixo	Médio	3	Baixo	19	Baixo	Baixo
17	IC 54HC373 RAD-HARD OCTAL D-TYPE LATCH WITH 3-STATE OUTPUT NON INVERTING	3	ST MICRO	9203-059-02F	Baixo	Baixo	Médio	3	Baixo	19	Baixo	Baixo
18	IC 54HC4060 RAD-HARD 14 STAGE BINARY	1	ST MICRO	9204-076-02F	Baixo	Baixo	Médio	3	Baixo	19	Baixo	Baixo
19	IC 82C54 RAD-HARD CMOS PROGRAMMABLE INTERVAL TIMER	1	INTERSIL	5962R9571301VXC	Baixo	Baixo	Médio	3	Baixo	2	Médio	Médio
20	IC 54HC00 RAD-HARD QUAD 2-INPUT NAND GATE	1	ST MICRO	9201-105-02F	Baixo	Baixo	Médio	3	Baixo	15	Baixo	Baixo
21	IC 54HC08 QUADRUPLE 2-INPUT POSITIVE AND GATES	2	ST MICRO	9201-106-02F	Baixo	Baixo	Médio	3	Baixo	15	Baixo	Baixo
22	IC54HC74 DUAL D TYPE POSITIVE-EDGE-TRIGGERED FLIP-FLOPS WITH CLEAR AND PRESET	4	ST MICRO	9203-050-02F	Baixo	Baixo	Médio	3	Baixo	17	Baixo	Baixo
23	IC 54HC161 SYNCHRONOUS 4-BIT BINARY COUNTERS	2	ST MICRO	9204-059-02F	Baixo	Baixo	Médio	3	Baixo	19	Baixo	Baixo
24	IC 54HC164 RAD-HARD 8-BIT PARALLEL-OUT SERIAL-IN SHIFT	1	ST MICRO	9306-041-02F	Baixo	Baixo	Médio	3	Baixo	19	Baixo	Baixo
25	IC 54HC4075 HIGH SPEED CMOS LOGIC TRIPLE 3-INPUT OR	2	ST MICRO	9201-129-02F	Baixo	Baixo	Médio	3	Baixo	4	Médio	Médio
26	IC 54HC244 OCTAL BUFFERS AND LINE DRIVERS WITH 3-STATE	3	ST MICRO	940104802F	Baixo	Baixo	Médio	3	Baixo	15	Baixo	Baixo
27	IC 54HC257 RAD-HARD QUAD 2 CHANNEL MULTIPLEXER (3-STATE)	1	ST MICRO	9408-047-02F	Baixo	Baixo	Médio	3	Baixo	19	Baixo	Baixo
28	IC 82C85 RADIATION HARDENED CMOS STATIC CLOCK CONTROLLER/GENERATOR	1	INTERSIL	5962R9582001VXC	Baixo	Baixo	Médio	3	Baixo	5	Médio	Médio
29	IC 54HC20 RAD-HARD DUAL 4-INPUT NAND GATE	1	ST MICRO	9201-118-02F	Baixo	Baixo	Médio	3	Baixo	12	Baixo	Baixo
30	IC 54HCT245 RAD-HARD OCTAL BUS TRANSCEIVER WITH 3-STATE OUTPUTS (NON INVERTED)	2	ST MICRO	9405-014-02F	Baixo	Baixo	Médio	3	Baixo	17	Baixo	Baixo
31	IC 80C86 RADIATION HARDENED 16-BIT CMOS	1	INTERSIL	5962R9572201QQC	Baixo	Baixo	Médio	3	Baixo	2	Médio	Médio
32	IC 82C52 PROGRAMMABLE UART	1	INTERSIL	5962-9581701VXC	Baixo	Baixo	Médio	3	Baixo	19	Baixo	Baixo
33	IC 82C52 PROGRAMMABLE UART	1	INTERSIL	5962-9571801VXC	Baixo	Baixo	Médio	3	Baixo	14	Baixo	Baixo
34	CONNECTOR MALE 90 DEGREE .100" SERIES FOR PRINTED CIRCUIT BOARD 90 WAYS	1	INCON	M55302/59A90X	Baixo	Baixo	Médio	3	Baixo	20	Baixo	Baixo
35	CRYSTAL UNITS IN METAL HOLDER BASED ON TYPE T1507 FREQUENCY: 12MHz	1	C-MAC	350100270B	Baixo	Baixo	Médio	3	Baixo	20	Baixo	Baixo

Continua

Tabela D.3 – Conclusão.

ITEM	Part Description	QTY	MANUF	Part Number	Estoque	Consumo	Estoque vs Consumo	Número de Fornecedores	Anos até Fim Vida Produto (YTEOL)	Probabilidade da Obsolescência		
36	RESISTOR FIXED FILM (INSULATED) 0.125W 10KOHMS 2%	10	VISHAY	RLR05C1002GS	Baixo	Baixo	Médio	3	Baixo	17	Baixo	Baixo
37	RESISTOR FIXED FILM (INSULATED) 0.125W 100KOHMS 2%	1	VISHAY	RLR05C1003GS	Baixo	Baixo	Médio	3	Baixo	17	Baixo	Baixo
38	RESISTOR FIXED FILM (INSULATED) 0.125W 1MOHMS 2%	1	VISHAY	RLR05C1004GP	Baixo	Baixo	Médio	3	Baixo	17	Baixo	Baixo
39	RESISTORS FIXED WIRE WOUND (POWER TYPE) 1.0W 50.5OHMS 0.5%	2	VISHAY	RWR81S50R5DS	Baixo	Baixo	Médio	3	Baixo	17	Baixo	Baixo

Fonte: Produção do Autor.

A Tabela D.4 apresenta os resultados da Criticidade Restrita, da Criticidade Estendida e da Estratégia de Mitigação do Risco de Obsolescência para o estudo de caso 1.

Tabela D.4 - Criticidade Restrita, Criticidade Estendida e Estratégia de Mitigação do Risco de Obsolescência para o estudo de caso 1.

ITEM	PART DESCRIPTION	QTY	MANUF.	PART NUMBER	Severidade (S)	Probabilidade (P)	Indetectabilidade (ID)	Intratabilidade (IT)	Criticidade Restrita	Criticidade Estendida	Estratégia de Mitigação
1	RESISTOR FIXED FILM (INSULATED) 0.125W 5.1KOHMS 2%	1	VISHAY	RLR05C5101GS	●	Pb	●	●	●	●	Reativo
2	RESISTOR FIXED FILM (INSULATED) 0.125W 1.58KOHMS 1%	1	VISHAY	RLR05C1581FS	●	Pb	●	●	●	●	Reativo
3	RESISTOR FIXED METAL FILM (INSULATED) 0.125W 10KOHMS 1%	1	VISHAY	RNC55J1002FS	●	Pb	●	●	●	●	Reativo
4	CAPACITOR MULTILAYER CERAMIC RADIAL 10NF 50V 1%	1	AVX	CCR06CG103FS	●	Pb	●	●	●	●	Reativo
5	CAPACITOR MULTILAYER FIXED CERAMIC DIELECTRIC AXIAL 22NF 50V 10%	3	AVX	M39014/05-2267	●	Pb	●	●	●	●	Reativo
6	CAPACITOR MULTILAYER FIXED CERAMIC DIELECTRIC AXIAL 22NF 50V 10%	14	AVX	M39014/05-2267	●	Pb	●	●	●	●	Reativo
7	CAPACITOR MULTILAYER FIXED CERAMIC DIELECTRIC AXIAL 100NF 100V 10%	5	AVX	M39014/05-2310	●	Pb	●	●	●	●	Reativo

Continua

Tabela D.4 – Continuação.

ITEM	PART DESCRIPTION	QTY	MANUF.	PART NUMBER	Severidade (S)	Probabilidade (P)	Indetectabilidade (ID)	Intratabilidade (IT)	Criticidade Restrita	Criticidade Estendida	Estratégia de Mitigação
8	CAPACITOR FIXED ELECTROLYTIC (SOLIDELECTROLYTE) TANTALUM (POLARIZED SINTERED SLUG) 47UF 5% 35V	2	KEMET	M39003/01-5649A	●	Pb	●	●	●	●	Reativo
9	CAPACITOR MULTILAYER CERAMIC RADIAL 62pF 200V 1%	2	AVX	CCR09CG620FS	●	Pb	●	●	●	●	Reativo
10	CAPACITOR MULTILAYER FIXED CERAMIC DIELECTRIC AXIAL 1UF 50V 10%	1	AVX	M39014/05-2325	●	Pb	●	●	●	●	Reativo
11	CAPACITOR FIXED ELECTROLYTIC (SOLIDELECTROLYTE) TANTALUM (POLARIZED SINTERED SLUG) 2.2UF 20V 5%	2	KEMET	M39003/01-5630A	●	Pb	●	●	●	●	Reativo
12	IC 54HC14 RAD-HARD HEX SCHMITT INVERTER	2	ST MICRO	9409-007-02F	●	Pb	●	●	●	●	Reativo
13	IC 54HC02 RAD-HARD QUAD 2-INPUT NOR GATE	1	ST MICRO	9201-113-02F	●	Pb	●	●	●	●	Reativo
14	IC 54HC04 RAD-HARD HEX INVERTER	1	ST MICRO	9401-033-02F	●	Pb	●	●	●	●	Reativo
15	IC 54HC10 RAD-HARD TRIPLE 3-INPUT NAND GATE	1	ST MICRO	9201-107-02F	●	Pb	●	●	●	●	Reativo
16	IC 54HC138 RAD-HARD 3-TO-8 LINE DECODER (INVERTING)	1	ST MICRO	9408-046-02F	●	Pb	●	●	●	●	Reativo
17	IC 54HC373 RAD-HARD OCTAL D-TYPE LATCH WITH 3-STATE OUTPUT NON INVERTING	3	ST MICRO	9203-059-02F	●	Pb	●	●	●	●	Reativo
18	IC 54HC4060 RAD-HARD 14 STAGE BINARY COUNTER/OSCILLATOR	1	ST MICRO	9204-076-02F	●	Pb	●	●	●	●	Reativo
19	IC 82C54 RAD-HARD CMOS PROGRAMMABLE INTERVAL TIMER	1	INTERSIL	5962R9571301VXC	●	Pm	●	●	●	●	Progressivo
20	IC 54HC00 RAD-HARD QUAD 2-INPUT NAND GATE	1	ST MICRO	9201-105-02F	●	Pb	●	●	●	●	Reativo
21	IC 54HC08 QUADRUPLE 2-INPUT POSITIVE AND GATES	2	ST MICRO	9201-106-02F	●	Pb	●	●	●	●	Reativo

Continua



Tabela D.4 – Continuação.

ITEM	PART DESCRIPTION	QTY	MANUF.	PART NUMBER	Severidade (S)	Probabilidade (P)	Indetectabilidade (ID)	Intratabilidade (IT)	Criticidade Restrita	Criticidade Estendida	Estratégia de Mitigação
22	IC54HC74 DUAL D TYPE POSITIVE-EDGE-TRIGGERED FLIP-FLOPS WITH CLEAR AND PRESET	4	ST MICRO	9203-050-02F	●	Pb	●	●	●	●	Reativo
23	IC 54HC161 SYNCHRONOUS 4-BIT BINARY COUNTERS	2	ST MICRO	9204-059-02F	●	Pb	●	●	●	●	Reativo
24	IC 54HC164 RAD-HARD 8-BIT PARALLEL-OUT SERIAL-IN SHIFT REGISTERS	1	ST MICRO	9306-041-02F	●	Pb	●	●	●	●	Reativo
25	IC 54HC4075 HIGH SPEED CMOS LOGIC TRIPLE 3-INPUT OR GATES	2	ST MICRO	9201-129-02F	●	Pm	●	●	●	●	Passivo
26	IC 54HC244 OCTAL BUFFERS AND LINE DRIVERS WITH 3-STATE OUTPUTS	3	ST MICRO	940104802F	●	Pb	●	●	●	●	Reativo
27	IC 54HC257 RAD-HARD QUAD 2 CHANNEL MULTIPLEXER (3-STATE)	1	ST MICRO	9408-047-02F	●	Pb	●	●	●	●	Reativo
28	IC 82C85 RADIATION HARDENED CMOS STATIC CLOCK CONTROLLER/GENERATOR	1	INTERSIL	5962R9582001VXC	●	Pm	●	●	●	●	Progressivo
29	IC 54HC20 RAD-HARD DUAL 4-INPUT NAND GATE	1	ST MICRO	9201-118-02F	●	Pb	●	●	●	●	Reativo
30	IC 54HCT245 RAD-HARD OCTAL BUS TRANSCEIVER WITH 3-STATE OUTPUTS (NON INVERTED)	2	ST MICRO	9405-014-02F	●	Pb	●	●	●	●	Reativo
31	IC 80C86 RADIATION HARDENED 16-BIT CMOS MICROPROCESSOR	1	INTERSIL	5962R9572201QQC	●	Pm	●	●	●	●	Progressivo
32	IC 82C52 PROGRAMMABLE UART	1	INTERSIL	5962-9581701VXC	●	Pb	●	●	●	●	Reativo
33	IC 82C59A/7 PRIORITY INTERRUPT CONTROLLER	1	INTERSIL	5962-9571801VXC	●	Pb	●	●	●	●	Reativo
34	CONNECTOR MALE 90 DEGREE .100" SERIES FOR PRINTED CIRCUIT BOARD 90 WAYS	1	INCON	M55302/59A90X	●	Pb	●	●	●	●	Reativo
35	CRYSTAL UNITS IN METAL HOLDER BASED ON TYPE T1507 FREQUENCY: 12MHZ	1	C-MAC	350100270B	●	Pb	●	●	●	●	Reativo

Continua

Tabela D.4 – Conclusão.

ITEM	PART DESCRIPTION	QTY	MANUF.	PART NUMBER	Severidade (S)	Probabilidade (P)	Indetectabilidade (ID)	Intratabilidade (IT)	Criticidade Restrita	Criticidade Estendida	Estratégia de Mitigação
36	RESISTOR FIXED FILM (INSULATED) 0.125W 10KOHMS 2%	10	VISHAY	RLR05C1002GS	●	Pb	●	●	●	●	Reativo
37	RESISTOR FIXED FILM (INSULATED) 0.125W 100KOHMS 2%	1	VISHAY	RLR05C1003GS	●	Pb	●	●	●	●	Reativo
38	RESISTOR FIXED FILM (INSULATED) 0.125W 1MOHMS 2%	1	VISHAY	RLR05C1004GP	●	Pb	●	●	●	●	Reativo
39	RESISTORS FIXED WIRE WOUND (POWER TYPE) 1.0W 50.5OHMS 0.5%	2	VISHAY	RWR81S50R5DS	●	Pb	●	●	●	●	Reativo

Fonte: Produção do Autor.

A Tabela D.5 apresenta o Plano de Obsolescência (Tabela 6.3) para o estudo de caso 1.

Tabela D.5 - Plano de Obsolescência para o estudo de caso 1.

Item	Part Description	Estado da Obsolescência	Anos até Fim Vida Produto (YTEOL)	Risco de Obsolescência	Estratégias de Mitigação	Ações de Mitigação	Razão Provável Obsolescência	Possíveis Alternativas e/ou substitutos	Avaliação da Robustez	Responsável / Prazo
1	RESISTOR FIXED FILM (INSULATED) 0.125W 5.1KOHMS 2%	Não Obsoleto	17	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
2	RESISTOR FIXED FILM (INSULATED) 0.125W 1.58KOHMS 1%	Não Obsoleto	17	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
3	RESISTOR FIXED METAL FILM (INSULATED) 0.125W 10KOHMS 1%	Não Obsoleto	17	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
4	CAPACITOR MULTILAYER CERAMIC RADIAL 10NF 50V 1%	Não Obsoleto	17	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
5	CAPACITOR MULTILAYER FIXED CERAMIC DIELECTRIC AXIAL 22NF 50V 10%	Não Obsoleto	17	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				

Continua

Tabela D.5 – Continuação.

Item	Part Description	Estado da Obsolescência	Anos até Fim Vida Produto (YTEOL)	Risco de Obsolescência	Estratégias de Mitigação	Ações de Mitigação	Razão Provável Obsolescência	Possíveis Alternativas e/ou substitutos	Avaliação da Robustez	Responsável / Prazo
6	CAPACITOR MULTILAYER FIXED CERAMIC DIELECTRIC AXIAL 22NF 50V 10%	Não Obsoleto	17	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
7	CAPACITOR MULTILAYER FIXED CERAMIC DIELECTRIC AXIAL 100NF 100V 10%	Não Obsoleto	17	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
8	CAPACITOR FIXED ELECTROLYTIC (SOLIDELECTROLYTE) TANTALUM (POLARIZED SINTERED SLUG) 47UF 5% 35V	Não Obsoleto	19	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
9	CAPACITOR MULTILAYER CERAMIC RADIAL 62pF 200V 1%	Não Obsoleto	17	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
10	CAPACITOR MULTILAYER FIXED CERAMIC DIELECTRIC AXIAL 1UF 50V 10%	Não Obsoleto	17	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
11	CAPACITOR FIXED ELECTROLYTIC (SOLIDELECTROLYTE) TANTALUM (POLARIZED SINTERED SLUG) 2.2UF 20V 5%	Não Obsoleto	19	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
12	IC 54HC14 RAD-HARD HEX SCHMITT INVERTER	Não Obsoleto	17	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
13	IC 54HC02 RAD-HARD QUAD 2-INPUT NOR GATE	Não Obsoleto	15	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
14	IC 54HC04 RAD-HARD HEX INVERTER	Não Obsoleto	17	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
15	IC 54HC10 RAD-HARD TRIPLE 3-INPUT NAND GATE	Não Obsoleto	15	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
16	IC 54HC138 RAD-HARD 3-TO-8 LINE DECODER (INVERTING)	Não Obsoleto	19	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
17	IC 54HC373 RAD-HARD OCTAL D-TYPE LATCH WITH 3-STATE OUTPUT NON INVERTING	Não Obsoleto	19	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
18	IC 54HC4060 RAD-HARD 14 STAGE BINARY COUNTER/OSCILLATOR	Não Obsoleto	19	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
19	IC 82C54 RAD-HARD CMOS PROGRAMMABLE INTERVAL TIMER	Não Obsoleto	2	Médio	Progressivo	Desenvolver alternativo /Substituto	YTEOL	MD82C54/B	Item alternativo é de aplicação militar e não possui proteção para radiação, reduzindo a robustez da placa	Desenvolver solução de blindagem para o item alternativo - Eng. Projeto
20	IC 54HC00 RAD-HARD QUAD 2-INPUT NAND GATE	Não Obsoleto	15	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				

Continua

Tabela D.5 – Continuação.

Item	Part Description	Estado da Obsolescência	Anos até Fim Vida Produto (YTEOL)	Risco de Obsolescência	Estratégias de Mitigação	Ações de Mitigação	Razão Provável Obsolescência	Possíveis Alternativas e/ou substitutos	Avaliação da Robustez	Responsável / Prazo
21	IC 54HC08 QUADRUPLE 2-INPUT POSITIVE AND GATES	Não Obsoleto	15	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
22	IC54HC74 DUAL D TYPE POSITIVE-EDGE-TRIGGERED FLIP-FLOPS WITH CLEAR AND PRESET	Não Obsoleto	17	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
23	IC 54HC161 SYNCHRONOUS 4-BIT BINARY COUNTERS	Não Obsoleto	19	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
24	IC 54HC164 RAD-HARD 8-BIT PARALLEL-OUT SERIAL-IN SHIFT REGISTERS	Não Obsoleto	19	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
25	IC 54HC4075 HIGH SPEED CMOS LOGIC TRIPLE 3-INPUT OR GATES	Não Obsoleto	4	Médio	Passivo	Monitorar a obsolescência; Preparar opções de solução	YTEOL			
26	IC 54HC244 OCTAL BUFFERS AND LINE DRIVERS WITH 3-STATE OUTPUTS	Não Obsoleto	15	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
27	IC 54HC257 RAD-HARD QUAD 2 CHANNEL MULTIPLEXER (3-STATE)	Não Obsoleto	19	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
28	IC 82C85 RADIATION HARDENED CMOS STATIC CLOCK CONTROLLER/GENERATOR	Não Obsoleto	5	Médio	Progressivo	Desenvolver alternativo /Substituto	YTEOL	MD82C85/B	Item alternativo é de aplicação militar e não possui proteção para radiação, reduzindo a robustez da placa	Desenvolver solução de blindagem para o item alternativo - Eng. Projeto
29	IC 54HC20 RAD-HARD DUAL 4-INPUT NAND GATE	Não Obsoleto	12	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
30	IC 54HCT245 RAD-HARD OCTAL BUS TRANSCEIVER WITH 3-STATE OUTPUTS (NON INVERTED)	Não Obsoleto	17	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
31	IC 80C86 RADIATION HARDENED 16-BIT CMOS MICROPROCESSOR	Não Obsoleto	2	Médio	Progressivo	Desenvolver alternativo /Substituto	YTEOL	MD80C86-2/883 MD80C86-2/B 8405202QA	Itens alternativos são de aplicação militar e não possuem proteção para radiação, reduzindo a robustez da placa	Desenvolver solução de blindagem para o item alternativo - Eng. Projeto
32	IC 82C52 PROGRAMMABLE UART	Não Obsoleto	19	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
33	IC 82C59A/7 PRIORITY INTERRUPT CONTROLLER	Não Obsoleto	14	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
34	CONNECTOR MALE 90 DEGREE.100" SERIES FOR PRINTED CIRCUIT BOARD 90 WAYS	Não Obsoleto	20	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
35	CRYSTAL UNITS IN METAL HOLDER BASED ON TYPE T1507 FREQUENCY: 12MHZ	Não Obsoleto	20	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				

Continua

Tabela D.5 – Conclusão.

Item	Part Description	Estado da Obsolescência	Anos até Fim Vida Produto (YTEOL)	Risco de Obsolescência	Estratégias de Mitigação	Ações de Mitigação	Razão Provável Obsolescência	Possíveis Alternativas e/ou substitutos	Avaliação da Robustez	Responsável / Prazo
36	RESISTOR FIXED FILM (INSULATED) 0.125W 10KOHMS 2%	Não Obsoleto	17	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
37	RESISTOR FIXED FILM (INSULATED) 0.125W 100KOHMS 2%	Não Obsoleto	17	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
38	RESISTOR FIXED FILM (INSULATED) 0.125W 1MOHMS 2%	Não Obsoleto	17	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
39	RESISTORS FIXED WIRE WOUND (POWER TYPE) 1.0W 50.5OHMS 0.5%	Não Obsoleto	17	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				

Fonte: Produção do Autor.

## D.2 Resultados do estudo de caso 2

A Tabela D.6 apresenta o resultado do *Checklist* de Obsolescência (Tabela 6.1) para o estudo de caso 2.

Tabela D.6 - *Checklist* de Obsolescência para o estudo de caso 2.

ITEM	PART DESCRIPTION	QTY	MANUF.	PART NUMBER	Checklist de Obsolescência								Avalia Risco?
					1	2	3	4	5	6	7	8	
1	RESISTOR FIXED FILM (INSULATED) 0.125W 5.1KOHMS 2%	1	VISHAY	RLR05C5101GS	S	S	S	S	N	S	S	S	SIM
2	RESISTOR FIXED FILM (INSULATED) 0.125W 1.58KOHMS 1%	1	VISHAY	RLR05C1581FS	S	S	S	S	N	S	S	S	SIM
3	RESISTOR FIXED METAL FILM (INSULATED) 0.125W 10KOHMS 1%	1	VISHAY	RNC55J1002FS	S	S	S	S	N	S	S	S	SIM
4	CAPACITOR MULTILAYER CERAMIC RADIAL 10NF 50V 1%	1	AVX	CCR06CG103FS	S	S	S	S	N	S	S	S	SIM
5	CAPACITOR MULTILAYER FIXED CERAMIC DIELECTRIC AXIAL 22NF 50V 10%	3	AVX	M39014/05-2267	S	S	S	S	N	S	S	S	SIM
6	CAPACITOR MULTILAYER FIXED CERAMIC DIELECTRIC AXIAL 22NF 50V 10%	14	AVX	M39014/05-2267	S	S	S	S	N	S	S	S	SIM
7	CAPACITOR MULTILAYER FIXED CERAMIC DIELECTRIC AXIAL 100NF 100V 10%	5	AVX	M39014/05-2310	S	S	S	S	N	S	S	S	SIM
8	CAPACITOR FIXED ELECTROLYTIC (SOLIDELECTROLYTE) TANTALUM (POLARIZED SINTERED SLUG) 47UF 5% 35V	2	KEMET	M39003/01-5649A	S	S	S	S	N	S	S	S	SIM
9	CAPACITOR MULTILAYER CERAMIC RADIAL 62pF 200V 1%	2	AVX	CCR09CG620FS	S	S	S	S	N	S	S	S	SIM
10	CAPACITOR MULTILAYER FIXED CERAMIC DIELECTRIC AXIAL 1UF 50V 10%	1	AVX	M39014/05-2325	S	S	S	S	N	S	S	S	SIM
11	CAPACITOR FIXED ELECTROLYTIC (SOLIDELECTROLYTE) TANTALUM (POLARIZED SINTERED SLUG) 2.2UF 20V 5%	2	KEMET	M39003/01-5630A	S	S	S	S	N	S	S	S	SIM
12	IC 54HC14 RAD-HARD HEX SCHMITT INVERTER	2	ST MICRO	9409-007-02F	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
13	IC 54HC02 RAD-HARD QUAD 2-INPUT NOR GATE	1	ST MICRO	9201-113-02F	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
14	IC 54HC04 RAD-HARD HEX INVERTER	1	ST MICRO	9401-033-02F	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
15	IC 54HC10 RAD-HARD TRIPLE 3-INPUT NAND GATE	1	ST MICRO	9201-107-02F	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
16	IC 54HC138 RAD-HARD 3-TO-8 LINE DECODER (INVERTING)	1	ST MICRO	9408-046-02F	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
17	IC 54HC373 RAD-HARD OCTAL D-TYPE LATCH WITH 3-STATE OUTPUT NON INVERTING	3	ST MICRO	9203-059-02F	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
18	IC 54HC4060 RAD-HARD 14 STAGE BINARY COUNTER/OSCILLATOR	1	ST MICRO	9204-076-02F	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
19	IC 82C54 RAD-HARD CMOS PROGRAMMABLE INTERVAL TIMER	1	INTERSIL	5962R9571301VXC	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
20	IC 54HC00 RAD-HARD QUAD 2-INPUT NAND GATE	1	ST MICRO	9201-105-02F	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM

Continua

Tabela D.6 – Conclusão.

