

SYDNEI MARSSAL DE OLIVEIRA

A GESTÃO DE PROGRAMAS DE DESENVOLVIMENTO:
APLICAÇÃO DE CONFIABILIDADE, MANTENABILIDADE E
SEGURANÇA

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do Título de Mestre em
Engenharia.

São Paulo
2007

SYDNEI MARSSAL DE OLIVEIRA

A GESTÃO DE PROGRAMAS DE DESENVOLVIMENTO:
APLICAÇÃO DE CONFIABILIDADE, MANTENABILIDADE E
SEGURANÇA

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do Título de Mestre em
Engenharia.

Área de Concentração:
Engenharia Mecânica

Orientador:
Professor Dr. Gilberto Francisco Martha de
Souza

São Paulo
2007

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, de abril de 2007.

Assinatura do autor _____

Assinatura do orientador _____

FICHA CATALOGRÁFICA

Oliveira, Sydney Marssal de

A gestão de programas de desenvolvimento: aplicação de confiabilidade, manutenibilidade e segurança / S.M. de Oliveira. -- ed.rev. -- São Paulo, 2007.

156 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos.

1.Sistemas mecatrônicos 2.Engenharia simultânea 3.Administração de projetos 4.Administração da qualidade I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos II.t.

DEDICATÓRIA

Aos Professores da Escola Politécnica,
Amigos e Familiares pela paciência e
compreensão sobre o meu desenvolvimento.
Que eu seja capaz de cumprir com as
esperanças de todos.

AGRADECIMENTOS

Por ser um trabalho abrangente que trata de Gestão, Projetos, Tecnologia da Informação, Confiabilidade e Qualidade, muitos foram os colaboradores que participaram direta ou indiretamente, da elaboração e confecção deste trabalho.

Meu sincero agradecimento primeiramente ao amigo e orientador Prof. Dr. Gilberto Francisco Martha de Souza, por compartilhar sua experiência e por todo seu suporte.

Por fim gostaria de agradecer a todo o departamento pelo suporte e disponibilidade de recursos imprescindíveis ao sucesso dos trabalhos.

RESUMO

A geração de produtos de sucesso está associada ao cumprimento dos anseios e desejos dos consumidores. Diversos fatores caracterizam esses anseios, sendo que um grupo de fatores possui especial característica, esse grupo abrange a confiabilidade, a manutenibilidade e a segurança. A gestão desses três fatores implica num olhar profundo em todo ciclo de vida do produto e não somente no projeto, na manufatura, ou na fase de testes funcionais.

O projeto que segue busca discutir a implementação de um sistema de gestão para confiabilidade, manutenibilidade e segurança em empresas que desenvolvem produtos com fins lucrativos, mantendo profunda atenção as diretrizes da engenharia simultânea.

Serão abordados aspectos dessa implementação, primeiramente definindo o que deve ser gerido, as razões pelas quais se deve buscar essa gestão, em qual estrutura organizacional o mecanismo de gestão deve ser aplicado, quais ferramentas de gestão são pertinentes e como essas ferramentas podem ser implementadas, ressaltando que cuidados merecem atenção e que resultados são esperados.

Por fim será apresentado um caso de implementação de uma das ferramentas mais importantes para o sistema de gestão, o sistema FRACAS, “Failure Reporting, Analysis and Corrective Action System”, que organiza e padroniza a coleta de dados, possibilita análises e fundamenta a tomada de ações de melhoria.

Para o desenvolvimento de toda a discussão serão abordados temas diversos como o ciclo de vida dos produtos, projetos, programas, qualidade, sistemas de informação, tecnologias de banco de dados e obviamente confiabilidade, manutenibilidade e segurança.

O estudo de caso partirá de um produto já existente que possua dados de campo, seguindo para a construção de um sistema de informação capaz de coletar, organizar, filtrar e pré-analisar as informações.

O principal objetivo do trabalho é gerar diretrizes para empresas que desenvolvem produtos que exijam grande esforço de engenharia na otimização de seu processo de decisão, mostrando algumas opções para controlar suas operações, seus programas e projetos no âmbito da confiabilidade, manutenibilidade, disponibilidade e segurança.

Palavras Chave: Engenharia, Gestão de Programas, Gestão de Projetos, Confiabilidade, Manutenibilidade e Segurança.

ABSTRACT

The creation of successful products is linked with the ability to reach longings and desires of costumers. Several factors compose these desires and a group of factors have a special characteristic, this group embraces reliability, maintainability and safety. The management of these three factors carries in a deep look of the entire product's life cycle and not only in design, manufacture or in functional test phase.

The following work intend discuss an implementation of a management system for reliability, maintainability and safety in companies that develop products seeking profit and keeping intense attention to rules from concurrent engineering.

Will be discussed aspects of this implementation, firstly defining what should be managed, the reasons to manage, what kind of organizational structure should control this management system, what management tools are relevant and how these tools can be implemented, what special attention any aspect needs and what results are expected.

Finally will be presented an implementation case of one of most important tool for the management system, the system FRACAS, "Failure Reporting, Analysis and Corrective Action System", that organizes and standardizes the data collection, making some analysis possible and creating basis for the decision making process.

During the development of all this discussion a broad number of subjects will be pointed, like product's life cycle, designs, projects, quality, information systems, data base technology e obviously reliability, maintainability and safety.

The case will start from a preexistent product that already have available field data, following to construction of an information system capable to collect, organize, filter and pre-analyze the information.

The main goal of this work is to orientate companies that develop products that demand huge engineering efforts in optimization of making decisions process, showing some options to control their operations, their

programs and projects, concerning reliability, maintainability, availability and safety.

Keywords: Engineering, Program Management, Project Management, Reliability, Maintainability and Safety.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Seqüência de eventos de uma falha.....	9
Figura 2 – Função densidade de probabilidade.....	10
Figura 3 – Função probabilidade de falha acumulada	11
Figura 4 – Função confiabilidade	12
Figura 5 – Curva da banheira	13
Figura 6 – Taxa de falha em componentes eletrônicos	14
Figura 7 – Taxa de falha em componentes mecânicos.....	16
Figura 8 – Taxa de falha de “softwares”	18
Figura 9 – Tempo até a primeira falha.....	19
Figura 10 – Função densidade de probabilidade de reparo.....	26
Figura 11 – Função manutenibilidade.....	27
Figura 12 – Função não manutenibilidade.....	28
Figura 13 – Taxa de reparo	28
Figura 14 – Tempo de reparo	30
Figura 15 – Disponibilidade instantânea	32
Figura 16 – Disponibilidade instantânea	33
Figura 17 – Indisponibilidade instantânea.....	34
Figura 18 – Tempo médio entre falhas	35
Figura 19 – Disponibilidade assintótica.....	37
Figura 20 – Sistema em série e em paralelo	44
Figura 21 – Sistemas em série de um automóvel.....	45
Figura 22 – Confiabilidade de itens em série	47
Figura 23 – Tipos de redundância	48
Figura 24 – Sistema em paralelo passivo simplificado	52
Figura 25 – Sistema em paralelo passivo real	53
Figura 26 - Aspectos de influencia no sucesso do produto.....	65
Figura 27 – Programa, Produtos e Projetos.....	72
Figura 28 – Crença na necessidade de máquinas de escrever	74
Figura 29 – Variação ilustrativa da exigência do consumidor no tempo	75
Figura 30 – Consistência de dados em grandes empresas (RAC, 1999).	87
Figura 31 – FRACAS – Controle em malha fechada	91

Figura 32 – FRACAS – Fluxos de gestão	96
Figura 33 – Fluxo de trabalho pré-venda	115
Figura 34 – Fluxo de trabalho pós-venda	115
Figura 35 – Inter-relações FRACAS	117
Figura 36 – Formulário de entrega.....	121
Figura 37 – Formulário de atendimento	122
Figura 38 – Formulário de manutenção	123
Figura 39 – Relatório automático de incidentes.....	125
Figura 40 – Relatório automático de manutenção	126
Figura 41 – Número de incidentes por item do sistema.....	127
Figura 42 – Incidentes por cliente	127
Figura 43 – MTBF por item.....	128
Figura 44 – E-mail de alerta para incidentes em aberto	129
Figura 45 - Subsistemas	134
Figura 46 – Sistema de controle	134
Figura 47 – Confiabilidade e probabilidade de falha do sistema.....	135
Figura 48 – Taxa de falha do sistema.....	136
Figura 49 – Fluxograma para implementação da gestão de RAMS.....	146

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – O Ciclo de vida dos produtos	61
Tabela 2 – Detalhamento das fases do ciclo de vida de um produto.....	62
Tabela 3 – Tabela de entrega.....	119
Tabela 4 – Tabela de descrição do sistema	120
Tabela 5 – Tabela de incidentes	120
Tabela 6 – Resultados da análise de distribuição.....	133
Tabela 7 – Dados de manutenção	137
Tabela 8 – Resultados da simulação.....	138
Tabela 9 – Resultados após a otimização	139
Tabela 10 – Diretrizes para Gestão de RAMS	147

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABET	Accreditation Board for Engineering and Technology
ASQ	American Society for Quality
DRACAS	Defect Reporting, Analysis and Corrective Action System
EPRD	Electronic Parts Reliability Data
ESS	Environmental Stress Screening
FMEA	Failure Modes and Effects Analysis
FMECA	Failure Modes, Effects and Criticality Analysis
FRACAS	Failure Reporting, Analysis and Corrective Action System
HAZOP	Hazard and Operability Study
IDA	Institute for Defense Analysis
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IRACAS	Incident Reporting, Analysis and Corrective Action System
LCC	Life Cycle Cost
MTBF	Mean Time Between Failures
MTTF	Mean Time To Failures
MTTR	Mean Time To Repair
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NPRD	Non-electronic Parts Reliability Data
OREDA	Off-shore Reliability Data Handbook
PMBOK	Project Management Book of Knowledge
QFD	Quality Function Deployment
RAC	Reliability Analysis Center
RAMS	Reliability, Availability, Maintainability and Safety
RCM	Reliability Centered Maintenance
SQL	Structured Query Language
SWOT	Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats

LISTA DE SÍMBOLOS

R_S	Confiabilidade do Sistema
$A(\infty)$	Disponibilidade Assintótica
A_S	Disponibilidade do Sistema
$R(t)$	Função Confiabilidade no tempo t
$f(t)$	Função Densidade de probabilidade de falha no tempo t
$A(t)$	Função Disponibilidade no tempo t
$\bar{A}(t)$	Função Indisponibilidade no tempo t
$M(t)$	Função Manutenibilidade no tempo t
$F(t)$	Função Probabilidade Acumulada de Falha no tempo t
$\lambda(t)$	Função Taxa de Falha no tempo t
\bar{A}_S	Indisponibilidade do Sistema
η	Parâmetro de Escala de Weibull
β	Parâmetro de forma de Weibull
F_S	Probabilidade de Falha do Sistema
λ_S	Taxa de Falha do Sistema

SUMÁRIO

FICHA CATALOGRÁFICA	III
Capítulo 1 - Introdução	1
1.1 Introdução	1
1.2 Motivações	2
1.3 Objetivos	2
1.4 Estrutura do texto	3
Capítulo 2 – O que gerir?	4
2.1 RAMS	4
2.2 Introdução à confiabilidade	5
2.2.1 Desempenho específico esperado.....	5
2.2.2 Condições de utilização	6
2.2.3 Período de utilização	7
2.2.4 Grandeza estatística	8
2.2.5 Confiabilidade e a estatística	9
2.2.5.1 Função densidade de probabilidade de falha	10
2.2.5.2 Função probabilidade de falha acumulada	10
2.2.5.3 Função confiabilidade	11
2.2.5.4 Função taxa de falha	13
2.2.5.5 MTTF – Tempo médio até a falha.....	19
2.2.5.6 Distribuições para confiabilidade	21
2.3 Introdução à manutenibilidade	24
2.3.1 Recursos disponíveis.....	24
2.3.2 Grandeza estatística	25
2.3.3 Manutenibilidade e a estatística.....	26
2.3.3.1 Função densidade de probabilidade de reparo.....	26
2.3.3.2 Função manutenibilidade.....	27
2.3.3.3 Função não-mantenabilidade	27
2.3.3.4 Função taxa de reparo.....	28
2.3.3.5 MTTR – Tempo médio de reparo.....	29
2.4 Introdução à disponibilidade.....	31

2.4.1 Disponibilidade e a estatística.....	33
2.4.1.1 Disponibilidade instantânea.....	33
2.4.1.2 Indisponibilidade instantânea.....	34
2.4.1.3 MTBF – Tempo médio entre falhas.....	34
2.4.1.4 Disponibilidade média.....	35
2.4.1.5 Disponibilidade assintótica.....	36
2.5 Introdução à segurança.....	38
2.6 Análise de sistemas	40
2.6.1 Análise por diagrama de blocos.....	43
2.6.1.1 Sistemas em série	44
2.6.1.2 Sistemas em paralelo	47
2.6.1.3 Sistemas em paralelo ativo.....	48
2.6.1.4 Sistemas em paralelo passivo	51
2.6.2 Disponibilidade de sistemas.....	53
Capítulo 3 – Por que gerir?	54
3.1 Histórico	54
3.2 Quem não vive sem RAMS?.....	56
3.3 Por que RAMS é importante?	58
3.4 Que questões RAMS responde?.....	59
Capítulo 4 – Onde aplicar?.....	61
4.1 Conceitos e definições	61
4.2 O Ciclo de vida dos produtos	61
4.3 A Gestão do ciclo de vida.....	64
4.3.1 Levantamento de requisitos	64
4.3.2 Projeto executivo	66
4.3.3 Manufatura, distribuição, operação e descarte	67
4.4 Projeto executivo, projetos e programas.....	67
4.4.1 Projeto executivo	68
4.4.2 Qualidade de produto	69
4.4.3 Projeto.....	69
4.4.4 Qualidade de projeto.....	70
4.4.5 Programas	70

4.4.6 Qualidade de programa	73
Capítulo 5 – Como gerir?	77
5.1 O Sistema de gestão	78
5.1.1 Levantamento de requisitos	78
5.1.2 Projeto preliminar	79
5.1.3 Projeto detalhado	81
5.1.4 Fabricação, montagem e testes de verificação	81
5.1.5 Armazenamento e transporte	83
5.1.6 Operação e manutenção	83
5.1.7 Programa	84
5.1.7.1 Fontes de dados	85
5.2 Resultados da gestão	88
5.2.1 Abrangência da implementação	88
5.2.2 Setor envolvido	88
5.2.3 Maturidade da implementação	88
5.2.4 Má implementação	89
5.2.5 Boa implementação	89
5.3 FRACAS	91
5.3.1 Estrutura	94
5.3.1.1 Entrada do incidente	97
5.3.1.2 Análise do incidente	98
5.3.1.3 Definição de ações corretivas e de contingência	98
5.3.1.4 Implementação das ações	99
5.3.1.5 Verificação da implementação das ações	99
5.3.1.6 Verificação da efetividade do tratamento ao incidente	99
5.3.1.7 Seleção de modos de falha	99
5.3.1.8 Determinação de ações preventivas	100
5.3.1.9 Revisão de procedimentos de correção e contingência	101
5.3.1.10 Sugestões para o programa	102
5.3.1.11 Índices de diferentes gerações de produtos	102
5.3.1.12 Análises de correlação	102
5.3.1.13 Ações de melhoria para novas gerações	102
5.3.1.14 Verificação da implementação das ações de melhoria	103

5.3.1.15 Verificação da efetividade das ações de melhoria.....	103
5.3.1.16 Sistema de auditoria	103
5.3.2 Inter-relacionamentos	104
5.3.3 Aspectos tecnológicos	105
5.3.4 Dados pré-existentes	105
5.3.5 Recursos necessários.....	106
5.4 O Fluxo de implementação	106
Capítulo 6 – Estudo de caso	108
6.1 Sistema FRACAS.....	108
6.2 O caso	110
6.2.1 A empresa.....	110
6.2.2 Linha de produtos	111
6.2.3 A gestão de RAMS	111
6.2.4 O programa.....	112
6.3 Objetivos do estudo de caso	113
6.4 Fases da implementação	113
6.4.1 Análise da situação atual	113
6.4.2 Necessidades	114
6.4.3 Levantamento dos objetivos da implementação	114
6.4.4 Desenvolvimento do sistema	114
6.4.5 Fluxo de informações.....	115
6.4.6 Tipos de dados e usuários	118
6.4.7 Listas	118
6.4.8 Tabela de campos	119
6.4.8.1 Tabela de entrega.....	119
6.4.8.2 Tabela da árvore do sistema	120
6.4.8.3 Tabela de incidentes.....	120
6.4.9 Formulários.....	121
6.4.9.1 Formulário de entrega.....	121
6.4.9.2 Formulário de atendimento a incidentes	122
6.4.9.3 Formulário de ordem de manutenção	123
6.4.10 Análises FRACAS.....	124
6.4.11 Relatórios.....	125

6.4.12 Gráficos.....	126
6.4.13 Ações corretivas automáticas	128
6.5 Resultados do sistema implementado	130
6.6 Análises complementares	130
6.6.1 Objetivos.....	131
6.6.2 Métodos	132
6.6.3 Análises de distribuições.....	132
6.6.4 Análise do sistema.....	134
6.6.5 Simulação e otimização	137
6.7 Conclusões do estudo de caso	140
6.8 Recomendações para a empresa analisada.....	141
6.8.1 Na fase de levantamento de requisitos	141
6.8.2 Na fase de projeto.....	142
6.8.3 Na fase de manufatura e testes	143
6.8.4 Na fase de operação e manutenção	143
6.8.5 Recomendações finais para o programa	144
Capítulo 7 – Conclusões e Recomendações	145
Referências bibliográficas	150
APÊNDICE A – Dados e Análises de Weibull.....	154

Capítulo 1 - Introdução

1.1 Introdução

Primeiramente, existe a necessidade de esclarecer que algumas vezes o termo confiabilidade possa ser utilizado de modo não apropriado no texto, uma vez que uma expressão mais adequada não foi introduzida. No presente texto o termo confiabilidade refere se ao conjunto de parâmetros confiabilidade, disponibilidade, manutenibilidade e segurança que representa a tradução livre da sigla RAMS (Reliability, Availability, Maintainability and Safety).

Tendo visto que apesar de já existir um extenso trabalho na área de RAMS, com ganhos comprovados, estes trabalhos estão em grande parte limitados ao meio acadêmico e setores extremamente impactados pelos parâmetros RAMS, como é o caso das indústrias aeroespacial e nuclear.

As empresas fora desse tipo de setor acabam não aplicando as políticas de RAMS por uma série de barreiras, como o desconhecimento, resistência à mudança de cultura, falta de adaptação dos padrões de outros setores e imprecisão nas previsões de retorno.

Algumas empresas aplicam técnicas de RAMS, ou por meios próprios ou por meio de consultorias, porém na grande maioria dos casos, os trabalhos desenvolvidos têm aplicação localizada, de pequena duração, sem repetibilidade e sem inserção no fluxo de trabalho das empresas. Sendo assim um dos grandes requisitos para o sucesso pleno das Políticas de gestão de RAMS, não é aplicado, que é a continuidade da coleta de dados, análises e ações corretivas.

O termo “contínuo” nos mostra a dificuldade de aderência dos trabalhos de RAMS a um projeto em específico, tendo os projetos uma duração estimada, estes não são atividades contínuas. Sendo assim torna-se necessário identificar onde a gestão de RAMS será inserida na empresa, assim como identificar a melhor implementação para a gestão dos parâmetros de RAMS.

Na busca pelo setor responsável pela gestão dos parâmetros de qualidade, incluindo os parâmetros de RAMS, serão apresentados os

preceitos da Gestão de Programas, assim como serão propostas técnicas e métodos para suporte a tomada de decisão na Gestão de Programas.

Diversas técnicas, já existentes, para a Gestão de Programas e Projetos serão abordadas e avaliadas, algumas alterações serão propostas e novas técnicas e métodos de análise serão propostos, sempre com vistas ao suporte a tomada de decisão.

1.2 Motivações

A principal motivação para esse trabalho é a de compilar diversas técnicas de gestão, principalmente as técnicas estatísticas para o suporte a tomada de decisão na gestão de programas. No presente caso o enfoque será a confiabilidade, a manutenibilidade e a segurança.

1.3 Objetivos

Os objetivos principais do trabalho são:

- Sugerir um conjunto de diretrizes para implementação da gestão da confiabilidade, manutenibilidade e segurança;
- Sugerir um conjunto de diretrizes para a estrutura organizacional para a implementação;
- Sugerir um conjunto de diretrizes para a estrutura de recursos humanos para as atividades de confiabilidade, manutenibilidade e segurança;
- Sugerir um conjunto de diretrizes para o sistema de informação;
- Implementação parcial em empresa;
- Avaliação dos resultados.

Como um dos objetivos secundários pretende-se compilar uma série de conceitos e conhecimentos de diversas áreas como:

- “Design Engineering”;
- Estatística;
- Engenharia de Confiabilidade;

- Engenharia Econômica;
- Gestão de Projetos;
- Gestão de Operações;
- Sistemas de Informação;
- Engenharia Simultânea.

Busca-se com este trabalho contribuir com a eficiência e o sucesso das empresas em gerar Produtos e Serviços, em gerir suas atividades pós-venda, em atender as necessidades de seus mercados alvo, garantindo a satisfação de seus consumidores, além de ajudar no direcionamento estratégico. Também se busca contribuir para o meio acadêmico com bases implementadas e prontas para receber os mais novos estudos em confiabilidade e análise de riscos. E por final contribuir para a sociedade como um todo com produtos e serviços mais adequados e seguros.

1.4 Estrutura do texto

O trabalho é dividido em 3 grandes blocos, no primeiro serão introduzidos os conceitos estatísticos que fundamentam a confiabilidade, a manutenibilidade e a segurança, apresentando ainda técnicas e métodos de análises muito utilizados para abordar os assuntos referentes a RAMS.

O segundo bloco trata de conceitos de gestão e organização onde serão, posteriormente, abordadas as técnicas para suporte a tomada de decisão, direcionadas a essas estruturas organizacionais. Ainda nesse segundo bloco serão definidos conceitualmente, projeto, projeto executivo e programa. O foco é o sistema FRACAS e suas características.

No terceiro bloco será apresentado um estudo de caso, em que serão implementadas diversas das técnicas e conceitos apresentados nos dois primeiros blocos. O estudo de caso tem foco na indústria tradicional, mais explicitamente uma indústria de equipamentos elétricos, como geradores e transformadores. Esse caso permite avaliar parte das técnicas propostas em programas de desenvolvimento de sistemas híbridos, com mecânica, elétrica, eletrônica de potência, eletrônica de controle e “software”.

Capítulo 2 – O que gerir?

O capítulo 2 busca apresentar o conceito RAMS e as características da Confiabilidade, Manutenibilidade, Disponibilidade e Segurança. Com isso será possível entender o que deve ser gerido e parte das características dos requisitos do sistema de gestão. Obviamente esse é um resumo dos conceitos fundamentais de RAMS e seu objetivo é introduzir esses conceitos as pessoas que os desconhecem ou mesmo lembrar aqueles que tiveram algum contato.

No entanto é importante citar algumas fontes aos leitores que desejam se aprofundar nesses conceitos, tais como Kales (1998), Lewis (1987), Modarres (1993) e Dovich e Wortman (1998).

2.1 RAMS

A Sigla RAMS vem dos termos, “Reliability”, “Availability”, “Maintainability” e “Safety” que em português significam; Confiabilidade, Disponibilidade, Manutenibilidade e Segurança.

O Termo RAMS representa a confluência dos quatro assuntos, uma vez que a Confiabilidade, a Disponibilidade, a Manutenibilidade e a Segurança estão intimamente ligadas, costumam ser implementadas em conjunto e possuem a mesma base teórica fundamentada na estatística.

As características comuns de implementação dos quatro aspectos ajudaram a forjar o termo RAMS.

O termo RAMS é extremamente abrangente e costuma se referir à gestão dos quatro parâmetros.

2.2 Introdução à confiabilidade

De acordo com Souza (2003) a definição da Organização Européia para o Controle de qualidade diz que:

Confiabilidade é a medida da capacidade de um produto operar com sucesso, quando solicitado, por um período de tempo pré-determinado, e sob condições de utilização e ambientais específicas. A confiabilidade é medida como uma probabilidade.

Ou seja, um indicador de confiabilidade deve vir acompanhado de mais três informações:

- Desempenho Específico Esperado;
- Condições de Utilização;
- Período de Utilização.

2.2.1 Desempenho específico esperado

O Desempenho Específico Esperado indica que parâmetros como potência e rendimento devem ser mantidos dentro de faixas aceitáveis para que o sistema tenha seu funcionamento considerado adequado.

Por exemplo, os parâmetros de potência consumida e vazão de uma Bomba Hidráulica. Supondo uma Potência Consumida Máxima de 5000W para uma vazão de no mínimo 100 l/min. Essa informação indica que para potências consumidas acima de 5000 W e/ou uma vazão inferior a 100L/min a bomba será considerada em estado de falha, mesmo continuando em operação.



Bomba Hidráulica

Potência Consumida Máxima: 5000W

Vazão Mínima: 100 l/minuto

Isso quer dizer que a falha de um sistema não ocorre única e exclusivamente quando este para de operar.

Ainda que o sistema seja o mesmo, os parâmetros que definem o Desempenho Esperado podem variar dependendo da aplicação.

Espera-se que uma bomba que opera em uma instalação de papel e celulose terá um requerimento de desempenho específico muito mais rígido do que uma bomba que opera em um edifício domiciliar, ainda que a bomba seja do mesmo tipo.

2.2.2 Condições de utilização

Outra informação importante está relacionada às Condições de Operação do sistema, ou seja, sob quais condições ambientais, de Manutenção e utilização o sistema está submetido.

Novamente o mesmo exemplo da Bomba Hidráulica. Supondo que os Parâmetros de Desempenho específico sejam os mesmos, ou seja, os parâmetros que determinam quando a bomba estará em estado de falha são idênticos para duas bombas idênticas.

As condições ambientais poderão afetar a vida do produto, isso quer dizer, por exemplo, que se uma das bombas operar a uma temperatura de 60°C esta terá uma degradação mais acentuada do que uma bomba que opere a 10°C. Ou ainda, uma bomba exposta ao um ambiente marítimo de

alta salinidade também degradará mais rapidamente que uma bomba operando em um ambiente de baixa salinidade.



Temperatura de Operação: 60 °C
Ambiente Marítimo: Alta Salinidade
Manutenção Preventiva: Trimestrais
Inspeções Visuais: Mensais
Qualificação do Pessoal de Manutenção: AA

Além dos fatores ambientais existem os fatores de manutenção e operação. Uma bomba operada por um sistema de controle estará menos exposta a riscos de danos se comparada a uma bomba operada por uma pessoa mal qualificada. E uma bomba mantida por uma equipe de manutenção bem treinada também estará menos sujeita à falhas do que uma bomba mantida por pessoal desqualificado.

2.2.3 Período de utilização

O último dos parâmetros relacionado à Confiabilidade é o Período de Utilização.

Supondo agora duas bombas idênticas sob as mesmas condições de utilização e com os mesmos requisitos de desempenho esperado.

Uma bomba que já tenha efetuado 8000 ciclos de operação terá uma probabilidade de falha muito maior que uma bomba que tenha efetuado apenas 200 ciclos.

O período de utilização pode ser tratado como tempo propriamente dito: segundos, minutos, horas, dias, meses, como distâncias, como é caso dos automóveis e guias lineares, em metros, e quilômetros e também em

ciclos, como é o caso de rolamentos e motores, medindo rotações, ciclos de ligar e desligar, etc.



Bomba 1
8000 ciclos



Bomba 2
200 ciclos

2.2.4 Grandeza estatística

Como a Confiabilidade é representada como uma grandeza estatística, em forma de probabilidade, ela variará entre zero e um. Quando a Confiabilidade for igual a um ter-se-á certeza de que o sistema opera com sucesso e quando o valor da Confiabilidade for igual a zero ter-se-á certeza de que o sistema está em estado de falha.

A Confiabilidade varia com o tempo, quando um equipamento entra em operação sua confiabilidade é igual a um, ou seja, está operando e quando ele já operou por um tempo grande o suficiente ele terá confiabilidade igual a zero, ou seja, terá falhado. No intervalo de tempo do início da operação ao momento da falha a Confiabilidade variará entre um e zero, sempre decrescendo.

2.2.5 Confiabilidade e a estatística

Para se modelar a confiabilidade será necessário tratar as falhas como eventos e tratar o tempo como variável aleatória contínua. Mas antes de tudo é importante definir o que é falha. De acordo com o Reliability Analysis Center (FRACAS, 1999) falha é definida como:

Um evento no qual um item não executa uma ou mais de duas funções requeridas dentro de limites e condições especificadas. Uma falha pode também ser catastrófica (com perda total da função ou operação) fora dos limites tolerados (com a função degradada além dos limites especificados).

Além da definição de falha é necessário ter entendimento de características importantes relacionadas à falha. Entre essas características existem os sintomas, os efeitos, os modos, os mecanismos e as causas de falha. Novamente pela definição da RAC (FRACAS, 1999):

Sintoma de falha: Qualquer circunstância, evento ou condição associada com a falha que indique sua existência ou ocorrência. Podem incluir indicações intermitentes e temporárias.

Efeito de falha: A consequência que um modo de falha em particular pode provocar sobre a operação, função ou status de um produto ou serviço.

Modo de falha: O tipo de defeito que contribui para a falha, a consequência da falha, (isto é, como a falha se manifesta), ou a maneira pela qual a falha é observada.

Mecanismo de falha: O processo que resulta na falha; o processo de degradação ou a cadeia de eventos que leva a um particular modo de falha.

Causa de falha: A circunstância que induz ou ativa o mecanismo de falha

A ordem das características de uma falha é mostrada na Figura 1.

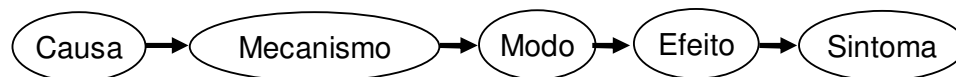


Figura 1 – Seqüência de eventos de uma falha

Com a definição e a seqüência de eventos e a definição de falha, deve se buscar modelar estatisticamente, para isso é necessário ter informações como:

- a. Função densidade de probabilidade de falha;
- b. Função probabilidade de falha acumulada;
- c. Função confiabilidade;
- d. Função taxa de falha;
- e. Tempo médio até a falha.

2.2.5.1 Função densidade de probabilidade de falha

Para as análises de Confiabilidade, a função densidade de probabilidade de falha modelará a ocorrência das falhas no tempo, indicando se a maioria das falhas ocorrem no início, meio ou fim do período de vida do produto. Um exemplo da forma dessa função é dado na Figura 2.

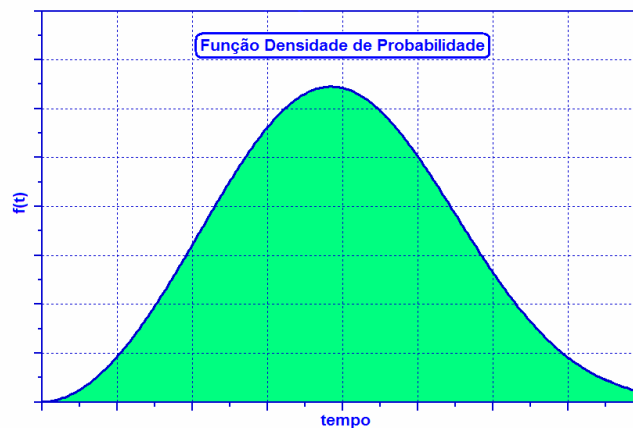


Figura 2 – Função densidade de probabilidade

2.2.5.2 Função probabilidade de falha acumulada

A função probabilidade de falha acumulada traz informações sobre qual a probabilidade de falha em um determinado tempo. Um exemplo da função probabilidade de falha acumulada é dado na Figura 3.

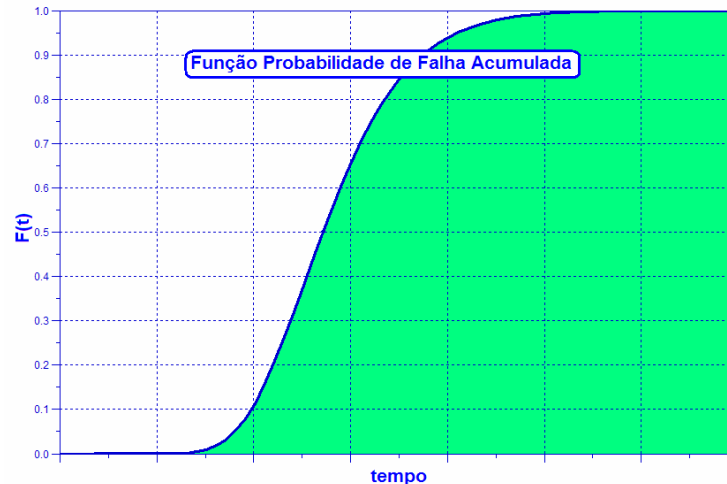


Figura 3 – Função probabilidade de falha acumulada

Talvez o melhor modo de compreender as informações contidas nesse tipo de gráfico, seja analisar um lote de itens.

Supondo um lote de 100 peças. O gráfico irá informar quantos itens já terão chegado ao estado de falha ao longo do tempo. No tempo zero, tem-se 0% de probabilidade de falha, ou seja, nenhum item terá falhado. É comum imaginar que quando o tempo for suficientemente grande não existirá mais nenhum item operando, ou seja, todos os 100 itens do nosso lote terão falhado.

É através desse tipo de gráfico que é possível estimar o número de itens em estado de falha durante o período de garantia.

2.2.5.3 Função confiabilidade

A função Confiabilidade é tratada pela letra R, do Inglês “Reliability”. Como a função confiabilidade é dada por 1 menos a probabilidade de falha acumulada, as informações trazidas pela função confiabilidade são de certa forma redundantes com as informações da função probabilidade de falha acumulada, assim sendo, basta uma das funções para colher as informações.

No exemplo do lote com 100 itens, a função confiabilidade, ao invés de informar o número de itens que chegaram à falha, informará quantos ainda operam.

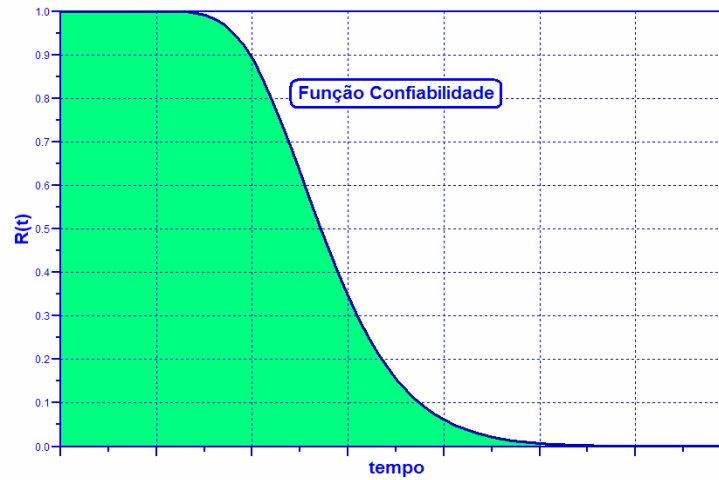


Figura 4 – Função confiabilidade

Sendo assim espera-se que no tempo zero 100% dos itens estejam operando e quando o tempo for suficientemente grande nenhum, dos 100 itens esteja operando. A Figura 4 ilustra essas características.

2.2.5.4 Função taxa de falha

A taxa de falha indica a probabilidade de que um item, operando até um dado intervalo de tempo, venha a falhar no próximo intervalo de operação.

Uma representação dos diferentes comportamentos da taxa de falha é dada através da curva da banheira representada na Figura 5.

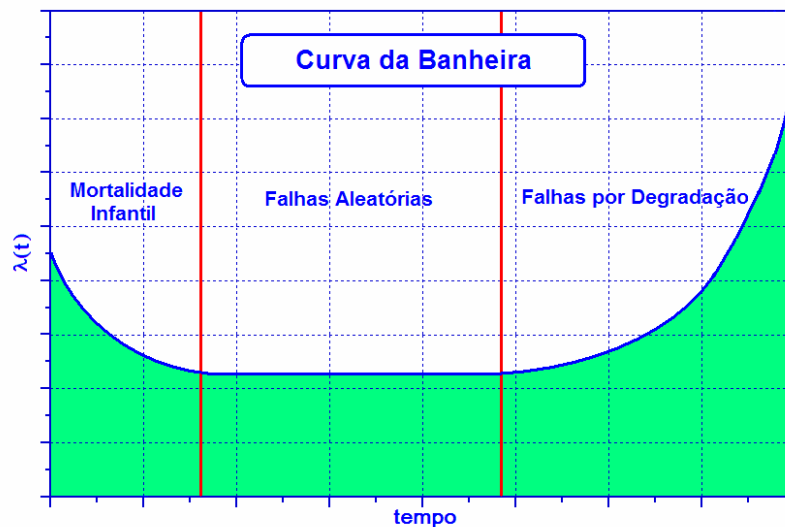


Figura 5 – Curva da banheira

Na curva da banheira existem três regiões específicas. A região de mortalidade infantil, a região de falhas aleatórias e a região de falhas por degradação.

Mortalidade infantil

Na região de Mortalidade Infantil, a taxa de falha é decrescente.

Esse tipo de comportamento se deve às primeiras falhas do pós-produção, geralmente esse comportamento se deve à defeitos de manufatura e falhas de montagem que não foram identificados pelo controle de qualidade.

Muitas vezes é decidido deixar os produtos operando em modo normal ou acelerado por um tempo, ainda na fase de produção, isso permite que as

falhas precoces ocorram antes de o produto chegar ao consumidor. Esse procedimento é comumente chamado “ESS – Environmental Elevated Screening”.

Falhas aleatórias

A segunda região se refere às falhas aleatórias, ou seja, a chance de um item vir a falhar não aumenta com o tempo de operação. Nessa região a taxa de falha é constante e em geral essa é a região de operação dos sistemas. Geralmente esse tipo de comportamento se deve a falhas causadas por carregamentos inesperados.

Falhas por degradação

A terceira região representa as falhas por degradação, onde a taxa de falha é crescente, ou seja, a chance de um item vir a falhar aumenta com tempo de operação. Geralmente essa região representa a fase final da vida dos produtos. As falhas ocorridas nessa região são causadas por efeitos cumulativos, como corrosão, desgaste, degradação, trincas de fadiga, entre outras.

Taxa de falha em componentes eletrônicos

A Figura 6 mostra uma curva de taxa de falha típica em eletrônicos.

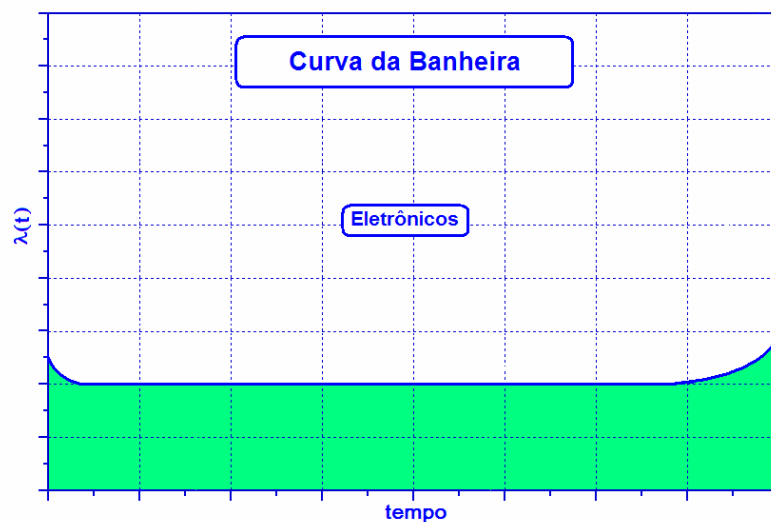


Figura 6 – Taxa de falha em componentes eletrônicos

A curva da taxa de falha para eletrônicos, tende a possuir um pequeno trecho de mortalidade infantil, o qual representa as falhas ocorridas por negligência do controle de qualidade da manufatura dos equipamentos. Em geral, na indústria eletrônica, são utilizadas técnicas de “ESS”, em que os componentes são pré-testados a procura de defeitos intrínsecos. Os componentes são aquecidos e resfriados rapidamente, para que qualquer defeito manifeste-se em falha antes que o componente seja colocado em operação normal.

A qualidade do processo de manufatura e do controle de qualidade do produto irão afetar bastante a mortalidade infantil.

Em seguida após o trecho de mortalidade infantil, os equipamentos eletrônicos tendem a possuir um longo trecho de falhas aleatórias, onde as falhas não são causadas por um mecanismo de degradação. Essa característica costuma ser partilhada não apenas por sistemas eletrônicos, mas também por sistemas híbridos, com “softwares”, e partes mecânicas em que existam práticas de manutenção eficazes.

É durante o trecho de falhas aleatórias que os equipamentos eletrônicos mais operam, esse trecho representa as menores taxas de falha.

Após um longo período de operação no trecho das falhas aleatórias, os produtos eletrônicos entram no trecho de falhas por degradação, em que a taxa de falha é crescente.

Algumas vezes é possível encontrar sistemas eletrônicos com uma pequena ou até inexistente região de falhas aleatórias. Isso acontece em geral, porque o produto está submetido a algum fator de elevad, seja elétrico ou mecânico, causado pelos ciclos de temperatura, que fazem com os diferentes coeficientes de dilatação gerem forças resultantes que forçam as soldas, provocando fadiga e levando a falhas intermitentes. Esse é o caso típico em que os produtos operam corretamente a baixas temperaturas e deixam de operar quando a temperatura sobe. Esse problema costuma afetar os equipamentos eletrônicos de potência, ou aqueles equipamentos que operam em ambiente com grandes variações de temperatura.

Outro fator capaz de acelerar a saída do trecho de falhas aleatórias se deve a degradação dos materiais em ambientes úmidos e salinos ou quimicamente agressivos.

Excetuando as situações em que há elevada solicitação elétrica e mecânica, ou ainda degradação acelerada por ambiente agressivo, os equipamentos eletrônicos tendem a possuir uma grande região de falhas aleatórias, com taxa de falha constante, podendo ser representado adequadamente pela distribuição exponencial.

Taxa de falha em componentes mecânicos

A Figura 7 mostra uma curva típica de taxa de falha em componentes mecânicos.

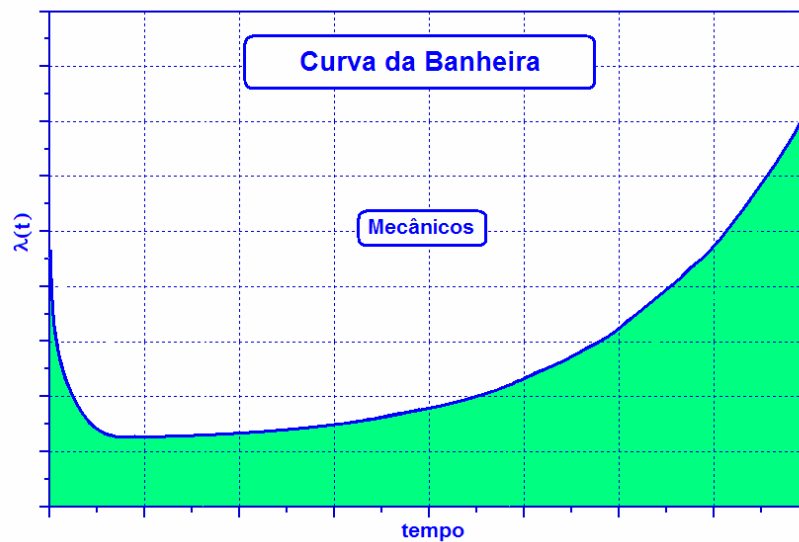


Figura 7 – Taxa de falha em componentes mecânicos

Os equipamentos mecânicos apresentam mortalidade infantil, com maior ou menor intensidade, dependendo da qualidade do processo de manufatura e controle de qualidade. Também existem processos de pré-testes para os equipamentos mecânicos, em que os equipamentos são colocados em operação de modo normal ou acelerado, para que estes manifestem falhas causadas por defeitos de manufatura. Isso reduz os custos

com falhas em campo, além de minimizar o impacto negativo à imagem do produto.

Esse tipo de pré-teste pode reduzir o risco dos já famosos “Recalls”, em que o fabricante deve efetuar algum tipo de alteração para corrigir um problema de projeto ou manufatura.

Os equipamentos puramente mecânicos costumam possuir uma pequena região de falhas aleatórias, em que a taxa de falha é constante. O tamanho dessa região estará associado ao nível de desempenho esperado. Por exemplo, os sistemas mecânicos de um carro de Fórmula 1 tendem a possuir um trecho menor de falhas aleatórias que os sistemas mecânicos de um carro popular. Isso se deve ao nível de desempenho exigido de cada carro. No carro de Fórmula 1 os materiais operam próximos aos seus limites, enquanto em um carro popular existe uma boa margem de segurança, em que os materiais operam distantes dos limites máximos.

Os equipamentos puramente mecânicos costumam possuir uma grande região de falhas por degradação. Isso se deve ao desgaste por atrito dos materiais, a fadiga dos materiais pela exposição aos ciclos de carga e também a degradação dos materiais, como é o caso da oxidação.

Em geral, os sistemas mecânicos são bem representados pela distribuição de Weibull ou Lognormal.

Quando sistemas mecânicos são submetidos a uma eficiente política de manutenção, a influência do trecho de falhas por degradação tende a diminuir, sendo as falhas aleatórias preponderantes.

Na realidade sempre será desejado operar com taxas de falha constantes, em que as falhas não possuirão mecanismos de falha associados a problemas de manufatura ou de envelhecimento.

Caso se consiga implementar um bom sistema de controle de qualidade da manufatura e uma eficiente política de manutenção pode-se modelar o comportamento dos equipamentos mecânicos através da distribuição exponencial.

Taxa de falha em “softwares”

A Figura 8 mostra que “softwares” possuem taxa de falha decrescente, porém isso só é verdade durante o processo de desenvolvimento.

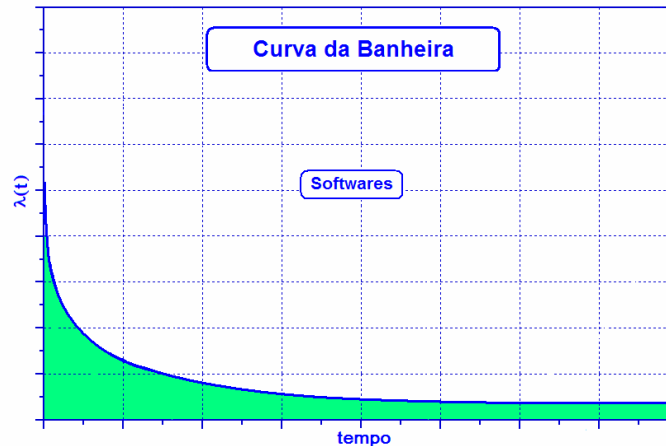


Figura 8 – Taxa de falha de “softwares”

Em geral, os “softwares” apresentam taxas de falha constantes desde que os defeitos intrínsecos do “software” não sejam corrigidos.

Para alguns “softwares”, logo após o lançamento da primeira versão, chamada também de versão beta, existe um processo de registro de falhas seguindo depois para a implementação de correções no “software”, o que gera uma nova versão, menos problemática e com taxa de falha menor. Esses ciclos de teste e correção fazem com que a taxa de falha decresça no tempo.

Alguns “softwares” recebem atualizações de segurança mesmo após o seu lançamento ao público em geral, o que mantém o decrescimento da taxa de falha mesmo durante a operação.

Esse comportamento é inerente a qualquer sistema complexo que esteja em desenvolvimento, por exemplo, uma planta de automação de manufatura que deve ser configurada para melhor executar o processo, precisará de alguns ciclos de desenvolvimento até que o sistema fique maduro e com baixa taxa de falha.

Outro exemplo: numa planta petroquímica, em que com certa frequência as políticas de manutenção são re-configuradas a taxa de falha também tende a decrescer no tempo.

Em geral o decrescimento da taxa de falha é mais acentuado nos primeiros ciclos de desenvolvimento e conforme o sistema fica mais otimizado menores serão as reduções em cada novo ciclo. Esse tipo de comportamento em fase de desenvolvimento é modelado estatisticamente pela teoria de “Reliability Growth”, ou crescimento da Confiabilidade. Com essa teoria estatística é possível responder se serão atingidas as metas de Confiabilidade dentro do prazo estipulado, se será necessário aumentar os recursos ou ainda se será necessário desistir do desenvolvimento por exceder o prazo máximo de lançamento.

2.2.5.5 MTTF – Tempo médio até a falha

A Média, no caso da distribuição de Confiabilidade é tratada pelo termo MTTF que vem do Inglês “Mean Time to Failure” quer dizer Tempo Médio até a falha.

Segundo Leitch (1995) essa média está associada à primeira falha de um item reparável, ou seja, se o item pode ser reparado após uma falha, a média representará apenas o tempo de operação esperado até a ocorrência da primeira falha desse item. A Figura 9 representa o tempo de apenas uma falha de um item. A média de tempos até a falha de diversos itens será o MTTF.

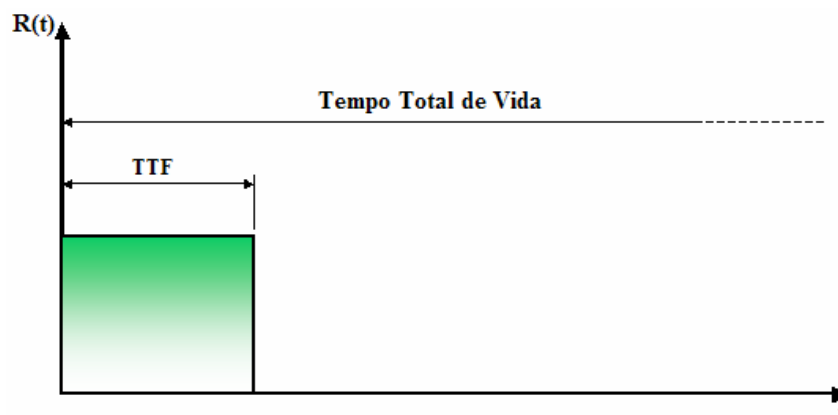


Figura 9 – Tempo até a primeira falha

Se o item não for reparável, essa média estará associada ao período de vida que antecede a única falha possível. Esse é o caso de típico de produtos eletrônicos, que costumeiramente são substituídos e não-reparados.

Na Figura 9 esse tempo é tratado como TTF – “Time To Failure” ou Tempo até a Falha.

A informação trazida pelo MTTF é muito limitada. Isso porque ela está associada com uma probabilidade de falha específica, dependendo de cada distribuição. Por exemplo:

Analisando qual a probabilidade de falha quando o tempo for igual à média (MTTF).

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (1)$$

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad (2)$$

Substituindo t por MTTF.

$$F(MTTF) = 1 - e^{-\lambda \cdot MTTF} = 1 - e^{-\lambda \cdot \frac{1}{\lambda}} = 1 - e^{-1} = 0,6321 \quad (3)$$

$$R(MTTF) = 1 - F(MTTF) = 0,3679 \quad (4)$$

Ter-se-á que a probabilidade de falha será 0,632 ou 63,2% enquanto a Confiabilidade é de 36,8%.

Isso que dizer que de um lote com 100 itens, aproximadamente 63 itens falhos até o tempo médio.

- No caso da distribuição Normal tanto a probabilidade de falha quanto a confiabilidade tem valor de 50%, ou seja, de um lote com 100 itens, aproximadamente 50 itens terão falhado até o tempo médio.

2.2.5.6 Distribuições para confiabilidade

No caso da Confiabilidade cada distribuição apresentará características específicas. Serão abordadas neste texto apenas quatro distribuições comumente empregadas na investigação de componentes de sistemas eletro-mecânicos, as quais são:

- Normal;
- Lognormal;
- Exponencial;
- Weibull.

Distribuição normal

A distribuição normal costuma ser utilizada para equipamentos expostos a elevadas solicitações. A distribuição normal possui taxa de falha fortemente crescente, representando adequadamente sistemas extremamente solicitados. Na realidade não é comum encontrar sistemas com essa característica acentuada, o que nos leva a quase não encontrar sistemas modelados pela distribuição normal. Sistemas modelados pela normal em geral podem receber facilmente especificações de manutenção preventiva ou preditiva, o que faz com que o comportamento do sistema se altere, alterando assim a distribuição que melhor o modela.

Distribuição lognormal

A distribuição lognormal é utilizada para modelar mais sistemas que a distribuição normal. Ela apresenta diferentes comportamentos de taxa de falha, dependendo é claro de seus parâmetros, podendo representar taxas de falha altamente crescentes como a distribuição normal, ou até decrescentes após um trecho crescente.

Costumeiramente a distribuição lognormal é utilizada para representar sistemas mecânicos, onde a resistência dos materiais precise ser modelada. Ela modela sistemas submetidos à fadiga e ao desgaste, como rolamentos, e sistemas de freio. Esse tipo de sistema mecânico não costuma ser reparado quando falha e sim substituído, o que impossibilita a aplicação de técnicas de reparo preventivo, o procedimento costumeiramente utilizado é o monitoramento das características de operação até que seja necessário efetuar a substituição.

Distribuição exponencial

A distribuição exponencial, como já dito anteriormente modela adequadamente sistemas eletrônicos que não estejam submetidos a determinados tipos de solicitação elétrica ou mecânica. Ela modela também sistemas mecânicos bem mantidos, ou seja, que recebam atenção inteligente da manutenção. Sendo assim o equipamento mecânico é reparado ou substituído antes que entre no intervalo de tempo associado às falhas por degradação, onde as taxas de falha são crescentes.

As taxas de falha para a distribuição exponencial são constantes o que costuma modelar a maior parte dos sistemas encontrados na indústria. O que é muito bem vindo dada a simplicidade matemática da distribuição exponencial. Não existe motivo para aplicar manutenções preventivas em itens com distribuição exponencial, pois a chance desse item vir a falhar dado que ele operou até o instante anterior é a mesma que este possuía no instante anterior, ou seja, a chance de falha não aumenta nem diminui com o tempo.

No caso da distribuição exponencial a confiabilidade decresce exponencialmente, ou seja, de forma acentuada no início da vida e de modo menos acentuado no final da vida.

Distribuição de Weibull

A distribuição de Weibull é extremamente flexível, modelando todos os sistemas modelados pela exponencial, já que a exponencial é um caso particular da distribuição de Weibull. A distribuição de Weibull consegue modelar sistemas com taxas de falha decrescentes, constantes e crescentes, dependendo do valor do parâmetro de forma β .

Se o parâmetro β for menor que 1 a taxa de falha será decrescente. O que modela equipamentos na região de mortalidade infantil.

Se o parâmetro β for igual a 1 a taxa de falha será constante. A distribuição será exponencial e terá todas as características da exponencial.

Se o parâmetro β for maior que 1 a taxa de falha será crescente. O que modela equipamentos na região de falhas por degradação, como é o caso dos equipamentos mecânicos.

A distribuição de Weibull é tão flexível que costuma modelar praticamente todos os sistemas.

Pela sua flexibilidade a distribuição de Weibull é a mais famosa das distribuições, porém nem sempre ela será o melhor modelo. Por exemplo, se for de interesse modelar um sistema que possui as três características de taxa de falha, possuindo uma curva de taxa de falha realmente parecida com uma banheira, a distribuição de Weibull não poderá modelar esse sistema. Para isso é possível utilizar a distribuição Gama ou a Weibull Mista. O fato é que o modelamento pela distribuição de Weibull costuma ser suficiente na quase totalidade dos casos para suportar a tomada de decisão.

2.3 Introdução à manutenibilidade

A manutenibilidade também é conhecida como manutenibilidade ou manutenibilidade.

Segundo Roger D. Leitch (1995); Manutenibilidade é a probabilidade de que um sistema em estado de falha seja restaurado ao seu estado de funcionamento, em um dado tempo e condições específicas.

Ou seja, a manutenibilidade, assim como a confiabilidade dependerá de alguns fatores, os quais serão descritos a seguir.

2.3.1 Recursos disponíveis

Número de pessoas para reparo: uma equipe com duas pessoas levará mais tempo para efetuar o reparo do que uma equipe com 10 pessoas.

Equipamentos para diagnóstico: afeta a velocidade do diagnóstico, uma equipe que possua acesso a termógrafos, acelerômetros, multímetros, terá uma probabilidade de sucesso na manutenção maior que uma equipe que não possua esses recursos.

Equipamentos para reparo: saca-polias, chaves específicas entre outros equipamentos também afetarão a probabilidade de sucesso da manutenção.

Disponibilidade de sobressalentes: manter sobressalentes em estoque pode possuir preços elevados, porém sua falta em momentos críticos pode causar grandes perdas econômicas. Isso se agrava com os equipamentos importados, onde o preço dos sobressalentes é elevado e seu envio leva muito tempo. Imaginando que em uma planta de petróleo não é incomum ter um custo por volta de \$50.000,00 por hora de processo parado, percebe-se claramente que otimização do estoque de sobressalentes é necessária para garantir que os riscos a operação são os mais adequados.

Qualificação da mão de obra: um dos fatores de influência mais fáceis de resolver do ponto de vista econômico e um dos mais difíceis do ponto de vista da cultura das empresas.

Planos de manutenção: além de mostrar uma preocupação com os procedimentos de manutenção agilizam os processo e evitam erros. Infelizmente não é algo tão comum. Apenas empresas muito impactadas com os tempos de manutenção costumam gerar planos de manutenção e possuir métodos reconhecidamente eficazes para isso.

2.3.2 Grandeza estatística

A manutenibilidade também é uma grandeza estatística, representada por uma função de probabilidade, e varia entre zero e um. Quando a manutenibilidade for igual a um existe certeza de que o sistema está reparado e quando o valor da manutenibilidade é igual a zero existe certeza de que o sistema ainda está em estado de falha.

A manutenibilidade varia com o tempo, quando o processo de reparo se iniciar a manutenibilidade é baixa e quando o tempo de reparo já for suficientemente grande a manutenibilidade será igual a 1, ou seja, o reparo terá tido sucesso.

A manutenibilidade também trará algumas diferenças para diferentes tipos de equipamentos. Dividindo em três grupos, tem-se:

Equipamentos unicamente reparáveis

Os equipamentos reparáveis são aqueles que quando chegam ao estado de falha podem ser re-trabalhados e voltar à operação. É o caso de alguns motores de combustão interna, que podem ser retificados quando suas características de desempenho se deterioram.

Equipamentos não-reparáveis ou unicamente substituíveis

Os equipamentos não-reparáveis ou exclusivamente substituíveis são aqueles que quando chegam à falha não irão ser reparados e sim substituídos. Isso ocorre porque o custo de uma intervenção para reparo no equipamento é muito alto se comparado com a substituição do mesmo. Ou muitas vezes é tecnicamente inviável efetuar um reparo.

Equipamentos de manutenção híbrida

Ainda existem os equipamentos de manutenção híbrida, esses possuem as duas possibilidades, tanto podem ser reparados como podem ser substituídos. Isso dependerá do tipo de falha ocorrida e do custo associado ao reparo do equipamento versus o custo de substituição do equipamento.