ITEM	PART DESCRIPTION	QTY	MANUF.	PART NUMBER	Checklist de Obsolescência								Avalia Risco?
					1	2	3	4	5	6	7	8	
21	IC 54HC08 QUADRUPLE 2-INPUT POSITIVE AND GATES	2	ST MICRO	9201-106-02F	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
22	IC54HC74 DUAL D TYPE POSITIVE-EDGE-TRIGGERED FLIP-FLOPS WITH CLEAR AND PRESET	4	ST MICRO	9203-050-02F	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
23	IC 54HC161 SYNCHRONOUS 4-BIT BINARY COUNTERS	2	ST MICRO	9204-059-02F	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
24	IC 54HC164 RAD-HARD 8-BIT PARALLEL-OUT SERIAL-IN SHIFT REGISTERS	1	ST MICRO	9306-041-02F	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
25	IC 54HC4075 HIGH SPEED CMOS LOGIC TRIPLE 3-INPUT OR GATES	2	ST MICRO	9201-129-02F	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
26	IC 54HC244 OCTAL BUFFERS AND LINE DRIVERS WITH 3-STATE OUTPUTS	3	ST MICRO	940104802F	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
27	IC 54HC257 RAD-HARD QUAD 2 CHANNEL MULTIPLEXER (3-STATE)	1	ST MICRO	9408-047-02F	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
28	IC 82C85 RADIATION HARDENED CMOS STATIC CLOCK CONTROLLER/GENERATOR	1	INTERSIL	5962R9582001VXC	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
29	IC 54HC20 RAD-HARD DUAL 4-INPUT NAND GATE	1	ST MICRO	9201-118-02F	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
30	IC 54HCT245 RAD-HARD OCTAL BUS TRANSCEIVER WITH 3-STATE OUTPUTS (NON INVERTED)	2	ST MICRO	9405-014-02F	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
31	IC 80C86 RADIATION HARDENED 16-BIT CMOS MICROPROCESSOR	1	INTERSIL	5962R9572201QQC	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
32	IC 82C52 PROGRAMMABLE UART	1	INTERSIL	5962-9581701VXC	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
33	IC 82C59A/7 PRIORITY INTERRUPT CONTROLLER	1	INTERSIL	5962-9571801VXC	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
34	CONNECTOR MALE 90 DEGREE. 100" SERIES FOR PRINTED CIRCUIT BOARD 90 WAYS	1	INCON	M55302/59A90X	N	S	S	S	N	S	N	S	SIM
35	CRYSTAL UNITS IN METAL HOLDER BASED ON TYPE T1507 FREQUENCY: 12MHz	1	C-MAC	350100270B	N	N	S	S	N	S	N	S	SIM
36	RESISTOR FIXED FILM (INSULATED) 0.125W 10KOHMS 2%	10	VISHAY	RLR05C1002GS	S	S	S	S	N	S	S	S	SIM
37	RESISTOR FIXED FILM (INSULATED) 0.125W 100KOHMS 2%	1	VISHAY	RLR05C1003GS	S	S	S	S	N	S	S	S	SIM
38	RESISTOR FIXED FILM (INSULATED) 0.125W 1MOHMS 2%	1	VISHAY	RLR05C1004GP	S	S	S	S	N	S	S	S	SIM
39	RESISTORS FIXED WIRE WOUND (POWER TYPE) 1.0W 50.5OHMS 0.5%	2	VISHAY	RWR81S50R5DS	S	S	S	S	N	S	S	S	SIM

Fonte: Produção do Autor.

A Tabela D.7 apresenta o cálculo da taxa de falhas para o estudo de caso 2. O método aplicado foi o por Estresse de Partes (*Parts Stress*) do manual MIL-HDBK-217 (1991, 1992, 1995).

Tabela D.7 - Cálculo da taxa de falhas para o estudo de caso 2.

Capacitor																
PART DESCRIPTION	REF.	Cap. Amb. Temp. (°C)	Capacitance (mF)	Applied / Operating Voltage (V)	Rated Voltage (V)	VOLTAGE STRESS	Eff. Res. (W)	CR	I <sub>b</sub>	P <sub>r</sub>	P <sub>c</sub>	P <sub>v</sub>	P <sub>SR</sub>	P <sub>a</sub>	P <sub>□</sub>	I <sub>p</sub>
CC AX 10NF 50V 10%	C4	53	0.01	5	50	0.1			0.00099	32.241.663	0.6606934	1.0	1	0.001	0.5	0,0000011
CC AX 62PF 200V 1%	C1	53	0.01	5	200	0.025			0.00099	32.241.663	0.6606934	1.0	1	0.001	0.5	0,0000011
CC AX 62PF 200V 1%	C39	53	0.01	5	200	0.025		0	0.00099	16.515.555	0.3467369	1.000	3.30	0.001	0.5	0,0000009
CC MUL AXIAL 100NF 100V 10%	C23	53	0.1	5	100	0.05		0	0.00099	16.515.555	0.5888437	1.000	3.30	0.001	0.5	0,0000016
CC MUL AXIAL 100NF 100V 10%	C24	53	0.1	5	100	0.05		0	0.0004	16.515.555	0.5888437	1.000	3.30	0.001	0.50	0,0000006
CC MUL AXIAL 100NF 100V 10%	C25	53	0.1	5	100	0.05		0	0.0004	16.515.555	0.5888437	1.000	3.30	0.001	0.50	0,0000006
CC MUL AXIAL 100NF 100V 10%	C30	53	0.1	5	100	0.05			0.00099	32.241.663	0.8128305	1.0	1	0.001	0.5	0,0000013
CC MUL AXIAL 100NF 100V 10%	C31	53	0.1	5	100	0.05			0.00099	32.241.663	0.8128305	1.0	1	0.001	0.5	0,0000013
CC MUL AXIAL 2,2UF 20V 5%	C36	53	2.2	2.5	20	0.125			0.00099	32.241.663	10.735.395	1.0	1	0.001	0.5	0,0000017
CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	C10	53	0.022	5	50	0.1			0.00099	32.241.663	0.7092805	1.0	1	0.001	0.5	0,0000011
CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	C11	53	0.022	5	50	0.1			0.00099	32.241.663	0.7092805	1.0	1	0.001	0.5	0,0000011
CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	C12	53	0.022	5	50	0.1			0.00099	32.241.663	0.7092805	1.0	1	0.001	0.5	0,0000011
CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	C13	53	0.022	5	50	0.1			0.00099	32.241.663	0.7092805	1.0	1	0.001	0.5	0,0000011
CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	C14	53	0.022	5	50	0.1			0.00099	32.241.663	0.7092805	1.0	1	0.001	0.5	0,0000011
CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	C15	53	0.022	5	50	0.1			0.00099	32.241.663	0.7092805	1.0	1	0.001	0.5	0,0000011
CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	C16	53	0.022	5	50	0.1			0.00099	32.241.663	0.7092805	1.0	1	0.001	0.5	0,0000011
CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	C17	53	0.022	5	50	0.1			0.00099	32.241.663	0.7092805	1.0	1	0.001	0.5	0,0000011
CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	C18	53	0.022	5	50	0.1			0.00099	32.241.663	0.7092805	1.0	1	0.001	0.5	0,0000011
CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	C19	53	0.022	5	50	0.1			0.00099	32.241.663	0.7092805	1.0	1	0.001	0.5	0,0000011
CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	C20	53	0.022	5	50	0.1			0.00099	32.241.663	0.7092805	1.0	1	0.001	0.5	0,0000011
CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	C21	53	0.022	5	50	0.1			0.00099	32.241.663	0.7092805	1.0	1	0.001	0.5	0,0000011
CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	C22	53	0.022	5	50	0.1			0.00099	32.241.663	0.7092805	1.0	1	0.001	0.5	0,0000011
CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	C6	53	0.022	5	50	0.1			0.00099	32.241.663	0.7092805	1.0	1	0.001	0.5	0,0000011
CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	C7	53	0.022	5	50	0.1			0.00099	32.241.663	0.7092805	1.0	1	0.001	0.5	0,0000011
CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	C8	53	0.022	5	50	0.1			0.00099	32.241.663	0.7092805	1.0	1	0.001	0.5	0,0000011
CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	C9	53	0.022	5	50	0.1			0.00099	32.241.663	0.7092805	1.0	1	0.001	0.5	0,0000011
CC MUL AXIAL 47UF 35V 5%	C35	53	47	2.5	35	0.0714286			0.00099	32.241.663	14.141.283	1.0	1	0.001	0.5	0,0000023
CC MUL AXIAL 47UF 35V 5%	C5	53	47	2.5	35	0.0714286			0.00099	32.241.663	14.141.283	1.0	1	0.001	0.5	0,0000023
CE TAN AXI 1UF 50V 10%	C3	53	1	5	50	0.1	0.1	0	0.0004	16.515.555	1	1.000	3.30	0.001	0.50	0,0000011
CE TAN AXI 2,2UF 20V 5%	C2	53	2.2	2.5	20	0.125	0.1	0	0.0004	16.515.555	11.988.289	1.000	3.30	0.001	0.50	0,0000013

Continua



Tabela D.7 – Continuação.

Resistor												
Part Description	Ref.	Applied Power (W)	Rated Power (W)	Res. Case Temp. (°C)	Power Stress	I <sub>B</sub>	P <sub>T</sub>	P <sub>P</sub>	P <sub>S</sub>	P <sub>Q</sub>	P <sub>E</sub>	I <sub>p</sub>
RES MET 0,125W 1,58k OHMS 1% MIL-PRF-39017/5	R4	0.0158	0.125	53	0.12640	0.0037	130.680	0.198	0.82	0.03	0.50	1,174E-05
RES MET 0,125W 5,1KOHMS 1% MIL-PRF-39017/5	R31	0.0051	0.125	53	0.04080	10.037	130.680	0.128	0.74	0.03	0.50	0,0018647
RES MET 0,125W 100KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	R3	2.5E-06	0.125	53	0.00002	0.0037	130.680	0.007	0.71	0.03	0.50	3,4E-07
RES MET 0,125W 10KOHMS 1% MIL-PRF-39017/5	R5	0.0025	0.125	53	0.02000	0.0037	130.680	0.097	0.73	0.03	0.50	5,09E-06
RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	R1	0.0025	0.125	53	0.02000	0.0037	130.680	0.097	0.73	0.03	0.50	5,09E-06
RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	R10	0.0025	0.125	53	0.02000	0.0037	130.680	0.097	0.73	0.03	0.50	5,09E-06
RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	R11	0.0025	0.125	53	0.02000	0.0037	130.680	0.097	0.73	0.03	0.50	5,09E-06
RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	R16	0.0025	0.125	53	0.02000	0.0037	130.680	0.097	0.73	0.03	0.50	5,09E-06
RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	R17	0.0025	0.125	53	0.02000	0.0037	130.680	0.097	0.73	0.03	0.50	5,09E-06
RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	R18	0.0025	0.125	53	0.02000	0.0037	130.680	0.097	0.73	0.03	0.50	5,09E-06
RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	R19	0.0025	0.125	53	0.02000	0.0037	130.680	0.097	0.73	0.03	0.50	5,09E-06
RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	R20	0.0025	0.125	53	0.02000	0.0037	130.680	0.097	0.73	0.03	0.50	5,09E-06
RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	R8	0.0025	0.125	53	0.02000	0.0037	130.680	0.097	0.73	0.03	0.50	5,09E-06
RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	R9	0.0025	0.125	53	0.02000	0.0037	130.680	0.097	0.73	0.03	0.50	5,09E-06
RES MET 0,125W 1MOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	R30	0.000025	0.125	53	0.00020	0.0037	130.680	0.016	0.71	0.03	0.50	8,3E-07
RES FIO 1W 50,5OHMS 0,5% MIL-PRF-39007/9	R22	0.0049	1	53	0.00490	0.0037	130.680	0.126	0.71	0.03	0.50	6,51E-06
RES FIO 1W 50,5OHMS 0,5% MIL-PRF-39007/9	R23	0.0049	1	53	0.00490	0.0037	130.680	0.126	0.71	0.03	0.50	6,51E-06

Connector													
Part Description	Ref.	Applied Current (mA)	Description	Gauge contacts	Amperes	I <sub>B</sub>	Amb. Temp. (°C)	DT (Conn. Rise Temp.) (°C)	P <sub>T</sub>	P <sub>K</sub>	P <sub>Q</sub>	P <sub>E</sub>	I <sub>p</sub>
CONNECTOR MALE 90 VIAS, 90° 55302/59B90X	CNTCPU	12.8	ard Edge (PC	22	5	0.040	53	3.57E-05	1.597.229	1	1	0.5	0,015972

Crystals						
Part Description	Ref.	MHz	I <sub>B</sub>	P <sub>Q</sub> - MIL-SPEC	P <sub>E</sub>	I <sub>p</sub>
CRISTAL 12MHz	XTAL1	12	0.023	1	0.5	0,011511

Continua

Tabela D.7 – Continuação.

ICs														
Part Description	Ref.	Technology	Gates	C <sub>1</sub>	Junction Temp. (°C)	P <sub>T</sub>	Package	Functional Pins	C <sub>2</sub>	P <sub>Q</sub>	P <sub>E</sub>	Years in Production	P <sub>L</sub>	I <sub>p</sub>
CID 54HC00 FPC-14	U19	Digital MOS	1-100	0.010	53	0.3224	Flatpack	14	0.0037	0.25	0.5	2	1.0	0,0013
CID 54HC02 FPC-14	U4	Digital MOS	1-100	0.01	53	0.3224	Flatpack	14	0.0037	0.25	0.5	2	1.0	0,001263
CID 54HC04 FPC-14	U14	Digital MOS	1-100	0.010	53	0.3224	Flatpack	14	0.0037	0.25	0.5	2	1.0	0,0013
CID 54HC08 QUADRUPLE 2-INPUT POSITIVE-AND GATES FPC-14	U20	Digital MOS	1-100	0.010	53	0.3224	Flatpack	14	0.0037	0.25	0.5	2	1.0	0,0013
CID 54HC08 QUADRUPLE 2-INPUT POSITIVE-AND GATES FPC-14	U40	Digital MOS	1-100	0.010	53	0.3224	Flatpack	14	0.0037	0.25	0.5	2	1.0	0,0013
CID 54HC10 FPC-14	U21	Digital MOS	1-100	0.010	53	0.3224	Flatpack	14	0.0037	0.25	0.5	2	1.0	0,0013
CID 54HC138 FPC-16	U12	Digital MOS	1-100	0.01	53	0.3224	Flatpack	16	0.004663	0.25	0.5	2	1.0	0,001389
CID 54HC14 FPC	U22	Digital MOS	1-100	0.010	53	0.3224	Flatpack	14	0.0037	0.25	0.5	2	1.0	0,0013
CID 54HC14 FPC	U44	Digital MOS	1-100	0.010	53	0.3224	Flatpack	14	0.0037	0.25	0.5	2	1.0	0,0013
CID 54HC161 SYNCHRONOUS 4-BIT BINARY COUNTERS FPC-16	U34	Digital MOS	1-100	0.01	53.3	0.3261	Flatpack	16	0.004663	0.25	0.5	2	1.0	0,001398
CID 54HC161 SYNCHRONOUS 4-BIT BINARY COUNTERS FPC-16	U35	Digital MOS	1-100	0.01	53.1	0.3237	Flatpack	16	0.004663	0.25	0.5	2	1.0	0,001392
CID 54HC164 8-BIT PARALLEL-OUT SERIAL SHIFT REGISTERS FPC-16	U1	Digital MOS	1-100	0.01	53	0.3224	Flatpack	14	0.003657	0.25	0.5	2	1.0	0,001263
CID 54HC20 FP-14	U23	Digital MOS	1-100	0.01	53	0.3224	Flatpack	13	0.003195	0.25	0.5	2	1.0	0,001205
CID 54HC244 OCTAL BUFFERS AND LINE DRIVERS WITH 3-STATE OUTPUTS FPC-20	U18	Digital MOS	1-100	0.01	53.5	0.3286	Flatpack	20	0.006998	0.25	0.5	2	1.0	0,001696
CID 54HC244 OCTAL BUFFERS AND LINE DRIVERS WITH 3-STATE OUTPUTS FPC-20	U24	Digital MOS	1-100	0.01	53.6	0.3299	Flatpack	20	0.006998	0.25	0.5	2	1.0	0,001699
CID 54HC244 OCTAL BUFFERS AND LINE DRIVERS WITH 3-STATE OUTPUTS FPC-20	U28	Digital MOS	1-100	0.01	54.1	0.3362	Flatpack	20	0.006998	0.25	0.5	2	1.0	0,001715
CID 54HC257 FP-16	U13	Digital MOS	1-100	0.01	53	0.3224	Flatpack	16	0.004663	0.25	0.5	2	1.0	0,001389
CID 54HC373 OCTAL D-TYPE LATCH WITH 3 STATE OUTPUT NON INVERTING FPC-20	U7	Digital MOS	1-100	0.010	53.5	0.3286	Flatpack	20	0.0070	0.25	0.5	2	1.0	0,0017
CID 54HC373 OCTAL D-TYPE LATCH WITH 3 STATE OUTPUT NON INVERTING FPC-20	U8	Digital MOS	1-100	0.010	53.6	0.3299	Flatpack	20	0.0070	0.25	0.5	2	1.0	0,0017
CID 54HC373 OCTAL D-TYPE LATCH WITH 3 STATE OUTPUT NON INVERTING FPC-20	U9	Digital MOS	1-100	0.010	53.9	0.3337	Flatpack	20	0.0070	0.25	0.5	2	1.0	0,0017
CID 54HC4060 CQFP-16	U17	Digital MOS	101-1000	0.02	53	0.3224	Flatpack	16	0.0047	0.25	0.5	2	1.0	0,0022
CID 54HC4075 HIGH SPEED CMOS LOGIC TRIPLE 3-INPUT OR GATES FPC-14	U31	Digital MOS	1-100	0.010	53	0.3224	Flatpack	14	0.0037	0.25	0.5	2	1.0	0,0013
CID 54HC4075 HIGH SPEED CMOS LOGIC TRIPLE 3-INPUT OR GATES FPC-14	U5	Digital MOS	1-100	0.010	53	0.3224	Flatpack	14	0.0037	0.25	0.5	2	1.0	0,0013
CID 54HC74 DUAL D-TYPE POSITIVE-EDGE-TRIGGERED FLIP-FLOPS WITH CLEAR AND PRESET FPC-14	U26	Digital MOS	1-100	0.010	53.5	0.3286	Flatpack	14	0.0037	0.25	0.5	2	1.0	0,0013

Continua

Tabela D.7 – Conclusão.

ICs														
Part Description	Ref.	Technology	Gates	C <sub>1</sub>	Junction Temp. (oC)	P <sub>T</sub>	Package	Functional Pins	C <sub>2</sub>	P <sub>Q</sub>	P <sub>E</sub>	Years in Productio	P <sub>L</sub>	I <sub>p</sub>
CID 54HC74 DUAL D-TYPE POSITIVE-EDGE-TRIGGERED FLIP-FLOPS WITH CLEAR AND PRESET FPC-14	U27	Digital MOS	1-100	0.010	54.2	0.3375	Flatpack	14	0.0037	0.25	0.5	2	1.0	0,0013
CID 54HC74 DUAL D-TYPE POSITIVE-EDGE-TRIGGERED FLIP-FLOPS WITH CLEAR AND PRESET FPC-14	U3	Digital MOS	1-100	0.010	54.5	0.3414	Flatpack	14	0.0037	0.25	0.5	2	1.0	0,0013
CID 54HC74 DUAL D-TYPE POSITIVE-EDGE-TRIGGERED FLIP-FLOPS WITH CLEAR AND PRESET FPC-14	U6	Digital MOS	1-100	0.010	53.8	0.3324	Flatpack	14	0.0037	0.25	0.5	2	1.0	0,0013
CID 54HCT245 OCTAL BUS TRANSCEIVERS WITH 3-STATE OUTPUTS FPC-20	U10	Digital MOS	1-100	0.01	53	0.3224	Flatpack	20	0.006998	0.25	0.5	2	1.0	0,001681
CID 54HCT245 OCTAL BUS TRANSCEIVERS WITH 3-STATE OUTPUTS FPC-20	U11	Digital MOS	1-100	0.01	53	0.3224	Flatpack	20	0.006998	0.25	0.5	2	1.0	0,001681
CID 82C52 CDIP-28	U25	Digital MOS	3001-1000	0.08	53.1	0.3237	DIP	28	0.010235	0.25	0.5	2	1.0	0,007752
CID HS1-80C86RH CDIP-40	U16	Microprocessor/MOS	16 bits	0.28	54.8	0.3452	DIP	40	0.015045	0.25	0.5	2	1.0	0,026048
CID HS9-82C54RH-Q FP-24	U29	Digital MOS	3001-1000	0.08	56.3	0.3653	Flatpack	24	0.009752	0.25	0.5	2	1	0,008525
CID HS9-82C59RH-Q FP-24	U30	Digital MOS	3001-1000	0.08	53.7	0.3311	DIP	28	0.010235	0.25	0.5	2	1.0	0,007902
CID HS9-82C85RH-Q FP-24	U15	Digital MOS	3001-1000	0.08	60.4	0.4251	Flatpack	24	0.0098	0.25	0.5	2	1.0	0,0097

**Interconet Assemblies**

Plated Through Hole						
lb	N1	pc	N2	pq	pe	lpth
0.000017	0	1.6	338	1	0.5	0.041946

Surface Mount															
Weakest link	d	h	as	DT	Trise	pLC	acc	CR	Nf	LC	asmt	LC/asmt	ECF	ISMT	I <sub>p</sub>
U15	320	8	18	7	-1.9	150	6	0.5	57930674	26280	1.16E+08	0.000227	0.13	0.001122	0,043068

Fonte: Produção do Autor.

A Tabela D.8 apresenta a análise da FMECA para entender a contribuição porcentual da taxa de falhas de cada componente. Os manuais utilizados foram MIL-STD-1629 (1980), FMD91 (1991) e FMD97 (1997).

Tabela D.8 - FMECA e a contribuição porcentual da taxa de falhas para o estudo de caso 2.

REF.	PART DESCRIPTION - CPUM	FUNCTION	FAILURE MODES	NORM DIST.	FAILURE RATE	Cm	Contribution Cm	Contribution Component
C1	CC AX 62PF 200V 1%	Filter	Shorted	30,0%	3,300E-07	2,603E-03	0,00023%	0,00123%
C1	CC AX 62PF 200V 1%	Filter	Drift	61,6%	6,776E-07	1,097E-02	0,00098%	
C1	CC AX 62PF 200V 1%	Filter	Opened	5,9%	6,490E-08	1,007E-04	0,00001%	
C1	CC AX 62PF 200V 1%	Filter	Contaminated	1,0%	1,100E-08	2,892E-06	0,00000%	
C1	CC AX 62PF 200V 1%	Filter	Cracked	0,6%	6,600E-09	1,041E-06	0,00000%	
C1	CC AX 62PF 200V 1%	Filter	Voids	0,6%	6,600E-09	1,041E-06	0,00000%	
C1	CC AX 62PF 200V 1%	Filter	Delamination	0,3%	3,300E-09	2,603E-07	0,00000%	
C10	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Shorted	30,0%	3,300E-07	2,603E-03	0,00023%	0,00123%
C10	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Drift	61,6%	6,776E-07	1,097E-02	0,00098%	
C10	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Opened	5,9%	6,490E-08	1,007E-04	0,00001%	
C10	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Contaminated	1,0%	1,100E-08	2,892E-06	0,00000%	
C10	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Cracked	0,6%	6,600E-09	1,041E-06	0,00000%	
C10	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Voids	0,6%	6,600E-09	1,041E-06	0,00000%	
C10	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Delamination	0,3%	3,300E-09	2,603E-07	0,00000%	
C11	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Shorted	30,0%	3,300E-07	2,603E-03	0,00023%	0,00123%
C11	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Drift	61,6%	6,776E-07	1,097E-02	0,00098%	
C11	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Opened	5,9%	6,490E-08	1,007E-04	0,00001%	
C11	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Contaminated	1,0%	1,100E-08	2,892E-06	0,00000%	
C11	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Cracked	0,6%	6,600E-09	1,041E-06	0,00000%	
C11	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Voids	0,6%	6,600E-09	1,041E-06	0,00000%	
C11	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Delamination	0,3%	3,300E-09	2,603E-07	0,00000%	

Continua

Tabela D.8 – Continuação.

REF.	PART DESCRIPTION - CPUM	FUNCTION	FAILURE MODES	NORM DIST.	FAILURE RATE	Cm	Contribution Cm	Contribution Component
C12	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Shorted	30,0%	3,300E-07	2,603E-03	0,00023%	0,00123%
C12	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Drift	61,6%	6,776E-07	1,097E-02	0,00098%	
C12	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Opened	5,9%	6,490E-08	1,007E-04	0,00001%	
C12	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Contaminated	1,0%	1,100E-08	2,892E-06	0,00000%	
C12	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Cracked	0,6%	6,600E-09	1,041E-06	0,00000%	
C12	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Voids	0,6%	6,600E-09	1,041E-06	0,00000%	
C12	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Delamination	0,3%	3,300E-09	2,603E-07	0,00000%	
C13	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Shorted	30,0%	3,300E-07	2,603E-03	0,00023%	0,00123%
C13	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Drift	61,6%	6,776E-07	1,097E-02	0,00098%	
C13	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Opened	5,9%	6,490E-08	1,007E-04	0,00001%	
C13	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Contaminated	1,0%	1,100E-08	2,892E-06	0,00000%	
C13	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Cracked	0,6%	6,600E-09	1,041E-06	0,00000%	
C13	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Voids	0,6%	6,600E-09	1,041E-06	0,00000%	
C13	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Delamination	0,3%	3,300E-09	2,603E-07	0,00000%	
C14	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Shorted	30,0%	3,300E-07	2,603E-03	0,00023%	0,00123%
C14	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Drift	61,6%	6,776E-07	1,097E-02	0,00098%	
C14	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Opened	5,9%	6,490E-08	1,007E-04	0,00001%	
C14	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Contaminated	1,0%	1,100E-08	2,892E-06	0,00000%	
C14	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Cracked	0,6%	6,600E-09	1,041E-06	0,00000%	
C14	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Voids	0,6%	6,600E-09	1,041E-06	0,00000%	
C14	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Delamination	0,3%	3,300E-09	2,603E-07	0,00000%	
C15	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Shorted	30,0%	3,300E-07	2,603E-03	0,00023%	0,00123%
C15	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Drift	61,6%	6,776E-07	1,097E-02	0,00098%	
C15	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Opened	5,9%	6,490E-08	1,007E-04	0,00001%	
C15	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Contaminated	1,0%	1,100E-08	2,892E-06	0,00000%	
C15	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Cracked	0,6%	6,600E-09	1,041E-06	0,00000%	
C15	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Voids	0,6%	6,600E-09	1,041E-06	0,00000%	
C15	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Delamination	0,3%	3,300E-09	2,603E-07	0,00000%	

Continua

Tabela D.8 – Continuação.

REF.	PART DESCRIPTION - CPUM	FUNCTION	FAILURE MODES	NORM DIST.	FAILURE RATE	Cm	Contribution Cm	Contribution Component
C16	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Shorted	30,0%	3,300E-07	2,603E-03	0,00023%	0,00123%
C16	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Drift	61,6%	6,776E-07	1,097E-02	0,00098%	
C16	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Opened	5,9%	6,490E-08	1,007E-04	0,00001%	
C16	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Contaminated	1,0%	1,100E-08	2,892E-06	0,00000%	
C16	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Cracked	0,6%	6,600E-09	1,041E-06	0,00000%	
C16	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Voids	0,6%	6,600E-09	1,041E-06	0,00000%	
C16	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Delamination	0,3%	3,300E-09	2,603E-07	0,00000%	
C17	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Shorted	30,0%	3,300E-07	2,603E-03	0,00023%	0,00123%
C17	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Drift	61,6%	6,776E-07	1,097E-02	0,00098%	
C17	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Opened	5,9%	6,490E-08	1,007E-04	0,00001%	
C17	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Contaminated	1,0%	1,100E-08	2,892E-06	0,00000%	
C17	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Cracked	0,6%	6,600E-09	1,041E-06	0,00000%	
C17	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Voids	0,6%	6,600E-09	1,041E-06	0,00000%	
C17	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Delamination	0,3%	3,300E-09	2,603E-07	0,00000%	
C18	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Shorted	30,0%	3,300E-07	2,603E-03	0,00023%	0,00123%
C18	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Drift	61,6%	6,776E-07	1,097E-02	0,00098%	
C18	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Opened	5,9%	6,490E-08	1,007E-04	0,00001%	
C18	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Contaminated	1,0%	1,100E-08	2,892E-06	0,00000%	
C18	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Cracked	0,6%	6,600E-09	1,041E-06	0,00000%	
C18	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Voids	0,6%	6,600E-09	1,041E-06	0,00000%	
C18	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Delamination	0,3%	3,300E-09	2,603E-07	0,00000%	
C19	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Shorted	30,0%	3,300E-07	2,603E-03	0,00023%	0,00123%
C19	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Drift	61,6%	6,776E-07	1,097E-02	0,00098%	
C19	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Opened	5,9%	6,490E-08	1,007E-04	0,00001%	
C19	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Contaminated	1,0%	1,100E-08	2,892E-06	0,00000%	
C19	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Cracked	0,6%	6,600E-09	1,041E-06	0,00000%	
C19	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Voids	0,6%	6,600E-09	1,041E-06	0,00000%	
C19	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Delamination	0,3%	3,300E-09	2,603E-07	0,00000%	

Continua

Tabela D.8 – Continuação.

REF.	PART DESCRIPTION - CPUM	FUNCTION	FAILURE MODES	NORM DIST.	FAILURE RATE	Cm	Contribution Cm	Contribution Component
C2	CE TAN AXI 2,2UF 20V 5%	Decoupling	Shorted	51,8%	6,734E-07	9,170E-03	0,00082%	0,00111%
C2	CE TAN AXI 2,2UF 20V 5%	Decoupling	Drift	27,8%	3,614E-07	2,641E-03	0,00024%	
C2	CE TAN AXI 2,2UF 20V 5%	Decoupling	Opened	12,1%	1,573E-07	5,004E-04	0,00004%	
C2	CE TAN AXI 2,2UF 20V 5%	Decoupling	Intermittent Operation	3,3%	4,290E-08	3,722E-05	0,00000%	
C2	CE TAN AXI 2,2UF 20V 5%	Decoupling	Solder Defect	1,9%	2,470E-08	1,234E-05	0,00000%	
C2	CE TAN AXI 2,2UF 20V 5%	Decoupling	Electrical Overstress	1,9%	2,470E-08	1,234E-05	0,00000%	
C2	CE TAN AXI 2,2UF 20V 5%	Decoupling	Improper Voltage	1,1%	1,430E-08	4,135E-06	0,00000%	
C20	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Shorted	30,0%	3,300E-07	2,603E-03	0,00023%	0,00123%
C20	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Drift	61,6%	6,776E-07	1,097E-02	0,00098%	
C20	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Opened	5,9%	6,490E-08	1,007E-04	0,00001%	
C20	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Contaminated	1,0%	1,100E-08	2,892E-06	0,00000%	
C20	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Cracked	0,6%	6,600E-09	1,041E-06	0,00000%	
C20	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Voids	0,6%	6,600E-09	1,041E-06	0,00000%	
C20	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Delamination	0,3%	3,300E-09	2,603E-07	0,00000%	
C21	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Shorted	30,0%	3,300E-07	2,603E-03	0,00023%	0,00123%
C21	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Drift	61,6%	6,776E-07	1,097E-02	0,00098%	
C21	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Opened	5,9%	6,490E-08	1,007E-04	0,00001%	
C21	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Contaminated	1,0%	1,100E-08	2,892E-06	0,00000%	
C21	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Cracked	0,6%	6,600E-09	1,041E-06	0,00000%	
C21	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Voids	0,6%	6,600E-09	1,041E-06	0,00000%	
C21	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Delamination	0,3%	3,300E-09	2,603E-07	0,00000%	
C22	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Shorted	30,0%	3,300E-07	2,603E-03	0,00023%	0,00123%
C22	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Drift	61,6%	6,776E-07	1,097E-02	0,00098%	
C22	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Opened	5,9%	6,490E-08	1,007E-04	0,00001%	
C22	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Contaminated	1,0%	1,100E-08	2,892E-06	0,00000%	
C22	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Cracked	0,6%	6,600E-09	1,041E-06	0,00000%	
C22	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Voids	0,6%	6,600E-09	1,041E-06	0,00000%	
C22	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Delamination	0,3%	3,300E-09	2,603E-07	0,00000%	

Continua

Tabela D.8 – Continuação.

REF.	PART DESCRIPTION - CPUM	FUNCTION	FAILURE MODES	NORM DIST.	FAILURE RATE	Cm	Contribution Cm	Contribution Component
C23	CC MUL AXIAL 100NF 100V 10%	Decoupling	Shorted	30,0%	4,800E-07	3,786E-03	0,00034%	0,00178%
C23	CC MUL AXIAL 100NF 100V 10%	Decoupling	Drift	61,6%	9,856E-07	1,596E-02	0,00143%	
C23	CC MUL AXIAL 100NF 100V 10%	Decoupling	Opened	5,9%	9,440E-08	1,464E-04	0,00001%	
C23	CC MUL AXIAL 100NF 100V 10%	Decoupling	Contaminated	1,0%	1,600E-08	4,206E-06	0,00000%	
C23	CC MUL AXIAL 100NF 100V 10%	Decoupling	Cracked	0,6%	9,600E-09	1,514E-06	0,00000%	
C23	CC MUL AXIAL 100NF 100V 10%	Decoupling	Voids	0,6%	9,600E-09	1,514E-06	0,00000%	
C23	CC MUL AXIAL 100NF 100V 10%	Decoupling	Delamination	0,3%	4,800E-09	3,786E-07	0,00000%	
C24	CC MUL AXIAL 100NF 100V 10%	Decoupling	Shorted	30,0%	1,800E-07	1,420E-03	0,00013%	0,00067%
C24	CC MUL AXIAL 100NF 100V 10%	Decoupling	Drift	61,6%	3,696E-07	5,985E-03	0,00054%	
C24	CC MUL AXIAL 100NF 100V 10%	Decoupling	Opened	5,9%	3,540E-08	5,491E-05	0,00000%	
C24	CC MUL AXIAL 100NF 100V 10%	Decoupling	Contaminated	1,0%	6,000E-09	1,577E-06	0,00000%	
C24	CC MUL AXIAL 100NF 100V 10%	Decoupling	Cracked	0,6%	3,600E-09	5,678E-07	0,00000%	
C24	CC MUL AXIAL 100NF 100V 10%	Decoupling	Voids	0,6%	3,600E-09	5,678E-07	0,00000%	
C24	CC MUL AXIAL 100NF 100V 10%	Decoupling	Delamination	0,3%	1,800E-09	1,420E-07	0,00000%	
C25	CC MUL AXIAL 100NF 100V 10%	Decoupling	Shorted	30,0%	1,800E-07	1,420E-03	0,00013%	0,00067%
C25	CC MUL AXIAL 100NF 100V 10%	Decoupling	Drift	61,6%	3,696E-07	5,985E-03	0,00054%	
C25	CC MUL AXIAL 100NF 100V 10%	Decoupling	Opened	5,9%	3,540E-08	5,491E-05	0,00000%	
C25	CC MUL AXIAL 100NF 100V 10%	Decoupling	Contaminated	1,0%	6,000E-09	1,577E-06	0,00000%	
C25	CC MUL AXIAL 100NF 100V 10%	Decoupling	Cracked	0,6%	3,600E-09	5,678E-07	0,00000%	
C25	CC MUL AXIAL 100NF 100V 10%	Decoupling	Voids	0,6%	3,600E-09	5,678E-07	0,00000%	
C25	CC MUL AXIAL 100NF 100V 10%	Decoupling	Delamination	0,3%	1,800E-09	1,420E-07	0,00000%	
C3	CE TAN AXI 1UF 50V 10%	Power Reset	Shorted	51,8%	5,698E-07	7,759E-03	0,00070%	0,00094%
C3	CE TAN AXI 1UF 50V 10%	Power Reset	Drift	27,8%	3,058E-07	2,235E-03	0,00020%	
C3	CE TAN AXI 1UF 50V 10%	Power Reset	Opened	12,1%	1,331E-07	4,234E-04	0,00004%	
C3	CE TAN AXI 1UF 50V 10%	Power Reset	Intermittent Operation	3,3%	3,630E-08	3,149E-05	0,00000%	
C3	CE TAN AXI 1UF 50V 10%	Power Reset	Solder Defect	1,9%	2,090E-08	1,044E-05	0,00000%	
C3	CE TAN AXI 1UF 50V 10%	Power Reset	Electrical Overstress	1,9%	2,090E-08	1,044E-05	0,00000%	
C3	CE TAN AXI 1UF 50V 10%	Power Reset	Improper Voltage	1,1%	1,210E-08	3,499E-06	0,00000%	

Continua



Tabela D.8 – Continuação.

REF.	PART DESCRIPTION - CPUM	FUNCTION	FAILURE MODES	NORM DIST.	FAILURE RATE	Cm	Contribution Cm	Contribution Component
C30	CC MUL AXIAL 100NF 100V 10%	Decoupling	Shorted	30,0%	3,900E-07	3,076E-03	0,00028%	0,00145%
C30	CC MUL AXIAL 100NF 100V 10%	Decoupling	Drift	61,6%	8,008E-07	1,297E-02	0,00116%	
C30	CC MUL AXIAL 100NF 100V 10%	Decoupling	Opened	5,9%	7,670E-08	1,190E-04	0,00001%	
C30	CC MUL AXIAL 100NF 100V 10%	Decoupling	Contaminated	1,0%	1,300E-08	3,418E-06	0,00000%	
C30	CC MUL AXIAL 100NF 100V 10%	Decoupling	Cracked	0,6%	7,800E-09	1,230E-06	0,00000%	
C30	CC MUL AXIAL 100NF 100V 10%	Decoupling	Voids	0,6%	7,800E-09	1,230E-06	0,00000%	
C30	CC MUL AXIAL 100NF 100V 10%	Decoupling	Delamination	0,3%	3,900E-09	3,076E-07	0,00000%	
C31	CC MUL AXIAL 100NF 100V 10%	Decoupling	Shorted	30,0%	3,900E-07	3,076E-03	0,00028%	0,00145%
C31	CC MUL AXIAL 100NF 100V 10%	Decoupling	Drift	61,6%	8,008E-07	1,297E-02	0,00116%	
C31	CC MUL AXIAL 100NF 100V 10%	Decoupling	Opened	5,9%	7,670E-08	1,190E-04	0,00001%	
C31	CC MUL AXIAL 100NF 100V 10%	Decoupling	Contaminated	1,0%	1,300E-08	3,418E-06	0,00000%	
C31	CC MUL AXIAL 100NF 100V 10%	Decoupling	Cracked	0,6%	7,800E-09	1,230E-06	0,00000%	
C31	CC MUL AXIAL 100NF 100V 10%	Decoupling	Voids	0,6%	7,800E-09	1,230E-06	0,00000%	
C31	CC MUL AXIAL 100NF 100V 10%	Decoupling	Delamination	0,3%	3,900E-09	3,076E-07	0,00000%	
C35	CE TAN AXIAL 47UF 35V 5%	Decoupling	Shorted	51,8%	1,191E-06	1,622E-02	0,00145%	0,00196%
C35	CE TAN AXIAL 47UF 35V 5%	Decoupling	Drift	27,8%	6,394E-07	4,673E-03	0,00042%	
C35	CE TAN AXIAL 47UF 35V 5%	Decoupling	Opened	12,1%	2,783E-07	8,853E-04	0,00008%	
C35	CE TAN AXIAL 47UF 35V 5%	Decoupling	Intermittent Operation	3,3%	7,590E-08	6,585E-05	0,00001%	
C35	CE TAN AXIAL 47UF 35V 5%	Decoupling	Solder Defect	1,9%	4,370E-08	2,183E-05	0,00000%	
C35	CE TAN AXIAL 47UF 35V 5%	Decoupling	Electrical Overstress	1,9%	4,370E-08	2,183E-05	0,00000%	
C35	CE TAN AXIAL 47UF 35V 5%	Decoupling	Improper Voltage	1,1%	2,530E-08	7,316E-06	0,00000%	
C36	CE TAN AXI 2,2UF 20V 5%	Decoupling	Shorted	51,8%	8,806E-07	1,199E-02	0,00108%	0,00145%
C36	CE TAN AXI 2,2UF 20V 5%	Decoupling	Drift	27,8%	4,726E-07	3,454E-03	0,00031%	
C36	CE TAN AXI 2,2UF 20V 5%	Decoupling	Opened	12,1%	2,057E-07	6,543E-04	0,00006%	
C36	CE TAN AXI 2,2UF 20V 5%	Decoupling	Intermittent Operation	3,3%	5,610E-08	4,867E-05	0,00000%	
C36	CE TAN AXI 2,2UF 20V 5%	Decoupling	Solder Defect	1,9%	3,230E-08	1,613E-05	0,00000%	
C36	CE TAN AXI 2,2UF 20V 5%	Decoupling	Electrical Overstress	1,9%	3,230E-08	1,613E-05	0,00000%	
C36	CE TAN AXI 2,2UF 20V 5%	Decoupling	Improper Voltage	1,1%	1,870E-08	5,408E-06	0,00000%	

Continua

Tabela D.8 – Continuação.

REF.	PART DESCRIPTION - CPUM	FUNCTION	FAILURE MODES	NORM DIST.	FAILURE RATE	Cm	Contribution Cm	Contribution Component
C39	CC AX 62PF 200V 1%	Filter	Shorted	30,0%	2,700E-07	2,129E-03	0,00019%	0,00100%
C39	CC AX 62PF 200V 1%	Filter	Drift	61,6%	5,544E-07	8,978E-03	0,00080%	
C39	CC AX 62PF 200V 1%	Filter	Opened	5,9%	5,310E-08	8,236E-05	0,00001%	
C39	CC AX 62PF 200V 1%	Filter	Contaminated	1,0%	9,000E-09	2,366E-06	0,00000%	
C39	CC AX 62PF 200V 1%	Filter	Cracked	0,6%	5,400E-09	8,518E-07	0,00000%	
C39	CC AX 62PF 200V 1%	Filter	Voids	0,6%	5,400E-09	8,518E-07	0,00000%	
C39	CC AX 62PF 200V 1%	Filter	Delamination	0,3%	2,700E-09	2,129E-07	0,00000%	
C4	CC AX 10NF 50V 10%	Timer Watchdog	Shorted	30,0%	3,300E-07	2,603E-03	0,00023%	0,00123%
C4	CC AX 10NF 50V 10%	Timer Watchdog	Drift	61,6%	6,776E-07	1,097E-02	0,00098%	
C4	CC AX 10NF 50V 10%	Timer Watchdog	Opened	5,9%	6,490E-08	1,007E-04	0,00001%	
C4	CC AX 10NF 50V 10%	Timer Watchdog	Cracked	0,6%	6,600E-09	1,041E-06	0,00000%	
C4	CC AX 10NF 50V 10%	Timer Watchdog	Contaminated	1,0%	1,100E-08	2,892E-06	0,00000%	
C4	CC AX 10NF 50V 10%	Timer Watchdog	Voids	0,6%	6,600E-09	1,041E-06	0,00000%	
C4	CC AX 10NF 50V 10%	Timer Watchdog	Delamination	0,3%	3,300E-09	2,603E-07	0,00000%	
C5	CE TAN AXIAL 47UF 35V 5%	Decoupling	Shorted	51,8%	1,191E-06	1,622E-02	0,00145%	0,00196%
C5	CE TAN AXIAL 47UF 35V 5%	Decoupling	Drift	27,8%	6,394E-07	4,673E-03	0,00042%	
C5	CE TAN AXIAL 47UF 35V 5%	Decoupling	Opened	12,1%	2,783E-07	8,853E-04	0,00008%	
C5	CE TAN AXIAL 47UF 35V 5%	Decoupling	Intermittent Operation	3,3%	7,590E-08	6,585E-05	0,00001%	
C5	CE TAN AXIAL 47UF 35V 5%	Decoupling	Solder Defect	1,9%	4,370E-08	2,183E-05	0,00000%	
C5	CE TAN AXIAL 47UF 35V 5%	Decoupling	Electrical Overstress	1,9%	4,370E-08	2,183E-05	0,00000%	
C5	CE TAN AXIAL 47UF 35V 5%	Decoupling	Improper Voltage	1,1%	2,530E-08	7,316E-06	0,00000%	
C6	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Shorted	30,0%	3,300E-07	2,603E-03	0,00023%	0,00123%
C6	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Drift	61,6%	6,776E-07	1,097E-02	0,00098%	
C6	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Opened	5,9%	6,490E-08	1,007E-04	0,00001%	
C6	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Contaminated	1,0%	1,100E-08	2,892E-06	0,00000%	
C6	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Cracked	0,6%	6,600E-09	1,041E-06	0,00000%	
C6	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Voids	0,6%	6,600E-09	1,041E-06	0,00000%	
C6	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Delamination	0,3%	3,300E-09	2,603E-07	0,00000%	

Continua

Tabela D.8 – Continuação.

REF.	PART DESCRIPTION - CPUM	FUNCTION	FAILURE MODES	NORM DIST.	FAILURE RATE	Cm	Contribution Cm	Contribution Component
C7	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Shorted	30,0%	3,300E-07	2,603E-03	0,00023%	0,00123%
C7	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Drift	61,6%	6,776E-07	1,097E-02	0,00098%	
C7	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Opened	5,9%	6,490E-08	1,007E-04	0,00001%	
C7	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Contaminated	1,0%	1,100E-08	2,892E-06	0,00000%	
C7	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Cracked	0,6%	6,600E-09	1,041E-06	0,00000%	
C7	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Voids	0,6%	6,600E-09	1,041E-06	0,00000%	
C7	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Delamination	0,3%	3,300E-09	2,603E-07	0,00000%	
C8	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Shorted	30,0%	3,300E-07	2,603E-03	0,00023%	0,00123%
C8	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Drift	61,6%	6,776E-07	1,097E-02	0,00098%	
C8	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Opened	5,9%	6,490E-08	1,007E-04	0,00001%	
C8	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Contaminated	1,0%	1,100E-08	2,892E-06	0,00000%	
C8	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Cracked	0,6%	6,600E-09	1,041E-06	0,00000%	
C8	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Voids	0,6%	6,600E-09	1,041E-06	0,00000%	
C8	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Delamination	0,3%	3,300E-09	2,603E-07	0,00000%	
C9	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Shorted	30,0%	3,300E-07	2,603E-03	0,00023%	0,00123%
C9	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Drift	61,6%	6,776E-07	1,097E-02	0,00098%	
C9	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Opened	5,9%	6,490E-08	1,007E-04	0,00001%	
C9	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Contaminated	1,0%	1,100E-08	2,892E-06	0,00000%	
C9	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Cracked	0,6%	6,600E-09	1,041E-06	0,00000%	
C9	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Voids	0,6%	6,600E-09	1,041E-06	0,00000%	
C9	CC MUL AXIAL 22NF 50V 10%	Decoupling	Delamination	0,3%	3,300E-09	2,603E-07	0,00000%	
CNTCPU	CONNECTOR MALE 90 VIAS, 90° 55302/59B90X	Conector	Opened	37,4%	5,974E-03	5,873E+01	5,26534%	10,81990%
CNTCPU	CONNECTOR MALE 90 VIAS, 90° 55302/59B90X	Conector	Mechanical Damage	29,8%	4,760E-03	3,729E+01	3,34284%	
CNTCPU	CONNECTOR MALE 90 VIAS, 90° 55302/59B90X	Conector	Intermittent Operation	23,7%	3,785E-03	2,358E+01	2,11437%	
CNTCPU	CONNECTOR MALE 90 VIAS, 90° 55302/59B90X	Conector	Shorted	4,1%	6,549E-04	7,058E-01	0,06328%	
CNTCPU	CONNECTOR MALE 90 VIAS, 90° 55302/59B90X	Conector	Worn	1,5%	2,396E-04	9,447E-02	0,00847%	
CNTCPU	CONNECTOR MALE 90 VIAS, 90° 55302/59B90X	Conector	Mechanical Failure	1,4%	2,236E-04	8,230E-02	0,00738%	
CNTCPU	CONNECTOR MALE 90 VIAS, 90° 55302/59B90X	Conector	Loose	2,2%	3,514E-04	2,032E-01	0,01822%	

Continua

Tabela D.8 – Continuação.