2.3.3 Manutenibilidade e a estatística

A Manutenibilidade também utilizará a mesma base estatística, sendo possível modelar seu comportamento pelas mesmas funções.

2.3.3.1 Função densidade de probabilidade de reparo

A Função Densidade de Probabilidade de Reparo irá representar como os eventos se distribuem no tempo, ou seja, onde se concentram os eventos para determinados tempos de reparo.

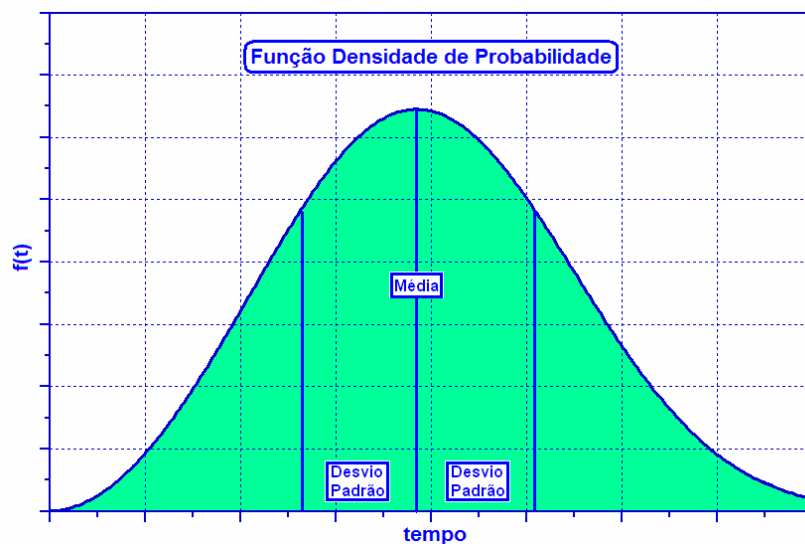


Figura 10 – Função densidade de probabilidade de reparo

A Figura 10 traz informações visuais de qual o tempo médio de reparo e qual a dispersão dos tempos, ou seja, é possível verificar se existem grandes diferenças entre as diversas equipes de reparo.

A atividade de reparo é dividida em duas partes:

O diagnóstico, onde se busca qual a falha do equipamento e qual a ação corretiva que deve ser tomada.

E o reparo, propriamente dito, onde se implementa a ação corretiva recomendada.

2.3.3.2 Função manutenibilidade

A função manutenibilidade ou probabilidade acumulada de tempo de reparo representa qual a probabilidade de reparo em um determinado tempo. No exemplo, a Figura 11 responderia qual a probabilidade de ocorrência do reparo em um determinado tempo.

Novamente, quando o tempo é próximo de zero a probabilidade de reparo é muito baixa e quando o tempo é suficientemente grande a probabilidade de reparo será próxima de 100%.

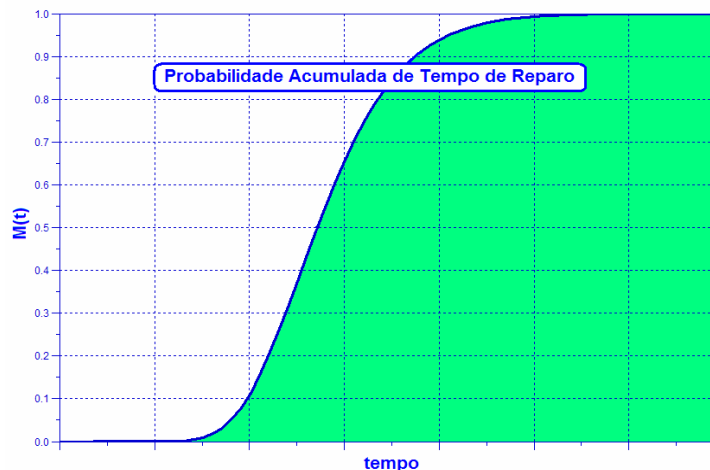


Figura 11 – Função manutenibilidade

2.3.3.3 Função não-mantenabilidade

A função não-mantenabilidade ou probabilidade acumulada de tempo de não-reparo representa qual a probabilidade de não haver reparo em um determinado tempo. Aqui, quando o tempo é próximo de zero a probabilidade de não-reparo é muito próxima de 100% e quando o tempo é

suficientemente grande a probabilidade de não-reparo será próxima de 0%. A Figura 12 apresenta graficamente essas características.

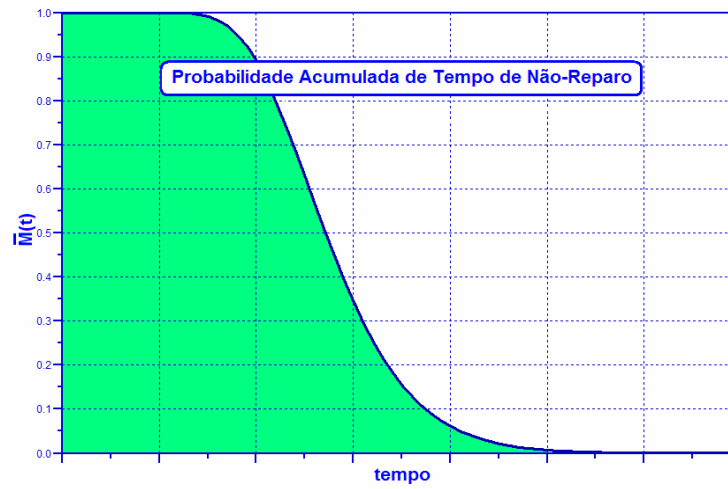


Figura 12 – Função não mantenedibilidade

Novamente a informação é redundante com a da mantenedibilidade, bastando um dos gráficos.

2.3.3.4 Função taxa de reparo

A taxa de reparo indica qual a probabilidade de um item falho até um dado intervalo de tempo, venha a ser reparado no próximo intervalo de tempo. Novamente pode ser representada com três regiões:

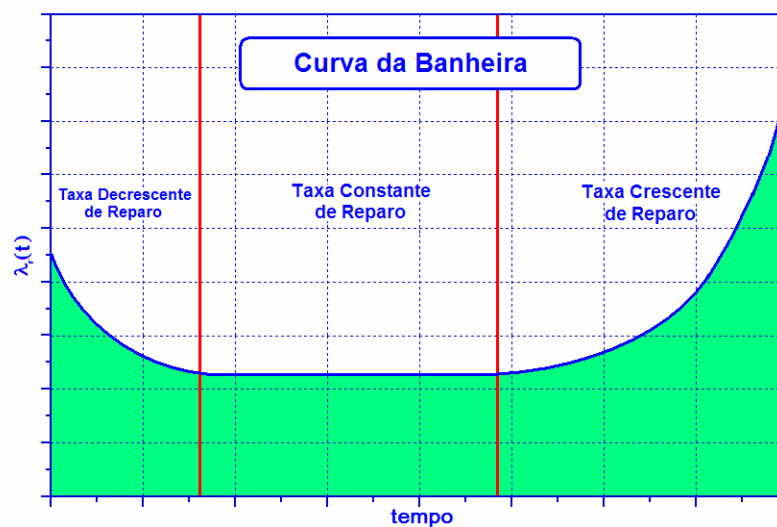


Figura 13 – Taxa de reparo

Na primeira região mostrada na Figura 13 a taxa é decrescente, na segunda região a taxa é constante e na terceira região a taxa é crescente.

A região menos encontrada é a de taxa decrescente, ou seja, a chance de o reparo ser efetuado diminui com o tempo. Esse tipo de situação ocorre quando o diagnóstico gera conclusões erradas e quanto mais se avança com o processo inadequado menor a chance de se efetuar o reparo. Na realidade isso é muito raro de ocorrer e muito difícil de ser encontrado em processos maduros.

A região de taxa de reparo constante indica que a chance de o reparo ter sucesso não se altera com o tempo, isso também é incomum, e representa uma incerteza sobre o procedimento de reparo, em que não se tem certeza de que a atividade de reparo terá sucesso. Isso costuma ocorrer quando são utilizados métodos de tentativa e erro, ou seja, o resultado é incerto. Só é encontrado esse tipo de comportamento quando a equipe de reparo não possui conhecimento total sobre o equipamento em que está trabalhando, ou ainda quando estiver mal-treinada.

A região de taxa de reparo crescente indica que a probabilidade de ocorrer o reparo, dado que o item estava em estado de falha até o instante anterior, aumenta com o tempo. Isso se deve ao aumento da certeza da eficácia do procedimento de manutenção ao longo de seu desenrolar. Esse tipo de comportamento é muito comum para equipes que conheçam bem os equipamentos que estão sendo reparados.

2.3.3.5 MTTR – Tempo médio de reparo

Como já mostrado anteriormente o TTF – “Time To Failure” (tempo até a falha) representa o tempo esperado até a primeira falha do item, como mostrado na Figura 14.

No caso de itens reparáveis, será possível efetuar um reparo.

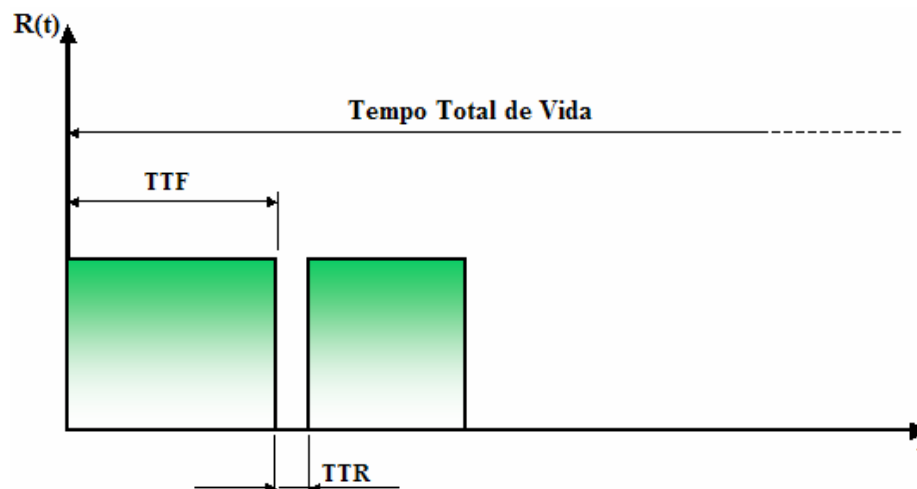


Figura 14 – Tempo de reparo

Daí vem o termo TTR – “Time To Repair” (tempo para reparo) que representa o tempo esperado para que ocorra o diagnóstico e o reparo.

Segundo Leitch (1995) Quando se possui uma série de dados com tempos de reparo é possível encontrar o MTTR – “Mean Time To Repair” (Tempo Médio para Reparo), que também dependerá da distribuição de Reparo.

Os dados de tempo de reparo podem vir de reparos efetuados em diversos equipamentos ou ainda em diversas atividades de reparo do mesmo equipamento, supondo que este tenha sucessivas falhas e reparos ao longo de sua vida.

É possível agrupar os tempos de reparo para qualquer falha que ocorra no equipamento, ou ainda separar por modos de falha, ou seja, ter conjuntos de dados diferentes para cada modo de falha.

Um dos maiores problemas relacionados ao modelamento da Manutenibilidade é a relação direta com os procedimentos humanos. A Manutenibilidade depende de inúmeros fatores como qualificação da mão de obra, acesso aos recursos de reparo, como ferramentas e peças sobressalentes, além é claro de sistemas de orientação como manuais de diagnóstico e reparo.

Justamente pela característica humana, a variância das distribuições de reparo tendem a variar bastante com a diferença de qualificação ou acesso a recursos de reparo.

2.4 Introdução à disponibilidade

A disponibilidade é a possibilidade de um sistema, componente ou serviço executar uma requerida função em um instante de tempo ou em período de tempo. De acordo com Dovich e Wortman (1998), a disponibilidade é tratada como a probabilidade que um item estará disponível quando requerido ou como a proporção do tempo total que um item estará disponível para uso, isto é, a proporção do tempo em que a função é executada.

Simplificando, a disponibilidade é geralmente tratada como a proporção do tempo em que a função foi executada. Por exemplo, se o requisito de operação de uma central telefônica for de 360 dias em um ano e no final de um ano esta só esteve executando suas funções em 350 dias. A disponibilidade será $350/360 = 97,22\%$, ou seja, a central telefônica esteve disponível em 97,22% do tempo desejado.

A disponibilidade é representada pela letra A, de “Availability”, que vem do Inglês.

A disponibilidade também pode ser expressa em um instante, e nesse caso ela pode ser um ou zero, ou seja, está disponível ou NÃO está disponível, como mostrado na Figura 15.

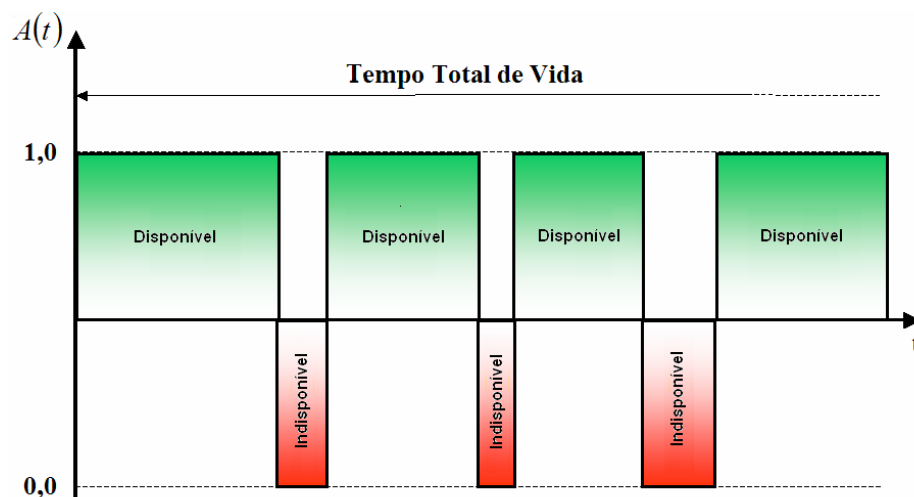


Figura 15 – Disponibilidade instantânea

De modo resumido a Disponibilidade é uma relação entre a confiabilidade e a manutenibilidade, ou ainda a relação entre o “Up Time” tempo de funcionamento, e o “Down Time” tempo parado. A Figura 15 mostra o período de funcionamento (Up-Time) em áreas verdes e os períodos de parada (Down-Time) em vermelho.

Um sistema com grande disponibilidade terá grandes períodos de funcionamento com poucos e curtos períodos de parada.

Como é possível perceber a disponibilidade depende de períodos de funcionamento e períodos de parada que são afetados pelo tempo de reparo.

Como a confiabilidade modela o funcionamento e a manutenibilidade o reparo. A disponibilidade dependerá tanto da confiabilidade quanto da manutenibilidade, sendo uma relação entre as duas medidas. Sendo assim a disponibilidade será afetada pelos fatores que afetam a confiabilidade e pelos fatores que afetam a manutenibilidade.

Alguns contratos são feitos com base na disponibilidade, como é o caso da geração e distribuição de energia e serviço telefônico. Nesses contratos o não cumprimento da disponibilidade pode levar a multas e encerramento de contratos. Sendo assim a disponibilidade costuma ser o alvo de determinadas empresas. Empresas que lidam com processos contínuos em que a parada de um setor implica na parada de todo o processo, costumam ter grande preocupação com a disponibilidade.

2.4.1 Disponibilidade e a estatística

A Disponibilidade é usualmente tratada como uma taxa, isto é, a proporção do tempo em que a função é executada.

A disponibilidade ou “Availability” será tratada por $A(t)$.

2.4.1.1 Disponibilidade instantânea

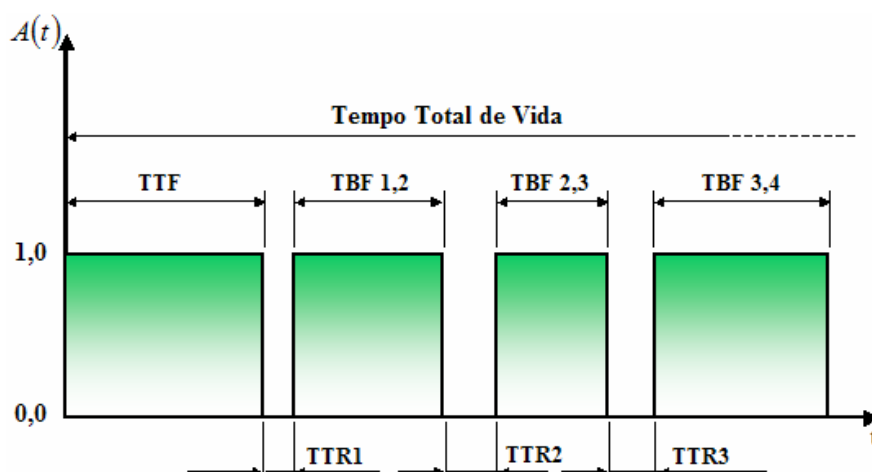


Figura 16 – Disponibilidade instantânea

A Figura 16 representa a disponibilidade instantânea, em que o sistema em análise está disponível ou não.

A disponibilidade instantânea pode ser 1 ou 0, ou seja, está disponível ou não está disponível.

A Disponibilidade é uma relação entre a confiabilidade e a manutenibilidade, ou ainda a relação entre o “Up Time” tempo de funcionamento, e o “Down Time” tempo parado.

Isso quer dizer que o parâmetro disponibilidade traz uma informação resumida de dois outros parâmetros.

2.4.1.2 Indisponibilidade instantânea

É possível ter ainda a indisponibilidade instantânea que terá valor 1 quando o sistema estiver indisponível e valor 0 quando estiver disponível, como apresentado na Figura 17.

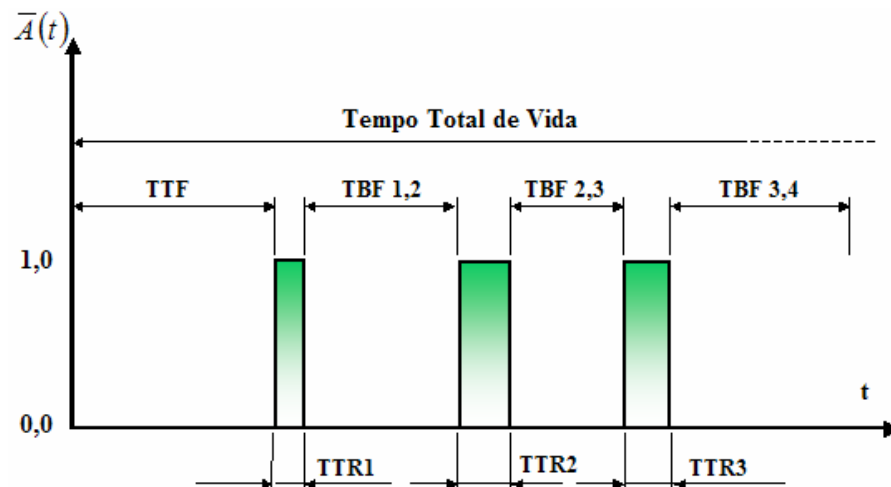


Figura 17 – Indisponibilidade instantânea

2.4.1.3 MTBF – Tempo médio entre falhas

Já havia sido identificado o TTF ou tempo até a primeira falha e o TTR ou tempo de reparo.

Agora supondo que os equipamentos tenham ciclos de operação e reparo. Tendo assim o TBF - (Time between failures) ou ainda tempo entre falhas, como mostrado na Figura 18.

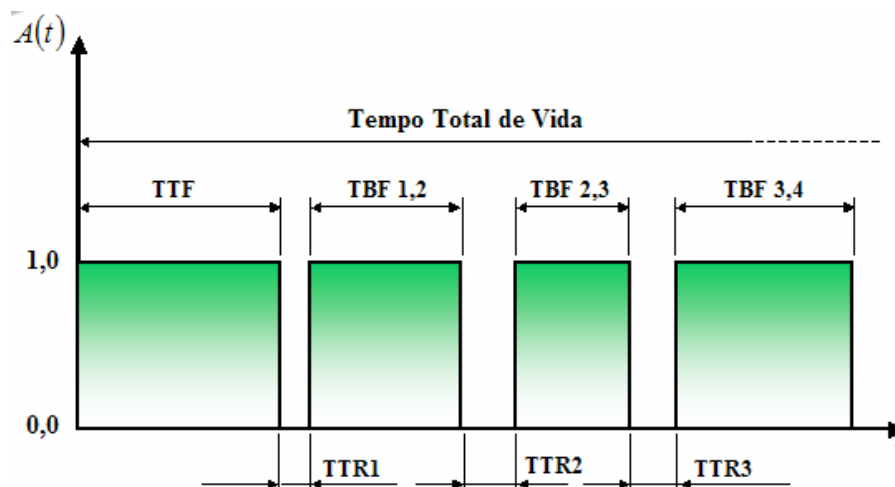


Figura 18 – Tempo médio entre falhas

Se após diversos ciclos de operação for calculada a média dos tempos entre falhas, ter-se-á o MTBF (Mean Time Between Failures) ou tempo médio entre falhas. Para um elemento como o cabeçote de um motor podemos calcular o Tempo Médio entre Falhas (MTBF – Mean Time Between Failures), ou seja, qual o tempo médio que separa as atividades de retífica. Para efetuar este cálculo basta somar todos os intervalos em que o elemento esteve operando e dividir pelo número de falhas.

Algumas vezes é recebida a informação MTBF para um item não-reparável, ou seja, que só pode ser substituído. Nesse caso essa informação está associada ao tempo médio da primeira e única falha possível, ou seja, o MTTF. O MTTF é um caso particular do MTBF, onde é considerada apenas a primeira falha.

2.4.1.4 Disponibilidade média

Além da disponibilidade instantânea, é possível calcular a disponibilidade média num intervalo.

Nesse caso quanto maior for o intervalo mais preciso será o valor encontrado, uma vez que não costuma haver homogeneidade em relação aos tempos de operação, ou seja, é normal encontrar tempos de operação variando bruscamente. Por exemplo: Um automóvel pode passar 3 ou 4 anos

sem falhas e de repente apresentar 4 falhas em 6 meses e depois novamente voltar a ficar 2 ou 3 anos sem falhas.

O mesmo já não ocorre com os tempos de reparo, pela natureza humana do recurso de reparo, os tempos de reparo tendem a não variar tanto.

Também é possível calcular a Indisponibilidade que nada mais será que a porcentagem do tempo em que o sistema em avaliação está indisponível.

$$A^*(T) = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T A(t) \cdot dt, \text{ onde,} \quad (5)$$

$A^*(T)$ = Indisponibilidade em um tempo T

A Indisponibilidade Média pode ser calculada como sendo $1 -$ a Disponibilidade Média.

$$\bar{A}^*(T) = 1 - A^*(T), \text{ onde,} \quad (6)$$

\bar{A}^* = Indisponibilidade média

2.4.1.5 Disponibilidade assintótica

Conforme aumenta cada vez mais o intervalo da disponibilidade média, menor será a influência da variabilidade dos tempos de operação. Quando esse intervalo é suficientemente grande, ou seja, tende ao infinito, tem se o valor da disponibilidade assintótica.

$$A^*(\infty) = \lim_{T \rightarrow \infty} \left\{ \frac{1}{T} \cdot \int_0^T A(t) \cdot dt \right\} \quad (7)$$

Que é dada pelo limite quando o intervalo T tende ao infinito.

A Figura 24 mostra como a disponibilidade média varia conforme o intervalo aumenta e como esse valor tende a uma assíntota, a chamada disponibilidade assintótica.

A Figura 19 também mostra a indisponibilidade média variando até a indisponibilidade assintótica.

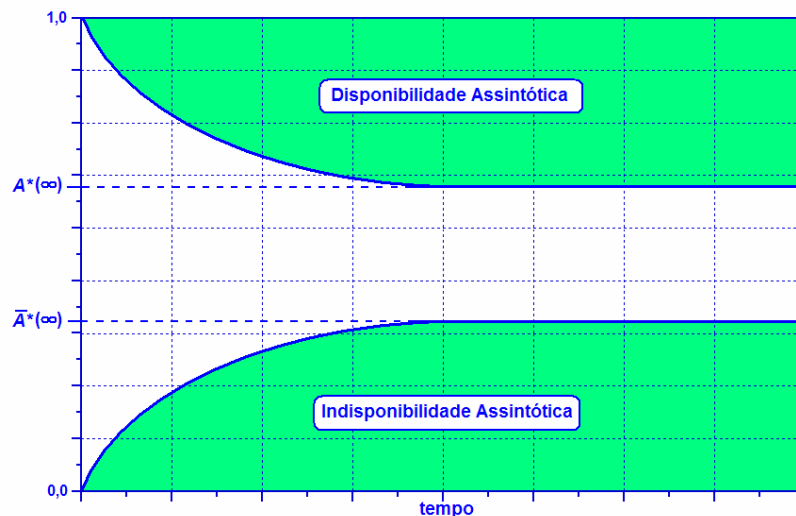


Figura 19 – Disponibilidade assintótica

Segundo Leitch (1995) a disponibilidade assintótica pode ser aproximada pela seguinte equação, onde será igual a uma relação entre o tempo média entre falhas (MTBF) e o tempo médio de reparos (MTTR). Essa aproximação só é válida quando os valores de MTBF e MTTR forem muito menores que o intervalo analisado.

$$A^*(\infty) = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (8)$$

Quando os equipamentos não podem ser reparados, apenas substituídos, a disponibilidade assintótica desse equipamento será igual a zero, ou seja, para um equipamento que não pode ser reparado quando o tempo for suficientemente grande ele terá falhado.

$$A^*(\infty) = 0 \quad (9)$$

2.5 Introdução à segurança

De acordo com Guimarães (2003) a segurança é a capacidade de uma entidade evitar a ocorrência, dentro de condições pré-estabelecidas, de eventos críticos para o seu funcionamento ou catastróficos para seus operadores e meio ambiente.

A segurança também é medida como uma probabilidade, dependente do tempo, da ocorrência de eventos catastróficos, e muitas vezes dos parâmetros de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade.

A segurança propriamente dita não está exclusivamente relacionada com o funcionamento do sistema, pois também depende de fatores de risco a saúde e meio ambiente. Isso quer dizer que é possível ter um sistema muito confiável e pouco seguro e um sistema seguro e pouco confiável.

Por exemplo, se existir a exigência de que um avião esteja disponível 300 dias do ano e este em geral está disponível 320 dias do ano, isso quer dizer que o avião atende aos requisitos de disponibilidade. Porém a taxa de risco de acidentes catastróficos é de um acidente a cada milhão de horas de vôo e no exemplo este índice é superior aos requisitos internacionais. Assim esse é um avião com disponibilidade acima do mínimo desejado e segurança inferior ao exigido.

A segurança está relacionada com a exposição de pessoas e equipamentos a um possível evento catastrófico tendo sido analisada mais profundamente pelas Indústrias Nucleares e Aeroespacial.

O foco em um determinado parâmetro seja ele confiabilidade, manutenibilidade, disponibilidade ou segurança, depende das exigências de cada sistema.

Por exemplo, uma Indústria que projeta trens de pouso irá focar seus esforços em análises de Confiabilidade e Manutenibilidade.

Uma Indústria de aviões irá avançar também nas análises de Segurança, buscando minimizar a probabilidade de eventos catastróficos.

Já a Companhia Aérea terá seu foco na disponibilidade e segurança, garantindo que atividades de manutenção exigidas e recomendadas sejam

cumpridas rapidamente e com critérios, garantindo o máximo de disponibilidade e segurança, dentro de custos aceitáveis.

As análises de segurança levam em consideração os Riscos Econômicos e ao Patrimônio, os riscos à Saúde Humana tanto dos funcionários envolvidos quanto dos riscos relacionados à saúde da população e os riscos relacionados ao Meio-Ambiente. A indústria nuclear é um bom exemplo em necessidade de análises de segurança, pois os riscos envolvidos podem levar tanto a sérios danos econômicos e patrimoniais como a danos severos a saúde e meio-ambiente.

A segurança propriamente dita não está exclusivamente relacionada com o funcionamento do sistema, pois também depende de fatores de risco a saúde e meio ambiente. Isso quer dizer que é possível ter um sistema muito confiável e pouco seguro e um sistema seguro e pouco confiável.

Um bom exemplo é dado pelo “World Trade Center” e o ataque de 11 de setembro de 2001. As torres gêmeas eram muito confiáveis, eram relativamente fáceis de manter, possuíam excelente disponibilidade, porém um detalhe, que não costuma ser considerado nas análises de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade, moldou o destino das torres. São análises de Segurança que avaliam e gerenciam os riscos à segurança.

As análises de Segurança costumam exigir estudos de erros humanos, distribuições demográficas, fenômenos naturais como Chuva, Raios, Ventos, Terremotos, entre outros e eventos externos como sabotagens, atentados, ataques terroristas.

A Segurança é geralmente medida como uma probabilidade. Representando a probabilidade de ocorrência de um conjunto de conseqüências catastróficas, ou seja, não está necessariamente ligada ao tempo ou à uma falha específica e sim à conseqüência catastrófica.

Qualquer evento, ligado a confiabilidade, ou a eventos aleatórios como erros humanos que impliquem em uma conseqüência catastrófica fará parte da função Segurança.

Um equipamento com Segurança igual a um está livre de riscos e não gerará conseqüências catastróficas.

A segurança é representada pela letra S de “Safety”, ou Segurança em Português.

2.6 Análise de sistemas

Até agora foram apresentadas análises de RAMS para componentes, itens e equipamentos com complexidade relativamente baixa. Onde o principal objetivo da análise é entender o comportamento de vida de cada componente. Isso é feito porque na grande maioria das vezes é tecnicamente e economicamente inviável ensaiar o sistema todo.

Porém e se for necessário analisar algum aspecto de um sistema com apenas informações sobre seus componentes?

Esse é caso daqueles que devem escolher componentes para um determinado produto, ou ainda equipamentos para um processo qualquer.

Por exemplo, um avião é entendido como um sistema com subsistemas, motores, sistemas hidráulicos, trens de pouso e esses subsistemas são constituídos de outros subsistemas e/ou componentes.

Já uma planta industrial para produção de papel será um sistema com subsistemas, caldeiras, bombas, misturadores, secadores e esses subsistemas serão constituídos de outros subsistemas e/ou componentes.

Muitas vezes define-se componente como a menor parte substituível, ou seja, uma bomba, pode ser entendida como um sistema, porém se for entendido que uma falha levará a substituição, poder-se-á tratá-la como um componente. Para os que irão efetuar o reparo da bomba na oficina ela será tratada como um sistema. Isso mostra que o entendimento de sistema ou componente varia de acordo com o interesse. Em geral se para o sistema os equipamentos forem exclusivamente substituíveis, ou não reparáveis, esses serão tratados como um componente. Se houver a possibilidade de reparo esses serão tratados como um subsistema.

As análises de sistemas podem ser aplicadas para a Confiabilidade, a Manutenibilidade, a Disponibilidade e a Segurança. Existem algumas ressalvas e considerações que devem ser feitas em relação à Manutenibilidade, pois os tempos de reparo podem não ser afetados quando

são incorporados componentes a um sistema, ou seja, é possível ter sistemas formados por componentes com tempos de reparos distintos, sendo o tempo de reparo associado a cada componente. Por exemplo:

Supondo uma planta para produção de papel. Essa planta possui 1 bomba e uma caldeira, cada subsistema com 3 horas de tempo médio de reparo. Quando associados os dois subsistemas isso não implicará num tempo médio de reparo para os sistemas de 2 horas. Isso basicamente porque as falhas costumam ocorrer isoladamente, ou seja, a falha da bomba não implica na falha da caldeira e vice-versa.

Só que esse tipo de comportamento não é único, é possível ter equipamentos que possuem falhas ligadas, no exemplo, se a bomba falhar automaticamente a caldeira falha, isso faz com que o tempo de reparo seja somado.

Essas características da manutenibilidade estão ligadas à relação de dependência das falhas.

Ainda existem características inerentes à configuração do sistema. No exemplo, se a bomba falhar e algum outro equipamento estiver de alguma maneira impedindo o acesso à bomba que deve ser reparada. Novamente seu tempo de reparo será diferente, pois existe a necessidade de remover equipamentos para ter acesso à bomba.

Nesse caso deve-se acrescentar ao tempo de reparo, o tempo necessário para conseguir acesso a bomba e tempo necessário para repor os equipamentos em seus devidos lugares e com as devidas condições de operação. Em geral esse tipo de ação invasiva pode aumentar a probabilidade de falha dos equipamentos que receberam de algum modo uma interferência.

As análises de sistemas com foco na segurança costumam levar em conta aspectos como erros humanos, fenômenos da natureza, acidentes de origem externa como a queda de uma aeronave e até atentados terroristas.

Como citado por Ley (1968), na segunda grande guerra com o advento das bombas V1 e V2, a confiabilidade de sistemas começou a ser estudada com mais afinco. As bombas V1 e V2 possuíam uma série de componentes com suas respectivas características de confiabilidade. O que se notou é que

a simples a probabilidade de falha do sistema bomba era muito maior que a de seus componentes individualmente, ou seja, a confiabilidade do sistema era dramaticamente afetada pelo número de itens, mesmo que esses possuíssem uma grande confiabilidade individualmente.

Eles perceberam também que os componentes poderiam estar associados em série, ou seja, bastando a falha de um dos componentes para a falha do sistema, ou em redundância, ou seja, que mesmo com a falha de um componente haveria um componente redundante em paralelo capaz de assumir a função do componente falho.

Diversas metodologias de Análise foram desenvolvidas para a análise de sistemas. Algumas com o foco nas análises de riscos e segurança, outras com o foco na manutenção outras com o foco puramente na confiabilidade, e outras com o foco na disponibilidade. Em geral essas análises vêm acompanhadas de análises de custos.

Segundo Barlow (2002) entre as mais famosas metodologias de análise de sistemas, existem:

Diagramas de Blocos, que costumeiramente analisam apenas a confiabilidade dos sistemas. Existem algumas versões híbridas capazes de avaliar disponibilidade de sistemas com componentes sob diferentes políticas de manutenção. Em geral esses problemas são resolvidos através da Simulação pelo Método de Monte Carlo.

Árvores de Falha são extensamente utilizadas para análises de riscos e segurança, conjuntamente com as árvores de eventos formam as análises quantitativas mais aplicadas para setores como a aeronáutica e energia nuclear.

Análises de Markov costumam ser utilizadas para análises de confiabilidade e disponibilidade, atende comumente aos setores de geração e distribuição de energia, além de empresas mineradoras e de petróleo. Normalmente, as cadeias de Markov modelam estados, geralmente analisam sistemas que sofrem degradação e possuem diferentes taxas de transição de estados para cada nível de degradação.

Todos esse métodos de análise possuem vantagens e desvantagens e sua escolha depende do tipo de decisão que deva ser tomada.

2.6.1 Análise por diagrama de blocos

A análise por diagramas de blocos tem por objetivo representar de forma lógica e visual o fluxo de informações de confiabilidade entre os diversos componentes de um sistema.

Cada componente é representado por um bloco. As características de confiabilidade de cada componente deve estar associada aos blocos.

Algumas vezes existem blocos que representam diferentes modos de falha de um mesmo componente, ou ainda, um bloco que representa um sistema ou subsistema. Os blocos podem representar comportamentos humanos, fenômenos da natureza e comportamentos de variáveis econômicas.

Os diagramas de blocos podem ser estáticos ou dinâmicos. Dependendo da informação disponível. Nos diagramas estáticos a única informação que está disponível é a da probabilidade de falha ou confiabilidade de cada componente em um determinado tempo. Em geral esse método é utilizado quando não se possui muitos recursos para efetuar os cálculos.

Nos diagramas dinâmicos existem informações sobre o tipo de distribuição e seus parâmetros para cada componente. As distribuições de frequência podem ser de variáveis aleatórias contínuas ou discretas. Isso permite calcular todos os parâmetros de Confiabilidade, qualquer que seja o valor da variável aleatória, ou seja, em qualquer tempo.

Basicamente existem duas configurações, como mostrado na Figura 20. É possível ter blocos em série ou em paralelo.

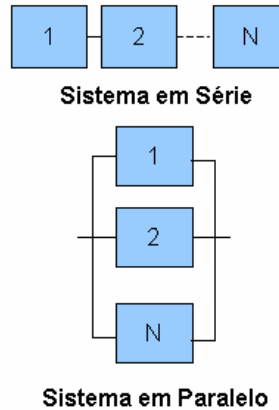


Figura 20 – Sistema em série e em paralelo

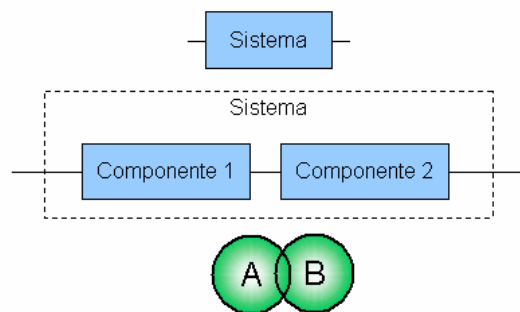
2.6.1.1 Sistemas em série

Cada componente que falhe em um sistema em série fará com que o sistema todo falhe.

Em termos lógicos para que o sistema falhe basta que um “OU” qualquer outro componente em série falhe. O termo “OU” remete ao estudo de probabilidades, representando a União entre os eventos falhos.

Como a teoria de probabilidades prega a união de dois eventos é dada pela soma das probabilidades de cada evento subtraída da intersecção das probabilidades dos dois eventos.

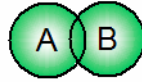
Supondo um sistema com dois componentes em série. Para saber qual a probabilidade de falha do sistema, é necessário efetuar a união da probabilidade de falha de cada evento. Isso é feito da seguinte forma.



$$P = P\{A \cup B\} \quad (10)$$

$$P\{A \cup B\} = P\{A\} + P\{B\} - P\{A \cap B\} \quad (11)$$

Em termos de probabilidade de falha:



$$F_S = F\{A \cup B\} \quad (12)$$

$$F_S = F_A + F_B - (F_A \cdot F_B) \quad (13)$$

Transformando a equação para ter-se a confiabilidade, encontrar-se-á o seguinte:

$$1 - R_S = 1 - R_A + 1 - R_B - ((1 - R_A) \cdot (1 - R_B))$$

$$- R_S = 1 - R_A - R_B - (1 + R_A \cdot R_B - R_A - R_B) \quad (14)$$

$$R_S = R_A \cdot R_B$$

E assim pode-se chegar na equação geral da confiabilidade de sistemas em série:

$$R_S = \prod_{i=1}^N R_i \quad (15)$$

Por exemplo, um automóvel possuirá diversos componentes em série, como mostrado na Figura 21. O motor, o câmbio, a bomba de injeção de combustível, o sistema de refrigeração e o sistema elétrico são essenciais para o automóvel, ou seja, a falha de qualquer um dos subsistemas leva automaticamente a falha do sistema automóvel.

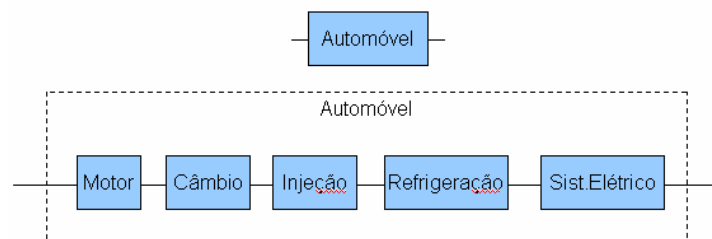


Figura 21 – Sistemas em série de um automóvel

A confiabilidade do sistema será dada pela multiplicação da confiabilidade dos subsistemas e componentes em série.

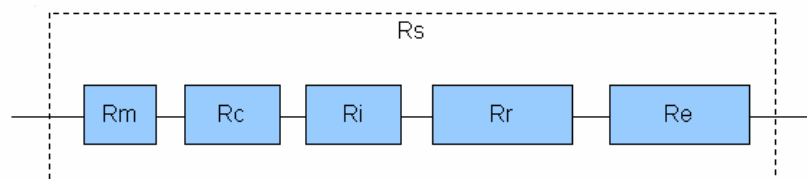
Essa multiplicação pode ser feita para a confiabilidade estática, ou seja, para valores de confiabilidade em um determinado tempo, ou para a confiabilidade dinâmica irá se multiplicar as funções confiabilidade de cada subsistema e componente.

Isso só é válido quando não são avaliados componentes que não possuem a mesma causa de falha, ou seja, em que as causas de falha sejam independentes. Muitas vezes a causa da falha é um fenômeno compartilhado por diversos componentes do sistema, nesse caso quando um fator de causa de falha se manifesta, todos os componentes ligados a essa causa falharão.

Como a Confiabilidade possui valores entre zero e um, a multiplicação de diversos fatores inferiores a um fará com que o resultado seja tanto menor quanto mais fatores estiverem sendo multiplicados. Isso quer dizer que os componentes em série fazem com que a confiabilidade do sistema diminua quanto mais componentes estiverem em série. Esse é o motivo pelo qual é buscado sempre minimizar a probabilidade de falha de cada componente ou subsistema.

É sempre muito importante definir o que é considerado falha do sistema, seus subsistemas e componentes. Em geral os sistemas complexos além de sua total inoperação, onde nenhuma de suas funções são cumpridas, eles podem possuir estados operacionais intermediários, onde operam com diferentes capacidades e cumprem suas funções de modo parcial. Em geral os diagramas de blocos não possuem grande habilidade em lidar com esses estados operacionais intermediários. Por esse motivo deve-se ter claro o que é considerado falha.

Quando é preciso avaliar condições complexas de falha com múltiplos estados operacionais é recomendado utilizar as análises de Markov.



$$R_S = R_m \cdot R_c \cdot R_i \cdot R_r \cdot R_e \quad (16)$$

$$R_S(t) = R_m(t) \cdot R_c(t) \cdot R_i(t) \cdot R_r(t) \cdot R_e(t) \quad (17)$$

Quando todos os componentes do sistema são representados pela distribuição exponencial e estes componentes estão dispostos em série. A confiabilidade do sistema será dada por:

$$R_S(t) = e^{-\lambda_A t} \cdot e^{-\lambda_B t} \cdot \dots \cdot e^{-\lambda_N t} \quad (18)$$

$$R_S(t) = e^{-(\lambda_A + \lambda_B + \dots + \lambda_N)t} \quad (19)$$

$$R_S(t) = e^{-t \cdot \sum_{i=1}^N \lambda_i} \quad (20)$$

O efeito na confiabilidade do sistema quando possui inúmeros elementos em série é demonstrado na Figura 22.

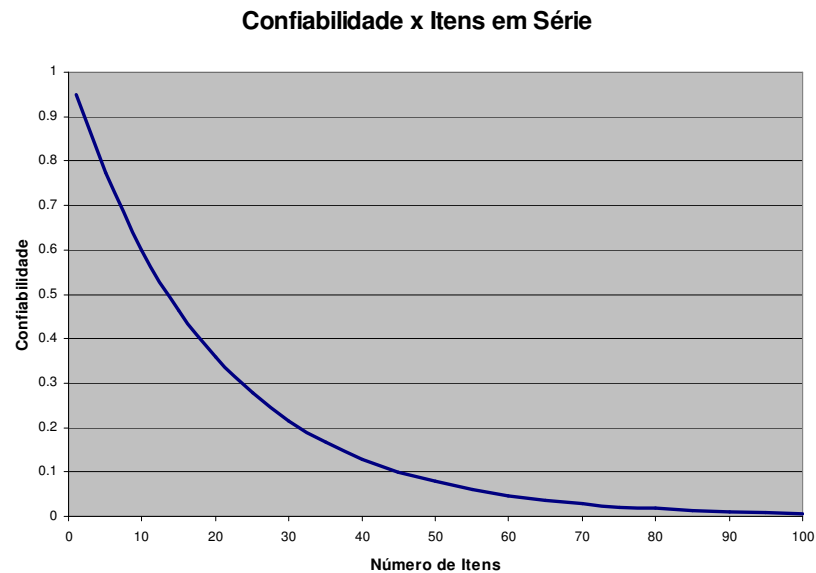


Figura 22 – Confiabilidade de itens em série

2.6.1.2 Sistemas em paralelo

Num sistema paralelo ou redundante, o sistema só chegará à falha quando todos os seus componentes estiverem em estado de falha.

Existem dois tipos de redundâncias a redundância ativa ou paralela ativo e a redundância passiva ou paralela passivo.

A redundância ativa é aquela que consegue transferir função de um item para outro imediatamente. A Figura 23 mostra a representação em diagramas de blocos dos diferentes tipos de redundância.

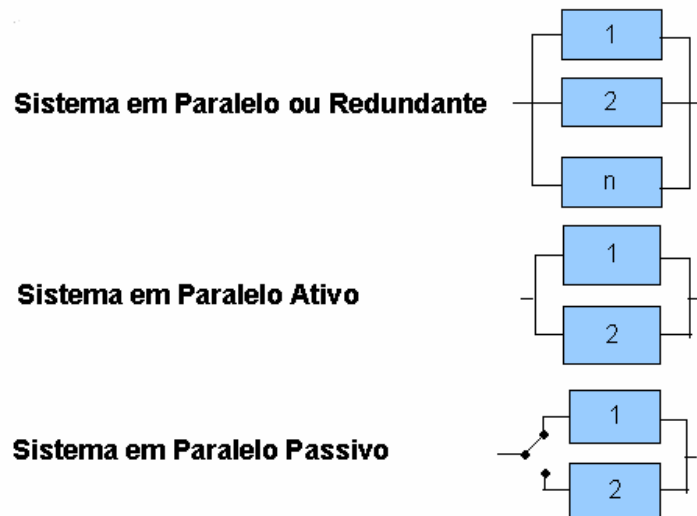


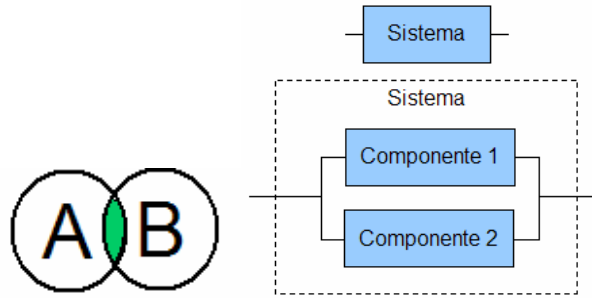
Figura 23 – Tipos de redundância

2.6.1.3 Sistemas em paralelo ativo

Em termos lógicos, para que o sistema falhe é necessário que um E qualquer outro componente em paralelo falhe. O termo E nos remete ao estudo de probabilidades, representando a Intersecção entre os eventos falhos.

Do estudo de probabilidades a Intersecção de dois eventos é dada pela multiplicação das probabilidades de cada evento.

Supondo um sistema com dois componentes em paralelo. Para saber qual a probabilidade de falha do sistema, é necessário efetuar a Intersecção da probabilidade de falha de cada evento. Isso é feito da seguinte forma.



$$P = P\{A \cap B\} \quad (21)$$

$$P\{A \cap B\} = P\{A\} \cdot P\{B\} \quad (22)$$

Sendo assim a probabilidade de falha e a confiabilidade do sistema serão:

$$F_S = F_A \cdot F_B \quad (23)$$

$$1 - R_S = (1 - R_A) \cdot (1 - R_B) \quad (24)$$

$$1 - R_S = 1 - R_A - R_B + R_A \cdot R_B \quad (25)$$

$$R_S = R_A + R_B - (R_A \cdot R_B) \quad (26)$$

A equação geral da Probabilidade de Falha é dada por:

$$F_S = \prod_{i=1}^N F_i \quad (27)$$

Em termos de confiabilidade a equação dependerá do número de itens em paralelo. Aqui serão apresentadas as equações para 2 e 3 itens.

$$R_S = R_1 + R_2 - (R_1 \cdot R_2) \quad (28)$$

$$R_S = R_1 + R_2 + R_3 - (R_1 \cdot R_2) - (R_1 \cdot R_3) - (R_2 \cdot R_3) + (R_1 \cdot R_2 \cdot R_3) \quad (29)$$

Diferentemente da configuração em Série a configuração em paralelo tem sua confiabilidade aumentada quanto maior for o número de itens em paralelo.

Essa é a característica da redundância que faz com a probabilidade de sucesso aumente, uma vez que uma falha em um único item não implicará na falha do sistema.

Muitas vezes a escolha de algum tipo de redundância é a única maneira de reduzir a probabilidade de falha de um sistema.

2.6.1.4 Sistemas em paralelo passivo

A configuração em paralelo passivo possui apenas uma diferença em relação ao paralelo ativo. No paralelo ativo, não existe tempo de chaveamento e o mecanismo de chaveamento possui probabilidade de falha desprezível.

Esse é o caso em que todos os componentes em paralelo que ficam funcionando constantemente, e a falha de um dos componentes não faz com que o sistema fique fora de operação por um tempo considerável até que o mecanismo de chaveamento transfira a função para outro elemento em paralelo.

Um exemplo de sistema paralelo ativo são os transformadores de unidade transformadora de alta tensão em baixa tensão. Imagine uma estação com três transformadores em paralelo, eles sempre estão operando com capacidade de 33%. Quando um dos transformadores falha, os outros dois passam a operar imediatamente com capacidade de 50%. Se mais um dos transformadores falhar o único transformador restante deverá operar com 100% da capacidade.

Nesse caso o mecanismo de chaveamento possui probabilidade de falha e tempo de chaveamento desprezíveis.

No caso da configuração redundante passiva o sistema de chaveamento não pode ser desprezado. Tanto do ponto de vista operacional, já que o tempo de chaveamento é grande o suficiente para não poder ser desprezado, afetando assim a disponibilidade do sistema. Como do ponto de vista da confiabilidade já que a probabilidade de falha não pode ser desprezada. Sendo assim a confiabilidade de um sistema paralelo passivo poderá, numa simplificação, ser igual à confiabilidade do sistema em paralelo ativo em série com a confiabilidade do mecanismo de chaveamento.

Nessa simplificação, mostrada na Figura 24, a configuração em redundância passiva não deixa de ser uma configuração híbrida em que existem as configurações série e paralelo ativo.

Num exemplo, de configuração em paralelo passivo, existem duas máquinas que são capazes de garantir o fluxo de produção peças

automotivas. Quando uma das máquinas falha a outra é colocada em operação após o re-direcionamento da linha de produção. Esse procedimento possui uma probabilidade de falha associada a ele, além de levar um certo tempo. Sendo assim a confiabilidade do sistema deve levar em conta essa probabilidade de falha e a disponibilidade do sistema deve considerar o tempo de re-direcionamento da linha.

A escolha por um tipo ou outro de redundância estará relacionada primeiramente com as características de operação dos componentes, muitas vezes é impossível colocar um sistema em configuração paralela ativa, isso porque não é possível efetuar o chaveamento sem levar um tempo considerável e se precisar de um sistema complexo de chaveamento cuja probabilidade de falha não poderá ser desprezada. É possível optar por sistemas de chaveamento extremamente eficientes e a escolha por eles será feita após considerações sobre os custos e riscos associados a perda da operação. Normalmente, o paralelo passivo não possui o sistema de chaveamento em série com todo o sistema em paralelo e sim com o item em dormência, como mostrado na Figura 25. O problema dessa realidade é que não é possível calcular diretamente as informações de RAMS de um sistema assim, sendo necessária a utilização de um método de simulação como o método de Monte Carlo.

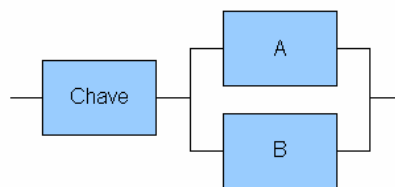


Figura 24 – Sistema em paralelo passivo simplificado

$$R_S = R_{CHAVE} \cdot [R_A + R_B - (R_A \cdot R_B)] \quad (30)$$

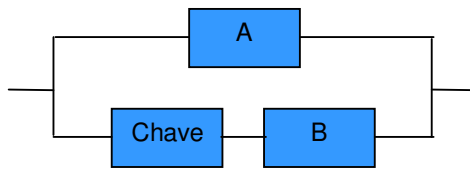


Figura 25 – Sistema em paralelo passivo real

2.6.2 Disponibilidade de sistemas

A análise de sistemas também pode ser aplicada à disponibilidade. É possível calcular a disponibilidade para as mesmas configurações. Por exemplo, em uma configuração em série a disponibilidade será dada por:

$$A_S(t) = A_1(t) \cdot A_2(t) \cdot \dots \cdot A_N(t) \quad (31)$$

$$A_S(t) = \prod_{i=1}^N A_i(t) \quad (32)$$

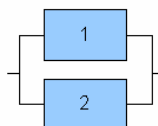


De modo semelhante ao cálculo da confiabilidade, o cálculo dos sistemas em paralelo ativo será feito para o seu complemento, ou seja, para a indisponibilidade, sendo assim:

$$\bar{A}_S(t) = \bar{A}_1(t) \cdot \bar{A}_2(t) \cdot \dots \cdot \bar{A}_N(t) \quad (33)$$

$$\bar{A}_S(t) = \prod_{i=1}^N \bar{A}_i(t) \quad (34)$$

$$\bar{A}_S(t) = 1 - A_S(t) \quad (35)$$



Capítulo 3 – Por que gerir?

O capítulo 3 busca apresentar as razões pelas quais a gestão de RAMS se faz necessária. Partindo do histórico da gestão de RAMS e seguindo por diversos aspectos de influência no sucesso de empresas desenvolvedoras de produtos.

3.1 Histórico

3000 A.C.

As análises de RAMS tem seu histórico atrelado aos desastres.

No principio as técnicas de RAMS eram tratadas como manuais de boas práticas, tendo seus primeiros registros entre os Sumérios, 3200 anos antes de Cristo e pelos Egípcios na construção das pirâmides (Rodrigues, 2007).

1915 a 1919 – Primeira Guerra Mundial

A iniciativa de deixar de tratar a gestão de RAMS de modo implícito deu-se na primeira guerra mundial com os sucessivos acidentes com as primeiras aeronaves e geração e operação material bélico. Algumas batalhas eram decididas baseadas simplesmente no não funcionamento de um tanque, um avião ou as armas de mão. Sem contar nos casos em que os aviões caíam por mal funcionamento, sobre as próprias tropas ou quando a munição explodia fora de hora (IBQN, 2007).

1939 a 1945 – Segunda Guerra Mundial

A necessidade da geração da teoria por trás das análises de RAMS se fortaleceu na Segunda Guerra, afinal os sistemas haviam se tornado muito mais complexos. Com o advento das bombas voadoras V1 em 1942 e mais tarde as bombas V2 pelo cientista Wernher Von Braun percebeu-se o grande potencial desses equipamentos para os caminhos da guerra. Essas bombas tinham a missão de serem lançadas da Alemanha e cair com certa precisão em alvos Ingleses. Como esses equipamentos carregavam um sistema

eletrônico de controle ainda muito primitivo, a confiabilidade tornou-se ponto chave para o sucesso do programa. Foi nesse cenário em que os princípios da confiabilidade foram enunciados. Mesmo com uma baixa taxa de sucesso as bombas V1 e V2 estiveram próximas de definir os rumos da Segunda Guerra (Ley, 1968).

1949 – Pós-segunda Guerra Mundial

As forças armadas americanas desenvolvem a análise de Modos e Efeitos de Falha FMEA/FMECA, gerando assim o padrão militar MIL-STD-1629 (Departamento de Defesa Americano, 1998).

Década de 50

Com origem na Segunda Guerra, um dos pais da Confiabilidade e ex-membro da equipe de Von Braun, Robert Lusser, um dos projetistas do Messerschmitt, finaliza parte de seus trabalhos na área de Confiabilidade, enunciando a Lei de Lusser, que diz que a Confiabilidade de um sistema é um produto da Confiabilidade de seus componentes (Ley, 1968).

Também na década de 50 as indústrias aeroespacial e nuclear iniciam estudos específicos na área de segurança.

Década de 60 – Guerra Fria

Na década de 60 com a corrida espacial e o advento dos mísseis balísticos intercontinentais, as técnicas de confiabilidade são incrementadas, como o advento das análises por Árvores de Falha em 1961 (Barlow, 2002).

Década de 70 – Acidentes

A década de 70 foi marcada por acidentes e pela implementação das análises de risco em centrais nucleares. Em 1974 o acidente de Flixborough, após uma explosão de ciclohexano deixou 28 mortos e 104 feridos. Em 1976 em Seveso um vazamento de dioxina exigiu a evacuação de uma vasta área. Algo similar ocorreu em TMI em 1979 com o vazamento de gases radioativos (Wahlström et al., 1994). Na década de 70 algumas indústrias químicas e de mineração iniciam a implementação de análises de RAMS.

Década de 80 – Grandes Desastres

Na década de 80 os acidentes de Cubatão e México, com 500 mortos cada, Bhopal com 2000 mortos e finalmente Chernobyl em 1986 levaram a consolidação das Análises de RAMS e a obrigatoriedade de sua larga aplicação em instalações nucleares (Wahlström et al., 1994). Foi na década de 80 que indústrias como a automobilística e de telecomunicações começam a investir mais fortemente em análises de RAMS.

Década de 90

A década de 90 foi marcada pelo interesse, de outros setores, nas análises de RAMS e pela maior aplicação em todos os meios indústrias impactados pela confiabilidade e segurança. As primeiras normas para a gestão e projeto de sistemas comerciais começaram a ser desenvolvidas na década de 90. Como é o caso da IEC-61508 (IEC, 1998). Até então as normas tinham origem nas indústrias militar, nuclear e aeroespacial.

3.2 Quem não vive sem RAMS?

O outro extremo são empresas que por questões óbvias serão avaliadas pela confiabilidade de seus produtos como é o caso das empresas que são exigidas pela segurança seja de pessoas, seja do meio ambiente, e de empresas impactadas pelo custo das falhas.

Alguns setores profundamente impactados por RAMS, são:

- Usinas nucleares;
- Equipamentos médicos;
- Indústria de defesa e aeroespacial;
- Indústrias de transformação;
- Geração e distribuição de energia;
- Telecomunicações.

No caso dos setores que envolvem riscos as pessoas, meio ambiente e é claro ao lucro da empresa em caso de parada do sistema pode-se citar:

Usinas Nucleares: Esse setor já mostrou seu potencial destrutivo no acidente de Chernobil em 1986. Além de ser uma instalação muito cara, com um custo operacional elevado, o que faz com que os custos por hora fora de operação sejam elevadíssimos;

Indústrias Química, Petroquímica e Mineração: Além do aspecto econômico, já que possuem alto custo de parada não prevista, carregam sérios riscos às pessoas e ao meio ambiente;

As indústrias de **Defesa, Aeroespacial e de Equipamentos Médicos** carregam enormes riscos econômicos, não tão atrelados à operação como no caso dos processos contínuos, e sim atrelados ao valor dos equipamentos em questão. Porém novamente o grande peso está nos riscos à vida das pessoas envolvidas;

As Empresas de **Telecomunicações, Geração e Distribuição de Energia e Serviços** (Automação Bancária e Comercial) pagam severas multas por falhas de atendimento e disponibilidade, o que faz que seu interesse seja focado no aspecto econômico.

Fica claro que fornecedores dos setores apontados acima terão em algum momento que implementar a Gestão de RAMS, portanto nesses casos, quanto mais cedo forem iniciados os trabalhos mais cedo será possível criar diferencial competitivo.