REF.	PART DESCRIPTION - CPUM	FUNCTION	FAILURE MODES	NORM DIST.	FAILURE RATE	Cm	Contribution Cm	Contribution Component
R1	RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	Limiter current	Opened	27,6%	1,405E-06	1,019E-02	0,00091%	0,00243%
R1	RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	Limiter current	Contamination	24,7%	1,257E-06	8,164E-03	0,00073%	
R1	RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	Limiter current	Cracked	12,4%	6,312E-07	2,057E-03	0,00018%	
R1	RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	Limiter current	Cracked/Fractured	17,6%	8,958E-07	4,145E-03	0,00037%	
R1	RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	Limiter current	Drift	12,9%	6,566E-07	2,227E-03	0,00020%	
R1	RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	Limiter current	High Value	4,7%	2,392E-07	2,956E-04	0,00003%	
R10	RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	pull dow n	Opened	27,6%	1,405E-06	1,019E-02	0,00091%	0,00243%
R10	RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	pull dow n	Cracked	12,4%	6,312E-07	2,057E-03	0,00018%	
R10	RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	pull dow n	Contamination	24,7%	1,257E-06	8,164E-03	0,00073%	
R10	RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	pull dow n	Cracked/Fractured	17,6%	8,958E-07	4,145E-03	0,00037%	
R10	RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	pull dow n	Drift	12,9%	6,566E-07	2,227E-03	0,00020%	
R10	RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	pull dow n	High Value	4,7%	2,392E-07	2,956E-04	0,00003%	
R11	RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	Limiter current	Opened	27,6%	1,405E-06	1,019E-02	0,00091%	0,00243%
R11	RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	Limiter current	Contamination	24,7%	1,257E-06	8,164E-03	0,00073%	
R11	RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	Limiter current	Cracked	12,4%	6,312E-07	2,057E-03	0,00018%	
R11	RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	Limiter current	Cracked/Fractured	17,6%	8,958E-07	4,145E-03	0,00037%	
R11	RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	Limiter current	Drift	12,9%	6,566E-07	2,227E-03	0,00020%	
R11	RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	Limiter current	High Value	4,7%	2,392E-07	2,956E-04	0,00003%	
R16	RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	Limiter current	Opened	27,6%	1,405E-06	1,019E-02	0,00091%	0,00243%
R16	RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	Limiter current	Contamination	24,7%	1,257E-06	8,164E-03	0,00073%	
R16	RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	Limiter current	Cracked	12,4%	6,312E-07	2,057E-03	0,00018%	
R16	RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	Limiter current	Cracked/Fractured	17,6%	8,958E-07	4,145E-03	0,00037%	
R16	RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	Limiter current	Drift	12,9%	6,566E-07	2,227E-03	0,00020%	
R16	RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	Limiter current	High Value	4,7%	2,392E-07	2,956E-04	0,00003%	
R17	RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	Limiter current	Opened	27,6%	1,405E-06	1,019E-02	0,00091%	0,00243%
R17	RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	Limiter current	Contamination	24,7%	1,257E-06	8,164E-03	0,00073%	
R17	RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	Limiter current	Cracked	12,4%	6,312E-07	2,057E-03	0,00018%	
R17	RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	Limiter current	Cracked/Fractured	17,6%	8,958E-07	4,145E-03	0,00037%	
R17	RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	Limiter current	Drift	12,9%	6,566E-07	2,227E-03	0,00020%	
R17	RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	Limiter current	High Value	4,7%	2,392E-07	2,956E-04	0,00003%	

Continua

Tabela D.8 – Continuação.

REF.	PART DESCRIPTION - CPUM	FUNCTION	FAILURE MODES	NORM DIST.	FAILURE RATE	Cm	Contribution Cm	Contribution Component
R18	RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	Pull up	Opened	27,6%	1,405E-06	1,019E-02	0,00091%	0,00243%
R18	RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	Pull up	Cracked	12,4%	6,312E-07	2,057E-03	0,00018%	
R18	RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	Pull up	Contamination	24,7%	1,257E-06	8,164E-03	0,00073%	
R18	RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	Pull up	Cracked/Fractured	17,6%	8,958E-07	4,145E-03	0,00037%	
R18	RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	Pull up	Drift	12,9%	6,566E-07	2,227E-03	0,00020%	
R18	RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	Pull up	High Value	4,7%	2,392E-07	2,956E-04	0,00003%	
R19	RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	Limiter current	Opened	27,6%	1,405E-06	1,019E-02	0,00091%	0,00243%
R19	RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	Limiter current	Cracked	12,4%	6,312E-07	2,057E-03	0,00018%	
R19	RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	Limiter current	Contamination	24,7%	1,257E-06	8,164E-03	0,00073%	
R19	RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	Limiter current	Cracked/Fractured	17,6%	8,958E-07	4,145E-03	0,00037%	
R19	RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	Limiter current	Drift	12,9%	6,566E-07	2,227E-03	0,00020%	
R19	RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	Limiter current	High Value	4,7%	2,392E-07	2,956E-04	0,00003%	
R20	RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	Pull up	Opened	27,6%	1,405E-06	1,019E-02	0,00091%	0,00243%
R20	RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	Pull up	Contamination	24,7%	1,257E-06	8,164E-03	0,00073%	
R20	RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	Pull up	Cracked	12,4%	6,312E-07	2,057E-03	0,00018%	
R20	RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	Pull up	Cracked/Fractured	17,6%	8,958E-07	4,145E-03	0,00037%	
R20	RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	Pull up	Drift	12,9%	6,566E-07	2,227E-03	0,00020%	
R20	RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	Pull up	High Value	4,7%	2,392E-07	2,956E-04	0,00003%	
R22	RES FIO 1W 50,5OHMS 0.5% MIL-PRF-39007/9	Decoupling	Opened	27,6%	1,797E-06	1,304E-02	0,00117%	0,00311%
R22	RES FIO 1W 50,5OHMS 0.5% MIL-PRF-39007/9	Decoupling	Cracked	12,4%	8,072E-07	2,631E-03	0,00024%	
R22	RES FIO 1W 50,5OHMS 0.5% MIL-PRF-39007/9	Decoupling	Contamination	24,7%	1,608E-06	1,044E-02	0,00094%	
R22	RES FIO 1W 50,5OHMS 0.5% MIL-PRF-39007/9	Decoupling	Cracked/Fractured	17,6%	1,146E-06	5,301E-03	0,00048%	
R22	RES FIO 1W 50,5OHMS 0.5% MIL-PRF-39007/9	Decoupling	Drift	12,9%	8,398E-07	2,848E-03	0,00026%	
R22	RES FIO 1W 50,5OHMS 0.5% MIL-PRF-39007/9	Decoupling	High Value	4,7%	3,060E-07	3,781E-04	0,00003%	
R23	RES FIO 1W 50,5OHMS 0.5% MIL-PRF-39007/9	Decoupling	Opened	27,6%	1,797E-06	1,304E-02	0,00117%	0,00311%
R23	RES FIO 1W 50,5OHMS 0.5% MIL-PRF-39007/9	Decoupling	Contamination	24,7%	1,608E-06	1,044E-02	0,00094%	
R23	RES FIO 1W 50,5OHMS 0.5% MIL-PRF-39007/9	Decoupling	Cracked	12,4%	8,072E-07	2,631E-03	0,00024%	
R23	RES FIO 1W 50,5OHMS 0.5% MIL-PRF-39007/9	Decoupling	Cracked/Fractured	17,6%	1,146E-06	5,301E-03	0,00048%	
R23	RES FIO 1W 50,5OHMS 0.5% MIL-PRF-39007/9	Decoupling	Drift	12,9%	8,398E-07	2,848E-03	0,00026%	
R23	RES FIO 1W 50,5OHMS 0.5% MIL-PRF-39007/9	Decoupling	High Value	4,7%	3,060E-07	3,781E-04	0,00003%	

Continua

Tabela D.8 – Continuação.

REF.	PART DESCRIPTION - CPUM	FUNCTION	FAILURE MODES	NORM DIST.	FAILURE RATE	Cm	Contribution Cm	Contribution Component
R3	RES MET 0,125W 100KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	Power Reset	Opened	27,6%	9,384E-08	6,809E-04	0,00006%	0,00016%
R3	RES MET 0,125W 100KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	Power Reset	Contamination	24,7%	8,398E-08	5,453E-04	0,00005%	
R3	RES MET 0,125W 100KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	Power Reset	Cracked	12,4%	4,216E-08	1,374E-04	0,00001%	
R3	RES MET 0,125W 100KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	Power Reset	Cracked/Fractured	17,6%	5,984E-08	2,769E-04	0,00002%	
R3	RES MET 0,125W 100KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	Power Reset	Drift	12,9%	4,386E-08	1,487E-04	0,00001%	
R3	RES MET 0,125W 100KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	Power Reset	High Value	4,7%	1,598E-08	1,974E-05	0,00000%	
R30	RES MET 0,125W 1MOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	pull down	Opened	27,6%	2,291E-07	1,662E-03	0,00015%	0,00040%
R30	RES MET 0,125W 1MOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	pull down	Cracked	12,4%	1,029E-07	3,355E-04	0,00003%	
R30	RES MET 0,125W 1MOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	pull down	Contamination	24,7%	2,050E-07	1,331E-03	0,00012%	
R30	RES MET 0,125W 1MOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	pull down	Cracked/Fractured	17,6%	1,461E-07	6,759E-04	0,00006%	
R30	RES MET 0,125W 1MOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	pull down	Drift	12,9%	1,071E-07	3,631E-04	0,00003%	
R30	RES MET 0,125W 1MOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	pull down	High Value	4,7%	3,901E-08	4,820E-05	0,00000%	
R31	RES MET 0,125W 5,1KOHMS 1% MIL-PRF-39017/5	pull down	Opened	27,6%	5,147E-04	3,734E+00	0,33477%	0,88943%
R31	RES MET 0,125W 5,1KOHMS 1% MIL-PRF-39017/5	pull down	Contamination	24,7%	4,606E-04	2,991E+00	0,26812%	
R31	RES MET 0,125W 5,1KOHMS 1% MIL-PRF-39017/5	pull down	Cracked/Fractured	17,6%	3,282E-04	1,518E+00	0,13613%	
R31	RES MET 0,125W 5,1KOHMS 1% MIL-PRF-39017/5	pull down	Drift	12,9%	2,405E-04	8,158E-01	0,07313%	
R31	RES MET 0,125W 5,1KOHMS 1% MIL-PRF-39017/5	pull down	Cracked	12,4%	2,312E-04	7,537E-01	0,06757%	
R31	RES MET 0,125W 5,1KOHMS 1% MIL-PRF-39017/5	pull down	High Value	4,7%	8,764E-05	1,083E-01	0,00971%	
R4	RES MET 0,125W 1,58k OHMS 1% MIL-PRF-39017/5	watchdog timer	Opened	27,6%	3,240E-06	2,351E-02	0,00211%	0,00560%
R4	RES MET 0,125W 1,58k OHMS 1% MIL-PRF-39017/5	watchdog timer	Cracked/Fractured	17,6%	2,066E-06	9,560E-03	0,00086%	
R4	RES MET 0,125W 1,58k OHMS 1% MIL-PRF-39017/5	watchdog timer	Cracked	12,4%	1,456E-06	4,746E-03	0,00043%	
R4	RES MET 0,125W 1,58k OHMS 1% MIL-PRF-39017/5	watchdog timer	Contamination	24,7%	2,900E-06	1,883E-02	0,00169%	
R4	RES MET 0,125W 1,58k OHMS 1% MIL-PRF-39017/5	watchdog timer	High Value	4,7%	5,518E-07	6,818E-04	0,00006%	
R4	RES MET 0,125W 1,58k OHMS 1% MIL-PRF-39017/5	watchdog timer	Drift	12,9%	1,514E-06	5,136E-03	0,00046%	

Continua

Tabela D.8 – Continuação.

REF.	PART DESCRIPTION - CPUM	FUNCTION	FAILURE MODES	NORM DIST.	FAILURE RATE	Cm	Contribution Cm	Contribution Component
R5	RES MET 0,125W 10KOHMS 1% MIL-PRF-55182	w atchdog timer	Opened	27,6%	1,405E-06	1,019E-02	0,00091%	0,00243%
R5	RES MET 0,125W 10KOHMS 1% MIL-PRF-55182	w atchdog timer	Cracked/Fractured	17,6%	8,958E-07	4,145E-03	0,00037%	
R5	RES MET 0,125W 10KOHMS 1% MIL-PRF-55182	w atchdog timer	Cracked	12,4%	6,312E-07	2,057E-03	0,00018%	
R5	RES MET 0,125W 10KOHMS 1% MIL-PRF-55182	w atchdog timer	Contamination	24,7%	1,257E-06	8,164E-03	0,00073%	
R5	RES MET 0,125W 10KOHMS 1% MIL-PRF-55182	w atchdog timer	High Value	4,7%	2,392E-07	2,956E-04	0,00003%	
R5	RES MET 0,125W 10KOHMS 1% MIL-PRF-55182	w atchdog timer	Drift	12,9%	6,566E-07	2,227E-03	0,00020%	
R8	RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	Pull up	Opened	27,6%	1,405E-06	1,019E-02	0,00091%	0,00243%
R8	RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	Pull up	Contamination	24,7%	1,257E-06	8,164E-03	0,00073%	
R8	RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	Pull up	Cracked	12,4%	6,312E-07	2,057E-03	0,00018%	
R8	RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	Pull up	Cracked/Fractured	17,6%	8,958E-07	4,145E-03	0,00037%	
R8	RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	Pull up	Drift	12,9%	6,566E-07	2,227E-03	0,00020%	
R8	RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	Pull up	High Value	4,7%	2,392E-07	2,956E-04	0,00003%	
R9	RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	Limiter current	Opened	27,6%	1,405E-06	1,019E-02	0,00091%	0,00243%
R9	RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	Limiter current	Contamination	24,7%	1,257E-06	8,164E-03	0,00073%	
R9	RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	Limiter current	Cracked	12,4%	6,312E-07	2,057E-03	0,00018%	
R9	RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	Limiter current	Cracked/Fractured	17,6%	8,958E-07	4,145E-03	0,00037%	
R9	RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	Limiter current	Drift	12,9%	6,566E-07	2,227E-03	0,00020%	
R9	RES MET 0,125W 10KOHMS 2% MIL-PRF-39017/5	Limiter current	High Value	4,7%	2,392E-07	2,956E-04	0,00003%	
U1	CID 54HC164 8-BIT PARALLEL-OUT SERIAL SHIFT REGISTERS FPC-16	Shift register	Functional Failure	21,4%	2,703E-04	1,521E+00	0,13632%	0,60449%
U1	CID 54HC164 8-BIT PARALLEL-OUT SERIAL SHIFT REGISTERS FPC-16	Shift register	High IDD	31,4%	3,966E-04	3,274E+00	0,29349%	
U1	CID 54HC164 8-BIT PARALLEL-OUT SERIAL SHIFT REGISTERS FPC-16	Shift register	Opened, Shorted	8,6%	1,086E-04	2,456E-01	0,02202%	
U1	CID 54HC164 8-BIT PARALLEL-OUT SERIAL SHIFT REGISTERS FPC-16	Shift register	Electrical Overstress	15,7%	1,983E-04	8,184E-01	0,07337%	
U1	CID 54HC164 8-BIT PARALLEL-OUT SERIAL SHIFT REGISTERS FPC-16	Shift register	Leakage	12,9%	1,629E-04	5,525E-01	0,04953%	
U1	CID 54HC164 8-BIT PARALLEL-OUT SERIAL SHIFT REGISTERS FPC-16	Shift register	Metal Defect	10,0%	1,263E-04	3,320E-01	0,02977%	

Continua

Tabela D.8 – Continuação.

REF.	PART DESCRIPTION - CPUM	FUNCTION	FAILURE MODES	NORM DIST.	FAILURE RATE	Cm	Contribution Cm	Contribution Component
U10	CID 54HCT245 OCTAL BUS TRANSCEIVERS WITH 3-STATE OUTPUTS FPC-20	Transceiver of Data	Electrical Failure	49,0%	8,237E-04	1,061E+01	0,95123%	1,39307%
U10	CID 54HCT245 OCTAL BUS TRANSCEIVERS WITH 3-STATE OUTPUTS FPC-20	Transceiver of Data	Mechanical Failure	31,6%	5,312E-04	4,413E+00	0,39561%	
U10	CID 54HCT245 OCTAL BUS TRANSCEIVERS WITH 3-STATE OUTPUTS FPC-20	Transceiver of Data	Opened	8,3%	1,395E-04	3,044E-01	0,02729%	
U10	CID 54HCT245 OCTAL BUS TRANSCEIVERS WITH 3-STATE OUTPUTS FPC-20	Transceiver of Data	Shorted	2,9%	4,875E-05	3,717E-02	0,00333%	
U10	CID 54HCT245 OCTAL BUS TRANSCEIVERS WITH 3-STATE OUTPUTS FPC-20	Transceiver of Data	Electrical Overstress	5,8%	9,750E-05	1,487E-01	0,01333%	
U10	CID 54HCT245 OCTAL BUS TRANSCEIVERS WITH 3-STATE OUTPUTS FPC-20	Transceiver of Data	Data Bit Error	2,4%	4,034E-05	2,545E-02	0,00228%	
U11	CID 54HCT245 OCTAL BUS TRANSCEIVERS WITH 3-STATE OUTPUTS FPC-20	Transceiver of Data	Electrical Failure	49,0%	8,237E-04	1,061E+01	0,95123%	1,39307%
U11	CID 54HCT245 OCTAL BUS TRANSCEIVERS WITH 3-STATE OUTPUTS FPC-20	Transceiver of Data	Mechanical Failure	31,6%	5,312E-04	4,413E+00	0,39561%	
U11	CID 54HCT245 OCTAL BUS TRANSCEIVERS WITH 3-STATE OUTPUTS FPC-20	Transceiver of Data	Opened	8,3%	1,395E-04	3,044E-01	0,02729%	
U11	CID 54HCT245 OCTAL BUS TRANSCEIVERS WITH 3-STATE OUTPUTS FPC-20	Transceiver of Data	Shorted	2,9%	4,875E-05	3,717E-02	0,00333%	
U11	CID 54HCT245 OCTAL BUS TRANSCEIVERS WITH 3-STATE OUTPUTS FPC-20	Transceiver of Data	Electrical Overstress	5,8%	9,750E-05	1,487E-01	0,01333%	
U11	CID 54HCT245 OCTAL BUS TRANSCEIVERS WITH 3-STATE OUTPUTS FPC-20	Transceiver of Data	Data Bit Error	2,4%	4,034E-05	2,545E-02	0,00228%	
U12	CID 54HC138 FPC-16	Chip Select (82C54, 82C59 and 82C52)	Short High	31,7%	4,403E-04	3,669E+00	0,32896%	0,64505%
U12	CID 54HC138 FPC-16	Chip Select (82C54, 82C59 and 82C52)	Incorrect Output	17,1%	2,375E-04	1,068E+00	0,09572%	
U12	CID 54HC138 FPC-16	Chip Select (82C54, 82C59 and 82C52)	Voltage Improper	12,2%	1,695E-04	5,435E-01	0,04872%	
U12	CID 54HC138 FPC-16	Chip Select (82C54, 82C59 and 82C52)	Electrical Overstress	19,5%	2,709E-04	1,388E+00	0,12448%	
U12	CID 54HC138 FPC-16	Chip Select (82C54, 82C59 and 82C52)	Short Low	9,8%	1,361E-04	3,507E-01	0,03144%	
U12	CID 54HC138 FPC-16	Chip Select (82C54, 82C59 and 82C52)	Low Output	4,9%	6,806E-05	8,767E-02	0,00786%	
U12	CID 54HC138 FPC-16	Chip Select (82C54, 82C59 and 82C52)	Floating	4,9%	6,806E-05	8,767E-02	0,00786%	

Continua



Tabela D.8 – Continuação.

REF.	PART DESCRIPTION - CPUM	FUNCTION	FAILURE MODES	NORM DIST.	FAILURE RATE	Cm	Contribution Cm	Contribution Component
U13	CID 54HC257 FP-16	Select Write or Read	Opened	16,5%	2,292E-04	9,941E-01	0,08912%	0,58958%
U13	CID 54HC257 FP-16	Select Write or Read	Broken	10,0%	1,389E-04	3,652E-01	0,03274%	
U13	CID 54HC257 FP-16	Select Write or Read	Improper Output	23,5%	3,264E-04	2,017E+00	0,18078%	
U13	CID 54HC257 FP-16	Select Write or Read	Electrical Failure	22,0%	3,056E-04	1,767E+00	0,15844%	
U13	CID 54HC257 FP-16	Select Write or Read	Electrical Overstress	14,5%	2,014E-04	7,677E-01	0,06883%	
U13	CID 54HC257 FP-16	Select Write or Read	High Insertion Loss	13,5%	1,875E-04	6,655E-01	0,05966%	
U14	CID 54HC04 FPC-14	inverter signal of command and reset	Opened	51,3%	6,669E-04	8,994E+00	0,80631%	1,00296%
U14	CID 54HC04 FPC-14	inverter signal of command and reset	Parametric Failure	12,8%	1,664E-04	5,599E-01	0,05020%	
U14	CID 54HC04 FPC-14	inverter signal of command and reset	Electrical Overstress	20,5%	2,665E-04	1,436E+00	0,12876%	
U14	CID 54HC04 FPC-14	inverter signal of command and reset	Electrical Failure	3,8%	4,940E-05	4,935E-02	0,00442%	
U14	CID 54HC04 FPC-14	inverter signal of command and reset	Shorted Low	3,8%	4,940E-05	4,935E-02	0,00442%	
U14	CID 54HC04 FPC-14	inverter signal of command and reset	Bond Failure	3,8%	4,940E-05	4,935E-02	0,00442%	
U14	CID 54HC04 FPC-14	inverter signal of command and reset	Floating	3,8%	4,940E-05	4,935E-02	0,00442%	9,82544%
U15	CID HS9-82C85RH-Q FP-24	Clock Controller / Generator	Electrical Failure	61,6%	5,975E-03	9,676E+01	8,67476%	
U15	CID HS9-82C85RH-Q FP-24	Clock Controller / Generator	Opened	14,9%	1,445E-03	5,661E+00	0,50754%	
U15	CID HS9-82C85RH-Q FP-24	Clock Controller / Generator	Parametric Failure	16,2%	1,571E-03	6,692E+00	0,59996%	
U15	CID HS9-82C85RH-Q FP-24	Clock Controller / Generator	Shorted	2,0%	1,940E-04	1,020E-01	0,00914%	
U15	CID HS9-82C85RH-Q FP-24	Clock Controller / Generator	Functional Failure	2,0%	1,940E-04	1,020E-01	0,00914%	
U15	CID HS9-82C85RH-Q FP-24	Clock Controller / Generator	Mechanical Failure	3,3%	3,201E-04	2,777E-01	0,02490%	15,84399%
U16	CID HS1-80C86RH CDIP-40	Microprocessor	Opened	18,2%	4,741E-03	2,268E+01	2,03349%	
U16	CID HS1-80C86RH CDIP-40	Microprocessor	High Leakage Current	15,2%	3,959E-03	1,582E+01	1,41836%	
U16	CID HS1-80C86RH CDIP-40	Microprocessor	Electrical Overstress	42,4%	1,104E-02	1,231E+02	11,03647%	
U16	CID HS1-80C86RH CDIP-40	Microprocessor	Die/Attachment Failure	12,1%	3,152E-03	1,003E+01	0,89881%	
U16	CID HS1-80C86RH CDIP-40	Microprocessor	Output Stuck Low	6,1%	1,589E-03	2,548E+00	0,22843%	
U16	CID HS1-80C86RH CDIP-40	Microprocessor	Bent	6,1%	1,589E-03	2,548E+00	0,22843%	

Continua

Tabela D.8 – Continuação.

REF.	PART DESCRIPTION - CPUM	FUNCTION	FAILURE MODES	NORM DIST.	FAILURE RATE	Cm	Contribution Cm	Contribution Component
U17	IC54HC4060RAD-HARD14STAGEBINARYCOUNTER/OSCILLATOR	watchdog timer	Electrical Failure	73,3%	1,613E-03	3,107E+01	2,78583%	2,92615%
U17	IC54HC4060RAD-HARD14STAGEBINARYCOUNTER/OSCILLATOR	watchdog timer	Functional Failure	15,2%	3,344E-04	1,336E+00	0,11979%	
U17	IC54HC4060RAD-HARD14STAGEBINARYCOUNTER/OSCILLATOR	watchdog timer	Opened	5,0%	1,100E-04	1,446E-01	0,01296%	
U17	IC54HC4060RAD-HARD14STAGEBINARYCOUNTER/OSCILLATOR	watchdog timer	Short High	2,3%	5,060E-05	3,060E-02	0,00274%	
U17	IC54HC4060RAD-HARD14STAGEBINARYCOUNTER/OSCILLATOR	watchdog timer	Shorted Low	2,3%	5,060E-05	3,060E-02	0,00274%	
U17	IC54HC4060RAD-HARD14STAGEBINARYCOUNTER/OSCILLATOR	watchdog timer	Electrical Overstress	2,0%	4,400E-05	2,313E-02	0,00207%	
U18	CID 54HC244 OCTAL BUFFERS AND LINE DRIVERS WITH 3-STATE OUTPUTS FPC-20	Buffer of signal	Die Damaged	50,0%	8,480E-04	1,115E+01	0,99929%	1,62384%
U18	CID 54HC244 OCTAL BUFFERS AND LINE DRIVERS WITH 3-STATE OUTPUTS FPC-20	Buffer of signal	Improper Output	37,5%	6,360E-04	6,270E+00	0,56210%	
U18	CID 54HC244 OCTAL BUFFERS AND LINE DRIVERS WITH 3-STATE OUTPUTS FPC-20	Buffer of signal	Loss Of Data	12,5%	2,120E-04	6,967E-01	0,06246%	
U19	CID 54HC00 FPC-14	Switching MCU	Transistor Failure	22,6%	2,938E-04	1,746E+00	0,15649%	0,58299%
U19	CID 54HC00 FPC-14	Switching MCU	Shorted	18,7%	2,431E-04	1,195E+00	0,10714%	
U19	CID 54HC00 FPC-14	Switching MCU	Opened	17,3%	2,249E-04	1,023E+00	0,09170%	
U19	CID 54HC00 FPC-14	Switching MCU	Degraded	24,5%	3,185E-04	2,051E+00	0,18391%	
U19	CID 54HC00 FPC-14	Switching MCU	High Vds	8,5%	1,105E-04	2,469E-01	0,02214%	
U19	CID 54HC00 FPC-14	Switching MCU	Leakage	8,4%	1,092E-04	2,411E-01	0,02162%	
U20	CID 54HC08 QUADRUPLE 2-INPUT POSITIVE-AND GATES FPC-14	RESET and Chip Select	Shorted Low	51,5%	6,695E-04	9,064E+00	0,81261%	1,18913%
U20	CID 54HC08 QUADRUPLE 2-INPUT POSITIVE-AND GATES FPC-14	RESET and Chip Select	Shorted High	33,3%	4,329E-04	3,790E+00	0,33975%	
U20	CID 54HC08 QUADRUPLE 2-INPUT POSITIVE-AND GATES FPC-14	RESET and Chip Select	No Output	9,1%	1,183E-04	2,830E-01	0,02537%	
U20	CID 54HC08 QUADRUPLE 2-INPUT POSITIVE-AND GATES FPC-14	RESET and Chip Select	Opened	6,1%	7,930E-05	1,272E-01	0,01140%	

Continua

Tabela D.8 – Continuação.

REF.	PART DESCRIPTION - CPUM	FUNCTION	FAILURE MODES	NORM DIST.	FAILURE RATE	Cm	Contribution Cm	Contribution Component
U21	CID 54HC10 FPC-14	commands reset and SFF/SN	Shorted High	35,7%	4,641E-04	4,356E+00	0,39048%	0,71830%
U21	CID 54HC10 FPC-14	commands reset and SFF/SN	Shorted Low	21,6%	2,808E-04	1,595E+00	0,14295%	
U21	CID 54HC10 FPC-14	commands reset and SFF/SN	Electrical Overstress	22,7%	2,951E-04	1,761E+00	0,15788%	
U21	CID 54HC10 FPC-14	commands reset and SFF/SN	Opened	5,7%	7,410E-05	1,110E-01	0,00995%	
U21	CID 54HC10 FPC-14	commands reset and SFF/SN	Shorted	5,7%	7,410E-05	1,110E-01	0,00995%	
U21	CID 54HC10 FPC-14	commands reset and SFF/SN	Failure Not Verified	3,4%	4,420E-05	3,951E-02	0,00354%	
U21	CID 54HC10 FPC-14	commands reset and SFF/SN	No Output	3,4%	4,420E-05	3,951E-02	0,00354%	
U22	CID 54HC14 FPC	inverter signal of command and reset	Opened	24,0%	3,120E-04	1,969E+00	0,17648%	0,65947%
U22	CID 54HC14 FPC	inverter signal of command and reset	Electrical Failure	18,5%	2,405E-04	1,170E+00	0,10486%	
U22	CID 54HC14 FPC	inverter signal of command and reset	Mechanical Failure	27,0%	3,510E-04	2,491E+00	0,22335%	
U22	CID 54HC14 FPC	inverter signal of command and reset	Electrical Overstress	21,5%	2,795E-04	1,580E+00	0,14163%	
U22	CID 54HC14 FPC	inverter signal of command and reset	Functional Failure	3,4%	4,420E-05	3,951E-02	0,00354%	
U22	CID 54HC14 FPC	inverter signal of command and reset	Parametric Failure	5,6%	7,280E-05	1,072E-01	0,00961%	
U23	CID 54HC20 FP-14	Command of the enable	Shorted High	37,5%	4,519E-04	4,455E+00	0,39937%	0,70323%
U23	CID 54HC20 FP-14	Command of the enable	Shorted Low	21,6%	2,603E-04	1,478E+00	0,13250%	
U23	CID 54HC20 FP-14	Command of the enable	Electrical Overstress	22,7%	2,735E-04	1,632E+00	0,14634%	
U23	CID 54HC20 FP-14	Command of the enable	Opened	5,7%	6,869E-05	1,029E-01	0,00923%	
U23	CID 54HC20 FP-14	Command of the enable	Shorted	5,7%	6,869E-05	1,029E-01	0,00923%	
U23	CID 54HC20 FP-14	Command of the enable	Failure Not Verified	3,4%	4,097E-05	3,662E-02	0,00328%	
U23	CID 54HC20 FP-14	Command of the enable	No Output	3,4%	4,097E-05	3,662E-02	0,00328%	

Continua

Tabela D.8 – Continuação.

REF.	PART DESCRIPTION - CPUM	FUNCTION	FAILURE MODES	NORM DIST.	FAILURE RATE	Cm	Contribution Cm	Contribution Component
U24	CID 54HC244 OCTAL BUFFERS AND LINE DRIVERS WITH 3-STATE OUTPUTS FPC-20	Buffer of signal	Die Damaged	50,0%	8,495E-04	1,117E+01	1,00105%	1,62671%
U24	CID 54HC244 OCTAL BUFFERS AND LINE DRIVERS WITH 3-STATE OUTPUTS FPC-20	Buffer of signal	Improper Output	37,5%	6,371E-04	6,281E+00	0,56309%	
U24	CID 54HC244 OCTAL BUFFERS AND LINE DRIVERS WITH 3-STATE OUTPUTS FPC-20	Buffer of signal	Loss Of Data	12,5%	2,124E-04	6,979E-01	0,06257%	
U25	CID 82C52 CDIP-28	Comunication RS232	Bond Failure	70,6%	5,473E-03	1,016E+02	9,10641%	10,17897%
U25	CID 82C52 CDIP-28	Comunication RS232	Microcrack	23,5%	1,822E-03	1,125E+01	1,00896%	
U25	CID 82C52 CDIP-28	Comunication RS232	Functional Failure	5,9%	4,574E-04	7,094E-01	0,06360%	
U26	CID 54HC74 DUAL D-TYPE POSITIVE-EDGE-TRIGGERED FLIP-FLOPS WITH CLEAR AND PRESET FPC-14	Generate SECI	Shorted High	22,6%	2,938E-04	1,746E+00	0,15649%	0,54848%
U26	CID 54HC74 DUAL D-TYPE POSITIVE-EDGE-TRIGGERED FLIP-FLOPS WITH CLEAR AND PRESET FPC-14	Generate SECI	Opened	20,9%	2,717E-04	1,493E+00	0,13383%	
U26	CID 54HC74 DUAL D-TYPE POSITIVE-EDGE-TRIGGERED FLIP-FLOPS WITH CLEAR AND PRESET FPC-14	Generate SECI	Shorted Low	19,1%	2,483E-04	1,247E+00	0,11177%	
U26	CID 54HC74 DUAL D-TYPE POSITIVE-EDGE-TRIGGERED FLIP-FLOPS WITH CLEAR AND PRESET FPC-14	Generate SECI	Electrical Failure	12,6%	1,638E-04	5,426E-01	0,04864%	
U26	CID 54HC74 DUAL D-TYPE POSITIVE-EDGE-TRIGGERED FLIP-FLOPS WITH CLEAR AND PRESET FPC-14	Generate SECI	Electrical Overstress	14,8%	1,924E-04	7,486E-01	0,06711%	
U26	CID 54HC74 DUAL D-TYPE POSITIVE-EDGE-TRIGGERED FLIP-FLOPS WITH CLEAR AND PRESET FPC-14	Generate SECI	Mechanical Failure	10,0%	1,300E-04	3,418E-01	0,03064%	

Continua

Tabela D.8 – Continuação.

REF.	PART DESCRIPTION - CPUM	FUNCTION	FAILURE MODES	NORM. DIST.	FAILURE RATE	Cm	Contribution Cm	Contribution Component
U27	CID 54HC74 DUAL D-TYPE POSITIVE-EDGE-TRIGGERED FLIP-FLOPS WITH CLEAR AND PRESET FPC-14	Time Base Interrupt	Shorted High	22,6%	2,938E-04	1,746E+00	0,15649%	0,54848%
U27	CID 54HC74 DUAL D-TYPE POSITIVE-EDGE-TRIGGERED FLIP-FLOPS WITH CLEAR AND PRESET FPC-14	Time Base Interrupt	Opened	20,9%	2,717E-04	1,493E+00	0,13383%	
U27	CID 54HC74 DUAL D-TYPE POSITIVE-EDGE-TRIGGERED FLIP-FLOPS WITH CLEAR AND PRESET FPC-14	Time Base Interrupt	Shorted Low	19,1%	2,483E-04	1,247E+00	0,11177%	
U27	CID 54HC74 DUAL D-TYPE POSITIVE-EDGE-TRIGGERED FLIP-FLOPS WITH CLEAR AND PRESET FPC-14	Time Base Interrupt	Electrical Failure	12,6%	1,638E-04	5,426E-01	0,04864%	
U27	CID 54HC74 DUAL D-TYPE POSITIVE-EDGE-TRIGGERED FLIP-FLOPS WITH CLEAR AND PRESET FPC-14	Time Base Interrupt	Electrical Overstress	14,8%	1,924E-04	7,486E-01	0,06711%	
U27	CID 54HC74 DUAL D-TYPE POSITIVE-EDGE-TRIGGERED FLIP-FLOPS WITH CLEAR AND PRESET FPC-14	Time Base Interrupt	Mechanical Failure	10,0%	1,300E-04	3,418E-01	0,03064%	
U28	CID 54HC244 OCTAL BUFFERS AND LINE DRIVERS WITH 3-STATE OUTPUTS FPC-20	Buffer of data	Die Damaged	50,0%	8,575E-04	1,127E+01	1,01048%	1,64203%
U28	CID 54HC244 OCTAL BUFFERS AND LINE DRIVERS WITH 3-STATE OUTPUTS FPC-20	Buffer of data	Improper Output	37,5%	6,431E-04	6,340E+00	0,56840%	
U28	CID 54HC244 OCTAL BUFFERS AND LINE DRIVERS WITH 3-STATE OUTPUTS FPC-20	Buffer of data	Loss Of Data	12,5%	2,144E-04	7,045E-01	0,06316%	
U29	CID HS9-82C54RH-Q FP-24	Time Base	Electrical Failure	61,6%	5,251E-03	8,504E+01	7,62395%	8,63525%
U29	CID HS9-82C54RH-Q FP-24	Time Base	Opened	14,9%	1,270E-03	4,976E+00	0,44606%	
U29	CID HS9-82C54RH-Q FP-24	Time Base	Parametric Failure	16,2%	1,381E-03	5,882E+00	0,52729%	
U29	CID HS9-82C54RH-Q FP-24	Time Base	Functional Failure	2,0%	1,705E-04	8,965E-02	0,00804%	
U29	CID HS9-82C54RH-Q FP-24	Time Base	Shorted	2,0%	1,705E-04	8,965E-02	0,00804%	
U29	CID HS9-82C54RH-Q FP-24	Time Base	Mechanical Failure	3,3%	2,813E-04	2,441E-01	0,02188%	

Continua

Tabela D.8 – Continuação.

REF.	PART DESCRIPTION - CPUM	FUNCTION	FAILURE MODES	NORM DIST.	FAILURE RATE	Cm	Contribution Cm	Contribution Component
U3	CID 54HC74 DUAL D-TYPE POSITIVE-EDGE-TRIGGERED FLIP-FLOPS WITH CLEAR AND PRESET FPC-14	Command SON and SOFF	Shorted High	22,6%	2,938E-04	1,746E+00	0,15649%	0,54848%
U3	CID 54HC74 DUAL D-TYPE POSITIVE-EDGE-TRIGGERED FLIP-FLOPS WITH CLEAR AND PRESET FPC-14	Command SON and SOFF	Opened	20,9%	2,717E-04	1,493E+00	0,13383%	
U3	CID 54HC74 DUAL D-TYPE POSITIVE-EDGE-TRIGGERED FLIP-FLOPS WITH CLEAR AND PRESET FPC-14	Command SON and SOFF	Shorted Low	19,1%	2,483E-04	1,247E+00	0,11177%	
U3	CID 54HC74 DUAL D-TYPE POSITIVE-EDGE-TRIGGERED FLIP-FLOPS WITH CLEAR AND PRESET FPC-14	Command SON and SOFF	Electrical Failure	12,6%	1,638E-04	5,426E-01	0,04864%	
U3	CID 54HC74 DUAL D-TYPE POSITIVE-EDGE-TRIGGERED FLIP-FLOPS WITH CLEAR AND PRESET FPC-14	Command SON and SOFF	Electrical Overstress	14,8%	1,924E-04	7,486E-01	0,06711%	
U3	CID 54HC74 DUAL D-TYPE POSITIVE-EDGE-TRIGGERED FLIP-FLOPS WITH CLEAR AND PRESET FPC-14	Command SON and SOFF	Mechanical Failure	10,0%	1,300E-04	3,418E-01	0,03064%	
U30	CID HS9-82C59RH-Q DIP-28	Generate Interrupt	Electrical Failure	61,6%	4,868E-03	7,883E+01	7,06680%	8,00419%
U30	CID HS9-82C59RH-Q DIP-28	Generate Interrupt	Opened	14,9%	1,177E-03	4,612E+00	0,41346%	
U30	CID HS9-82C59RH-Q DIP-28	Generate Interrupt	Parametric Failure	16,2%	1,280E-03	5,452E+00	0,48875%	
U30	CID HS9-82C59RH-Q DIP-28	Generate Interrupt	Shorted	2,0%	1,580E-04	8,309E-02	0,00745%	
U30	CID HS9-82C59RH-Q DIP-28	Generate Interrupt	Functional Failure	2,0%	1,580E-04	8,309E-02	0,00745%	
U30	CID HS9-82C59RH-Q DIP-28	Generate Interrupt	Mechanical Failure	3,3%	2,608E-04	2,262E-01	0,02028%	
U31	CID 54HC4075 HIGH SPEED CMOS LOGIC TRIPLE 3-INPUT OR GATES FPC-14	SECI and TBI interrupt	Functional Failure	44,4%	5,772E-04	6,737E+00	0,60400%	0,94374%
U31	CID 54HC4075 HIGH SPEED CMOS LOGIC TRIPLE 3-INPUT OR GATES FPC-14	SECI and TBI interrupt	Opened	11,1%	1,443E-04	4,211E-01	0,03775%	
U31	CID 54HC4075 HIGH SPEED CMOS LOGIC TRIPLE 3-INPUT OR GATES FPC-14	SECI and TBI interrupt	Electrical Failure	22,2%	2,886E-04	1,684E+00	0,15100%	
U31	CID 54HC4075 HIGH SPEED CMOS LOGIC TRIPLE 3-INPUT OR GATES FPC-14	SECI and TBI interrupt	Timing Error	22,2%	2,886E-04	1,684E+00	0,15100%	

Continua

Tabela D.8 – Continuação.

REF.	PART DESCRIPTION - CPUM	FUNCTION	FAILURE MODES	NORM DIST.	FAILURE RATE	Cm	Contribution Cm	Contribution Component
U34	CID 54HC161 SYNCHRONOUS 4-BIT BINARY COUNTERS FPC-16	divisor of frequency	Electrical Failure	73,3%	1,025E-03	1,975E+01	1,77027%	1,85943%
U34	CID 54HC161 SYNCHRONOUS 4-BIT BINARY COUNTERS FPC-16	divisor of frequency	Functional Failure	15,2%	2,125E-04	8,491E-01	0,07612%	
U34	CID 54HC161 SYNCHRONOUS 4-BIT BINARY COUNTERS FPC-16	divisor of frequency	Opened	5,0%	6,990E-05	9,188E-02	0,00824%	
U34	CID 54HC161 SYNCHRONOUS 4-BIT BINARY COUNTERS FPC-16	divisor of frequency	Short High	2,3%	3,215E-05	1,944E-02	0,00174%	
U34	CID 54HC161 SYNCHRONOUS 4-BIT BINARY COUNTERS FPC-16	divisor of frequency	Shorted Low	2,3%	3,215E-05	1,944E-02	0,00174%	
U34	CID 54HC161 SYNCHRONOUS 4-BIT BINARY COUNTERS FPC-16	divisor of frequency	Electrical Overstress	2,0%	2,796E-05	1,470E-02	0,00132%	
U35	CID 54HC161 SYNCHRONOUS 4-BIT BINARY COUNTERS FPC-16	divisor of frequency	Electrical Failure	73,3%	1,020E-03	1,966E+01	1,76267%	1,85145%
U35	CID 54HC161 SYNCHRONOUS 4-BIT BINARY COUNTERS FPC-16	divisor of frequency	Functional Failure	15,2%	2,116E-04	8,455E-01	0,07580%	
U35	CID 54HC161 SYNCHRONOUS 4-BIT BINARY COUNTERS FPC-16	divisor of frequency	Opened	5,0%	6,960E-05	9,149E-02	0,00820%	
U35	CID 54HC161 SYNCHRONOUS 4-BIT BINARY COUNTERS FPC-16	divisor of frequency	Short High	2,3%	3,202E-05	1,936E-02	0,00174%	
U35	CID 54HC161 SYNCHRONOUS 4-BIT BINARY COUNTERS FPC-16	divisor of frequency	Shorted Low	2,3%	3,202E-05	1,936E-02	0,00174%	
U35	CID 54HC161 SYNCHRONOUS 4-BIT BINARY COUNTERS FPC-16	divisor of frequency	Electrical Overstress	2,0%	2,784E-05	1,464E-02	0,00131%	
U4	CID 54HC02 FPC-14	Reset WDT and PE 54HC161	Shorted High	50,0%	6,315E-04	8,301E+00	0,74416%	1,11839%
U4	CID 54HC02 FPC-14	Reset WDT and PE 54HC161	Shorted Low	26,9%	3,397E-04	2,403E+00	0,21539%	
U4	CID 54HC02 FPC-14	Reset WDT and PE 54HC161	Opened	23,1%	2,918E-04	1,772E+00	0,15884%	

Continua

Tabela D.8 – Continuação.

REF.	PART DESCRIPTION - CPUM	FUNCTION	FAILURE MODES	NORM DIST.	FAILURE RATE	Cm	Contribution Cm	Contribution Component
U40	CID 54HC08 QUADRUPLE 2-INPUT POSITIVE-AND GATES FPC-14	40KOUT	Shorted Low	51,5%	6,695E-04	9,064E+00	0,81261%	1,18913%
U40	CID 54HC08 QUADRUPLE 2-INPUT POSITIVE-AND GATES FPC-14	40KOUT	Shorted High	33,3%	4,329E-04	3,790E+00	0,33975%	
U40	CID 54HC08 QUADRUPLE 2-INPUT POSITIVE-AND GATES FPC-14	40KOUT	No Output	9,1%	1,183E-04	2,830E-01	0,02537%	
U40	CID 54HC08 QUADRUPLE 2-INPUT POSITIVE-AND GATES FPC-14	40KOUT	Opened	6,1%	7,930E-05	1,272E-01	0,01140%	
U44	CID 54HC14 FPC	inverter signal	Mechanical Failure	27,0%	3,510E-04	2,491E+00	0,22335%	0,65947%
U44	CID 54HC14 FPC	inverter signal	Opened	24,0%	3,120E-04	1,969E+00	0,17648%	
U44	CID 54HC14 FPC	inverter signal	Electrical Overstress	21,5%	2,795E-04	1,580E+00	0,14163%	
U44	CID 54HC14 FPC	inverter signal	Electrical Failure	18,5%	2,405E-04	1,170E+00	0,10486%	
U44	CID 54HC14 FPC	inverter signal	Parametric Failure	5,6%	7,280E-05	1,072E-01	0,00961%	
U44	CID 54HC14 FPC	inverter signal	Functional Failure	3,4%	4,420E-05	3,951E-02	0,00354%	
U5	CID 54HC4075 HIGH SPEED CMOS LOGIC TRIPLE 3-INPUT OR GATES FPC-14	MCU switching by SW and signal 40KOUT	Functional Failure	44,4%	5,772E-04	6,737E+00	0,60400%	0,94374%
U5	CID 54HC4075 HIGH SPEED CMOS LOGIC TRIPLE 3-INPUT OR GATES FPC-14	MCU switching by SW and signal 40KOUT	Opened	11,1%	1,443E-04	4,211E-01	0,03775%	
U5	CID 54HC4075 HIGH SPEED CMOS LOGIC TRIPLE 3-INPUT OR GATES FPC-14	MCU switching by SW and signal 40KOUT	Electrical Failure	22,2%	2,886E-04	1,684E+00	0,15100%	
U5	CID 54HC4075 HIGH SPEED CMOS LOGIC TRIPLE 3-INPUT OR GATES FPC-14	MCU switching by SW and signal 40KOUT	Timing Error	22,2%	2,886E-04	1,684E+00	0,15100%	

Continua



Tabela D.8 – Continuação.

REF.	PART DESCRIPTION - CPUM	FUNCTION	FAILURE MODES	NORM DIST.	FAILURE RATE	Cm	Contribution Cm	Contribution Component
U6	CID 54HC74 DUAL D-TYPE POSITIVE-EDGE-TRIGGERED FLIP-FLOPS WITH CLEAR AND PRESET FPC-14	Waiting for clock generator	Shorted High	22,6%	2,938E-04	1,746E+00	0,15649%	0,54848%
U6	CID 54HC74 DUAL D-TYPE POSITIVE-EDGE-TRIGGERED FLIP-FLOPS WITH CLEAR AND PRESET FPC-14	Waiting for clock generator	Opened	20,9%	2,717E-04	1,493E+00	0,13383%	
U6	CID 54HC74 DUAL D-TYPE POSITIVE-EDGE-TRIGGERED FLIP-FLOPS WITH CLEAR AND PRESET FPC-14	Waiting for clock generator	Shorted Low	19,1%	2,483E-04	1,247E+00	0,11177%	
U6	CID 54HC74 DUAL D-TYPE POSITIVE-EDGE-TRIGGERED FLIP-FLOPS WITH CLEAR AND PRESET FPC-14	Waiting for clock generator	Electrical Failure	12,6%	1,638E-04	5,426E-01	0,04864%	
U6	CID 54HC74 DUAL D-TYPE POSITIVE-EDGE-TRIGGERED FLIP-FLOPS WITH CLEAR AND PRESET FPC-14	Waiting for clock generator	Electrical Overstress	14,8%	1,924E-04	7,486E-01	0,06711%	
U6	CID 54HC74 DUAL D-TYPE POSITIVE-EDGE-TRIGGERED FLIP-FLOPS WITH CLEAR AND PRESET FPC-14	Waiting for clock generator	Mechanical Failure	10,0%	1,300E-04	3,418E-01	0,03064%	
U7	IC54HC373RAD-HARDOCTALD-TYPELATCHWITH3-STAEOUTPUTNONINVERTING	Latch Data	Opened	20,9%	3,553E-04	1,952E+00	0,17501%	0,71725%
U7	IC54HC373RAD-HARDOCTALD-TYPELATCHWITH3-STAEOUTPUTNONINVERTING	Latch Data	Shorted High	22,6%	3,842E-04	2,283E+00	0,20464%	
U7	IC54HC373RAD-HARDOCTALD-TYPELATCHWITH3-STAEOUTPUTNONINVERTING	Latch Data	Shorted Low	19,1%	3,247E-04	1,630E+00	0,14616%	
U7	IC54HC373RAD-HARDOCTALD-TYPELATCHWITH3-STAEOUTPUTNONINVERTING	Latch Data	Electrical Failure	12,6%	2,142E-04	7,095E-01	0,06361%	
U7	IC54HC373RAD-HARDOCTALD-TYPELATCHWITH3-STAEOUTPUTNONINVERTING	Latch Data	Electrical Overstress	14,8%	2,516E-04	9,789E-01	0,08776%	
U7	IC54HC373RAD-HARDOCTALD-TYPELATCHWITH3-STAEOUTPUTNONINVERTING	Latch Data	Mechanical Failure	10,0%	1,700E-04	4,469E-01	0,04007%	

Continua

Tabela D.8 – Conclusão.