3.3 Por que RAMS é importante?

A gestão de RAMS pode ser mais ou menos importante dependendo de como esses parâmetros interferem na imagem, na qualidade e até na rentabilidade das empresas, abaixo alguns pontos que podem compelir uma empresa a voltar sua atenção a gestão de RAMS.

- Reputação;
- Custos de Garantia;
- Negócios Futuros;
- Requerimentos Contratuais;
- Gestão de Ativos Físicos;
- Satisfação do Consumidor;
- Regulamentação de Segurança;

São diversos os motivos que levam uma empresa a implementar algum tipo de Gestão de RAMS, entre eles:

A implementação pode se dar por **exigência contratual** como é o caso das concorrências públicas, e por regulamentação, onde leis obrigam determinadas ações nesse sentido.

A **reputação** da empresa, que pode afetar as vendas e os negócios futuros da empresa. Grandes acidentes têm impactos extremamente negativos na imagem da empresa.

Em seguida, quando os **custos com ações de reparo e contingência** são elevados, novamente a implementação de um modelo de Gestão de RAMS se faz necessária. É o caso de grandes assistências técnicas que se forem dimensionadas corretamente podem reduzir os custos da operação.

Um dos aspectos mais difíceis que fundamentam uma implementação é o impacto que uma implementação pode ter nas **vendas**. O maior problema nessa situação é determinar qual seria o aumento em vendas caso ocorram melhorias nos parâmetros de RAMS.

3.4 Que questões RAMS responde?

A gestão de RAMS busca dar suporte à tomada de decisão, ela por si só não irá levar a melhorias, mas permitirá identificar aspectos críticos e monitorar a resposta a nossas ações de melhoria.

A gestão de RAMS ajudará a empresa a alcançar respostas para questões que podem ser fundamentais para a empresa, como:

- Quanto nos custa um determinado tipo de falha?
- Qual a previsão de vida do nosso produto?
- No caso de uma falha, quanto tempo nosso equipamento ficará sem operar?
- O que se pode fazer para prevenir falhas?
- Quais são os fatores críticos que levam os meus equipamentos a falhar?
- Qual o custo do meu produto durante todo seu período de vida?

As Linhas de Aplicação de RAMS

Basicamente existem três linhas de Aplicação de RAMS. Essas linhas diferem em aspectos fundamentais de abordagem. São elas:

Desenvolvimento de Produtos

Em geral os desenvolvedores de produtos estão preocupados em gerar o produto com parâmetros adequados de Confiabilidade e Manutenibilidade.

Para tanto eles devem buscar prever esses índices, já no projeto conceitual, refazendo as análises preditivas após o projeto e verificando a adequação dos índices com ensaios e testes.

Os responsáveis pelo desenvolvimento de produtos irão buscar entender o impacto os parâmetros de RAMS em todo o ciclo de vida do produto, minimizando custos.

Transformação e Manufatura

Essa linha é focada na busca da garantia da Disponibilidade.

Os responsáveis devem encontrar as melhores técnicas de manutenção para garantir que uma determinada planta gere os menores custos possíveis por hora parada.

Impactados pela Segurança

As análises de segurança são efetuadas tanto para Desenvolvedores de Produtos quanto para Indústrias de Transformação e Manufatura. As análises de segurança são divididas em uma nova linha principalmente porque sua metodologia difere da metodologia aplicada nos dois casos anteriores. O interesse das análises de Segurança não está necessariamente ligado com os custos do ciclo de vida de um produto ou uma planta e sim com o impacto, para as pessoas e o meio ambiente, de eventos indesejados.

Capítulo 4 – Onde aplicar?

4.1 Conceitos e definições

O sucesso de muitas empresas que desenvolvem produtos está relacionado a sua capacidade de suprir o mercado com produtos capazes de atender satisfatoriamente diversos aspectos atrelados aos desejos e anseios do consumidor. Obviamente os parâmetros de RAMS podem estar relacionados entre esses desejos.

Resta entender em qual instância dentro das empresas que desenvolvem produtos a gestão dos parâmetros de RAMS faz mais sentido. Nessa discussão será abordado o ciclo de vida dos produtos, o controle da qualidade em cada um desses ciclos e por fim as estruturas gerais de gestão dentro da vida dos produtos e sua relação com o negócio da empresa.

4.2 O Ciclo de vida dos produtos

Na Tabela 1 é apresentado de modo simplificado o ciclo de vida de um produto, desde a fase de levantamento de requisitos até o descarte. Obviamente como simplificação esse ciclo não representa a totalidade dos produtos e sim a grande maioria dos projetos. Na realidade está sendo considerado que um produto passa a existir a partir da visualização da solução de uma necessidade, sendo assim a primeira fase seria o detalhamento da necessidade.

Tabela 1 – O Ciclo de vida dos produtos

Levantamento dos requisitos		
Projeto conceitual		Verificações e otimizações
Projeto detalhado		
Fabricação	Montagem	Testes
Armazenamento	Transporte	Vendas
Operação		Manutenção
Descarte		

Na Tabela 2 cada uma das fases apresentadas na Tabela 1 é detalhada com citações de técnicas e referências para aqueles leitores que desejarem um primeiro passo para aprofundamento.

Tabela 2 – Detalhamento das fases do ciclo de vida de um produto

Levantamento de requisitos	é o detalhamento da necessidade do consumidor, algumas técnicas como o QFD “Quality function deployment” e “Conjoint analysis” (Pullman et al., 2001) são utilizadas nessa fase para garantir que o produto alcance os anseios dos consumidores atribuindo características técnicas e de engenharia, montando assim os requisitos técnicos para o produto.
Projeto executivo	
Projeto conceitual	Também chamado de projeto básico por Kaminski (2000), ou ainda de projeto preliminar por Hyman (1998). Nessa fase os primeiros esboços são feitos, são geradas diversas soluções possíveis e através de métodos comparativos, como tabelas de decisão as opções são restringidas.
Projeto detalhado	De acordo com Hyman (1998), nessa fase são calculadas as dimensões, selecionados os materiais, geradas as orientações de manufatura, desenhos, esquemas, e critérios de qualidade de manufatura do produto.
Verificações e otimizações	Essas atividades ocorrem concomitantemente com as atividades de projeto conceitual e detalhado, elas buscam garantir que não só os requisitos estejam sendo atendidos como buscam garantir que as soluções escolhidas sejam as melhores.
MANUFATURA	
Fabricação	Fase do processo de manufatura responsável pela

	fabricação de componentes que precisam ser gerados, e não são comprados prontos. Exemplo: peças fundidas ou injetadas, peças usinadas, pintura, etc...
Montagem	Fase responsável pela agregação dos diversos componentes.
Teste	Os testes de manufatura buscam verificar se os requisitos de manufatura foram atendidos e que o produto gerado atende as especificações. Não necessariamente os testes devem ser feitos após a montagem, muitas vezes são feitos durante o processo de montagem.
DISTRIBUIÇÃO	
Armazenamento	Devem garantir a manutenção das características essenciais dos produtos. Como forma e funcionalidade, sem acrescentar solicitações como vibração, temperatura e umidade além dos padrões aceitáveis.
Transporte	
Venda	
OPERAÇÃO	
Operação	Nessa fase o produto deve cumprir suas funções respeitando os limites toleráveis de variação de desempenho e segurança.
Manutenção	Essa atividade, em geral, ocorre concomitantemente com a operação, e de acordo com Souza e Molinari (2005) é responsável por garantir a funcionalidade dos sistemas ao longo de toda vida útil planejada..
DESCARTE	
Descarte	Responsável pela retirada dos produtos que não respeitam mais os requisitos de operação e pelo desmembramento e encaminhamento dos componentes respeitando o meio ambiente, reutilizando ou reciclando.

4.3 A Gestão do ciclo de vida

Cada uma das fases pela qual o produto passa durante seu ciclo de vida possui uma gestão específica, até porque algumas delas são tratadas como projetos e outras como operações. Resta entender em qual das fases do ciclo de vida são necessárias intervenções para garantir uma melhoria contínua nos parâmetros de confiabilidade, manutenibilidade e segurança. Os conceitos a seguir buscam apresentar as características de gestão de cada uma das fases do ciclo de vida e como a qualidade deve ser gerida em cada uma das fases. Esses conceitos permitem abrir uma extensa discussão sobre onde aplicar a gestão de RAMS e os motivos para essa escolha.

4.3.1 Levantamento de requisitos

Na fase de levantamento de requisitos é utilizada a gestão de projeto, com grande foco na gerencia de recursos humanos, já que essa fase costuma ser multidisciplinar, necessitando de um grande número de profissionais de diferentes áreas. Dependendo da complexidade do produto pode-se ter um processo mais longo e mais imprevisível, em ciclos de reuniões de pré-projeto.

Os diversos aspectos inerentes e importantes ao sucesso de um produto deverão ser abordados nessa primeira fase. A Figura 26 ilustra os aspectos que podem influenciar o sucesso de um produto.

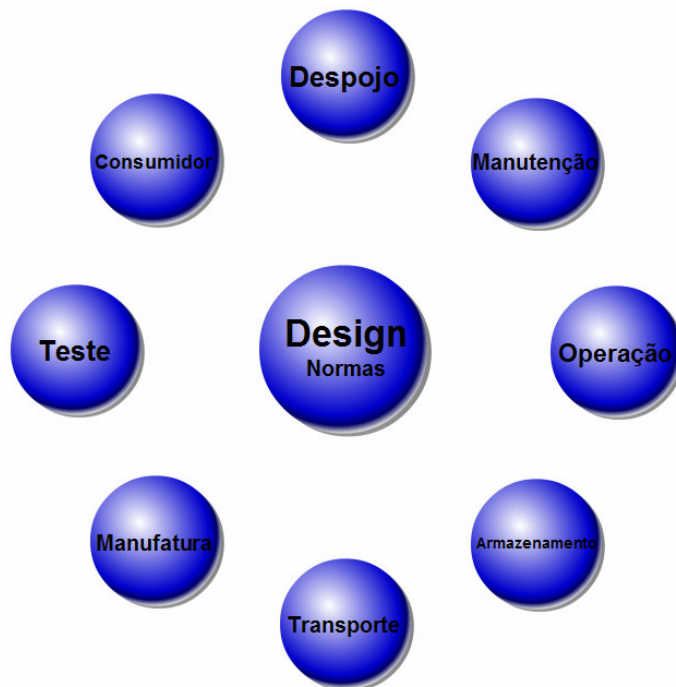


Figura 26 - Aspectos de influencia no sucesso do produto

Dada a multidisciplinaridade dessa fase podem estar presentes nos encontros e no processo, engenheiros de diferentes especialidades, pessoal de marketing, pessoal de publicidade, consumidores, representantes da sociedade, psicólogos, desenhistas industriais, pessoas da área financeira, analistas do mercado de ações, entre muitos outros profissionais que podem trazer informações significativas para a geração de um produto de sucesso.

Algumas ferramentas de gestão podem ser utilizadas com grande eficiência e eficácia nessa fase, entre elas:

- QFD – Quality Function Deployment ou Função Desdobramento da Qualidade (Brombacher et al., 2004). Técnica utilizada para levantamento de requisitos, comparações entre produtos concorrentes e definições de projeto;
- Conjoint Analysis (Pullman et al., 2001). Técnica utilizada para determinar qual combinação de um número limitado de atributos é preferida pelos consumidores. Muito utilizada para avaliar a aceitação dos consumidores a novos produtos;

- Brainstorming, Philips (2003). Técnica para geração e seleção de idéias e soluções;
- Técnica Delphi, Philips (2003). Técnica para avaliação utilizando muitos profissionais especializados de modo separado e pode possuir diversas rodadas de coleta de análises;
- Análise SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats), Philips (2003). Técnica utilizada para levantamento de pontos fortes, pontos fracos, oportunidades e ameaças e criação de planos estratégicos.

4.3.2 Projeto executivo

De acordo com PMBOK (PMI, 2004), a fase de projeto executivo, que compreende o projeto preliminar e o projeto detalhado, traz a gestão de Projetos, com suas nove áreas de gerenciamento, sendo elas:

1. Gerenciamento da integração;
2. Gerenciamento do escopo;
3. Gerenciamento de tempo;
4. Gerenciamento de custos;
5. Gerenciamento da qualidade;
6. Gerenciamento de riscos;
7. Gerenciamento das comunicações;
8. Gerenciamento de recursos humanos;
9. Gerenciamento de aquisições.

Cada uma dessas áreas é mais bem descrita no PMBOK (PMI, 2004), que também apresenta técnicas de gestão específicas para cada uma. Essas não serão abordadas especificamente, pois isso tiraria o foco do presente trabalho.

4.3.3 Manufatura, distribuição, operação e descarte

Em seguida vêm as fases; operacionais, manufatura, distribuição, operação e descarte. Para produtos únicos e específicos, como é o caso grandes navios e construções, algumas dessas fases poderão ser geridas como projetos. Já para produtos seriados essas fases poderão ser geridas como operações.

Resumindo o ciclo de vida de um produto possuíra duas estruturas de gestão, a gestão de projetos utilizadas na fase de levantamento de requisitos e a gestão de operações utilizada nas fases de manufatura, distribuição, operação e descarte.

De acordo com o PMBOK (PMI, 2004), Projetos e Operações diferem basicamente porque as operações são contínuas e repetitivas e os projetos são temporários e únicos.

4.4 Projeto executivo, projetos e programas

Algo costumeiro nas empresas é tratar as atividades que envolvem um produto como um projeto, outras empresas já tratam de programas e ainda existe o conceito de Projeto Executivo (Design). Esses três conceitos são facilmente confundidos e por esse motivo será explicitado como esses três conceitos serão tratados no presente trabalho.

Juntamente com esses conceitos é importante tratar a qualidade dentro dessas três estruturas. Primeiramente é importante tratar da definição de qualidade.

Segundo a ASQ (Hyman, 1998), Qualidade pode possuir três significados:

1. Baseado nas percepções dos consumidores de um projeto de produto e o quão bem esse se ajusta às especificações originais;
2. A habilidade de um produto ou serviço satisfazer necessidades explícitas ou implícitas;
3. Encontrada pela conformidade aos requerimentos estabelecidos por uma organização.

Mesmo a definição da ASQ não é definitiva e pode confundir, por esse motivo os tópicos subseqüentes irão abordar as diferentes características no conceito de qualidade quando esta é abordada no produto, no projeto executivo, no projeto e por fim nos programas.

4.4.1 Projeto executivo

Por uma questão de compatibilidade com os termos oriundos das bibliografias em Inglês nesse trabalho Projeto Executivo será tratado como sendo uma das definições de “Design”.

Devem-se acrescentar os conceitos de “Design” e Engenharia de Sistemas, entenda-se que estes conceitos estão sendo apresentados, pois apenas estes novos conceitos são capazes de tratar sistemas complexos, que extrapolam a definição de produto.

De acordo com Hyman (1998), design é uma abordagem metódica para a solução de uma classe em particular de problemas grandes e complexos. E de acordo com a ABET – Accreditation Board for Engineering and Technology, design é o processo de divisão de um sistema, componente ou processo para encontrar as necessidades desejadas. É um processo de tomada de decisão (geralmente interativo), no qual as ciências básicas, matemática, e ciências da engenharia são aplicadas para converter recursos, de maneira otimizada, em um estado objetivo. Dentre os elementos fundamentais do projeto estão o estabelecimento de objetivos e critérios, síntese, análises, construção, testes, e avaliação.

Ainda de acordo com a ABET, uma variedade de aspectos deve ser lembrada e reconhecida pelos envolvidos no projeto como fatores econômicos, segurança, confiabilidade, estética, ética e impacto social.

Para a seqüência do trabalho, Design ou Projeto Executivo será entendido como um conjunto de documentos de especificação que permitem a geração do produto ou serviço. Em geral quando se adquire o projeto de um televisor não se recebe os documentos advindos do projeto e sim os documentos resultantes do projeto executivo, que são desenhos técnicos, desenhos de conjunto e de fabricação, esquemas de montagem, etc.

4.4.2 Qualidade de produto

O Projeto executivo terá interferência imediata, mas não exclusiva, na qualidade do produto, afinal a qualidade do produto também está atrelada a qualidade da manufatura.

Será definida a qualidade de um produto, a sua adequação aos desejos dos consumidores aos quais esse produto se destina. Porém é necessário lembrar que existem requisitos advindos de outros consumidores que não os que tratarão da operação do produto. O que precisa ser levantado são os requisitos de cada um dos consumidores do produto que participam do ciclo de vida do mesmo, isso quer dizer que o produto, com qualidade total, será adequado aos requisitos de:

- Manufatura;
- Teste;
- Acondicionamento;
- Distribuição e transporte;
- Operação (Consumidor regular);
- Manutenção;
- Descarte.

Afinal cada um dos consumidores acima terá seus próprios requisitos, e que podem ser até conflitantes, porém encontrar o equilíbrio no atendimento desses requisitos é a chave da qualidade de um produto.

4.4.3 Projeto

De acordo com o PMBOK (PMI, 2004), projetos ou “projects” são empreendimentos temporários com o objetivo de criar um produto ou serviço único.

De acordo com a norma da NASA NPR 7120.58 (2002) (NASA Program and Project Management Processes and Requirements), Projetos são atividades significantes de um programa e é caracterizado como tendo metas, objetivos, requerimentos, Custos do Ciclo de Vida (LCC), um começo e um fim.

O mais importante a ressaltar em um projeto, é que ele é constituído de tarefas delimitadas no tempo, ou seja, não possui operações em seu trato. Os projetos possuem um começo e um fim bem definidos.

Um projeto gera um conjunto de documentos para organização e controle das atividades do projeto executivo. Um projeto gera cronogramas, planos de investimento, planos para alocação de recursos, análises de risco, etc.

4.4.4 Qualidade de projeto

A qualidade de um projeto será função da eficiência das ferramentas de gestão que orientam o projeto. É possível ter um produto bem adaptado aos anseios dos consumidores e ao mesmo tempo ter um controle do Projeto Executivo mal gerido e de baixa qualidade, apesar de ser uma situação difícil de verificar na realidade. Obviamente um projeto executivo bem gerido terá maior chance de gerar um melhor produto, porém a relação não é direta.

O consumidor do projeto sempre deseja que esse ocorra de modo previsível e seguro, com controle de prazos, recursos e custos. Garantindo que o risco embutido em cada fase do projeto seja aceitável.

4.4.5 Programas

De acordo com a norma da NASA NPR 7120.58 (2002) (NASA Program and Project Management Processes and Requirements), os Programas são a maior atividade na corporação, que define as metas, objetivos, requerimentos, normas, e consiste de um ou mais projetos.

Também de acordo com o PMBOK (PMI, 2004), Programa é um grupo de projetos gerenciados de uma forma coordenada, a fim de se obter benefícios que, de uma forma isolada, não se obteria. Muitos programas também incluem operações continuadas e este é o caso que será abordado deste ponto em diante.

O programa tem responsabilidade sobre todo o ciclo de vida do produto, desde o levantamento de requisitos até o descarte.

Uma característica importante dos programas é que estes podem conter tanto projetos, quanto operações, no caso de um programa de satélite, existe o projeto executivo do satélite, com a devida gestão do projeto, e operações de manutenção em solo e operação no espaço.

Um programa pode atender a necessidade de um determinado grupo de consumidores. Por exemplo, a necessidade de um meio de transporte barato, gera o programa de um carro popular, porém as necessidades e peculiaridades dos anseios dos consumidores podem variar no tempo, o que faria com que o programa gerasse diversos modelos diferentes em épocas diferentes.

Isso fica muito claro no programa de uma indústria automobilística, em que o objetivo do programa é atender a necessidade de um carro de baixo custo, com essa intenção poderia ser criado um suposto Programa Oetra, que no seu primeiro projeto na década de 80 teria gerado um automóvel com formas “quadradas” e na versão inicial do carro não existiriam opcionais, como vidros elétricos, travas elétricas e ar condicionado. Já na versão da década de 90 o automóvel possuiria cantos arredondados, porém ainda não teria todos os opcionais, apenas vidros elétricos e por fim na versão de 2005 o automóvel possuiria todos os opcionais e ainda a possibilidade de um motor bi-combustível.

Os anseios do consumidor mudam com o tempo, porém a necessidade de um carro economicamente acessível não, por isso se justifica a criação e manutenção de um programa.

Outro fator que pode sustentar o programa é a base de similaridade, no exemplo do programa Oetra de automóveis populares, ao invés de ter-se o fator preço como respaldo para o Programa, poder-se-á ter a questão da similaridade. O programa Oetra possuiria diversos projetos com uma base similar, com automóveis que teriam o mesmo conjunto de freios, suspensão e motores, porém com diferenças de chassi, existindo um Oetra com carroceria, outro com quatro portas, outro modelo Sedan e assim por diante. Nesse caso a vantagem do programa é de garantir um melhor aproveitamento dos recursos similares tirando proveito a mesma estrutura fabril.

O gerente de um programa precisa tomar decisões que regulem e otimizem os projetos e processos envolvidos no ciclo de vida dos produtos gerados pelo programa. O sucesso de um portfólio, ou seja, de um conjunto de programas estará diretamente ligado ao sucesso da empresa geradora de produtos. Isso se deve a definição de qualidade em programas, que difere na noção de qualidade de produto, da qualidade de projeto, da qualidade de manufatura ou da qualidade de distribuição e manutenção.

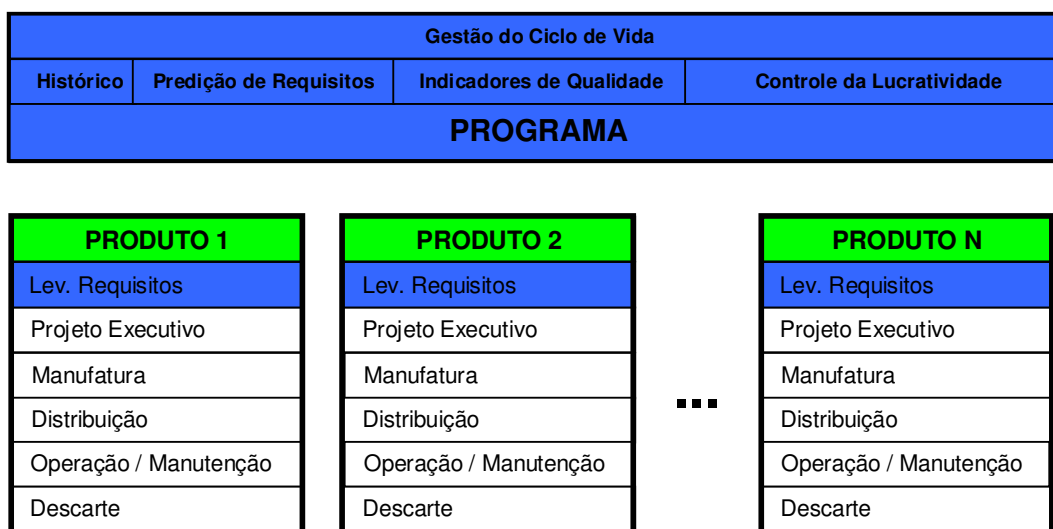


Figura 27 – Programa, Produtos e Projetos

A Figura 27 ilustra como um Programa sobrepõe sua ação as demais estruturas, sendo sua ação uma operação, sem tempo delimitado, sobrevivendo enquanto houver a necessidade do consumidor. Já os produtos se seguem em uma seqüência controlada pela gestão do Programa. Dentro do ciclo de vida de cada produto, é possível visualizar as diferentes fases, desde o Levantamento de Requisitos, atividade coordenada pela Gestão de Programa, passando pelo projeto executivo e sua respectiva gestão até o descarte. Cada uma das fases do ciclo de vida do produto terá sua respectiva gestão, porém todas receberão diretrizes de custos e prazos do gestor do Programa responsável pela melhoria contínua, controle de custos no ciclo de vida, registro do histórico das atividades e indicadores de qualidade e por fim da rentabilidade e lucratividade do Programa.

Para dar uma melhor visão de como a qualidade possui aspectos diferentes em cada fase do ciclo de vida do produto, o próximo tópico dedicará sua atenção nessa direção.

4.4.6 Qualidade de programa

A qualidade de um programa também será reflexo de vários fatores como:

- Desempenho em vendas;
- Capacidade em tomar e manter mercado;
- Lucratividade.

Para atingir as metas de tomada de mercado, receita e lucratividade, obviamente o programa precisará contar com a eficiência de cada fase do ciclo de vida do produto. O sucesso do programa tem implicação direta no desempenho das empresas, sendo essa implicação maior ou menor de acordo com a importância do programa para os resultados da empresa.

Justamente por depender do sucesso de cada fase do ciclo de vida do produto, a gestão do programa busca integrar cada uma dessas fases entregando e coletando informações importantes a cada uma dessas instâncias e gerando as diretrizes e objetivos para cada uma delas.

Não é incomum encontrar em algumas empresas projetistas dissociados do resto do ciclo de vida do produto, tendo como alvo apenas os consumidores que irão operar o produto, e esquecendo os outros consumidores que irão ter requisitos específicos, uma vez o produto sendo adequado para todas as fases, a otimização dos resultados é natural. Um produto que não seja adequado para a manufatura, ou a distribuição, a manutenção, ou ao descarte não terá seu ciclo de vida otimizado reduzindo os resultados potenciais do programa.

O sucesso de um programa dependerá fortemente da qualidade do produto, devendo esse parâmetro ser controlado pelo programa. Obviamente a qualidade do produto está vinculada aos requisitos dos consumidores e cada um dos requisitos dos consumidores pode se alterar ao longo do tempo.

Em se tratando de uma variável aleatória discreta, é possível avaliar a influência dessa variável no percentual da população que a deseja ao longo do tempo como mostrado na Figura 28. Apesar de ser apenas uma ilustração sem correlação efetiva com a realidade a Figura 28 consegue apresentar o que seria um modelo de análise temporal típica de um programa.

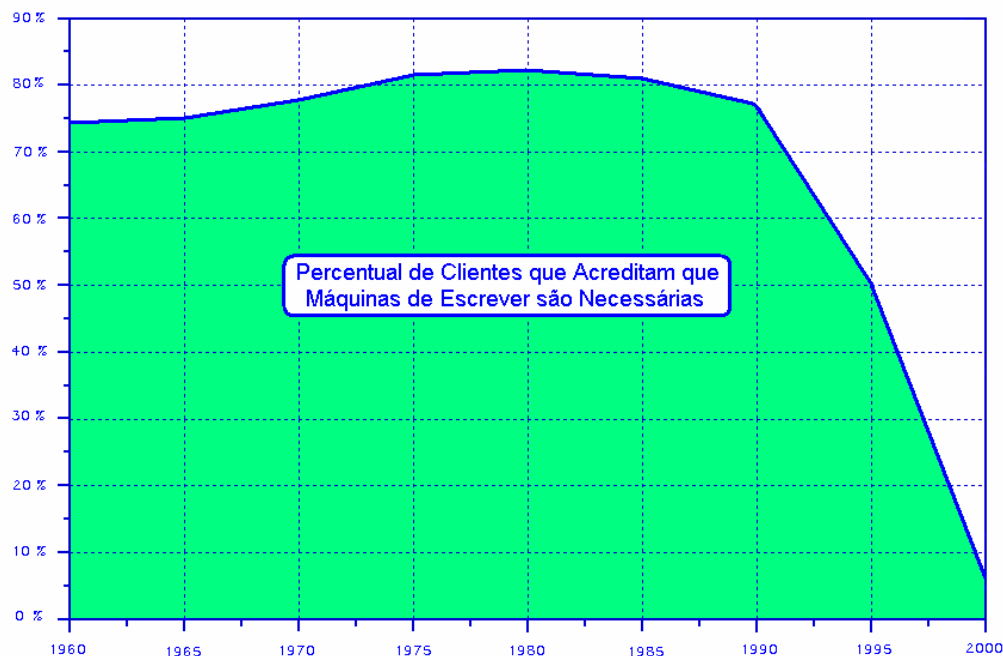


Figura 28 – Crença na necessidade de máquinas de escrever

Na Figura 28 é apresentado um gráfico ilustrativo que mostra como a crença de que máquinas de escrever são necessárias poderia ter variado com o tempo. Esse gráfico permitiria a tomada de decisão sobre continuar ou não a produzir máquinas de escrever. Com a análise de tendências, através do cálculo das médias móveis, por exemplo, poderia servir para evitar o investimento em máquinas de escrever muito antes de se começar a sofrer perdas significativas nas vendas.

Esse tipo de controle é importante, pois quando iniciado o processo de criação de um novo produto existem informações do momento da pesquisa, porém o processo de geração do produto pode levar muitos meses e os desejos dos consumidores podem se alterar durante o processo. Com a

análise de tendência dos requisitos dos consumidores pode se perceber que quando um determinado celular for lançado os consumidores irão exigir que esse possua acesso a Internet, apesar de que hoje essa não ser uma característica relevante. Supondo que se saiba que apenas 10% dos consumidores consideram imprescindível que um celular permita acesso a Internet em Janeiro quando foi efetuada a pesquisa, porém o produto só será lançado em Junho e espera se que este permaneça sendo um sucesso em vendas até Dezembro. Como o preço baixo é uma característica imprescindível para os consumidores e esta também conflita com a necessidade de se acrescer o acesso a Internet.

A Figura 29 mostra ilustrativamente como o requisito do consumidor varia no tempo.