REF.	PART DESCRIPTION - CPUM	FUNCTION	FAILURE MODES	NORM DIST.	FAILURE RATE	Cm	Contribution Cm	Contribution Component
U8	IC54HC373RAD-HARDOCTALD-TYPELATCHWITH3-STAEOUTPUTNONINVERTING	Latch Data	Opened	20,9%	3,553E-04	1,952E+00	0,17501%	0,71725%
U8	IC54HC373RAD-HARDOCTALD-TYPELATCHWITH3-STAEOUTPUTNONINVERTING	Latch Data	Shorted High	22,6%	3,842E-04	2,283E+00	0,20464%	
U8	IC54HC373RAD-HARDOCTALD-TYPELATCHWITH3-STAEOUTPUTNONINVERTING	Latch Data	Shorted Low	19,1%	3,247E-04	1,630E+00	0,14616%	
U8	IC54HC373RAD-HARDOCTALD-TYPELATCHWITH3-STAEOUTPUTNONINVERTING	Latch Data	Electrical Failure	12,6%	2,142E-04	7,095E-01	0,06361%	
U8	IC54HC373RAD-HARDOCTALD-TYPELATCHWITH3-STAEOUTPUTNONINVERTING	Latch Data	Electrical Overstress	14,8%	2,516E-04	9,789E-01	0,08776%	
U8	IC54HC373RAD-HARDOCTALD-TYPELATCHWITH3-STAEOUTPUTNONINVERTING	Latch Data	Mechanical Failure	10,0%	1,700E-04	4,469E-01	0,04007%	
U9	IC54HC373RAD-HARDOCTALD-TYPELATCHWITH3-STAEOUTPUTNONINVERTING	Latch Data	Opened	20,9%	3,553E-04	1,952E+00	0,17501%	0,71725%
U9	IC54HC373RAD-HARDOCTALD-TYPELATCHWITH3-STAEOUTPUTNONINVERTING	Latch Data	Shorted High	22,6%	3,842E-04	2,283E+00	0,20464%	
U9	IC54HC373RAD-HARDOCTALD-TYPELATCHWITH3-STAEOUTPUTNONINVERTING	Latch Data	Electrical Overstress	14,8%	2,516E-04	9,789E-01	0,08776%	
U9	IC54HC373RAD-HARDOCTALD-TYPELATCHWITH3-STAEOUTPUTNONINVERTING	Latch Data	Shorted Low	19,1%	3,247E-04	1,630E+00	0,14616%	
U9	IC54HC373RAD-HARDOCTALD-TYPELATCHWITH3-STAEOUTPUTNONINVERTING	Latch Data	Mechanical Failure	10,0%	1,700E-04	4,469E-01	0,04007%	
U9	IC54HC373RAD-HARDOCTALD-TYPELATCHWITH3-STAEOUTPUTNONINVERTING	Latch Data	Electrical Failure	12,6%	2,142E-04	7,095E-01	0,06361%	
XTAL1	CRISTAL 12MHz	Clock CPU	Voids	26,2%	3,016E-03	2,077E+01	1,86226%	5,51488%
XTAL1	CRISTAL 12MHz	Clock CPU	Opened	19,7%	2,268E-03	1,174E+01	1,05286%	
XTAL1	CRISTAL 12MHz	Clock CPU	Fatigue	11,5%	1,324E-03	4,002E+00	0,35878%	
XTAL1	CRISTAL 12MHz	Clock CPU	Fractured/Cracked	9,8%	1,128E-03	2,906E+00	0,26055%	
XTAL1	CRISTAL 12MHz	Clock CPU	bond failure	26,2%	3,016E-03	2,077E+01	1,86226%	
XTAL1	CRISTAL 12MHz	Clock CPU	Broken	6,6%	7,597E-04	1,318E+00	0,11817%	

Fonte: Produção do Autor.

A Tabela D.9 apresenta o resultado da Probabilidade de Obsolescência (Tabela 6.2) para o estudo de caso 2.

Tabela D.9 - Probabilidade de Obsolescência para o estudo de caso 2.

Item	Part Description	QTY	MANUF	Part Number	Estoque	Consumo	Estoque vs Consumo	Número de Fornecedores	Anos até Fim Vida Produto (YTEOL)	Probabilidade da Obsolescência		
1	RESISTOR FIXED FILM (INSULATED) 0.125W 5.1KOHMS 2%	1	VISHAY	RLR05C5101GS	Alto	Baixo	Baixo	1	Alto	7.3	Baixo	Médio
2	RESISTOR FIXED FILM (INSULATED) 0.125W 1.58KOHMS 1%	1	VISHAY	RLR05C1581FS	Alto	Baixo	Baixo	1	Alto	7.3	Baixo	Médio
3	RESISTOR FIXED METAL FILM (INSULATED) 0.125W 10KOHMS 1%	1	VISHAY	RNC55J1002FS	Alto	Baixo	Baixo	2	Médio	7.3	Baixo	Baixo
4	CAPACITOR MULTILAYER CERAMIC RADIAL 10NF 50V 1%	1	AVX	CCR06CG103FS	Alto	Baixo	Baixo	3	Baixo	7.3	Baixo	Baixo
5	CAPACITOR MULTILAYER FIXED CERAMIC DIELECTRIC AXIAL 22NF 50V 10%	3	AVX	M39014/05-2267	Alto	Baixo	Baixo	1	Alto	7.3	Baixo	Médio
6	CAPACITOR MULTILAYER FIXED CERAMIC DIELECTRIC AXIAL 22NF 50V 10%	14	AVX	M39014/05-2267	Alto	Baixo	Baixo	1	Alto	7.3	Baixo	Médio
7	CAPACITOR MULTILAYER FIXED CERAMIC DIELECTRIC AXIAL 100NF 100V 10%	5	AVX	M39014/05-2310	Alto	Baixo	Baixo	1	Alto	7.3	Baixo	Médio
8	CAPACITOR FIXED ELECTROLYTIC (SOLIDELECTROLYTE) TANTALUM (POLARIZED SINTERED SLUG) 47UF 5% 35V	2	KEMET	M39003/01-5649A	Alto	Baixo	Baixo	1	Alto	8.5	Baixo	Médio
9	CAPACITOR MULTILAYER CERAMIC RADIAL 62pF 200V 1%	2	AVX	CCR09CG620FS	Alto	Baixo	Baixo	1	Alto	7.3	Baixo	Médio
10	CAPACITOR MULTILAYER FIXED CERAMIC DIELECTRIC AXIAL 1UF 50V 10%	1	AVX	M39014/05-2325	Alto	Baixo	Baixo	2	Médio	7.3	Baixo	Baixo
11	CAPACITOR FIXED ELECTROLYTIC (SOLIDELECTROLYTE) TANTALUM (POLARIZED SINTERED SLUG) 2.2UF 20V 5%	2	KEMET	M39003/01-5630A	Alto	Baixo	Baixo	2	Médio	8.5	Baixo	Baixo
12	IC 54HC14 RAD-HARD HEX SCHMITT INVERTER	2	ST MICRO	9409-007-02F	Baixo	Baixo	Médio	1	Alto	7.5	Baixo	Alto
13	IC 54HC02 RAD-HARD QUAD 2-INPUT NOR GATE	1	ST MICRO	9201-113-02F	Baixo	Baixo	Médio	1	Alto	6.5	Baixo	Alto
14	IC 54HC04 RAD-HARD HEX INVERTER	1	ST MICRO	9401-033-02F	Baixo	Baixo	Médio	1	Alto	7.5	Baixo	Alto
15	IC 54HC10 RAD-HARD TRIPLE 3-INPUT NAND GATE	1	ST MICRO	9201-107-02F	Baixo	Baixo	Médio	1	Alto	6.5	Baixo	Alto
16	IC 54HC138 RAD-HARD 3-TO-8 LINE DECODER (INVERTING)	1	ST MICRO	9408-046-02F	Baixo	Baixo	Médio	1	Alto	8	Baixo	Alto
17	IC 54HC373 RAD-HARD OCTAL D-TYPE LATCH WITH 3-STATE OUTPUT NON INVERTING	3	ST MICRO	9203-059-02F	Baixo	Baixo	Médio	1	Alto	8	Baixo	Alto
18	IC 54HC4060 RAD-HARD 14 STAGE BINARY COUNTER/OSCILLATOR	1	ST MICRO	9204-076-02F	Baixo	Baixo	Médio	1	Alto	8	Baixo	Alto
19	IC 82C54 RAD-HARD CMOS PROGRAMMABLE INTERVAL TIMER	1	INTERSIL	5962R9571301VXC	Baixo	Baixo	Médio	1	Alto	4.3	Baixo	Alto
20	IC 54HC00 RAD-HARD QUAD 2-INPUT NAND GATE	1	ST MICRO	9201-105-02F	Baixo	Baixo	Médio	1	Alto	6.5	Baixo	Alto
21	IC 54HC08 QUADRUPLE 2-INPUT POSITIVE AND GATES	2	ST MICRO	9201-106-02F	Baixo	Baixo	Médio	1	Alto	6.5	Baixo	Alto
22	IC54HC74 DUAL D TYPE POSITIVE-EDGE-TRIGGERED FLIP-FLOPS WITH CLEAR AND PRESET	4	ST MICRO	9203-050-02F	Baixo	Baixo	Médio	1	Alto	7.5	Baixo	Alto
23	IC 54HC161 SYNCHRONOUS 4-BIT BINARY COUNTERS	2	ST MICRO	9204-059-02F	Baixo	Baixo	Médio	1	Alto	8	Baixo	Alto
24	IC 54HC164 RAD-HARD 8-BIT PARALLEL-OUT SERIAL-IN SHIFT REGISTERS	1	ST MICRO	9306-041-02F	Baixo	Baixo	Médio	1	Alto	8	Baixo	Alto

Continua

Tabela D.9 – Conclusão.

Item	Part Description	QTY	MANUF	Part Number	Estoque	Consumo	Estoque vs Consumo	Número de Fornecedores		Anos até Fim Vida Produto (YTEOL)		Probabilidade da Obsolescência
25	IC 54HC4075 HIGH SPEED CMOS LOGIC TRIPLE 3-INPUT OR GATES	2	ST MICRO	9201-129-02F	Baixo	Baixo	Médio	1	Alto	0	Alto	Alto
26	IC 54HC244 OCTAL BUFFERS AND LINE DRIVERS WITH 3-STATE OUTPUTS	3	ST MICRO	940104802F	Baixo	Baixo	Médio	1	Alto	6	Baixo	Alto
27	IC 54HC257 RAD-HARD QUAD 2 CHANNEL MULTIPLEXER (3-STATE)	1	ST MICRO	9408-047-02F	Baixo	Baixo	Médio	1	Alto	9	Baixo	Alto
28	IC 82C85 RADIATION HARDENED CMOS STATIC CLOCK CONTROLLER/GENERATOR	1	INTERSIL	5962R9582001VXC	Baixo	Baixo	Médio	1	Alto	0	Alto	Alto
29	IC 54HC20 RAD-HARD DUAL 4-INPUT NAND GATE	1	ST MICRO	9201-118-02F	Baixo	Baixo	Médio	1	Alto	1	Alto	Alto
30	IC 54HCT245 RAD-HARD OCTAL BUS TRANSCEIVER WITH 3-STATE OUTPUTS (NON INVERTED)	2	ST MICRO	9405-014-02F	Baixo	Baixo	Médio	1	Alto	7	Baixo	Alto
31	IC 80C86 RADIATION HARDENED 16-BIT CMOS MICROPROCESSOR	1	INTERSIL	5962R9572201QQC	Baixo	Baixo	Médio	1	Alto	0	Alto	Alto
32	IC 82C52 PROGRAMMABLE UART	1	INTERSIL	5962-9581701VXC	Baixo	Baixo	Médio	1	Alto	8,1	Baixo	Alto
33	IC 82C59A/7 PRIORITY INTERRUPT CONTROLLER	1	INTERSIL	5962-9571801VXC	Baixo	Baixo	Médio	1	Alto	5	Médio	Alto
34	CONNECTOR MALE 90 DEGREE .100" SERIES FOR PRINTED CIRCUIT BOARD 90 WAYS	1	INCON	M55302/59A90X	Alto	Baixo	Baixo	1	Alto	10,6	Baixo	Médio
35	CRYSTAL UNITS IN METAL HOLDER BASED ON TYPE T1507 FREQUENCY: 12MHz	1	C-MAC	350100270B	Baixo	Baixo	Médio	1	Alto	10	Baixo	Alto
36	RESISTOR FIXED FILM (INSULATED) 0.125W 10KOHMS 2%	10	VISHAY	RLR05C1002GS	Alto	Baixo	Baixo	1	Alto	7,3	Baixo	Médio
37	RESISTOR FIXED FILM (INSULATED) 0.125W 100KOHMS 2%	1	VISHAY	RLR05C1003GS	Alto	Baixo	Baixo	3	Baixo	7,3	Baixo	Baixo
38	RESISTOR FIXED FILM (INSULATED) 0.125W 1MOHMS 2%	1	VISHAY	RLR05C1004GP	Alto	Baixo	Baixo	3	Baixo	7,3	Baixo	Baixo
39	RESISTORS FIXED WIRE WOUND (POWER TYPE) 1.0W 50.5OHMS 0.5%	2	VISHAY	RWR81S50R5DS	Alto	Baixo	Baixo	3	Baixo	7,3	Baixo	Baixo

Fonte: Produção do Autor.

A Tabela D.10 apresenta os resultados da Criticidade Restrita, da Criticidade Estendida e da Estratégia de Mitigação do Risco de Obsolescência para o estudo de caso 2.

Tabela D.10 - Criticidade Restrita, Criticidade Estendida e Estratégia de Mitigação do Risco de Obsolescência para o estudo de caso 2.

ITEM	PART DESCRIPTION	QTY	MANUF.	PART NUMBER	Severidade (S)	Probabilidade (P)	Indetectabilidade (ID)	Intratabilidade (IT)	Criticidade Restrita	Criticidade Estendida	Estratégia de Mitigação
1	RESISTOR FIXED FILM (INSULATED) 0.125W 5.1KOHMS 2%	1	VISHAY	RLR05C5101GS	●	Pm	●	●	●	●	Reativo
2	RESISTOR FIXED FILM (INSULATED) 0.125W 1.58KOHMS 1%	1	VISHAY	RLR05C1581FS	●	Pm	●	●	●	●	Reativo
3	RESISTOR FIXED METAL FILM (INSULATED) 0.125W 10KOHMS 1%	1	VISHAY	RNC55J1002FS	●	Pb	●	●	●	●	Reativo
4	CAPACITOR MULTILAYER CERAMIC RADIAL 10NF 50V 1%	1	AVX	CCR06CG103FS	●	Pb	●	●	●	●	Reativo
5	CAPACITOR MULTILAYER FIXED CERAMIC DIELECTRIC AXIAL 22NF 50V 10%	3	AVX	M39014/05-2267	●	Pm	●	●	●	●	Reativo
6	CAPACITOR MULTILAYER FIXED CERAMIC DIELECTRIC AXIAL 22NF 50V 10%	14	AVX	M39014/05-2267	●	Pm	●	●	●	●	Reativo
7	CAPACITOR MULTILAYER FIXED CERAMIC DIELECTRIC AXIAL 100NF 100V 10%	5	AVX	M39014/05-2310	●	Pm	●	●	●	●	Reativo
8	CAPACITOR FIXED ELECTROLYTIC (SOLIDELECTROLYTE) TANTALUM (POLARIZED SINTERED SLUG) 47UF 5% 35V	2	KEMET	M39003/01-5649A	●	Pm	●	●	●	●	Reativo
9	CAPACITOR MULTILAYER CERAMIC RADIAL 62pF 200V 1%	2	AVX	CCR09CG620FS	●	Pm	●	●	●	●	Reativo
10	CAPACITOR MULTILAYER FIXED CERAMIC DIELECTRIC AXIAL 1UF 50V 10%	1	AVX	M39014/05-2325	●	Pb	●	●	●	●	Reativo
11	CAPACITOR FIXED ELECTROLYTIC (SOLIDELECTROLYTE) TANTALUM (POLARIZED SINTERED SLUG) 2.2UF 20V 5%	2	KEMET	M39003/01-5630A	●	Pb	●	●	●	●	Reativo
12	IC 54HC14 RAD-HARD HEX SCHMITT INVERTER	2	ST MICRO	9409-007-02F	●	Pa	●	●	●	●	Passivo
13	IC 54HC02 RAD-HARD QUAD 2-INPUT NOR GATE	1	ST MICRO	9201-113-02F	●	Pa	●	●	●	●	Passivo
14	IC 54HC04 RAD-HARD HEX INVERTER	1	ST MICRO	9401-033-02F	●	Pa	●	●	●	●	Passivo

Continua

Tabela D.10 – Continuação.

ITEM	PART DESCRIPTION	QTY	MANUF.	PART NUMBER	Severidade (S)	Probabilidade (P)	Indetectabilidade (ID)	Intratabilidade (IT)	Criticidade Restrita	Criticidade Estendida	Estratégia de Mitigação
15	IC 54HC10 RAD-HARD TRIPLE 3-INPUT NAND GATE	1	ST MICRO	9201-107-02F	●	Pa	●	●	●	●	Passivo
16	IC 54HC138 RAD-HARD 3-TO-8 LINE DECODER (INVERTING)	1	ST MICRO	9408-046-02F	●	Pa	●	●	●	●	Passivo
17	IC 54HC373 RAD-HARD OCTAL D-TYPE LATCH WITH 3-STATE OUTPUT NON INVERTING	3	ST MICRO	9203-059-02F	●	Pa	●	●	●	●	Passivo
18	IC 54HC4060 RAD-HARD 14 STAGE BINARY COUNTER/OSCILLATOR	1	ST MICRO	9204-076-02F	●	Pa	●	●	●	●	Passivo
19	IC 82C54 RAD-HARD CMOS PROGRAMMABLE INTERVAL TIMER	1	INTERSIL	5962R9571301VXC	●	Pa	●	●	●	●	Proativo
20	IC 54HC00 RAD-HARD QUAD 2-INPUT NAND GATE	1	ST MICRO	9201-105-02F	●	Pa	●	●	●	●	Passivo
21	IC 54HC08 QUADRUPLE 2-INPUT POSITIVE AND GATES	2	ST MICRO	9201-106-02F	●	Pa	●	●	●	●	Passivo
22	IC54HC74 DUAL D TYPE POSITIVE-EDGE-TRIGGERED FLIP-FLOPS WITH CLEAR AND PRESET	4	ST MICRO	9203-050-02F	●	Pa	●	●	●	●	Passivo
23	IC 54HC161 SYNCHRONOUS 4-BIT BINARY COUNTERS	2	ST MICRO	9204-059-02F	●	Pa	●	●	●	●	Passivo
24	IC 54HC164 RAD-HARD 8-BIT PARALLEL-OUT SERIAL-IN SHIFT REGISTERS	1	ST MICRO	9306-041-02F	●	Pa	●	●	●	●	Passivo
25	IC 54HC4075 HIGH SPEED CMOS LOGIC TRIPLE 3-INPUT OR GATES	2	ST MICRO	9201-129-02F	●	Pa	●	●	●	●	Passivo
26	IC 54HC244 OCTAL BUFFERS AND LINE DRIVERS WITH 3-STATE OUTPUTS	3	ST MICRO	940104802F	●	Pa	●	●	●	●	Passivo
27	IC 54HC257 RAD-HARD QUAD 2 CHANNEL MULTIPLEXER (3-STATE)	1	ST MICRO	9408-047-02F	●	Pa	●	●	●	●	Passivo
28	IC 82C85 RADIATION HARDENED CMOS STATIC CLOCK CONTROLLER/GENERATOR	1	INTERSIL	5962R9582001VXC	●	Pa	●	●	●	●	Proativo
29	IC 54HC20 RAD-HARD DUAL 4-INPUT NAND GATE	1	ST MICRO	9201-118-02F	●	Pa	●	●	●	●	Passivo

Continua

Tabela D.10 – Conclusão.

ITEM	PART DESCRIPTION	QTY	MANUF.	PART NUMBER	Severidade (S)	Probabilidade (P)	Indetectabilidade (ID)	Intratabilidade (IT)	Criticidade Restrita	Criticidade Estendida	Estratégia de Mitigação
30	IC 54HCT245 RAD-HARD OCTAL BUS TRANSCEIVER WITH 3-STATE OUTPUTS (NON INVERTED)	2	ST MICRO	9405-014-02F		Pa					Passivo
31	IC 80C86 RADIATION HARDENED 16-BIT CMOS MICROPROCESSOR	1	INTERSIL	5962R9572201QQC		Pa					Proativo
32	IC 82C52 PROGRAMMABLE UART	1	INTERSIL	5962-9581701VXC		Pa					Proativo
33	IC 82C59A/7 PRIORITY INTERRUPT CONTROLLER	1	INTERSIL	5962-9571801VXC		Pa					Passivo
34	CONNECTOR MALE 90 DEGREE.100" SERIES FOR PRINTED CIRCUIT BOARD 90 WAYS	1	INCON	M55302/59A90X		Pm					Passivo
35	CRYSTAL UNITS IN METAL HOLDER BASED ON TYPE T1507 FREQUENCY: 12MHz	1	C-MAC	350100270B		Pa					Proativo
36	RESISTOR FIXED FILM (INSULATED) 0.125W 10KOHMS 2%	10	VISHAY	RLR05C1002GS		Pm					Reativo
37	RESISTOR FIXED FILM (INSULATED) 0.125W 100KOHMS 2%	1	VISHAY	RLR05C1003GS		Pb					Reativo
38	RESISTOR FIXED FILM (INSULATED) 0.125W 1MOHMS 2%	1	VISHAY	RLR05C1004GP		Pb					Reativo
39	RESISTORS FIXED WIRE WOUND (POWER TYPE) 1.0W 50.5OHMS 0.5%	2	VISHAY	RWR81S50R5DS		Pb					Reativo

Fonte: Produção do Autor.

A Tabela D.11 apresenta o Plano de Obsolescência (Tabela 6.3) para o estudo de caso 2.

Tabela D.11 - Plano de Obsolescência para o estudo de caso 2.

Item	Descrição do Item	Estado da Obsolescência	Tempo de Disponibilidade do Item	Risco de Obsolescência	Estratégias de Mitigação	Ações de Mitigação	Razão Provável Obsolescência	Possíveis Alternativas e/ou substitutos do Item	Avaliação da Robustez	Responsável / Prazo
1	RESISTOR FIXED FILM (INSULATED) 0.125W 5.1KOHMS 2%	Não Obsoleto	7.3	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
2	RESISTOR FIXED FILM (INSULATED) 0.125W 1.58KOHMS 1%	Não Obsoleto	7.3	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
3	RESISTOR FIXED METAL FILM (INSULATED) 0.125W 10KOHMS 1%	Não Obsoleto	7.3	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)		Alterar PN para RNC55J1002FSRE6 YTEOL: 7,3 anos	Item substituto não altera a robustez da placa/módulo avaliado	Revisar lista de material para inclusão do item alternativo - End. Projeto
4	CAPACITOR MULTILAYER CERAMIC RADIAL 10NF 50V 1%	Não Obsoleto	7.3	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
5	CAPACITOR MULTILAYER FIXED CERAMIC DIELECTRIC AXIAL 22NF 50V 10%	Não Obsoleto	7.3	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
6	CAPACITOR MULTILAYER FIXED CERAMIC DIELECTRIC AXIAL 22NF 50V 10%	Não Obsoleto	7.3	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
7	CAPACITOR MULTILAYER FIXED CERAMIC DIELECTRIC AXIAL 100NF 100V 10%	Não Obsoleto	7.3	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
8	CAPACITOR FIXED ELECTROLYTIC (SOLIDELECTROLYTE) TANTALUM (POLARIZED SINTERED SLUG) 47UF 5% 35V	Não Obsoleto	8.5	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
9	CAPACITOR MULTILAYER CERAMIC RADIAL 62pF 200V 1%	Não Obsoleto	7.3	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
10	CAPACITOR MULTILAYER FIXED CERAMIC DIELECTRIC AXIAL 1UF 50V 10%	Não Obsoleto	7.3	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
11	CAPACITOR FIXED ELECTROLYTIC (SOLIDELECTROLYTE) TANTALUM (POLARIZED SINTERED SLUG) 2.2UF 20V 5%	Não Obsoleto	8.5	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
12	IC 54HC14 RAD-HARD HEX SCHMITT INVERTER	Não Obsoleto	7.5	Médio	Passivo	Monitorar a obsolescência; Preparar opções de solução	Fornecedor Único			

Continua



Tabela D.11 – Continuação.

Item	Descrição do Item	Estado da Obsolescência	Tempo de Disponibilidade do Item	Risco de Obsolescência	Estratégias de Mitigação	Ações de Mitigação	Razão Provável Obsolescência	Possíveis Alternativas e/ou substitutos do Item	Avaliação da Robustez	Responsável / Prazo
13	IC 54HC02 RAD-HARD QUAD 2-INPUT NOR GATE	Não Obsoleto	6.5	Médio	Passivo	Monitorar a obsolescência; Preparar opções de solução	Fornecedor Único			
14	IC 54HC04 RAD-HARD HEX INVERTER	Não Obsoleto	7.5	Médio	Passivo	Monitorar a obsolescência; Preparar opções de solução	Fornecedor Único			
15	IC 54HC10 RAD-HARD TRIPLE 3-INPUT NAND GATE	Não Obsoleto	6.5	Médio	Passivo	Monitorar a obsolescência; Preparar opções de solução	Fornecedor Único			
16	IC 54HC138 RAD-HARD 3-TO-8 LINE DECODER (INVERTING)	Não Obsoleto	8	Médio	Passivo	Monitorar a obsolescência; Preparar opções de solução	Fornecedor Único			
17	IC 54HC373 RAD-HARD OCTAL D-TYPE LATCH WITH 3-STATE OUTPUT NON INVERTING	Não Obsoleto	8	Médio	Passivo	Monitorar a obsolescência; Preparar opções de solução	Fornecedor Único			
18	IC 54HC4060 RAD-HARD 14 STAGE BINARY COUNTER/OSCILLATOR	Não Obsoleto	8	Médio	Passivo	Monitorar a obsolescência; Preparar opções de solução	Fornecedor Único			
19	IC 82C54 RAD-HARD CMOS PROGRAMMABLE INTERVAL TIMER	Não Obsoleto	4.3	Alto	Proativo	Atualização tecnológica, ou reprojeto, ou novo design e a requalificação da placa	Fornecedor Único	Não recomendado substituição. Compra estratégica para estoque estratégico. Item alternativo MD82C54/B	Item alternativo é de aplicação militar e não possui proteção para radiação, reduzindo a robustez da placa	Compra estratégica para estoque estratégico - Planejamento
20	IC 54HC00 RAD-HARD QUAD 2-INPUT NAND GATE	Não Obsoleto	6.5	Médio	Passivo	Monitorar a obsolescência; Preparar opções de solução	Fornecedor Único			
21	IC 54HC08 QUADRUPLE 2-INPUT POSITIVE AND GATES	Não Obsoleto	6.5	Médio	Passivo	Monitorar a obsolescência; Preparar opções de solução	Fornecedor Único			
22	IC54HC74 DUAL D TYPE POSITIVE-EDGE-TRIGGERED FLIP-FLOPS WITH CLEAR AND PRESET	Não Obsoleto	7.5	Médio	Passivo	Monitorar a obsolescência; Preparar opções de solução	Fornecedor Único			
23	IC 54HC161 SYNCHRONOUS 4-BIT BINARY COUNTERS	Não Obsoleto	8	Médio	Passivo	Monitorar a obsolescência; Preparar opções de solução	Fornecedor Único			
24	IC 54HC164 RAD-HARD 8-BIT PARALLEL-OUT SERIAL-IN SHIFT REGISTERS	Não Obsoleto	8	Médio	Passivo	Monitorar a obsolescência; Preparar opções de solução	Fornecedor Único			
25	IC 54HC4075 HIGH SPEED CMOS LOGIC TRIPLE 3-INPUT OR GATES	Obsoleto	0	Médio	Passivo	Preparar opções de solução	YTEOL	Alterar PN para: HCC4075BKT - 100 kRad	Item alternativo melhora a robustez da placa pois possui parametro de radiação melhor - 100 kRad	Revisar lista de material para inclusão do item alternativo - End. Projeto
26	IC 54HC244 OCTAL BUFFERS AND LINE DRIVERS WITH 3-STATE OUTPUTS	Não Obsoleto	6	Médio	Passivo	Monitorar a obsolescência; Preparar opções de solução	Fornecedor Único			
27	IC 54HC257 RAD-HARD QUAD 2 CHANNEL MULTIPLEXER (3-STATE)	Não Obsoleto	9	Médio	Passivo	Monitorar a obsolescência; Preparar opções de solução	Fornecedor Único			

Continua

Tabela D.11 – Continuação.

Item	Descrição do Item	Estado da Obsolescência	Tempo de Disponibilidade do Item	Risco de Obsolescência	Estratégias de Mitigação	Ações de Mitigação	Razão Provável Obsolescência	Possíveis Alternativas e/ou substitutos do Item	Avaliação da Robustez	Responsável / Prazo
28	IC 82C85 RADIATION HARDENED CMOS STATIC CLOCK CONTROLLER/GENERATOR	Obsoleto	0	Alto	Proativo	Atualização tecnológica, ou reprojeção, ou novo design e a requalificação da placa	YTEOL	Não recomendado substituição. Compra estratégica para estoque estratégico. Item alternativo MD82C85/B	Item alternativo é de aplicação militar e não possui proteção para radiação, reduzindo a robustez da placa. Necessário reprojeção e requalificação da placa	Desenvolver solução de blindagem para o item alternativo, com reprojeção e requalificação da placa - Eng. Projeto
29	IC 54HC20 RAD-HARD DUAL 4-INPUT NAND GATE	Não Obsoleto	1	Médio	Passivo	Preparar opções de solução	NRND	Não recomendado substituição. Compra estratégica para estoque		Compra estratégica para estoque estratégico - Planejamento
30	IC 54HCT245 RAD-HARD OCTAL BUS TRANSCEIVER WITH 3-STATE OUTPUTS (NON INVERTED)	Não Obsoleto	7	Médio	Passivo	Monitorar a obsolescência; Preparar opções de solução	Fornecedor Único			
31	IC 80C86 RADIATION HARDENED 16-BIT CMOS MICROPROCESSOR	Obsoleto	0	Alto	Proativo	Atualização tecnológica, ou reprojeção, ou novo design e a requalificação da placa	YTEOL	Não recomendado substituição. Compra estratégica para estoque estratégico. Itens Alternativos: MD80C86-2/883, MD80C86-2/B, 8405202QA	Itens alternativos são de aplicação militar e não possuem proteção para radiação, reduzindo a robustez da placa. Necessário reprojeção e requalificação da placa	Desenvolver solução de blindagem para o item alternativo, com reprojeção e requalificação da placa - Eng. Projeto
32	IC 82C52 PROGRAMMABLE UART	Não Obsoleto	8,1	Alto	Proativo	Atualização tecnológica, ou reprojeção, ou novo design e a requalificação da placa	Fornecedor Único	Não recomendado substituição. Compra estratégica para estoque		Compra estratégica para estoque estratégico - Planejamento
33	IC 82C59A/7 PRIORITY INTERRUPT CONTROLLER	Não Obsoleto	5	Médio	Passivo	Nenhuma (reativo)	Fornecedor Único			
34	CONNECTOR MALE 90 DEGREE .100" SERIES FOR PRINTED CIRCUIT BOARD 90 WAYS	Não Obsoleto	10,6	Médio	Passivo	Nenhuma (reativo)	Fornecedor Único			
35	CRYSTAL UNITS IN METAL HOLDER BASED ON TYPE T1507 FREQUENCY: 12MHz	Não Obsoleto	10	Alto	Proativo	Atualização tecnológica, ou reprojeção, ou novo design e a requalificação da placa	Fornecedor Único	Não recomendado substituição. Compra estratégica para estoque		Compra estratégica para estoque estratégico - Planejamento
36	RESISTOR FIXED FILM (INSULATED) 0.125W 10KOHMS 2%	Não Obsoleto	7,3	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
37	RESISTOR FIXED FILM (INSULATED) 0.125W 100KOHMS 2%	Não Obsoleto	7,3	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				

Continua

Tabela D.11 – Conclusão.

Item	Descrição do Item	Estado da Obsolescência	Tempo de Disponibilidade do Item	Risco de Obsolescência	Estratégias de Mitigação	Ações de Mitigação	Razão Provável Obsolescência	Possíveis Alternativas e/ou substitutos do Item	Avaliação da Robustez	Responsável / Prazo
38	RESISTOR FIXED FILM (INSULATED) 0.125W 1MOHMS 2%	Não Obsoleto	7,3	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
39	RESISTORS FIXED WIRE WOUND (POWER TYPE) 1.0W 50.5OHMS 0.5%	Não Obsoleto	7,3	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				

Fonte: Produção do Autor.

### D.3 Resultados do estudo de caso 3

A Tabela D.12 apresenta o resultado do *Checklist* de Obsolescência (Tabela 6.1) para o estudo de caso 3.

Tabela D.12 - *Checklist* de Obsolescência para o estudo de caso 3.

ITEM	PART DESCRIPTION	QTY	MANUF.	PART NUMBER	Checklist de Obsolescência								Avalia Risco?
					1	2	3	4	5	6	7	8	
1	IC FPGA 696 I/O 1517FBGA	1	Altera	5SGSMD8K3F40I3	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
2	IC CPLD 980MC 6.2NS 256FBGA	1	Altera	5M1270ZF256A5N	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
3	IC CONFIG DEVICE 128MBIT 16SOIC	1	Altera	EPCS128S116N	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
4	IC DAC 16BIT A-OUT 38TSSOP	1	Analog Devices	AD5547	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
5	IC OPAMP ZERO-DRIFT 1 CIRC 8SOIC	1	Analog Devices	AD8628	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
6	XTAL OSC XO 25.0000MHZ HCMOS SMD	1	ECS	ECS-3963-250-AU-TR	N	N	S	N	N	S	N	S	SIM
7	IC OPTOCOUPLER TRANS OUT 8MDIP	2	Fairchild	HCPL2530M	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
8	IC OPAMP DIFF 1 CIRCUIT 8SO	3	Linear Technology	LT1990H	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
9	IC COMP R-RINOUT SINGLE 8-SOIC	1	Linear Technology	LT1719IS8	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
10	IC SUPERVISOR 1 CHANNEL 10MSOP	2	Linear Technology	LTC2918HMS-B1	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
11	IC DRIVER 1/0 SOT23-6	2	Maxim	MAX3293	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
12	IC RECEIVER 0/1 SOT23-6	2	Maxim	MAX3283	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
13	IC SENSOR DIGITAL -55C-125C 8SOIC	1	Maxim	DS18S20Z	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
14	IC FLASH 256M PARALLEL 56TSOP	2	Micross	M29W256GL70N3E	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
15	IC SSRAM 1MX36 SYNC PIPELINE 100TQFP	6	Micross	AS5SP1M36	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
16	IC CAN CONTROLLER W/SPI 18SOIC	2	Microchip	MCP2515-E/SO	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
17	IC FRAM 64K SPI 16MHZ 8SOIC	1	Ramtron	FM25CL64B-GA	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
18	IC DGTL ISO 2500VRMS 2CH GP 8SOIC	4	Texas Instruments	ISO7220B	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
19	IC ADC 14BIT PIPELINED 64HTQFP	3	Texas Instruments	ADS5500	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
20	IC DAC 16BIT V-OUT 20TSSOP	4	Texas Instruments	AD5675A	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
21	IC ADC 16BIT SAR 64LQFP	2	Texas Instruments	ADS8555	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
22	IC OPAMP CFA 1 CIRCUIT 8SOPWRPAD	3	Texas Instruments	LMH6553	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
23	IC OPAMP CFA 1 CIRCUIT SOT23-5	11	Texas Instruments	THS3201	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
24	IC OPAMP GP 2 CIRCUIT 8SOIC	6	Texas Instruments	OPA2277	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
25	IC OPAMP GP 1 CIRCUIT SOT23-5	4	Texas Instruments	OPA340MDBV/TEP	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
26	IC DAC 12BIT A-OUT 20TSSOP	1	Texas Instruments	DAC7821	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
27	IC BUF NON-INVERT 5.5V SOT23-5	65	Texas Instruments	SN74LVC1G17-Q1	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM

Continua

Tabela D.12 – Conclusão.

ITEM	PART DESCRIPTION	QTY	MANUF.	PART NUMBER	Checklist de Obsolescência								Avalia Risco?
					1	2	3	4	5	6	7	8	
28	IC INVERTER SCHMITT 1CH SOT23-5	3	Texas Instruments	SN74LVC1G14-EP	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
29	IC BUF NON-INVERT 5.5V SC70-5	6	Texas Instruments	SN74LVC1G125-EP	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
30	IC BUF NON-INVERT 3.6V 20TSSOP	4	Texas Instruments	SN74LVTH244-EP	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
31	IC TRANSCEIVER 1/1 48LQFP	2	Texas Instruments	DP83848YB	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
32	IC TRANSCEIVER HALF 1/1 8SOIC	2	Texas Instruments	SN65HVD233-EP	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
33	IC SUPERVISOR 1 CHANNEL SOT23-6	1	Texas Instruments	TPS3808G01	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
34	C REG LINEAR 1.5V 5A TO220-5	1	Texas Instruments	TPS75615KC	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
35	IC REG LINEAR 1.8V 1.5A SOT223-6	1	Texas Instruments	TPS7A4518	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
36	IC REG LINEAR POS ADJ 5A TO220-5	1	Texas Instruments	TPS75601KC	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
37	IC REG LINEAR 3.3V 5A TO220-5	1	Texas Instruments	TPS75633KC	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
38	IC REG LINEAR 2.5V 5A TO220-5	1	Texas Instruments	TPS75625KC	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
39	IC REG LIN POS ADJ 1.5A SOT223-6	2	Texas Instruments	TPS7A4501	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
40	IC REG LINEAR NEG ADJ 1A 20VQFN	2	Texas Instruments	TPS7A3301	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
41	IC REG LIN POS ADJ 5A DDPAK	1	Texas Instruments	LM1084	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
42	IC DC DC CONVERTER 0.8-6V 10A	1	Texas Instruments	LMZ22010	N	N	S	S	N	S	S	S	SIM
43	RESISTOR @OHM 1% SMD 0603	196	Vishay	CRCW0603@FKEA	S	S	S	S	N	S	S	S	SIM
44	CAPACITOR MULT @nF/20V SMD 0603	88	AVX	06031C@HAT2A	S	S	S	S	N	S	S	S	SIM
45	CAPACITOR @uF / 20V SMD	50	AVX	TAJE@M020RNJ	S	S	S	S	N	S	S	S	SIM
46	CONN HEADER VERT 62POS 1.27MM	2	Harwin	M50-4703145	S	S	S	S	N	S	S	S	SIM
47	CONN SMA RCPT STR 50 OHM PCB	7	Tyco	221789-1	S	S	S	S	N	S	S	S	SIM

Fonte: Produção do Autor.

A Tabela D.13 apresenta as premissas adotadas para os cálculos das taxas de falhas para o método por Contagem de Partes (*Parts Count*) do manual FIDES (2009).

Tabela D.13 - Premissas adotadas para os cálculos das taxas de falhas do estudo de caso 3.

TT PROCESS		
Pi process		4
Pi LF		2
Lead-free process factor		
Pi process RF/HF		2,5

TT PM (Part-Manufacturing)		
Active components		1,7
Other components (including COTS & SUBASSEMBLIES)		1,6

LIFE PROFILE		
Standard life profile		
Phase name	On / Off	Calendar time (hours)
Transporte	OFF	120 h
Estoque	OFF	87.600 h
Manutenção	ON	336 h
Operação	ON	1 h

PROJECT INFORMATION	
PROJECT NAME	SEEKER - CPU
PROJECT ASSUMPTIONS	

Temperature			
Ambient temperature (°C)	Δt (°C)	Cycle duration (hours)	Number of cycles (/phase)
55,00 °C	0,00 °C	12 h	1
30,00 °C	0,00 °C	87.600 h	1
25,00 °C	0,00 °C	336 h	1
65,00 °C	0,00 °C	1 h	1

Temperature cycling			
Δt (°C)	Cycle duration (hours)	Number of cycles (/phase)	Maximum temperature during cycling (°C)
0,00 °C	12 h	1	55,00 °C
0,00 °C	87.600 h	1	30,00 °C
0,00 °C	336 h	1	25,00 °C
0,00 °C	1 h	1	65,00 °C

Humidity	
Relative humidity (%)	90

Mechanical	
Random vibrations (Grms)	1,00 Grms

Chemical			
Saline pollution	Environmental pollution	Application pollution	Protection level
High	High	High	Non hermetic
Low	Low	Low	Non hermetic
Low	Low	Low	Non hermetic
High	High	High	Hermetic

Fonte: Produção do Autor.



A Tabela D.15 apresenta o resultado da Probabilidade de Obsolescência (Tabela 6.2) para o estudo de caso 3.

Tabela D.15 - Probabilidade de Obsolescência para o estudo de caso 3.

Item	Part Description	QTY	MANUF	Part Number	Estoque	Consumo	Estoque vs Consumo	Número de Fornecedores	Anos até Fim Vida Produto (YTEOL)	Probabilidade Ocorrência Obsolescência		
1	IC FPGA 696 I/O 1517FBGA	1	Altera	5SGSMD8K3F40I3	Baixo	Baixo	Médio	2	Médio	0,3	Alto	Alto
2	IC CPLD 980MC 6.2NS 256FBGA	1	Altera	5M1270ZF256A5N	Baixo	Baixo	Médio	3	Baixo	5,6	Baixo	Baixo
3	IC CONFIG DEVICE 128MBIT 16SOIC	1	Altera	EPCS128S116N	Baixo	Baixo	Médio	5	Baixo	0	Alto	Alto
4	IC DAC 16BIT A-OUT 38TSSOP	1	Analog Devices	AD5547	Baixo	Baixo	Médio	9	Baixo	10	Baixo	Baixo
5	IC OPAMP ZERO-DRIFT 1 CIRC 8SOIC	1	Analog Devices	AD8628	Baixo	Baixo	Médio	9	Baixo	10	Baixo	Baixo
6	XTAL OSC XO 25.0000MHZ HCMOS SMD	1	ECS	ECS-3963-250-AU-TR	Baixo	Baixo	Médio	6	Baixo	6	Baixo	Baixo
7	IC OPTOCOUPLER TRANS OUT 8MDIP	2	Fairchild	HCPL2530M	Baixo	Baixo	Médio	4	Baixo	8	Baixo	Baixo
8	IC OPAMP DIFF 1 CIRCUIT 8SO	3	Linear Technology	LT1990H	Baixo	Baixo	Médio	4	Baixo	10	Baixo	Baixo
9	IC COMP R-RINOUT SINGLE 8-SOIC	1	Linear Technology	LT1719IS8	Baixo	Baixo	Médio	4	Baixo	10	Baixo	Baixo
10	IC SUPERVISOR 1 CHANNEL 10MSOP	2	Linear Technology	LTC2918HMS-B1	Baixo	Baixo	Médio	3	Baixo	10	Baixo	Baixo
11	IC DRIVER 1/0 SOT23-6	2	Maxim	MAX3293	Baixo	Baixo	Médio	1	Alto	5,6	Baixo	Alto
12	IC RECEIVER 0/1 SOT23-6	2	Maxim	MAX3283	Baixo	Baixo	Médio	1	Alto	5,6	Baixo	Alto
13	IC SENSOR DIGITAL -55C-125C 8SOIC	1	Maxim	DS1820Z	Baixo	Baixo	Médio	4	Baixo	4,7	Médio	Médio
14	IC FLASH 256M PARALLEL 56TSSOP	2	Micros	M29W256GL70N3E	Baixo	Baixo	Médio	1	Alto	0	Alto	Alto
15	IC SSRAM 1MX36 SYNC PIPELINE 100TQF	6	Micros	AS5SP1M36	Baixo	Baixo	Médio	1	Alto	0	Alto	Alto
16	IC CAN CONTROLLER W/SPI 18SOIC	2	Microchip	MCP2515-E/SO	Baixo	Baixo	Médio	14	Baixo	6,9	Baixo	Baixo
17	IC FRAM 64K SPI 16MHZ 8SOIC	1	Ramtron	FM25CL64B-GA	Baixo	Baixo	Médio	2	Médio	0	Alto	Alto
18	IC DGTL ISO 2500VRMS 2CH GP 8SOIC	4	Texas Instruments	ISO7220B	Baixo	Baixo	Médio	7	Baixo	10	Baixo	Baixo
19	IC ADC 14BIT PIPELINED 64HTQFP	3	Texas Instruments	ADS5500	Baixo	Baixo	Médio	6	Baixo	10	Baixo	Baixo
20	IC DAC 16BIT V-OUT 20TSSOP	4	Texas Instruments	AD5675A	Baixo	Baixo	Médio	5	Baixo	10	Baixo	Baixo
21	IC ADC 16BIT SAR 64LQFP	2	Texas Instruments	ADS8555	Baixo	Baixo	Médio	5	Baixo	10	Baixo	Baixo
22	IC OPAMP CFA 1 CIRCUIT 8SOPWRPAD	3	Texas Instruments	LMH6553	Baixo	Baixo	Médio	7	Baixo	10	Baixo	Baixo
23	IC OPAMP CFA 1 CIRCUIT SOT23-5	11	Texas Instruments	THS3201	Baixo	Baixo	Médio	7	Baixo	10	Baixo	Baixo
24	IC OPAMP GP 2 CIRCUIT 8SOIC	6	Texas Instruments	OPA2277	Baixo	Baixo	Médio	11	Baixo	10	Baixo	Baixo
25	IC OPAMP GP 1 CIRCUIT SOT23-5	4	Texas Instruments	OPA340MDBVTEP	Baixo	Baixo	Médio	8	Baixo	10	Baixo	Baixo
26	IC DAC 12BIT A-OUT 20TSSOP	1	Texas Instruments	DAC7821	Baixo	Baixo	Médio	5	Baixo	10	Baixo	Baixo
27	IC BUF NON-INVERT 5.5V SOT23-5	65	Texas Instruments	SN74LVC1G17-Q1	Baixo	Baixo	Médio	10	Baixo	10	Baixo	Baixo
28	IC INVERTER SCHMITT 1CH SOT23-5	3	Texas Instruments	SN74LVC1G14-EP	Baixo	Baixo	Médio	4	Baixo	10	Baixo	Baixo
29	IC BUF NON-INVERT 5.5V SC70-5	6	Texas Instruments	SN74LVC1G125-EP	Baixo	Baixo	Médio	13	Baixo	10	Baixo	Baixo
30	IC BUF NON-INVERT 3.6V 20TSSOP	4	Texas Instruments	SN74LVTH244-EP	Baixo	Baixo	Médio	2	Médio	10	Baixo	Médio
31	IC TRANSCEIVER 1/1 48LQFP	2	Texas Instruments	DP83848YB	Baixo	Baixo	Médio	10	Baixo	10	Baixo	Baixo
32	IC TRANSCEIVER HALF 1/1 8SOIC	2	Texas Instruments	SN65HVD233-EP	Baixo	Baixo	Médio	9	Baixo	10	Baixo	Baixo
33	IC SUPERVISOR 1 CHANNEL SOT23-6	1	Texas Instruments	TPS3808G01	Baixo	Baixo	Médio	2	Médio	10	Baixo	Médio
34	C REG LINEAR 1.5V 5A TO220-5	1	Texas Instruments	TPS75615KC	Baixo	Baixo	Médio	7	Baixo	10	Baixo	Baixo
35	IC REG LINEAR 1.8V 1.5A SOT223-6	1	Texas Instruments	TPS7A4518	Baixo	Baixo	Médio	4	Baixo	10	Baixo	Baixo

Continua



Tabela D.15 – Conclusão.

Item	Part Description	QTY	MANUF	Part Number	Estoque	Consumo	Estoque vs Consumo	Número de Fornecedores	Anos até Fim Vida Produto (YTEOL)	Probabilidade Ocorrência Obsolescência		
36	IC REG LINEAR POS ADJ 5A TO220-5	1	Texas Instruments	TPS75601KC	Baixo	Baixo	Médio	7	Baixo	10	Baixo	Baixo
37	IC REG LINEAR 3.3V 5A TO220-5	1	Texas Instruments	TPS75633KC	Baixo	Baixo	Médio	7	Baixo	10	Baixo	Baixo
38	IC REG LINEAR 2.5V 5A TO220-5	1	Texas Instruments	TPS75625KC	Baixo	Baixo	Médio	7	Baixo	10	Baixo	Baixo
39	IC REG LIN POS ADJ 1.5A SOT223-6	2	Texas Instruments	TPS7A4501	Baixo	Baixo	Médio	10	Baixo	10	Baixo	Baixo
40	IC REG LINEAR NEG ADJ 1A 20VQFN	2	Texas Instruments	TPS7A3301	Baixo	Baixo	Médio	3	Baixo	0	Alto	Alto
41	IC REG LIN POS ADJ 5A DPAK	1	Texas Instruments	LM1084	Baixo	Baixo	Médio	8	Baixo	10	Baixo	Baixo
42	IC DC DC CONVERTER 0.8-6V 10A	1	Texas Instruments	LMZ22010	Baixo	Baixo	Médio	10	Baixo	10	Baixo	Baixo
43	RESISTOR @KOHM 1% SMD 0603	196	Vishay	CRCW0603@FKEA	Alto	Baixo	Baixo	7	Baixo	7,3	Baixo	Baixo
44	CAPACITOR MULT @nF/20V SMD 0603	88	AVX	06031C@HATZA	Alto	Baixo	Baixo	7	Baixo	7,3	Baixo	Baixo
45	CAPACITOR @uF / 20V SMD	50	AVX	TAJE@M020RNJ	Alto	Baixo	Baixo	7	Baixo	7,3	Baixo	Baixo
46	CONN HEADER VERT 62POS 1.27MM	2	Harwin	M50-4703145	Alto	Baixo	Baixo	7	Baixo	7,3	Baixo	Baixo
47	CONN SMA RCPT STR 50 OHM PCB	7	Tyco	221789-1	Alto	Baixo	Baixo	7	Baixo	7,3	Baixo	Baixo

Fonte: Produção do Autor.