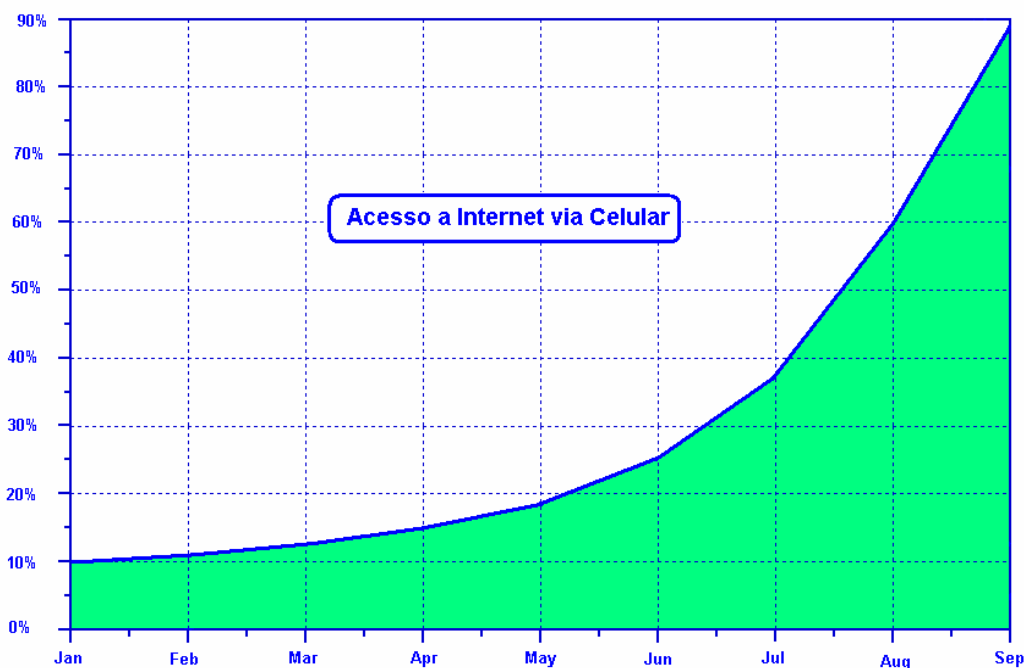


Figura 29 – Variação ilustrativa da exigência do consumidor no tempo

Novamente apesar de ilustrativa, a Figura 29 permite uma simulação, nesse caso se a decisão da equipe de projeto se baseasse apenas na medição de Janeiro eles cometeriam um grave erro, pois seu mercado em junho sofreria uma redução de 90% para 75% em Junho quando se iniciariam

as vendas e esse mesmo mercado sofreria uma redução consideravelmente rápida não existindo mais mercado para esse produto meses antes de Dezembro.

O estudo da variação temporal dos requisitos do consumidor é fator fundamental na criação de produtos com qualidade e graças à natureza duradoura dos programas, esse tipo de controle é pertinente aos programas.

Nesse trabalho buscar-se-á controlar através da gestão de programa alguns aspectos da qualidade do programa. Abordando a confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade como requisitos de qualidade de um produto e realimentando os outros setores responsáveis por pelo ciclo de vida do produto com base em dados de operação e manutenção de um produto já existente. Vale ressaltar que muitas das técnicas apresentadas são de aplicação ampla e podem ser usadas para controle de qualidade de manufatura, transporte, marketing e vendas, entre outros. Por esse motivo a amplitude do trabalho é quase incalculável.

Capítulo 5 – Como gerir?

O capítulo 5 apresentará aspectos para orientação na seleção das técnicas que envolvem a gestão de RAMS, discutindo nuances de cada setor da indústria, sua maturidade, o impacto da gestão de RAMS no sucesso dos programas e principalmente características técnicas de uma implementação. Será discutida a seleção de técnicas de gestão de RAMS em cada estrutura de gestão do ciclo de vida dos produtos, assim como a transferência de informações entre essas diversas estruturas e reutilização da informação em um ciclo de melhoria contínua.

O departamento americano de defesa através da norma MIL-STD-785B (Departamento de Defesa Americano, 1988), apresenta uma série de orientações bem mais completas se comparadas com o que será apresentado a seguir, contudo o texto que se segue é de grande abrangência e pertinente às empresas que estão iniciando programas de gestão de RAMS. Alguns textos referem-se com cautela às orientações do departamento de defesa americano e de outros institutos ligados a indústria aeroespacial e nuclear, dado que a aplicação da gestão de RAMS em outros setores é muito menos crítica e uma implementação exageradas de técnicas pode contribuir para um aumento significativo de custos e nos tempos de desenvolvimento, por esse motivo algumas abordagens com preocupações ligadas ao negócio são apresentadas por autores como Brombacher e Sanders (2004). Basicamente eles separam os produtos em duas classificações, primeiro aqueles que tem sua obsolescência técnica antes do fim de sua vida útil e aqueles que possuem o fim de sua vida útil antes de sua obsolescência técnica. Obviamente o trabalho de gestão de RAMS no primeiro caso será menos crítico que no segundo.

No presente capítulo serão apresentadas técnicas relevantes para produtos de moderada dependência de avanços técnicos e também de moderada dependência de econômica ligada ao tempo de vida útil, como um bom exemplo podemos citar os automóveis e até o produto ligado ao estudo de caso que será apresentado mais a frente. Entre essas técnicas apresenta-

se o conceito FRACAS e suas características em todo processo de gestão de RAMS.

5.1 O Sistema de gestão

Como todo sistema de gestão, o sistema para a gestão de RAMS deve garantir o monitoramento adequado dos parâmetros de RAMS dentro de cada fase do ciclo de vida do produto e certamente deve permitir que análises sejam possíveis para que assim ações de melhoria garantam o sucesso dos programas.

Sendo assim, é necessário definir as técnicas de monitoramento ou coleta de dados, as técnicas de análise e os métodos para definição de ações de melhoria em cada fase do ciclo de vida do produto.

5.1.1 Levantamento de requisitos

Na fase de levantamento de requisitos diversas fontes de informação sobre os requisitos de RAMS precisam ser consultadas. Dentre essas fontes é importante citar:

- As normas obrigatórias pré-existentes;
- As pesquisas de mercado;
- Os padrões relevantes;
- A projeção das curvas dos requisitos ao longo do tempo;
- Dados de campo;
- Dados de ensaios;
- Análise da concorrência;
- Resultados de outras técnicas de análise.

Muitas dessas fontes são resultados de técnicas de análise que podem ser aplicadas especificamente na fase de levantamento de requisitos, como:

- Delphi;
- SWOT;
- QFD.

Como a fase de levantamento de requisitos precede todas as outras etapas no desenvolvimento de um novo produto e além desse fato exige um grupo multidisciplinar é muito importante que todas as ferramentas de gestão de RAMS permitam um intercâmbio de informações entre diversos membros de uma equipe. Isso quer dizer que qualquer sistema de informação nessa fase deve compilar diferentes fontes de informação, organizando e disponibilizando a informação sobre os requisitos de RAMS para todo o grupo envolvido.

O objetivo da gestão de RAMS nessa fase basicamente se restringe a organização que garanta a geração dos requisitos de RAMS o mais próximos possível dos desejos do consumidor e que mesmo assim respeitem a viabilidade técnica e econômica.

5.1.2 Projeto preliminar

Talvez o grande objetivo do sistema de gestão de RAMS na fase de projeto preliminar seja garantir que as especificações do produto estejam de acordo com os requisitos levantados na fase anterior. Para isso o processo que busca pelo atendimento dos requisitos ocorrerá de modo cíclico, onde serão levantadas diversas soluções e verificações serão efetuadas até se chegue a uma solução que demonstre potencial no atendimento aos requisitos de RAMS.

Como fase de levantamento preliminar de possíveis soluções, o atendimento ou não aos requisitos terá de ser estimado. Isso exige acesso a uma série de fontes de informações qualitativas e/ou quantitativas, como:

- Bibliotecas com dados de vida (públicas ou pagas), como OREDA (2002), NPRD (Reliability Analysis Center, 1995), EPRD (Reliability Analysis Center, 1997), entre outras;
- Dados de campo de equipamentos similares ou de versões anteriores de um mesmo programa, normalmente advindos de sistemas FRACAS;
- Dados de ensaios de equipamentos similares ou de versões anteriores de um mesmo programa.

Além dessas informações uma série de análises qualitativas e/ou quantitativas podem ser aplicadas nessa fase, entre elas:

- Análises de modos e efeitos de falhas (FMEA) de produtos similares, Stamatis (1995);
- Análises de modos, efeitos e criticidade (FMECA) de produtos similares (Departamento de Defesa Americano, 1998);
- Método de predição de parâmetros de RAMS, com normas como:
 - MIL-HDBK-217 FN2 Parts count e Parts Stress (Departamento de Defesa Americano, 1995), Telcordia (AT&T Bell Lab, 2000), PRISM (Smith, 2004), para predição de confiabilidade em componentes eletrônicos;
 - NSWC-98/LE1 (Marinha Americana, 1998) para predição de confiabilidade em certos componentes mecânicos;
 - IEC-61508 (IEC, 1998), para predição de confiabilidade em elementos elétricos;
 - MIL-HDBK-472 (Departamento de Defesa Americano, 1966) para predição de manutenibilidade.

Muitas dessas normas buscam prever a confiabilidade com base em parâmetros de aceleração como o ambiente de operação, a temperatura, solicitação elétrica entre outros. Com base em inúmeros ensaios e em funções com índices de correção de uma taxa de falha de base, a confiabilidade pode ser calculada.

A aplicação e efetividade desses métodos são extensamente discutidas em diversos textos como Jones (1999) e Brown (2003). Através desses textos é possível selecionar as normas mais adequadas para cada tipo de componente ou até subsistema. Concomitante com a predição de confiabilidade é fundamental avaliar o custo em todo ciclo de vida, uma vez que a confiabilidade afeta nos custos de manutenção e operação, como tratado por Bodsberg e Hokstad (1995).

5.1.3 Projeto detalhado

Na fase de projeto detalhado um dos maiores objetivos é o de dimensionar características de componentes e subsistemas. Nesse trabalho é muito importante possuir uma rica e confiável fonte de informação, nesse caso normalmente as fontes mais comuns são os laboratórios de ensaio.

Além das técnicas já utilizadas na fase de projeto preliminar, no projeto detalhado algumas técnicas adicionais são altamente recomendadas, como:

- Análises de “Derating”, MIL-HDBK-1547A (Departamento de Defesa Americano, 1997);
- Análises Bayesianas para associar dados de diferentes fontes de informação, como predição, dados de laboratório e dados de campo, Sander (1991);
- Análise de crescimento da confiabilidade (Duane, 1965);
- Análises de ensaios acelerados, Nelson (1990).

Com essas técnicas é possível dimensionar componentes e subsistemas com base em modelos estatísticos para a confiabilidade, onde a função confiabilidade irá depender de diversos fatores como carga, temperatura e outras características ambientais.

5.1.4 Fabricação, montagem e testes de verificação

A fabricação e a montagem podem afetar significativamente os parâmetros de RAMS. Nesses processos é importante se definir qual o impacto de cada tarefa nas características físicas do produto e, por conseguinte o efeito da variação dessas características físicas nos parâmetros de RAMS.

Como estudado anteriormente, problemas nessa fase podem acarretar uma alta mortalidade infantil. Caso esses defeitos não sejam detectados com os testes ainda dentro do ambiente fabril, os custos das falhas em campo serão muito mais altos.

Nesse contexto algumas técnicas de análise são comumente aplicadas visando garantir que somente produtos dentro das especificações deixem o ambiente fabril:

- Análise de Modos e Efeitos de Falha aplicada a Processos;
- Análise de Modos e Efeitos de Falha aplicada a Testabilidade;
- Homologação de componentes e fornecedores;
- DRACAS – “Defect Reporting, Analysis and Corrective Action System”.

Um outro aspecto muito importante para o controle dos parâmetros de RAMS, está ligado a rastreabilidade dos produtos, pois uma das necessidades típicas do estudo de RAMS é o entendimento de quando o produto foi manufaturado, qual seu histórico nesse processo, quais itens, lotes e fornecedores estão ligados a história dos produtos que falham. Uma das ferramentas que pode ser utilizada no registro ordenado dessas informações é a metodologia DRACAS “Defect reporting, analysis and corrective action system”, que obedece a mesma orientação básica presente na metodologia FRACAS (RAC, 1999) que será detalhada mais à frente. Um sistema DRACAS ou similar é fundamental na ligação das informações de campo com as informações de manufatura.

Como dentro da gestão do programa existe a missão de garantir rentabilidade é importante controlar os custos da operação de manufatura, nesse sentido existem técnicas específicas de gestão voltadas ao cuidado com a disponibilidade do ambiente fabril, ao cuidado com os custos para manter os sistemas de manufatura e com a segurança.

- HAZOP (Hazard and Operability Study);
- RCM – Manutenção Centrada em Confiabilidade (Lewis, 1997).

5.1.5 Armazenamento e transporte

Apesar de muitas vezes negligenciados os processos de armazenamento e transporte podem ter impacto severo sobre a confiabilidade. Na determinação das Características de armazenamento e transporte algumas análises são mais comuns, como:

- Ensaio Acelerados (Nelson, 1990);
- Análise de taxa de falha em dormência;
- Predição da confiabilidade em dormência;
- Análise do Custo do Ciclo de Vida (Bodsberg e Hokstad, 1995).

Novamente as fontes de dados podem reduzir drasticamente o tempo e o custo das análises, esse fato ressalta a importância de bases de dados bem geridas.

5.1.6 Operação e manutenção

Diferentemente das predições e avaliações em ensaios acelerados, as informações provenientes na operação e manutenção são o retrato exato da realidade do produto em campo. Justamente por ser uma informação precisa essa merece um tratamento especial na captura e organização dos dados. As informações de campo devem ser capturadas, organizadas, analisadas e entregues a diferentes clientes do sistema de informação, como o pessoal de projeto preliminar, projeto detalhado, manufatura, marketing, vendas e obviamente devem constar no histórico para os gestores do programa avaliarem o desempenho do sistema de gestão na conquista da melhoria contínua.

Nesse contexto da operação e manutenção algumas técnicas de análises são fundamentais, como:

- RCM – Manutenção Centrada em Confiabilidade, tratada por Moubray (2003) e pela norma MIL-STD-2173 (Departamento de Defesa Americano, 1986);
- FRACAS – Sistema de Coleta de dados, Análises e Ações Corretivas, como tratado na norma MIL-STD-2155

(Departamento de Defesa Americano, 1985) e pela RAC (FRACAS, 1999).

É justamente o sistema FRACAS que receberá maior atenção nesse capítulo, não por ser um sistema complexo, mas sim por absorver a realidade e fundamentar sistematicamente a melhoria dentro de um programa.

5.1.7 Programa

O sistema de gestão de RAMS vinculado ao programa também tem características peculiares, pois apesar da gestão de modo global ser coordenada pelo programa as atividades internas de uma determinada área responsável por uma das fases da vida do produto são de responsabilidade dessa área e terão maior ou menor divulgação em outras áreas ou necessitarão de informações oriundas de outras áreas dependendo de uma série de fatores ligados a aplicação da engenharia simultânea. Essa abordagem permite o inter-relacionamento entre todas as áreas do programa, garantindo um maior controle de atividades em paralelo e maior clareza sobre o efeito das ações nos resultados gerais do programa.

O programa terá então como tarefa garantir o fluxo adequado e em tempo das informações, seja entregando informações seja captando informações, garantindo também o adequado registro dessas transferências, além é claro o acondicionamento ordenado dessa informação permitindo acesso rápido e efetivo. Além do controle da informação corrente o programa deverá ser o responsável por montar séries históricas de parâmetros de cada produto originado no programa, assim podendo fazer projeções no tempo desses parâmetros, certificando a melhoria, controlando custos e clarificando a ligação entre a aplicação de recursos e os resultados obtidos. Nesse contexto as análises de RAMS, como a análise de crescimento da confiabilidade, serão aplicadas concomitantemente com os estudos dos custos do ciclo de vida e análises financeiras e de marketing.

5.1.7.1 Fontes de dados

Justamente pela característica de controlador de informações, o programa deverá ter atenção especial às fontes de dados, especialmente aquelas que permitirão as análises quantitativas.

Para que as análises quantitativas sejam possíveis os dados de falha são imprescindíveis. Os dados possuem mais ou menos coerência de acordo com sua fonte. Basicamente existem três fontes de dados principais.

- Os dados de ensaios e testes;
- Os dados de campo;
- Os dados de bibliotecas e órgãos centralizadores.

Dados de ensaios e testes: São dados provenientes de testes na fase de projeto sendo obtidos de protótipos. Em geral esses testes possuem um custo elevado, muitas vezes proibitivo, principalmente quando é necessário ensaiar sistemas complexos. Uma característica negativa do ensaio se deve ao fato de se estar analisando falhas, isso quer dizer que é necessário levar as amostras até a falha, ou seja, o protótipo é perdido. Em equipamentos caros como aviões e turbinas hidrelétricas o custo de ensaio em escala real é proibitivo.

Muitas vezes para reduzir custos e agilizar o ensaio são efetuados ensaios acelerados, e nesse caso um novo problema é gerado, o tratamento estatístico é muito mais complexo nos ensaios acelerados e os resultados de determinados ensaios pode ser questionado.

A grande vantagem dos ensaios em relação aos dados de campo é que os dados de campo, em geral, tratam de produtos já existentes e diferentes dos novos produtos em desenvolvimento, além da rara existência de dados de campo bem qualificados.

Sua vantagem em relação às Bibliotecas é que nem sempre os dados de bibliotecas modelam adequadamente a aplicação analisada.

Suas grandes desvantagens são: o custo, o tempo necessário para sua execução e a dificuldade estatística caso sejam ensaios acelerados.

No caso de novos produtos, principalmente quando novas tecnologias são utilizadas, a execução de ensaios e testes é recomendada. Afinal, é rara a existência de correlação entre o comportamento do novo produto e dados de campo ou bibliotecas.

Dados de campo: São os dados colhidos em campo do próprio produto ou de um produto similar. Costuma ser a fonte de dados mais fiel a realidade, pois apresenta dados de comportamento nas condições reais de operação. Existem algumas fortes vantagens, a principal é o custo, em geral o registro do comportamento de vida de equipamentos não costuma ser tão caro e traz benefícios imediatos. Deve se dizer que o registro deveria ser obrigatório em praticamente todas as indústrias e compartilhado com os diversos envolvidos, porém mesmo com bons registros, o que é algo raro, é comum não chegar a uma coleção de dados mínima para transformar esses dados em informações estatísticas aceitáveis. Outro problema com a coleta de dados é o fato de envolver muitos setores da empresa e muitas vezes parceiros e fornecedores, o que gera a necessidade de um sistema de comunicação eficiente.

A utilização dos dados de campo é aplicada somente após o lançamento de um lote piloto do produto.

Dados de bibliotecas e órgãos centralizadores de dados: Alguns órgãos possuem bibliotecas com dados de componentes eletrônicos e mecânicos. Sua grande vantagem é que os dados estatísticos fornecidos por essas bibliotecas estão baseados em grandes coleções de dados. Esses bancos de dados costumam ser vendidos pelos órgãos e institutos centralizadores. A primeira grande vantagem é que algumas bases de dados são mundialmente aceitas e a segunda grande vantagem é a economia nos ensaios e nos sistemas de coletas de dados em campo.

Normalmente os dados provenientes de bibliotecas são utilizados na fase de desenvolvimento, principalmente na seleção de uma solução geral e não na definição de parâmetros menores.

Apesar da dificuldade de comprovação da correlação entre esses dados e o produto em desenvolvimento, os dados de bibliotecas são de baixo custo se comparados a dados de ensaios e de campo.

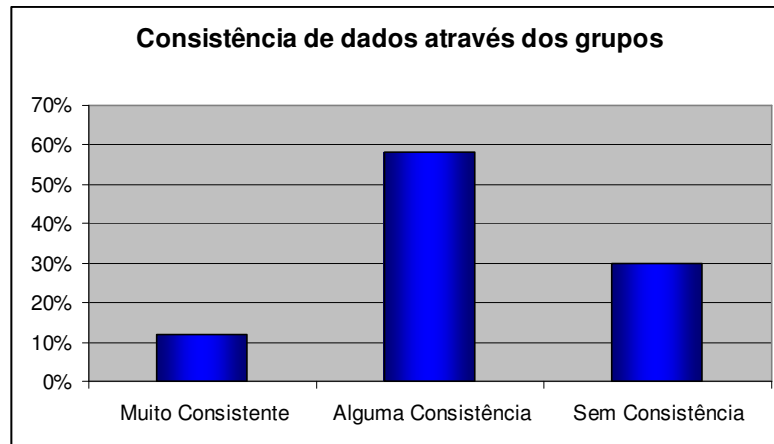


Figura 30 – Consistência de dados em grandes empresas (RAC, 1999).

A questão dos dados é muito séria, em uma pesquisa efetuada pela RAC (FRACAS, 1999) e mostrada na Figura 30, com grandes empresas dos setores Aeroespacial, Nuclear, Petroquímico mostra que apenas 13% dos dados coletados, com a intenção de gerar a base para os cálculos estatísticos de confiabilidade, podem ser utilizados imediatamente, cerca de 58% dos dados precisam ser filtrados e selecionados para que tenham alguma utilidade e cerca de 30% dos dados não tem consistência alguma. Isso se deve a diversas razões:

- A forma aberta como os sistemas de coleta operam, permitindo qualquer tipo de entrada, ou até nenhuma entrada;
- Outro fator é a despreocupação das pessoas que coletam os dados, a falta de treinamento e conscientização da importância de um bom registro.

As empresas costumam ter pouca visibilidade dos benefícios que podem alcançar com a implementação da Gestão de RAMS já que possuem poucos dados ou dados inadequados para essa análise.

5.2 Resultados da gestão

Uma das perguntas mais efetuadas quando surge a idéia de implementar algum tipo de gestão de RAMS é qual será o retorno financeiro desse esforço e em quanto tempo ele será efetivado?

Diversas características dificultam essa resposta:

5.2.1 Abrangência da implementação

O primeiro aspecto está relacionado com as diferentes maneiras de se implementar a gestão de RAMS. Obviamente uma implementação mais abrangente trará resultados melhores, porém custará mais e tomará mais tempo.

5.2.2 Setor envolvido

Em segundo o setor em questão também afetará o retorno do investimento. É de se esperar que uma indústria nuclear tenha um retorno diferente de uma indústria petroquímica. Isso se deve também as normas já existentes em cada setor. A indústria nuclear já possui por tradição uma atenção especial à segurança e não investe com vistas unicamente no retorno financeiro, diferentemente da indústria de telecomunicações que tem um interesse focado no aspecto econômico.

5.2.3 Maturidade da implementação

A terceira grande dificuldade de estipular o retorno deve-se ao tempo mínimo necessário para se poder coletar dados, efetuar análises e gerar resultados. Na realidade uma implementação feita sem critérios pode até não gerar resultados minimamente satisfatórios. Aliás, isso não é raro de ocorrer.

Empresas com históricos de qualidade poderão colher resultados muito mais rapidamente do que aquelas que não tiveram a preocupação em coletar e organizar os dados. Esse é o caso de empresas que seguem as orientações das normas IEC e da ISO 9000, que na década de 90 já traziam

orientações em relação a dependabilidade ou do Inglês “dependability”, que força a colocação em contratos aceitação do consumidor em função dos parâmetros de RAMS estabelecidos e prometidos pelos fornecedores. Segundo Ke e Hwang (1997) o maior aprofundamento das empresas em relação a essas normas trazem um grande aprofundamento na gestão de RAMS.

Empresas geradoras de produtos que possuem consciência e preocupação com aspectos da engenharia simultânea terão um maior nível de maturidade e, por conseguinte uma coleção de dados mais significativa.

5.2.4 Má implementação

Implementações feitas de forma equivocada pode gerar uma série de problemas ao invés de soluções:

- a. Redução da eficiência das equipes: mais atividades desviam a atenção;
- b. Maiores dificuldades com cumprimentos de prazos;
- c. Duvidas em relação à efetividade das análises;
- d. Duvidas em relação à eficácia da coleta de dados;
- e. Insatisfação das equipes envolvidas: pois essas receberam mais atividades para executar;
- f. Insatisfação dos gerentes: pois suas equipes estão insatisfeitas e não existem resultados para justificar as atividades.

5.2.5 Boa implementação

Por outro lado implementações bem feitas podem gerar resultados surpreendentes a médio e longo prazo. A gestão de RAMS vem sendo aplicada pelas forças armadas americanas a mais de 50 anos. De acordo com a RAC (FRACAS, 1999), o IDA “Institute for defense analysis” avaliou a aplicabilidade dos conceitos de engenharia simultânea, que envolve além da

Gestão de RAMS uma série de outras atividades de Controle de Qualidade e chegou aos seguintes resultados.

Redução nos tempos de desenvolvimento em 60%: Isso se deve muito ao fato de existirem registros históricos detalhados, o que permite focar no que é importante em cada projeto. Além é claro nos métodos de análise que permitem priorizar o que é realmente necessário.

Redução nos tempos de produção em 10%: Geralmente projetos bem executados são mais fáceis de se produzir.

Redução no tempo total do processo em 46%: graças aos tempos menores nos projetos, nos testes e na produção.

Redução dos defeitos de manufatura em 87%: principalmente pela investigação exaustiva dos focos de problemas e falhas em todo o processo.

Aumento dos lucros em 500%: devido à redução dramática nos custos, com aumento substancial da qualidade, gerando é claro, aumento nas vendas (RAC, 1999).

Redução das taxas de falha no campo em 83%: Esse dado impressionante está intimamente ligado com a Gestão de RAMS. Um dado que acaba não sendo mostrado pelo IDA é a severidade dos efeitos das falhas que ocorreram. É de se esperar que a gestão de RAMS gere planos de contingência, o que reduz muito os danos gerados por eventos indesejados.

Redução das alterações antes da produção em 50%: O crescimento na certeza de que os projetos são adequados advém principalmente da mudança de cultura que acompanha uma implementação.

Redução do número de itens em estoque em 60%: Novamente a estatística atua, trazendo mais conhecimento dos riscos e necessidades.

Redução do tempo para construção de protótipos em 400%: Com o tempo mais e mais dados históricos, de produtos similares, estarão disponíveis reduzindo a necessidade de protótipos.

Redução de refugo e re-trabalho em 87%: além de outros resultados positivos.

Apesar de o IDA não apresentar a origem nem comprovar plenamente a validade dos dados, esse demonstrativo permite vislumbrar o potencial de resultados em uma aplicação de longo prazo. Obviamente a chance de se

alcançar bons resultados é muito grande, em comparação com a chance de se obter resultados negativos, porém mesmo que se tenha bons resultados, uma implementação bem assistida garantirá a eficiência do investimento, não deixando dúvidas que o retorno está maximizado.

5.3 FRACAS

O conceito FRACAS foi desenvolvido pela Marinha Americana na década de 70, tendo uma norma militar tratando especificamente do assunto na década de 80, a MIL-STD-2155 (Departamento de Defesa Americano, 1985).

FRACAS é a sigla para “Failure Reporting, Analysis and Corrective Action System”, que em português quer dizer Registro de Falhas, Análises e Ações Corretivas. Ainda existem conceitos similares, porém ao invés do foco nas Falhas podem ter focos em defeitos, problemas, incidentes, originando novas siglas como DRACAS, PRACAS e IRACAS.

O sistema sugere um processo de gestão em malha fechada, onde as informações atuais advindas das análises, que tem como base os dados coletados, são confrontadas com os parâmetros desejados e em se verificando discrepâncias um conjunto de ações preestabelecidas em planos de correção, prevenção e contingência são colocadas em prática. Novamente o ciclo de coleta de dados e análises se segue permitindo verificar a efetividade das ações assim como novas melhorias. A Figura 31 mostra como um sistema de controle em malha fechada se comporta.

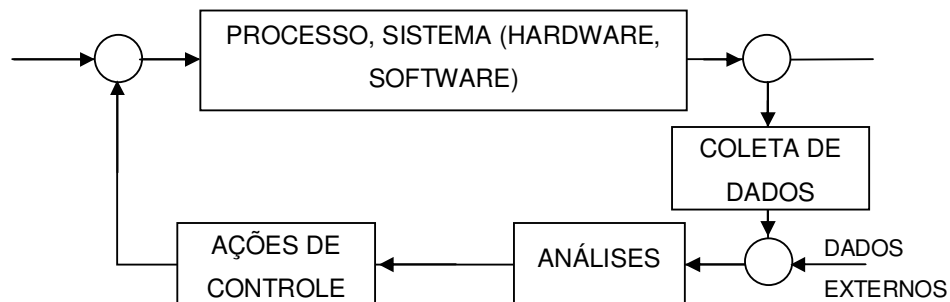


Figura 31 – FRACAS – Controle em malha fechada

O sistema FRACAS pode ser aplicado a processos e sistemas com hardware e “software”. Sua capacidade de acompanhar um produto ou processo durante todo seu ciclo de vida faz com que o FRACAS seja uma ferramenta de gestão de Programas.

O sistema FRACAS formaliza os métodos de coleta de dados, centraliza as informações, automatiza processos de decisão e integra todo o sistema de gestão em um único processo bem controlado.

Apesar de a filosofia “Six-Sigma” ser muito similar, a utilização do sistema FRACAS é mais antiga. Dentro da bibliografia é possível encontrar diversos trabalhos de aplicação de técnicas oriundas de empresas de alta confiabilidade em sistemas de gestão ligados a qualidade de processos e projetos, como defendido e demonstrado por Ivory e Alderman (2005). Porém o caminho inverso também existe, como é caso da aplicação da filosofia “Six-Sigma” na gestão de RAMS, demonstrado por Glaccum e Hirschauer (2002).

Segundo pesquisas da RAC (FRACAS, 1999) o sistema FRACAS é apontado como a técnica ou tarefa de confiabilidade mais fundamental e importante entre todas as outras tarefas de acordo com grandes empresas de tecnologia altamente impactadas pelos requisitos de confiabilidade. A importância do FRACAS é indiscutível na indústria aeroespacial e de defesa, sendo base para a formação outros sistemas com os mesmos fundamentos, sendo ainda mais abrangente e atencioso as técnicas de priorização e análise.