A Tabela D.16 apresenta os resultados da Criticidade Restrita, da Criticidade Estendida e da Estratégia de Mitigação do Risco de Obsolescência para o estudo de caso 3.

Tabela D.16 - Criticidade Restrita, Criticidade Estendida e Estratégia de Mitigação do Risco de Obsolescência para o estudo de caso 3.

ITEM	PART DESCRIPTION	QTY	MANUF.	PART NUMBER	Severidade (S)	Probabilidade (P)	Indetectabilidade (ID)	Intratabilidade (IT)	Criticidade Restrita	Criticidade estendida	Estratégia de Mitigação
1	IC FPGA 696 I/O 1517FBGA	1	Altera	5SGSMD8K3F40I3	●	Pa	●	●	●	●	Proativo
2	IC CPLD 980MC 6.2NS 256FBGA	1	Altera	5M1270ZF256A5N	●	Pb	●	●	●	●	Progressivo
3	IC CONFIG DEVICE 128MBIT 16SOIC	1	Altera	EPCS128S116N	●	Pa	●	●	●	●	Proativo
4	IC DAC 16BIT A-OUT 38TSSOP	1	Analog Devices	AD5547	●	Pb	●	●	●	●	Reativo

Continua

Tabela D.16 – Continuação.

ITEM	PART DESCRIPTION	QTY	MANUF.	PART NUMBER	Severidade (S)	Probabilidade (P)	Indetectabilidade (ID)	Intratabilidade (IT)	Criticidade Restrita	Criticidade estendida	Estratégia de Mitigação
5	IC OPAMP ZERO-DRIFT 1 CIRC 8SOIC	1	Analog Devices	AD8628		Pb					Reativo
6	XTAL OSC XO 25.0000MHZ HCMOS SMD	1	ECS	ECS-3963-250-AU-TR		Pb					Reativo
7	IC OPTOCOUPLER TRANS OUT 8MDIP	2	Fairchild	HCPL2530M		Pb					Reativo
8	IC OPAMP DIFF 1 CIRCUIT 8SO	3	Linear Technology	LT1990H		Pb					Reativo
9	IC COMP R-RINOUT SINGLE 8-SOIC	1	Linear Technology	LT1719IS8		Pb					Reativo
10	IC SUPERVISOR 1 CHANNEL 10MSOP	2	Linear Technology	LTC2918HMS-B1		Pb					Reativo
11	IC DRIVER 1/0 SOT23-6	2	Maxim	MAX3293		Pa					Passivo
12	IC RECEIVER 0/1 SOT23-6	2	Maxim	MAX3283		Pa					Passivo
13	IC SENSOR DIGITAL -55C-125C 8SOIC	1	Maxim	DS18S20Z		Pm					Passivo
14	IC FLASH 256M PARALLEL 56TSOP	2	Micros	M29W256GL70N3E		Pa					Proativo
15	IC SSRAM 1MX36 SYNC PIPELINE 100TQFP	6	Micros	AS5SP1M36		Pa					Proativo
16	IC CAN CONTROLLER W/SPI 18SOIC	2	Microchip	MCP2515-E/SO		Pb					Reativo
17	IC FRAM 64K SPI 16MHZ 8SOIC	1	Ramtron	FM25CL64B-GA		Pa					Proativo
18	IC DGLT ISO 2500VRMS 2CH GP 8SOIC	4	Texas Instruments	ISO7220B		Pb					Reativo

Continua

Tabela D.16 – Continuação.

ITEM	PART DESCRIPTION	QTY	MANUF.	PART NUMBER	Severidade (S)	Probabilidade (P)	Indetectabilidade (ID)	Intratabilidade (IT)	Criticidade Restrita	Criticidade estendida	Estratégia de Mitigação
19	IC ADC 14BIT PIPELINED 64HTQFP	3	Texas Instruments	ADS5500		Pb					Reativo
20	IC DAC 16BIT V-OUT 20TSSOP	4	Texas Instruments	AD5675A		Pb					Reativo
21	IC ADC 16BIT SAR 64LQFP	2	Texas Instruments	ADS8555		Pb					Reativo
22	IC OPAMP CFA 1 CIRCUIT 8SOPWRPAD	3	Texas Instruments	LMH6553		Pb					Reativo
23	IC OPAMP CFA 1 CIRCUIT SOT23-5	11	Texas Instruments	THS3201		Pb					Passivo
24	IC OPAMP GP 2 CIRCUIT 8SOIC	6	Texas Instruments	OPA2277		Pb					Reativo
25	IC OPAMP GP 1 CIRCUIT SOT23-5	4	Texas Instruments	OPA340MDBVTEP		Pb					Reativo
26	IC DAC 12BIT A-OUT 20TSSOP	1	Texas Instruments	DAC7821		Pb					Reativo
27	IC BUF NON-INVERT 5.5V SOT23-5	65	Texas Instruments	SN74LVC1G17-Q1		Pb					Reativo
28	IC INVERTER SCHMITT 1CH SOT23-5	3	Texas Instruments	SN74LVC1G14-EP		Pb					Reativo
29	IC BUF NON-INVERT 5.5V SC70-5	6	Texas Instruments	SN74LVC1G125-EP		Pb					Reativo
30	IC BUF NON-INVERT 3.6V 20TSSOP	4	Texas Instruments	SN74LVTH244-EP		Pm					Reativo
31	IC TRANSCEIVER 1/1 48LQFP	2	Texas Instruments	DP83848YB		Pb					Reativo
32	IC TRANSCEIVER HALF 1/1 8SOIC	2	Texas Instruments	SN65HVD233-EP		Pb					Reativo
33	IC SUPERVISOR 1 CHANNEL SOT23-6	1	Texas Instruments	TPS3808G01		Pm					Reativo

Continua

Tabela D.16 – Conclusão.

ITEM	PART DESCRIPTION	QTY	MANUF.	PART NUMBER	Severidade (S)	Probabilidade (P)	Indetectabilidade (ID)	Intratabilidade (IT)	Criticidade Restrita	Criticidade estendida	Estratégia de Mitigação
34	C REG LINEAR 1.5V 5A TO220-5	1	Texas Instruments	TPS75615KC		Pb					Reativo
35	IC REG LINEAR 1.8V 1.5A SOT223-6	1	Texas Instruments	TPS7A4518		Pb					Reativo
36	IC REG LINEAR POS ADJ 5A TO220-5	1	Texas Instruments	TPS75601KC		Pb					Reativo
37	IC REG LINEAR 3.3V 5A TO220-5	1	Texas Instruments	TPS75633KC		Pb					Reativo
38	IC REG LINEAR 2.5V 5A TO220-5	1	Texas Instruments	TPS75625KC		Pb					Reativo
39	IC REG LIN POS ADJ 1.5A SOT223-6	2	Texas Instruments	TPS7A4501		Pb					Reativo
40	IC REG LINEAR NEG ADJ 1A 20VQFN	2	Texas Instruments	TPS7A3301		Pa					Proativo
41	IC REG LIN POS ADJ 5A DPAK	1	Texas Instruments	LM1084		Pb					Reativo
42	IC DC DC CONVERTER 0.8-6V 10A	1	Texas Instruments	LMZ22010		Pb					Reativo
43	RESISTOR @KOHM 1% SMD 0603	196	Vishay	CRCW0603@FKEA		Pb					Reativo
44	CAPACITOR MULT @nF/20V SMD 0603	40	AVX	06031C@HAT2A		Pb					Reativo
45	CAPACITOR @uF / 20V SMD	20	AVX	TAJE@M020RNJ		Pb					Reativo
46	CONN HEADER VERT 62POS 1.27MM	2	Harwin	M50-4703145		Pb					Reativo
47	CONN SMA RCPT STR 50 OHM PCB	7	Tyco	221789-1		Pb					Reativo

Fonte: Produção do Autor.

A Tabela D.17 apresenta o Plano de Obsolescência (Tabela 6.3) para o estudo de caso 3.

Tabela D.17 - Plano de Obsolescência para o estudo de caso 3.

Item	Descrição do Item	Estado da Obsolescência	Anos até Fim Vida Produto (YTEOL)	Risco de Obsolescência	Estratégias de Mitigação	Ações de Mitigação	Razão Provável Obsolescência	Possíveis Alternativas e/ou substitutos do Item	Avaliação da Robustez	Responsável / Prazo
1	IC FPGA 696 I/O 1517FBGA	Não Obsoleto	0,3	Alto	Proativo	Atualização tecnológica, ou reprojeção, ou novo design e a requalificação da placa	YTEOL	Desenvolver nova solução com tecnologia mais atual para FPGAs - Sugestão Família Stratix 10 da Intel ou utilizando a mesma família P/N: 5SGSMD8K3F40I3G	Alteração do processo produtivo de solda para adequação a nova categoria do RoHs.	Fazer análises de estresses ambientais para qualificar o processo de soldagem a nova categoria do RoHs - Eng. Projeto
2	IC CPLD 980MC 6.2NS 256FBGA	Não Obsoleto	5,6	Médio	Progressivo	Desenvolver alternativo /Substituto		Desenvolver nova solução com tecnologia mais atual para CPLDs - Sugestão Família MAX 10 da Intel	Alteração do processo produtivo de solda para adequação a nova categoria do RoHs.	Fazer análises de estresses ambientais para qualificar o processo de soldagem a nova categoria do RoHs - Eng. Projeto
3	IC CONFIG DEVICE 128MBIT 16SOIC	Obsoleto	0	Alto	Proativo	Atualização tecnológica, ou reprojeção, ou novo design e a requalificação da placa	YTEOL	Fabricante recomenda substituição por: EPCQ128AS116N YTEOL: 9,1 anos	Item alternativo é FFF e não altera a robustez da placa	Revisar lista de material para inclusão do item alternativo - Eng. Projeto
4	IC DAC 16BIT A-OUT 38TSSOP	Não Obsoleto	10	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
5	IC OPAMP ZERO-DRIFT 1 CIRC 8SOIC	Não Obsoleto	10	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
6	XTAL OSC XO 25.0000MHZ HCMOS SMD	Não Obsoleto	6	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
7	IC OPTOCOUPLER TRANS OUT 8MDIP	Não Obsoleto	8	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
8	IC OPAMP DIFF 1 CIRCUIT 8SO	Não Obsoleto	10	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
9	IC COMP R-RINOUT SINGLE 8-SOIC	Não Obsoleto	10	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
10	IC SUPERVISOR 1 CHANNEL 10MSOP	Não Obsoleto	10	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
11	IC DRIVER 1/0 SOT23-6	Não Obsoleto	5,6	Médio	Passivo	Desenvolver e monitorar fornecedores	Fornecedor Único			
12	IC RECEIVER 0/1 SOT23-6	Não Obsoleto	5,6	Médio	Passivo	Desenvolver e monitorar fornecedores	Fornecedor Único			
13	IC SENSOR DIGITAL -55C-125C 8SOIC	Não Obsoleto	4,7	Médio	Passivo	Monitorar a obsolescência; Preparar opções de solução	YTEOL			
14	IC FLASH 256M PARALLEL 56TSOP	Obsoleto	0	Alto	Proativo	Atualização tecnológica, ou reprojeção, ou novo design e a requalificação da placa	YTEOL	Fabricante recomenda substituição por: S29GL256S10TFV023 YTEOL: 9,8 anos	Item alternativo é FFF e não altera a robustez da placa	Revisar lista de material para inclusão do item alternativo - Eng. Projeto
15	IC SSRAM 1MX36 SYNC PIPELINE 100TQFP	Obsoleto	0	Alto	Proativo	Atualização tecnológica, ou reprojeção, ou novo design e a requalificação da placa	YTEOL	O fabricante obsoleto ou sua linha de produção de memórias SSRAM. Sugestão fabricante Cypress		Busca de item alternativo - End. Projeto
16	IC CAN CONTROLLER W/SPI 18SOIC	Não Obsoleto	6,9	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
17	IC FRAM 64K SPI 16MHZ 8SOIC	Obsoleto	0	Alto	Proativo	Atualização tecnológica, ou reprojeção, ou novo design e a requalificação da placa	YTEOL	Fabricante recomenda substituição por: CY15B064Q-SXET YTEOL: 7,3 anos	Item alternativo é FFF e não altera a robustez da placa	Revisar lista de material para inclusão do item alternativo - Eng. Projeto
18	IC DGTL ISO 2500V/RMS 2CH GP 8SOIC	Não Obsoleto	10	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
19	IC ADC 14BIT PIPELINED 64HTQFP	Não Obsoleto	10	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
20	IC DAC 16BIT V-OUT 20TSSOP	Não Obsoleto	10	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
21	IC ADC 16BIT SAR 64LQFP	Não Obsoleto	10	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
22	IC OPAMP CFA 1 CIRCUIT 8SOPWRPAD	Não Obsoleto	10	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				

Continua

Tabela D.17 – Conclusão.

Item	Descrição do Item	Estado da Obsolescência	Anos até Fim Vida Produto (YTEOL)	Risco de Obsolescência	Estratégias de Mitigação	Ações de Mitigação	Razão Provável Obsolescência	Possíveis Alternativas e/ou substitutos do Item	Avaliação da Robustez	Responsável / Prazo
23	IC OPAMP CFA 1 CIRCUIT SOT23-5	Não Obsoleto	10	Médio	Passivo	Monitorar a obsolescência; Preparar opções de solução	NRND	Fabricante recomenda substituição por: THS3201DGNG4 YTEOL: 10 anos	Item alternativo é FFF e não altera a robustez da placa	Revisar lista de material para inclusão do item alternativo - Eng. Projeto
24	IC OPAMP GP 2 CIRCUIT 8SOIC	Não Obsoleto	10	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
25	IC OPAMP GP 1 CIRCUIT SOT23-5	Não Obsoleto	10	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
26	IC DAC 12BIT A-OUT 20TSSOP	Não Obsoleto	10	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
27	IC BUF NON-INVERT 5.5V SOT23-5	Não Obsoleto	10	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
28	IC INVERTER SCHMITT 1CH SOT23-5	Não Obsoleto	10	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
29	IC BUF NON-INVERT 5.5V SC70-5	Não Obsoleto	10	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
30	IC BUF NON-INVERT 3.6V 20TSSOP	Não Obsoleto	10	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
31	IC TRANSCEIVER 1/1 48LQFP	Não Obsoleto	10	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
32	IC TRANSCEIVER HALF 1/1 8SOIC	Não Obsoleto	10	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
33	IC SUPERVISOR 1 CHANNEL SOT23-6	Não Obsoleto	10	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
34	C REG LINEAR 1.5V 5A TO220-5	Não Obsoleto	10	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
35	IC REG LINEAR 1.8V 1.5A SOT223-6	Não Obsoleto	10	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
36	IC REG LINEAR POS ADJ 5A TO220-5	Não Obsoleto	10	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
37	IC REG LINEAR 3.3V 5A TO220-5	Não Obsoleto	10	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
38	IC REG LINEAR 2.5V 5A TO220-5	Não Obsoleto	10	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
39	IC REG LIN POS ADJ 1.5A SOT223-6	Não Obsoleto	10	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
40	IC REG LINEAR NEG ADJ 1A 20VQFN	Obsoleto	0	Alto	Proativo	Atualização tecnológica, ou reprojeção, ou novo design e a requalificação da placa	YTEOL	Fabricante recomenda substituição por: TPS7A3301RGWT YTEOL: 10 anos	Item alternativo não altera a robustez do equipamento	Revisar lista de material para inclusão do item alternativo - Eng. Projeto
41	IC REG LIN POS ADJ 5A DPAK	Não Obsoleto	10	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
42	IC DC DC CONVERTER 0.8-6V 10A	Não Obsoleto	10	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
43	RESISTOR 7.32KOHM 1% SMD 0603	Não Obsoleto	7,3	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
44	CAPACITOR MULT 100nF/20V SMD 0603	Não Obsoleto	7,3	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
45	CAPACITOR 100uF / 20V SMD	Não Obsoleto	7,3	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
46	CONN HEADER VERT 62POS 1.27MM	Não Obsoleto	7,3	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				
47	CONN SMA RCPT STR 50 OHM PCB	Não Obsoleto	7,3	Baixo	Reativo	Nenhuma (reativo)				

Fonte: Produção do Autor.

## **ANEXO A - GERENCIAMENTO REATIVO**

### **A.1 Gerenciamento Reativo de Riscos da Indisponibilidade de componentes e serviços e seu estado atual no INPE (2013)**

Em 2013, Carlos Eduardo Viana Ribeiro defendeu uma Dissertação no Curso ETE/CSE do INPE intitulada “**Estudo sobre algumas causas da indisponibilidade de componentes e serviços e seus efeitos sobre o ciclo de vida de um projeto aeroespacial**”. No seu Capítulo 5, Seções 5.1 e 5.2, p. 93-96, ele tratou do gerenciamento reativo de riscos e do seu estado atual, a saber:

### **A.2 Gerenciamento Reativo de Riscos da Indisponibilidade de componentes e serviços**

Neste capítulo do trabalho será apresentada à primeira abordagem proposta para o gerenciamento dos riscos da indisponibilidade de componentes e serviços sobre o ciclo de vida de um projeto aeroespacial, o Gerenciamento Reativo de Riscos da Indisponibilidade de Componentes e Serviços.

O gerenciamento reativo de riscos da indisponibilidade de componentes e serviços sobre o ciclo de vida projeto aeroespaciais, vem do fato de haver projetos atualmente em etapas avançadas da Fase D do seu ciclo de vida, ou seja, nas fases finais de fabricação, integração e testes, tanto no INPE, como em empresas nacionais da indústria aeroespacial, que não planejam nenhuma forma de avaliação de riscos contra possíveis causas e efeitos da indisponibilidade de componentes e serviços sobre o ciclo de vida do projeto em desenvolvimento, em seu Plano ou Política de Gestão de Riscos. Com isto, tais projetos não apresentam nenhuma forma planejada de mitigação de riscos para o caso de alguma causa da indisponibilidade de componentes ou serviços venha se concretizar ao longo do ciclo de vida deste projeto, deixando a critério dos gestores do projeto as ações a serem tomadas para cada efeito causado por alguma indisponibilidade. Sendo assim, o gerenciamento reativo de riscos da indisponibilidade de componentes e serviços sobre o ciclo de vida de projetos aeroespaciais tem como propósito estabelecer atividades que possam

ser aplicadas ao longo dos processos de Gerenciamento de Riscos dos Projetos em pleno desenvolvimento, a fim de ajudar na mitigação dos efeitos de tais indisponibilidades sobre o ciclo de vida do produto final.

Como exemplificado no Capítulo 4 deste trabalho, a grande maioria dos casos da indisponibilidade de componentes e serviços do INPE se deram devido à obsolescência de componentes ou impedimentos políticos no ato da aquisição de componentes. Sendo assim, os esforços deste trabalho irão se concentrar em uma solução para casos da indisponibilidade de componentes e serviços causados exatamente por obsolescência de componentes ou impedimentos políticos no ato da aquisição de componentes.

Dadas as dificuldades e os altos custos para realizar qualquer modificação sobre o *design* dos projetos em pleno curso de desenvolvimento, dentre as atividades propostas a serem aplicadas ao longo dos processos de Gerenciamento de Riscos dos Projetos do INPE, como forma de gerenciamento reativo de riscos da indisponibilidade de componentes e serviços, está o desenvolvimento de uma Política de Gestão de Componentes por parte do Instituto, a qual necessariamente deverá incluir diretrizes de detecção e notificação da indisponibilidade de componentes, dado que o foco inicial da solução será exatamente sobre a disponibilidade de componentes e os impedimentos políticos no ato da aquisição de componentes, e uma lista de ações recomendadas no nível de produtos ou serviços, que tenha como objetivo direcionar a solução dos casos de indisponibilidade de componentes.

Com a implementação de uma Política de Gestão de Componentes no INPE que promova as melhores práticas de forma comum a todos os projetos, espera-se o aumento do valor agregado aos projetos aeroespaciais desenvolvidos pelo INPE através de processos que:

- Promovam a padronização entre projetos;
- Aumentem a intercambiabilidade, confiabilidade e disponibilidade de componentes;



- Deem suporte às reuniões de tomadas de decisões de projetos, visando à melhoria da execução de projetos;
- Deem suporte à seleção e qualificação de novos componentes;
- Forneça compatibilidade com ambientes e tendências da indústria;
- Reduzam custos e melhorem a qualidade dos projetos.

O documento com as Políticas de Gestão de Componentes deve ser único e aprovado pela diretoria de projetos do INPE; porém, sua aplicabilidade por projeto poderá ocorrer em momentos distintos para cada projeto, dadas as diferentes fases de execução de cada projeto.

#### **A.2.1. Estado atual do gerenciamento de riscos da indisponibilidade de componentes e serviços**

Em pesquisa realizada com a ajuda da Engenheira Priscila Custódio de Matos do Departamento de Qualificação e Confiabilidade de Componentes do Laboratório de Integração e Testes (LIT) do INPE, verificou-se que, atualmente, o Departamento de Qualificação e Confiabilidade de Componentes do LIT não possui nenhum Plano de Gestão de Riscos da Indisponibilidade de Componentes e Serviços; e que os casos da indisponibilidade de componentes e serviços são tratados caso a caso, de forma reativa; ou seja, dada a ocorrência de uma causa da indisponibilidade de componentes e serviços, os profissionais do Departamento de Qualificação e Confiabilidade de Componentes, junto com representantes dos times de engenharia e gestores de projetos responsáveis pelos sistemas e/ou subsistemas afetados são responsáveis por desenvolver uma solução para mitigar ou evitar os efeitos de tal indisponibilidade sobre tais sistemas e/ou subsistemas afetados, tendo como base a experiência das pessoas envolvidas no projeto.

Ao longo da realização da pesquisa dos casos de indisponibilidades de componentes utilizados em projetos espaciais recentes do INPE, os quais geraram ao menos um efeito sobre o produto final no qual o componente era utilizado, foi iniciado por aquele Departamento o cadastro dos componentes em estado de obsolescência por projeto. Por exemplo, a Tabela AA.1 abaixo

apresenta os componentes obsoletos utilizados no Projeto Amazônia 1, cadastrados até a data de 25 de Fevereiro de 2013. O mesmo cadastro vem sendo realizado para os componentes obsoletos utilizados no Projeto CBERS.

Tabela AA.1 - Relações de componentes obsoletos utilizados no Projeto Amazônia 1 cadastrados até a data de 25 de Fevereiro de 2013 pelo Departamento de Qualificação e Confiabilidade de Componentes do Laboratório de Integração e Testes (LIT).

SPEC	PART NUMBER	PACKAGE	MANUFACTURER	RADIATION LEVEL (A850000-PRR-01/02 SEE 8.4.2)	GROUP (A850000-PRR-01/02 SEE 8.4.1.2)	PAR	TOTAL QUANTITY	REMARKS
MIL-PRF-38535	5962R9567901VCC	Dual-in-line, wide	ST MICRO	1 x 10 <sup>5</sup> Rad (Si)	A	SEE REMARKS		Pay attention at END OF LIFE DATE 11/13/2011.
MIL-PRF-38535	5962R9568101VCC	Dual-in-line, wide	ST MICRO	3 x 10 <sup>5</sup> Rad (Si)	A	NECESSARY		Pay attention at END OF LIFE DATE 07/12/2004.
MIL-PRF-38535	5962R9579301VRC	Dual-in-line, wide	NONE	1 x 10 <sup>5</sup> Rad (Si)		SEE REMARKS		Pay attention at END OF LIFE DATE 02/06/2007.
MIL-PRF-38535	5962R0053801VXC	Flat pack	INTERSIL	1 x 10 <sup>5</sup> Rad (Si)	A	SEE REMARKS		END OF LIFE DATE 12/30/2011.
ESCC-4005/003	400500303B1000A5	MSM08A SIL8	VISHAY	N/A	A			ESCC-4005/003 IS RETIRED. MIL-PRF-83401 IS AVAILABLE.
ESCC-4005/003	400500303B1960G5	MSM08A SIL8	VISHAY	N/A	A			ESCC-4005/003 IS RETIRED. MIL-PRF-83401 IS AVAILABLE.

Fonte: INPE.LIT (2013).

Já o Serviço de Garantia do Produto (SGT) do LIT, utiliza uma política de melhores práticas, que visa listar via contrato formal junto à empresa fornecedora de qualquer subsistema, a responsabilidade que o subsistema venha atender a todo o ciclo de vida do projeto.