Um dos grandes pontos fortes do conceito é o foco na busca das causas raiz, permitindo encontrar a origem dos problemas, confrontar e corrigir definitivamente a origem dos problemas.

O sistema permite entender claramente quem descobriu a falha, como o fez, quando o fez, onde o fez, em que condições o sistema ou processo operava, e é claro exatamente o que falhou, qual a seqüência de eventos e sua severidade. Com base nas informações preliminares é possível efetuar análises, avaliando custos, efeitos, aspectos de segurança, e gerar ações corretivas. O sistema irá ainda registrar todos os passos de implementação e verificação das ações corretivas, controlando tempos, custos e a efetividade

das ações de implementação da correção. Por fim o sistema verificará e controlará a efetividade das ações implementadas.

Graças a ação constante do sistema FRACAS é possível eliminar custos associados a falhas nos estágios finais do ciclo de vida do produto onde o custo de correção, segundo a RAC (FRACAS, 1999) chega a ser 1000 vezes maior que o custo da mesma correção na fase de projeto ou aceitação de componentes de fornecedores, pois poderia exigir re-projeto, re-testes, re-trabalhos e ainda perdas em vendas pela queda da credibilidade do produto ou processo em questão.

Apesar de conceitualmente simples, um sistema FRACAS não é nada trivial de se construir e implementar. Sua forma e suas características de implementação podem variar bruscamente dependendo do setor e do sistema em análise, basicamente estando ligadas a necessidade de confiabilidade e aos custos envolvidos.

Os resultados de uma implementação também podem ser diversos dependendo principalmente do nível de experiência das equipes envolvidas, o que afeta primeiramente a capacidade de encontrar e isolar as causas raiz.

Diversas preocupações devem estar presentes na mente de um idealizador de um sistema FRACAS, entre elas e talvez a principal se refere a capacidade do sistema impedir a entrada de dados inválidos ou problemáticos que possam não ser utilizados ou ainda pior gerar conclusões erradas após as análises. Esse problema é agravado, pois o sistema é operado por humanos que resistem a mudanças de cultura e podem evitar colocar informações corretas uma vez que o sistema poderá trazer métricas da eficiência de cada usuário do sistema.

O projeto de implementação de um sistema FRACAS passa por uma fase inicial fundamental de levantamento de requisitos, onde pela natureza associada a engenharia simultânea será necessário coletar informações de inúmeros usuários. A fase de levantamento de requisitos é seguida pela fase de planejamento e idealização do sistema, em que cada necessidade de cada usuário do sistema terá de ser adequadamente considerada. A terceira fase do projeto é a construção do sistema e testes fora da operação. Por fim

a implementação propriamente dita seguida das primeiras análises de eficiência do sistema, gerando ou não ações de melhoria.

No presente trabalho todas as fases de implementação foram seguidas, utilizando técnicas de gestão de projetos.

O sistema FRACAS no presente estudo de caso será desenvolvido sobre a plataforma da Relex Software, que é uma estrutura básica que permite estruturar todo o sistema a partir das definições e requisições da empresa em questão.

Vale ressaltar que o sistema é apenas uma plataforma e não algo pronto, exigindo discernimento e conhecimento por parte do implementador para que os objetivos possam ser alcançados.

5.3.1 Estrutura

Como o sistema FRACAS é fundado em bancos de dados, toda sua estrutura tem de ser explicado dentro das características dos bancos de dados, ressaltando aspectos de comunicação necessários.

Como bancos de dados são definidos basicamente por campos e tabelas, serão apresentados alguns campos e tabelas pertinentes ao fluxo de informações, no caso dividido em blocos pertinentes ao fluxo de dados.

Obviamente o sistema FRACAS pode possuir inúmeras configurações e objetivos distintos, podendo ser aplicado a testes, a incidentes em campo, ao monitoramento de processos, mesmo assim ainda é possível estipular uma estrutura comum a todas essas aplicações. No presente caso serão apresentados aspectos pertinentes à aplicação de equipamentos em campo e seus incidentes ou falhas.

O sistema possui diversas instâncias de gestão e controle, a primeira e mais básica está ligada à gestão das operações de tratamento de incidentes, um exemplo seria a falha relatada de perda da função de um trem de pouso durante o vôo. Nesse caso o incidente passaria por cerca de seis fases distintas:

1. Entrada do incidente;
2. Análise do incidente;

3. Proposição de ações corretivas e de contingência;
4. Implementação das ações corretivas e de contingência;
5. Verificação da implementação das ações;
6. Verificação da efetividade do tratamento do incidente.

Porém esse primeiro ciclo de gestão refere-se apenas aos incidentes isoladamente, sendo necessário mais um ciclo de gestão para compilar ações pertinentes a correções em uma geração de produto, ou na operação geral de tratamento de incidentes, para isso é necessário filtrar os incidentes por modos de falha e por taxa de ocorrência, e em seguida selecionar aqueles modos de falha que trazem os maiores índices de risco, ou seja, a maiores severidades com as maiores probabilidades de ocorrência. A partir desse filtro é possível novamente um ciclo de gestão seguindo basicamente a seguinte ordem:

1. Seleção dos modos de falha com maior severidade e ocorrência;
2. Determinação das ações preventivas;
3. Revisão dos procedimentos de correção e contingência;
4. Sugestões de revisões nas próximas gerações de produtos do programa.

Novamente um novo ciclo pode ser adicionado, dessa vez ligado ao programa e não a um produto de uma determinada geração. Esse processo também se inicia com um filtro, buscando isolar incidentes de alto risco em cada geração de produto e comparando, por exemplo, a taxa de incidentes de alta severidade em cada geração. Nesse caso inúmeros filtros podem ser feitos, como custos, tempos de ação, severidade, taxa de ocorrência e ainda esses índices podem ser apresentados em paralelo com a receita de vendas de cada geração, permitindo correlações entre os índices e seu efeito no resultado de vendas.

Assim os gestores de programa têm como priorizar suas ações de melhoria, visando melhor atendimento às necessidades dos consumidores e, por conseguinte maior presença no mercado. O fluxo dessa terceira malha de gestão poderia seguir a seguinte ordem:

1. Filtros de índices de diferentes gerações de produtos;
2. Análises de correlação;
3. Determinação de ações de melhoria para as próximas gerações;
4. Implementação das ações de melhoria;
5. Verificação da implementação das ações de melhoria;
6. Verificação da efetividade das ações de melhoria.

Por fim, uma última instância do ciclo de gestão se refere ao registro de ações de usuários, ou seja, durante todos esses processos citados acima o sistema FRACAS registrou a ação de cada usuário, o permitirá auditorias nos processos. Esse registro permite verificar a disciplina de cada usuário no trato com o sistema, evitando entradas desqualificadas, permite aferir o desempenho de colaboradores entre outras verificações.

A Figura 32, mostra os fluxos de gestão dentro do FRACAS:

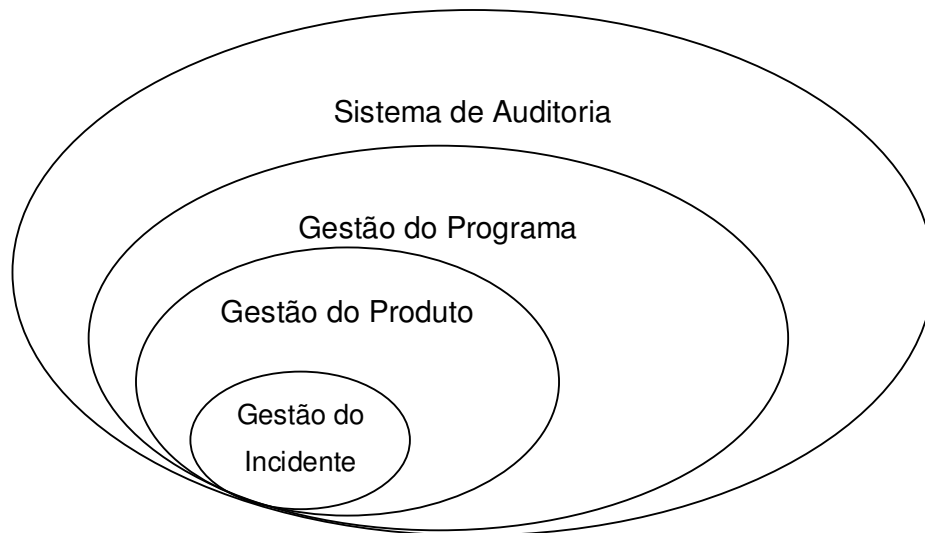


Figura 32 – FRACAS – Fluxos de gestão

Obviamente cada fluxo tem peculiaridades e exigências diferentes, parte dessas peculiaridades serão tratadas nos próximos tópicos.

5.3.1.1 Entrada do incidente

A entrada do incidente costuma ser vinculada a um modo de falha, que por sua vez está vinculado a um componente, subsistema, ou mesmo ao sistema em análise. No caso de um processo, o modo de falha pode estar vinculado a uma tarefa, sub-processo, ou ao processo em análise. Dessa característica vem a necessidade de se ter acesso a informação sobre a árvore de sistema, com diferentes configurações, os modos de falha, suas causas e seus efeitos. Em outras palavras existe a necessidade de carregar no sistema a árvore de sistema e o fmea associado a ela, pois ambos serão opções condicionadas na entrada de um incidente.

A necessidade leva a definição de alguns campos:

1. Configuração do sistema (seleciona o numero de série e sua configuração);
2. Item da árvore de sistema (dependente da configuração);
3. Modo de Falha do Item (dependente do item);
4. Causa do Modo de Falha (dependente do modo de falha);
5. Efeito do Modo de Falha (dependente do modo de falha).

Esses campos funcionam quase como códigos e muitas vezes é necessário permitir a introdução de campos de descrição para causas, efeitos e modos. Além dos campos de descrição é muito comum a necessidade de anexar arquivos como fotos e vídeos, portanto um campo para a inserção de arquivos anexos é necessário.

Por uma questão de fluxo de trabalho é importante que o usuário que entra com essas informações retransmita a responsabilidade para o próximo usuário, no caso o analista do incidente. Para tanto é importante acrescentar um campo para controle do fluxo de trabalho. Esse campo terá opções que forçarão o tratamento do incidente, permitindo que o sistema envie avisos para os usuários implicados.

Além das escolhas do usuário que entra o incidente, é interessante registrar a reclamação do consumidor e para isso um campo de texto deve ser acrescido.

Por fim o campo de data relacionado à data do incidente deve ser acrescido assim como o campo que identifica o usuário de entrada e o campo de define quantas horas esse usuário investiu nesse processo.

5.3.1.2 Análise do incidente

O analista do incidente além de ter acesso a todos os dados inseridos pelo usuário de entrada, ele terá como missão, verificar se o modo, a causa e os efeitos foram classificados corretamente, além é claro e qualificar os modos de falha com índices de severidade. O analista basicamente precisa de mais dois novos campos, um que identifique o analista e outro que permita classificar a severidade.

No caso de equipamentos com períodos de garantia que cobrem serviços de manutenção, o sistema precisa de um campo para colocar o resultado do cálculo de tempo indicando se o serviço deve ser cobrado ou não. Isso é importante na compilação dos custos. Sendo assim o tempo do analista deve ser acrescido em um novo campo.

5.3.1.3 Definição de ações corretivas e de contingência

O analista que define as ações corretivas e/ou de contingência, necessitará definir em dois novos campos o tipo de ação e sua descrição. Muitas vezes o procedimento é longo e exige o anexo de instruções, para isso um campo de anexo para instruções deve ser adicionado.

O analista também deve compilar seu tempo para definir as ações e os custos associados ao procedimento indicado, principalmente custos com material e peças sobressalentes.

Uma vez finalizado o processo de definição das ações, o analista irá redirecionar o campo de fluxo de trabalho para o usuário que irá implementar essas ações, isso possibilitará que o sistema avise os usuários envolvidos.

5.3.1.4 Implementação das ações

O usuário que implementa as ações terá acesso a todo histórico e deverá seguir as instruções do analista. Cada passo deverá ser registrado em um campo de descrição da implementação das ações. O usuário também deverá anotar o tempo de trabalho em um campo específico. Uma vez finalizada a implementação das ações e efetuados os teste de verificação o usuário redirecionará o fluxo para a verificação da implementação alterando o campo de fluxo de trabalho.

5.3.1.5 Verificação da implementação das ações

De volta ao analista, a verificação da implementação poderá ser seguida de novas orientações. Nesse momento caso a implementação tenha ocorrido de maneira satisfatória, o analista poderá considerar o incidente resolvido e deverá ter um campo específico para determinar isso. Uma vez fechada a atividade em um incidente, o sistema irá calcular custos com mão-de-obra, deslocamentos e materiais como peças sobressalentes. O sistema também calculará o tempo total até a solução do incidente.

5.3.1.6 Verificação da efetividade do tratamento ao incidente

Normalmente a verificação final de todo o processo é feita pelo gestor das atividades de campo. Ele avaliará se as ações corretas foram tomadas a tempo e dentro de um custo aceitável. Para esse registro ele precisará de campos de texto onde ele colocará sua avaliação e definirá se a atividade está definitivamente encerrada em um determinado incidente. Dessa análise podem surgir definições de alterações imediatas em equipamento de campo e até mesmo sugestões para novas gerações de produtos.

5.3.1.7 Seleção de modos de falha

No âmbito da gerência do produto a seleção dos modos de falha com maior índice de risco é fundamental. O gestor do produto precisará consultar

esse índice e selecionar rapidamente os mais críticos. Para permitir isso o sistema FRACAS deverá adicionar um campo numérico na tabela do FMEA associado a um item do sistema onde será depositado o cálculo da multiplicação do índice de severidade e da taxa de ocorrência do modo de falha.

Para permitir isso um serviço de cálculo deverá ser incluído no sistema, primeiramente para calcular a taxa de falha de cada modo de falha e depois para multiplicar o índice de severidade. No cálculo da taxa de falha será necessário calcular o tempo de operação até o incidente que gerou determinado modo de falha, esse cálculo só será possível caso cada número de série tenha a data de início de operação e o número de horas que cada número de série opera por dia, o chamado “duty cycle”, que costumeiramente é representado como uma porcentagem do tempo total. A informação do tempo de operação será colocada em um campo não editável na tabela de incidentes, ou seja, cada incidente terá registrado o tempo de operação.

Outro aspecto fundamental são as certidões de nascimento e morte de cada item. Toda vez que um item é substituído é fundamental indicar na sua tabela de registro de nascimento o tempo de operação no ato de sua substituição.

Todos os dados de tempo de operação até cada reparo e tempo de operação até a substituição serão levados em consideração nos cálculos de MTBF, MTTF e outras médias, assim como serão bases para análises de distribuições estatísticas.

Enfim com essa estrutura de dados o gestor poderá filtrar os modos de falha mais importantes além de outros aspectos de confiabilidade do produto.

5.3.1.8 Determinação de ações preventivas

Uma vez tendo notado tendências ou identificado eventos com grande probabilidade de ocorrência o gestor do produto pode determinar a necessidade de ações preventivas, como inspeções periódicas, alteração de intervalos de manutenções periódicas e até a substituição de itens em campo ou em fábrica, os chamados “recalls”.

O sistema FRACAS deverá ser capaz de absorver alterações sistêmicas, como por exemplo a troca de um item em toda a base instalada, o que altera a configuração do sistema. Para isso o sistema FRACAS deverá possuir um serviço, ou agente capaz de efetuar automaticamente essas alterações. E registrá-las como incidentes ou eventos.

5.3.1.9 Revisão de procedimentos de correção e contingência

Graças ao registro de informações será possível avaliar a eficácia das ações de correção e contingência, isso permitirá ao gestor criar ou reeditar os procedimentos mais importantes de correção e contingência. Após a criação desses procedimentos eles podem ser carregados automaticamente no sistema com base em listas de procedimentos ligados a cada modo de falha.

5.3.1.10 Sugestões para o programa

Também com base nos dados de falha, será possível ao gestor indicar quais aspectos precisam ter maior atenção na revisão do programa. Esses relatórios com os dados e sugestões devem ser registrados para que estejam disponíveis no momento em que análises para lançamento de uma nova geração estejam ocorrendo.

5.3.1.11 Índices de diferentes gerações de produtos

O gestor do programa necessitará acompanhar a evolução de diferentes índices de RAMS nas diferentes gerações de produtos e por esse motivo o sistema FRACAS deve ser capaz de filtrar e apresentar esses índices de forma ordenada.

Apesar de ser um conceito simples, esse tipo de recurso não é trivial de implementar, principalmente pela necessidade de se manter a consistência dos dados por um grande período permitindo assim a comparação.

5.3.1.12 Análises de correlação

Juntamente com os índices cruzados de diferentes gerações de produtos o gestor de programa irá necessitar efetuar análises de correlação, ligando esses índices com dados de desempenho em vendas, tomada de mercado e análises QFD.

Essa capacidade permite relacionar o aumento em vendas com a melhoria dos parâmetros de RAMS.

5.3.1.13 Ações de melhoria para novas gerações

O sistema FRACAS deve possuir estruturas de análises, relatórios e gráficos indicando pontos para melhoria nas próximas gerações, porém não é incomum ter essas informações e no momento em que uma nova geração é

cogitada essas informações estarem desorganizadas ou até mesmo serem esquecidas.

Para isso o sistema deverá gerar essa informação organizadamente e dispô-la em local específico, permitindo acesso apenas aos usuários com permissão.

5.3.1.14 Verificação da implementação das ações de melhoria

O sistema deve permitir ao gestor do programa um controle das ações de melhoria, enviando avisos e alertas em caso de não cumprimento dessas ações.

Para isso na ferramenta FMEA, deverá estar associado um recurso de controle de ações.

5.3.1.15 Verificação da efetividade das ações de melhoria

Finalmente o sistema receberá uma nova geração, que conforme for gerando dados de incidentes, esses poderão ser comparados com a geração anterior, fechando assim o malha de controle do programa.

5.3.1.16 Sistema de auditoria

O sistema de auditoria apesar de ter um conceito simples de registrar o que cada usuário faz no sistema, ele implica em um sistema de informação paralelo ao sistema central do FRACAS e que cresce em uma grande velocidade, pois para cada formulário o sistema registrará a identidade do usuário, data e hora, assim como o tipo de alteração feita. O sistema deverá entregar relatórios automaticamente e deverá ser capaz de identificar usuários que agem de modo inadequado ao sistema.

5.3.2 Inter-relacionamentos

A capacidade de gerir os inter-relacionamentos é a chave para o sucesso do sistema de gestão de RAMS como ferramenta de engenharia simultânea, a preocupação com os inter-relacionamentos é fortemente discutida na literatura especializada que já encontra falhas nos primeiros sistemas para a engenharia simultânea, como defendido por Ainscough, Neailey e Tennant (2001).

O sistema FRACAS possui inúmeros detalhes em cada instância de gestão, porém ainda não foi apresentada a necessidade de o sistema se ligar a outras estruturas de dados, tanto para coletar informações quanto para entregar informações.

Do projeto, o sistema necessitará da árvore de sistema e do FMEA de projeto. E o sistema FRACAS entregará as análises e ações de melhoria sugeridas para a nova geração.

De vendas o sistema necessitará da lista de clientes e a configuração de cada equipamento entregue para cada cliente. O sistema entregará uma lista de eventos ocorridos em cada cliente, mostrando quais clientes sofreram com um maior número de eventos ou atrasos no serviço de atendimento, permitindo uma abordagem diferenciada aos clientes insatisfeitos.

Da manufatura o sistema necessitará do histórico, para fazer análises cruzadas, evidenciando a necessidade de novos tipos de testes. É importante ressaltar que essa ligação com o histórico de manufatura só será possível em caso de as bases de dados poderem ser transcritas para a base FRACAS em um sistema DRACAS, assim as análises cruzadas serão possíveis.

Os relatórios de causas raiz devem ser entregues a todos, para que tanto o pessoal responsável pelo projeto quanto os responsáveis pelo transporte revejam suas decisões com base nos efeitos em campo.

5.3.3 Aspectos tecnológicos

Normalmente diversas das informações que o sistema FRACAS necessita receber ou entregar, devem ser trocadas via diferentes bases de dados, por exemplo, o sistema que possui a lista de clientes pode funcionar em uma base Oracle e os dados históricos de manufatura em uma base SQL.

Nesses casos o sistema FRACAS tomará como recurso serviços, ou programas capazes de copiar dados dessas bases e de transferir dados para essas bases, mantendo a integridade das mesmas.

Outro aspecto importante no trato das informações, é que redes de acesso direto são cada vez mais difíceis de gerenciar, portanto muitas informações inseridas e/ou coletadas do sistema FRACAS deverão ser feitas via Internet. Obviamente o fluxo de informações pode ser realmente intenso o que levaria a necessidade de um servidor unicamente para gerenciar esse tráfego de informações.

Além da necessidade de processamento para a Internet, pela extensa coleção de dados, efetuar cálculos estatísticos e gerar gráficos e relatórios pode exigir muito processamento, para resolver isso o sistema FRACAS tem de ser capaz de trabalhar com multi-processamento em diferentes servidores.

5.3.4 Dados pré-existentes

Normalmente as empresas possuem uma extensa base de dados que não foram constituídos na forma em que o FRACAS foi planejado. O implementador do sistema necessita avaliar esses dados e decidir se eles têm significância para o sistema. Muitas vezes apesar da coleção de dados ser grande esses serão descartados.

No caso de haver significância o sistema deve possuir meios automáticos de importar esses dados, seja importando arquivos de texto, planilhas ou mesmo base de dados.

5.3.5 Recursos necessários

Os recursos necessários podem variar para cada tipo de implementação, porém basicamente se dão em três frentes:

Os recursos humanos: Com a formação e manutenção de analistas, usuários e administradores do sistema.

Os sistemas de integração: capazes de Monitorar e Controlar as atividades de RAMS nos diversos setores da empresa em que essas se desenrolam. São os servidores, o sistema FRACAS em si e as redes de comunicação.

As ferramentas de análise: que podem ser desde um pedaço de papel até uma central de computadores para simulações e cálculos avançados.

5.4 O Fluxo de implementação

O processo de implementação de um sistema de gestão em malha fechada de um Programa, apesar de conceitualmente simples apresenta peculiaridades inerentes de cada Programa, o que impede a construção de um fluxograma ou receita de implementação.

Por vezes será possível determinar, por exemplo, que o problema prioritário de um determinado Programa está relacionado a diferença entre a expectativa do consumidor sobre a velocidade de atendimento para manutenção corretiva, contudo a causa da lentidão pode estar relacionada à uma má gestão de projeto que levou a uma aprovação precipitada do produto sem a devida verificação da mantabilidade. Isso quer dizer que uma reestruturação dos mecanismos de controle e aprovação de produtos deve ser implementada. Havendo restrições de orçamento, talvez a primeira ação dos gestores do programa seja alterar a política de preços para gerar caixa ou simplesmente buscar financiamento.

Exceptuando situações onde os entraves não inviabilizam a solução, o processo de melhoria contínua transcorre facilmente segundo as próprias orientações do presente trabalho.

O primeiro passo então para um gestor de programa é identificar os fatores que causam a deficiência de lucro e rentabilidade ou ameaçam a sustentabilidade desses parâmetros no futuro. Após a identificação, a classificação e priorização dos fatores problemáticos irá levar a um plano de ação focado em determinadas áreas, seja uma melhoria na avaliação do mercado, no levantamento de requisitos, no projeto ou qualquer outra fase do ciclo de vida do produto.

O processo de identificação, classificação, priorização e plano de ações pode utilizar uma análise tipo FMEA. Esse mesmo tipo de análise é aplicado em inúmeras situações para gerir as diferentes fases do ciclo de vida.

É com base nesse plano de ações que as sugestões do presente trabalho encontram sua aplicação. No estudo de caso a seguir, apesar o setor de manutenção ser o mais atingido e solicitado, a fase causadora dos problemas se concentra na área de projetos. Como já levantado anteriormente, nem sempre é possível atuar imediatamente sobre a causa do problema e no estudo de caso serão levantados os motivos para; ao invés de iniciar um trabalho de reestruturação do setor de projeto foram iniciados trabalhos de reestruturação do pós-venda e da manutenção corretiva.

Capítulo 6 – Estudo de caso

6.1 Sistema FRACAS

O trabalho a seguir trata da implementação piloto de um Sistema FRACAS em uma empresa de projeto, manufatura, comércio e manutenção de produtos elétricos, como Transformadores, Retificadores, Condicionadores e Inversores.

O objetivo principal foi utilizar o conceito FRACAS para implementar a Gestão da Confiabilidade em um programa específico na empresa em questão.

Através da seleção de um programa representativo dentro do portfólio da empresa foram identificados, classificados e priorizados os pontos críticos do Programa. Apesar de quase toda fonte causadora dos problemas estar no grupo de projetos, uma série de fatores indicaram a necessidade de se corrigir primeiro o setor de atendimento pós-venda. Um dos fatores preponderantes para essa escolha foi a necessidade de ter indicadores de controle para a melhoria, como:

- Número de chamados em Garantia;
- Taxa de Falha no primeiro mês;
- Satisfação dos consumidores;
- Confiabilidade e Disponibilidade;
- Identificação e quantificação dos itens com menor confiabilidade e disponibilidade.

Com base na determinação de melhorar a operação de manutenção e atendimento pós-venda foram delineados os objetivos gerais do Sistema de Informação respeitando as características de trabalho da empresa, envolvendo as diversas áreas como marketing, projeto, manufatura, testes, comercialização e obviamente pós-venda. O sistema proposto possui três grandes atividades; coleta de dados, análises e ações corretivas.

O sistema de informação implementado foi construído para coletar de dados colhendo as informações úteis e necessárias para a confiabilidade,

qualidade e gestão das operações. O sistema também é capaz de gerar gráficos, relatórios e alertas, permitindo um acesso rápido a análises preliminares de confiabilidade. Por último o sistema fornece acesso fácil às informações com atualizações em tempo real dos índices de confiabilidade e qualidade, permitindo ações corretivas quase instantâneas e geração de histórico sólido de informações relevantes para todo o programa.

Também foram feitas análises complementares para a determinação das curvas de confiabilidade e taxa de falha do produto e para a determinação do número ótimo de peças sobressalentes em um caso hipotético. Para estas determinações foram feitas análises de Weibull, Confiabilidade de Sistemas e Otimização, utilizando as análises de distribuição, diagramas de blocos e método de Monte Carlo.

Apesar de existirem informações incompletas, como é natural para uma empresa na primeira abordagem de confiabilidade, diversos resultados puderam ser vislumbrados, entre eles:

- Redução no tempo de busca por informação;
- Avaliação das taxas de falha e MTBF;
- Identificação de itens críticos;
- Identificação dos principais modos, causas e efeitos de falha;
- Identificação dos clientes insatisfeitos;
- Cálculo dos custos com garantia;
- Cálculo dos tempos médios de reparo;
- Número de manutenções por funcionário;
- Número de falhas por fornecedor;
- Tempo ideal de “burn-In”;
- Vida útil do produto;
- Número ótimo de peças sobressalentes.

Alguns dos resultados não podem ser considerados com valor real, dados os diversos problemas com a qualidade dos dados e aos métodos equivocados aplicados pela engenharia de desenvolvimento, engenharia de ensaios, manufatura, testes, operação e manutenção. A grande maioria desses métodos equivocados é de simples solução e promovem grande

melhoria nos resultados de confiabilidade e disponibilidade. Esses métodos serão discutidos na conclusão do estudo de caso.

6.2 O caso

Tendo em vista a dificuldade em se inserir a confiabilidade de maneira definitiva no dia-a-dia das empresas, uma vez que as poucas análises feitas na atualidade são localizadas e sem recorrência, o trabalho a seguir irá apresentar um caso de aplicação da metodologia FRACAS e como a integração das Políticas de Confiabilidade pode ser conseguida.

6.2.1 A empresa

A empresa em questão iniciou suas atividades na década de 70, fabricando equipamentos para tratamento, condicionamento e conversão de energia em corrente alternada e contínua.

A empresa possui como principais clientes empresas do setor de petróleo, tanto refinarias quanto estações off-shore, assim como empresas de mineração e siderurgia.

É uma empresa com departamentos de projeto, manufatura, testes, vendas, administrativo e assistência técnica. A empresa não possui pessoal especializado em Marketing, não tem controle formal da cobertura e participação no mercado, não tem responsáveis pelo controle de todo o ciclo de vida do produto, assim como não transfere informações de modo minimamente adequado entre os diversos departamentos.

Não existe nenhuma abordagem em relação a gestão de RAMS, onde basicamente prevalece a experiência prévia dos projetistas. Os métodos adotados em praticamente todos os departamentos podem ser qualificados como artesanais e baseados na tentativa e erro.

Apesar dessas características a empresa possui certificados de qualidade ISO 9001 e consegue ter boa projeção no mercado brasileiro com crescimento que acompanha o crescimento da indústria de petróleo, porém não consegue sucesso em suas tentativas de exportação para países desenvolvidos.

6.2.2 Linha de produtos

- Retificadores industriais;
- Equipamentos de alta tensão;
- Inversores e conversores;
- Condicionamento de energia;
- Transformadores e reatores.

6.2.3 A gestão de RAMS

Uma das grandes dificuldades na empresa em questão é que essa não possuía qualquer sistema formal de gestão de RAMS, desconhecendo as taxas de falha de seus produtos, assim como os custos associados ao desenvolvimento, manufatura e manutenção. Eles não possuíam gestores de programa, apenas gestores de projetos que tinham atribuições relacionadas ao lançamento de novos produtos, porém sem análises formais de qualidade, apesar de possuírem o certificado ISO9001.

Eles não efetuam análises FMEA, de predição e não coletam dados de campo com qualquer outra finalidade que não seja compilar custos para a cobrança de serviços de manutenção.

Os sistemas de informação da empresa são desconectados, antigos e sem inteligência, eles não geram relatórios e não permitem o cruzamento de informações.

As opiniões do pessoal de campo não são ouvidas pelo time de projetos, que também sofre com a baixa qualificação de seus integrantes, que desconhecem análises de confiabilidade, apesar de ser um requisito primordial para seus clientes.

As taxas de falha exigidas pelos clientes são estimadas com base em outros equipamentos e sem ligação direta com os projetos desenvolvidos ou com a aplicação em questão.

6.2.4 O programa

O produto escolhido foi um retificador e carregador de baterias industrial, por ser um produto de alta complexidade e com extenso histórico de manutenção.

Retificador/Carregador de Baterias

- Entrada: 440Vca / 3Ø/ 60Hz;
- Saída: várias configurações;
- Garantia: 01 ano;
- Número de Clientes: aprox. 175;
- Número Médio de Vendas: 40 por ano.



Os produtos originados desse programa possuem os seguintes subsistemas:

- Eletrônica de controle (controladores, displays, teclados, etc...);
 - SSM, DRL, CMU, PTM,
- Eletrônica de potência (transistores, diodos, etc...);
 - TM1, TM2, M1, M2,
- Sistemas elétricos (transformadores, baterias, etc...);
 - TRZ, TR1, TR2, F8, F10,
- Bornes, cabos, conectores e acessórios;
- Gabinete.

A função do produto é receber uma entrada trifásica e entregar uma série de saídas com possibilidade de diferentes tensões, isso afetará a configuração do equipamento. Em caso de queda da tensão de entrada o equipamento deve suprir as saídas através das baterias com duração variável dependendo da escolha do cliente. As baterias devem ser recarregadas e mantidas carregadas sempre que houver tensão de entrada.

6.3 Objetivos do estudo de caso

Os objetivos do estudo de caso diferem dos objetivos do sistema de gestão da confiabilidade (FRACAS). A seguir serão apresentados os dois principais objetivos do estudo de caso:

1. Gerar diretrizes para a Implementação de Sistemas FRACAS para Empresas desenvolvedoras de produtos manufaturados;
2. Avaliar as potencialidades Técnicas, Econômicas e Gerenciais do Sistema, apontando orientações aplicáveis a qualquer tipo de desenvolvimento.

6.4 Fases da implementação

Apesar de as etapas de implementação não seguirem obrigatoriamente uma linearidade elas obedecem a seqüência a seguir:

1. Avaliação dos processos existentes;
2. Identificação das necessidades;
3. Determinação dos objetivos do sistema;
4. Desenvolvimento do sistema;
5. Entrada de dados históricos;
6. Análises;
7. Proposição de ações corretivas.

6.4.1 Análise da situação atual

Alguns aspectos da condição atual da empresa foram levantados, entre alguns serão fortemente afetados com a implementação do sistema, como:

- Busca manual de dados;
- Registros em formulários;
- Estatísticas requerem muito trabalho;
- Satisfação de clientes – informal ou inexistente;
- MTBF desconhecidos.

6.4.2 Necessidades

Algumas necessidades e requisitos foram levantadas a fim de orientar aspectos do sistema:

- Coleta e controle de variáveis;
- Fácil inserção de dados;
- Acesso rápido à informação;
- Geração de relatórios e gráficos;
- Cálculos;
- Alertas.

6.4.3 Levantamento dos objetivos da implementação

Como a empresa em questão ainda está em sua primeira fase de implementação de políticas de gestão da confiabilidade o principal objetivo nesta fase foi apresentar as potencialidades do sistema de gestão com vistas para os objetivos da empresa que são:

- Reduzir custos;
- Aumentar a satisfação do consumidor;
- Antecipar possíveis melhorias de projeto;
- Melhorar atendimento no pós-venda;
- Aumentar o lucro.

6.4.4 Desenvolvimento do sistema

O desenvolvimento do sistema passa obrigatoriamente por algumas etapas que são mostradas a seguir.

1. Fluxo de informações;
2. Estrutura de dados e usuários;
3. Tabelas e formulários;
4. Relatórios;
5. Gráficos;
6. Alertas;
7. Filtros.

6.4.5 Fluxo de informações

Ao menos dois fluxos interferem na estrutura do sistema, o fluxo pré-venda e o fluxo pós-venda que são mostrados a seguir, nas Figuras 33 e 34 respectivamente.

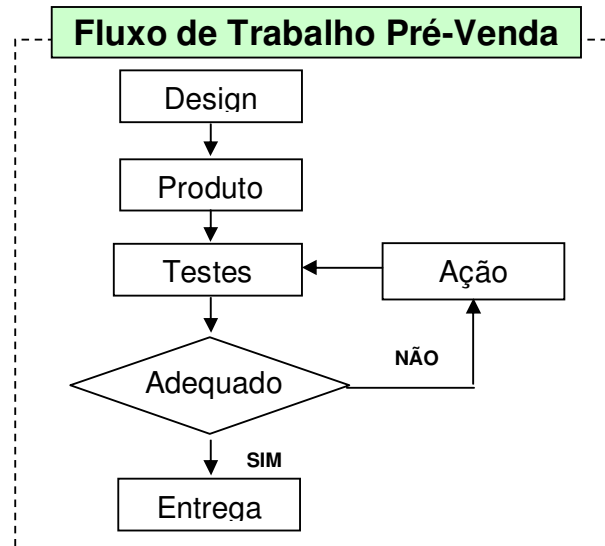


Figura 33 – Fluxo de trabalho pré-venda

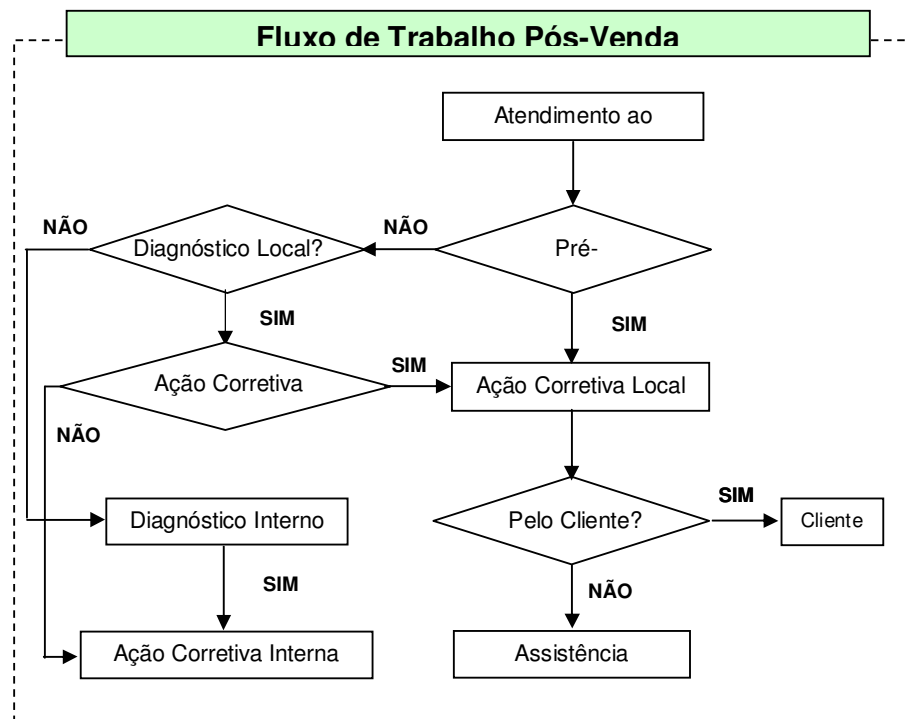


Figura 34 – Fluxo de trabalho pós-venda

O modo como os fluxos contribuem para o sistema é mostrado na Figura 34, onde aparecem os fluxos de pré e pós-venda e como as informações coletadas de cada entidade são recebidas pelo sistema, classificadas e registradas no banco de dados. No mesmo diagrama existe uma área que mostra como as análises se comunicam com a base de dados e geram suporte a tomada de decisão sobre ações de melhoria ou correção.

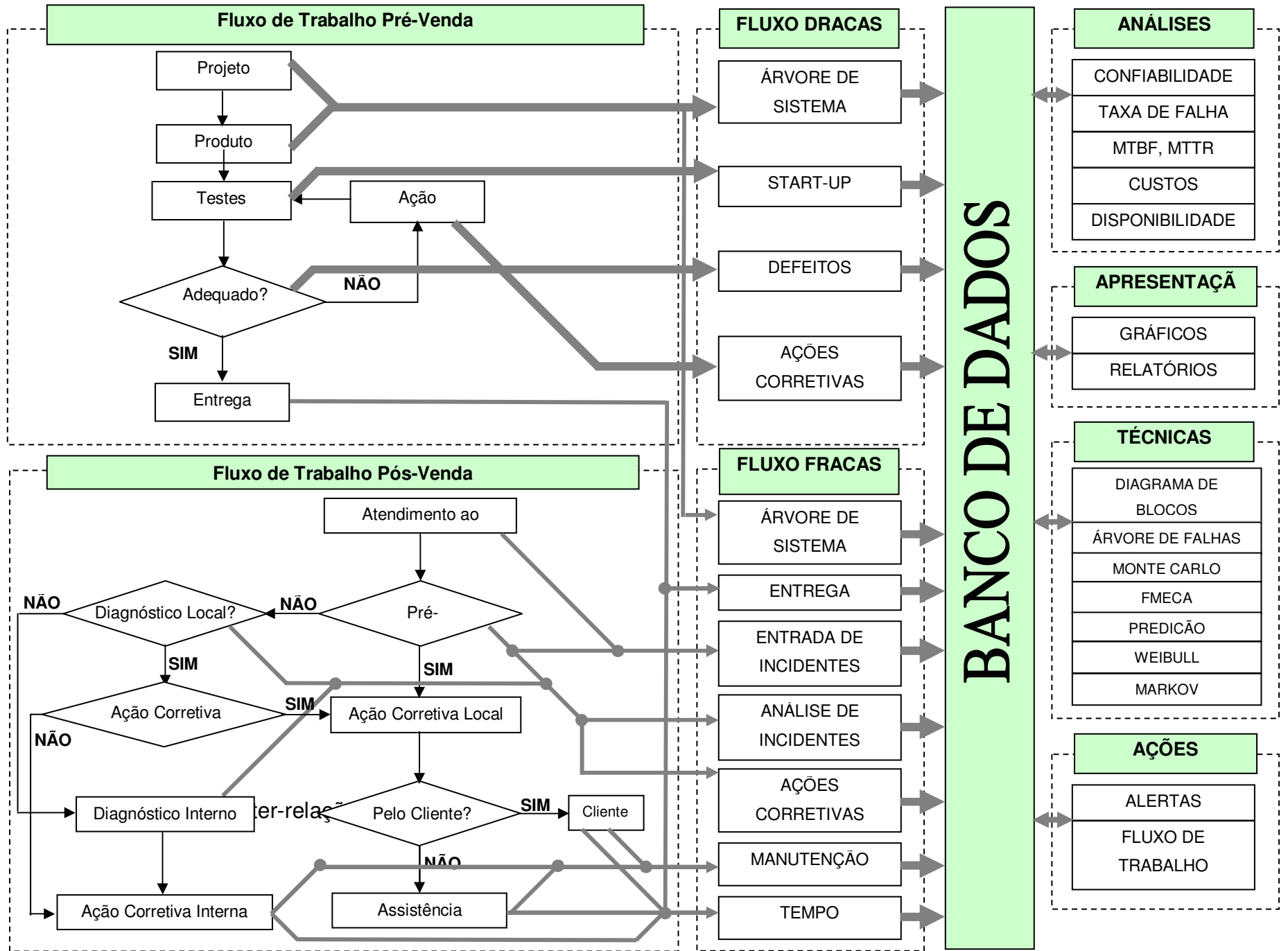


Figura 34 – Inter-relações FRACAS

6.4.6 Tipos de dados e usuários

Uma vez entendida a origem das informações e a estrutura geral do sistema é necessária a determinação de que dados serão coletados, como serão coletados e de que tipo serão estes dados. Além disso, é importante identificar quais grupos de usuários estarão interagindo com o sistema e que tipo de acesso cada grupo terá. A seguir seguem algumas etapas deste processo:

- Determinação dos campos;
- Determinação das variáveis;
- Determinação de índices;
- Grupos e tipos de usuário;
 - Atendimento telefônico;
 - Pessoal de manutenção;
 - Analistas;
 - Engenheiros de confiabilidade;
 - Gerentes e gestores.

6.4.7 Listas

As listas servem para agrupar dados de opções para campos. Alguns exemplos são a lista de modelos de equipamentos, a lista de clientes e a lista de modos de falha.

As listas podem ser fixas ou podem ser acrescentadas de outras entradas. Ainda existem as listas dependentes como é o caso das listas de modos de falha que dependem do item selecionado.

6.4.8 Tabela de campos

Uma vez determinados os campos e suas características deve ser definido como estes serão agrupados através de tabelas. Como mostrado a seguir.

6.4.8.1 Tabela de entrega

A Tabela 3 apresenta uma representação da tabela de entrega utilizando um “software” de mercado (Relex FRACAS). Apesar de a tabela ter sido gerada nesse aplicativo é importante ressaltar que todo o trabalho desenvolvido pode ser transferido para outras ferramentas de controle de banco de dados relacionais.

A coluna 1 da Tabela 3 representa o conjunto de campos necessários para o registro de entrega de cada equipamento. Cada entrega está relacionada a um número de série e a uma configuração do equipamento e deve conter a data de início da operação do equipamento.

Tabela 3 – Tabela de entrega

Table Format - Deployments Fields								
	Field	Title	Width	Precision	Default Value	List	Disabled	Use Prompt
1	Deployment ID	Deployment ID	34	0			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	Modelo	Modelo	12	0		Modelo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	Tipo	Tipo	7	0		**DEPENDENTLIST**	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	Número de Série	Número de Série	11	0		SERIALS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	Data de Nascimento	Data de Nascimento	11	Date/Time	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	Cliente	Cliente	26	0		Cliente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	Planta	Planta	15	0		**DEPENDENTLIST**	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	Contatos	Contatos	12	0		**DEPENDENTLIST**	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	Observações	Observações	12	0			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
*							<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

6.4.8.2 Tabela da árvore do sistema

A coluna um da Tabela 4 indica os campos para a especificação dos componentes do produto. Essa tabela também pode ser montada em outros “softwares” de controle de banco de dados.

Tabela 4 – Tabela de descrição do sistema

Table Format - System Tree Items/Parts Table Fields									
	Field	Title	Width	Precision	Default Value	List	Disabled	Use Prompt	
1	Nome	Nome	15	0			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2	System Tree Identifier	System Tree Identifier	15	0			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3	Dados Principais	Dados Principais	15	0			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
4	Quantidade	Quantidade	10	0	1		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
5	Custo da Unidade	Custo da Unidade	13	2			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
6	Fabricante	Fabricante	12	0		Fabricante	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
7	Part Number	Part Number	10	0			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
8	Referência	Referência	12	0			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
9	Observações	Observações	30	0			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
10	Custo com Substituições	Custo com Substituições	15	2	0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
11	Custo com Manutenções	Custo com Manutenções	10	2	0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
12	Custo Total	Custo Total	10	2	0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
13	Value, MTBF (FRACAS)	Value, MTBF (FRACAS)	10	6			<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
14	Som. dos Custos de Repar	Som. dos Custos de Reparo	12	0			<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
15	Som. dos Custos dos Itens	Som. dos Custos dos Itens	10	0			<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
*							<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

6.4.8.3 Tabela de incidentes

A coluna um da Tabela 5 indica os campos que qualificam cada incidente.

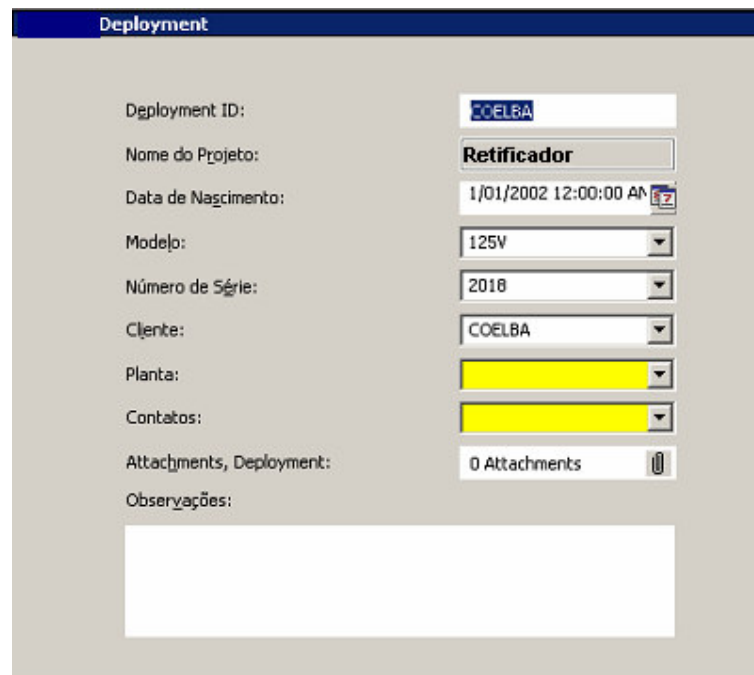
Tabela 5 – Tabela de incidentes

Table Format - Incidents Fields									
	Field	Title	Width	Precision	Default Value	List	Disabled	Use Prompt	
1	Incident Identifier	Incident Identifier	10	0			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2	Deployment	Deployment	15	0			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3	Nome do Projeto	Nome do Projeto	12	0			<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
4	System Tree Item	System Tree Item	16	0			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
5	Nº RAT	Nº RAT	6	0			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
6	Data de Ocorrência	Data de Ocorrência	10		Date		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
7	Data de Entrada	Data de Entrada	21		Date/Time		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
8	Reclamação do Consumidor	Reclamação do Consumidor	12	0			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
9	Funcionário de Atendimento	Funcionário de Atendimento	20	0		Funcionários	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
10	Garantia?	Garantia?	10	0			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
11	Faturável?	Faturável?	10	0			<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
12	SAC?	SAC?	10	0			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
13	Resolvido?	Resolvido?	10	0			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
14	Observações	Observações	20	0			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
15	Modo de Falha	Modo de Falha	20	0		Modo de Falha	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
16	Diagnóstico	Diagnóstico	20	0			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
17	Funcionário de Diagnóstico	Funcionário de Diagnóstico	20	0		Funcionários	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
18	Causas	Causas	20	0		CAUSAS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
19	Descrição das Causas	Descrição das Causas	20	0		FAILURE MODE CAUSE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
20	Efeitos	Efeitos	20	0		EFEITOS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
21	Descrição dos Efeitos	Descrição dos Efeitos	20	0			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
22	Ações Corretivas	Ações Corretivas	20	0		AÇÕES CORRETIVAS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
23	Descrição das Ações Corretivas	Descrição das Ações Corretivas	20	0			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
24	Funcionário de Reparo	Funcionário de Reparo	12	0		Funcionários	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
25	Assist. Técnica - Instalação?	Assist. Técnica - Instalação?	10	0			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
26	Assist. Obs	Assist. Obs	30	0			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
27	Pintura Completa?	Pintura Completa?	10	0			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
28	Retoques?	Retoques?	10	0			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
*							<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

6.4.9 Formulários

Os formulários são as estruturas de entrada do sistema, eles são desenvolvidos para simplificar e orientar a entrada de dados. A seguir alguns exemplos de Formulários gerados para o sistema.

6.4.9.1 Formulário de entrega



Deployment	
Deployment ID:	COELBA
Nome do Projeto:	Retificador
Data de Nascimento:	1/01/2002 12:00:00 AM
Modelo:	125V
Número de Série:	2018
Cliente:	COELBA
Planta:	
Contatos:	
Attachments, Deployment:	0 Attachments
Observações:	

Figura 36 – Formulário de entrega

6.4.9.2 Formulário de atendimento a incidentes

Atendimento

Atendimento ao Cliente

Informações Gerais

Incident Identifier:

Deployment:

Nome do Projeto:

Nº RAT:

Data de Ocorrência:

Data de Entrada:

Funcionário de Atendimento:

Reclamação do Consumidor:

Garantia? SAC?

Observações:

Figura 37 – Formulário de atendimento

6.4.9.3 Formulário de ordem de manutenção

Ordem de Manutenção

Informações Gerais - Não Alterar

Incident Identifier: Incident1

Deployment: PETROBRÁS/RLA

Nome do Projeto:

Data de Ocorrência: 7/21/2003 12:00:00 AM

Data de Entrada: 7/23/2004 3:38:42 PM

Informações Específicas

System Tree Item: PTM

Funcionário de Reparo: Jaikson Menezes da S.

Garantia? Refurágel?:

Reclamação do Consumidor:

Sinalizando Falha na Rede

Diagnóstico:

Transformador T1 da placa PTM004 com defeito.

Modo de Falha: DESCONECIDO

Causas: Queda de Impedância

Descrição das Causas: Com a queda de imp-

Efeitos: DESREGULAGEM

Descrição dos Efeitos:

Ações Corretivas: SUBSTITUIÇÃO

Descrição das Ações:

Substituídos o transformador T1 da placa PTM004 e o

Assist. Técnica - Instalação?:

Assist. Out: Após a verificação no funcionamento, nenhuma irreg.

Pintura

Pintura Completa? Retoques?:

Figura 38 – Formulário de manutenção

6.4.10 Análises FRACAS

Para tomar decisões algumas perguntas precisam respondidas e é com foco nestas respostas que algumas análises são delineadas como mostrado a seguir:

- Avaliação das taxas de falha e MTBF;
- Identificação de itens críticos;
- Identificação dos modos e causas de falha;
- Informação sobre a satisfação de clientes;
- Cálculo dos custos com garantia;
- Cálculo dos tempos médios de reparo;
- Número de manutenções por funcionário;
- Número de falhas por fornecedor.

Os resultados das análises podem ser apresentados em relatórios ou gráficos, sendo que ambos precisam ser desenvolvidos como mostrado adiante.

Os dados coletados estão concentrados em um período de 24 meses Fevereiro de 2003 a Fevereiro de 2005.

6.4.11 Relatórios

As estruturas de relatório também precisam ser desenvolvidas. A seguir dois exemplos de relatórios automáticos.

Nome do Projeto Retificador
 Data: 8/20/04
 Nome do Arquivo Relatório
 Nome do Filtro

Clientes	Incident Identifier	System Tree Item	Data de Ocorrência	Data de Entrada	Modo de Falha	Resolvido?	Garantia??
PETROBRAS	Incident1	PTM	7/23/03 12:00	7/23/04 3:38	DESCONHEC.	Yes	Yes
PETROBRAS	Incident2	Bateria	11/14/03 12:00	7/26/04 3:58	SOBRETENS.	Yes	Yes
TRANSPETRO	Incident3	DRL	4/8/03 12:00	7/26/04 4:09	QUEIMADO	Yes	Yes
COELBA	Incident4	SSM	7/23/03 12:00	7/26/04 4:17	SOBRETENS.	Yes	Yes
CHESF II	Incident5	DRL	9/5/03 12:00	7/26/04 4:24	SOBRETENS.	Yes	Yes
SIEMENS	Incident6	TR2	11/14/03 12:00	7/26/04 4:31	DESCONHEC.	Yes	Yes
SIEMENS	Incident7	PTM	11/15/03 12:00	7/26/04 4:36	DESCONHEC.	Yes	Yes
MODEC /	Incident8	SSM	11/12/03 12:00	7/26/04 4:41	DESCONHEC.	Yes	Yes
ELEKTRO IV	Incident9	CMU	10/30/03 12:00	7/26/04 4:48	DESCONHEC.	Yes	Yes
TRANSPETRO	Incident10	Placas Eletrônicas	5/6/03 12:00	7/27/04 9:14	SOBRETENS.	Yes	Yes
TRANSPETRO	Incident11	TM1	4/23/03 12:00	7/27/04 9:51	SOBRETENS.	Yes	Yes
TRANSPETRO	Incident12	F8, F10, FA1, FA2	3/26/03 12:00	7/27/04 10:05	DESCONHEC.	Yes	Yes
ELEKTRO IV	Incident13	Retificador	9/8/03 12:00	7/27/04 10:16	DESCONHEC.	Yes	Yes
SIEMENS	Incident14	Retificador	2/21/03 12:00	7/27/04 10:25	SINAL INSTÁV	Yes	Yes
COELBA	Incident15	Placas Eletrônicas	7/22/03 12:00	7/27/04 10:39	DESCONHEC.	Yes	Yes
WE6	Incident16	Retificador	12/4/03 12:00	7/27/04 10:49	DESCONHEC.	Yes	Yes
TRANSPETRO	Incident17	Retificador	5/23/03 12:00	7/27/04 10:58	SOBRETENS.	Yes	Yes
WE6	Incident18	Retificador	11/24/03 12:00	7/27/04 11:07	INOPERANTE	Yes	Yes
ETEL	Incident19	Retificador	11/29/03 12:00	7/27/04 11:17	INOPERANTE	Yes	Yes
PETROBRAS	Incident20	Software	12/19/03 12:00	7/27/04 11:31	INOPERANTE	Yes	Yes
CIMEPAR	Incident21	CMU	1/21/04 12:00	7/27/04 11:42	INOPERANTE	Yes	Yes
SCHNEIDER	Incident22	SSM	5/12/04 12:00	7/27/04 11:52	DESCONHEC.	Yes	Yes
CIMEPAR	Incident23	Software	2/12/04 12:00	7/27/04 2:01	DESCONHEC.	Yes	Yes
COELBA	Incident24	Software	2/12/04 12:00	7/27/04 2:11	DESCONHEC.	Yes	Yes
CVRD	Incident25	F8, F10, FA1, FA2	4/23/04 12:00	7/27/04 2:15	QUEBRADO	Yes	Yes
PETROBRAS	Incident26	Placas Eletrônicas	5/31/04 12:00	7/27/04 2:29	DESCONHEC.	Yes	Yes
PETROBRAS	Incident27	Retificador	3/15/04 12:00	7/27/04 2:41	DESCONHEC.	Yes	Yes
TRANSPETRO	Incident28	Retificador	3/11/04 12:00	7/27/04 2:53	SOBRETENS.	Yes	Yes

Figura 39 – Relatório automático de incidentes

Abrir Ordem de Manutenção

OM MaintLog1

RAC Incident1

Informações Gerais

OM Aberta por Jailton Menezes

Projeto Retificador
Cliente PETROBRAS

Planta RLAM
Contato

Report Date 8/20/04
Report Time 10:37 AM

Informações do Equipamento

Equip/Material PTM

Part Number 08-UGR-009509

Fabricante ABC Ltda.

Referência

Dados Principais: Placa fonte de alimentação, tipo: superfície Valim:220Vca/trifásico 60Hz, Vsaída: 24Vcc
*Aplicação: SPXL, SPXM

Observações

Informações do Incidente

Irregularidade Sinalizando Falha na Rede

Observações O cliente não fez observações.

Figura 40 – Relatório automático de manutenção

6.4.12 Gráficos

O sistema foi preparado para a partir de estruturas pré-estabelecidas de gráficos, gerar esses gráficos automaticamente e disponibilizá-los em relatórios ou via painel de Internet.

A seguir alguns gráficos parciais do sistema, no período de 24 meses:

Incidentes por Item

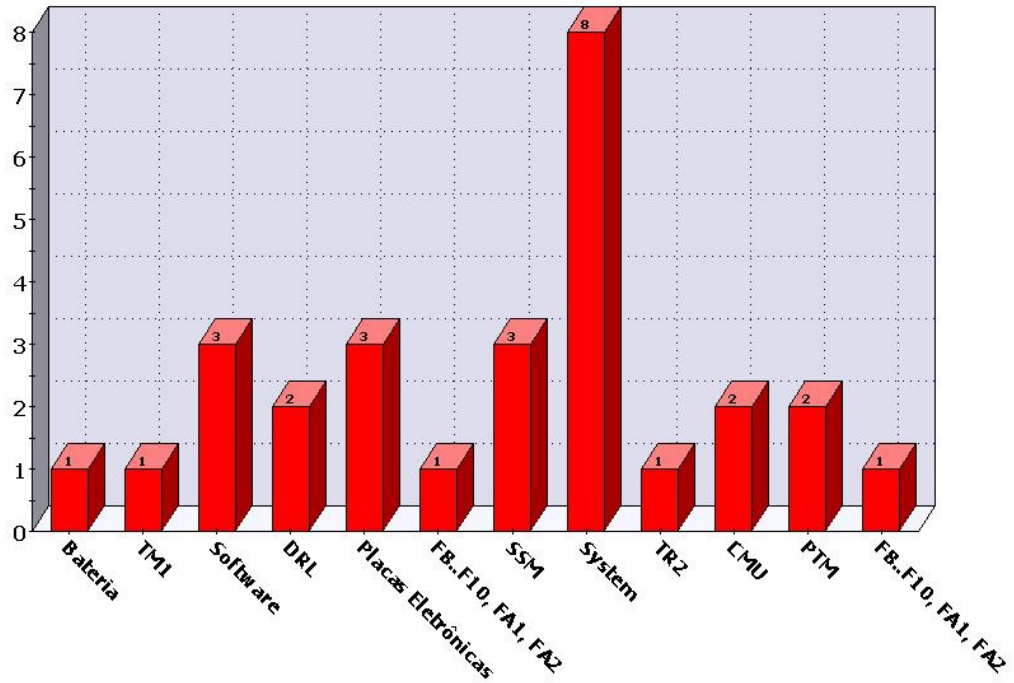


Figura 41 – Número de incidentes por item do sistema

Incidentes por Planta Instalada

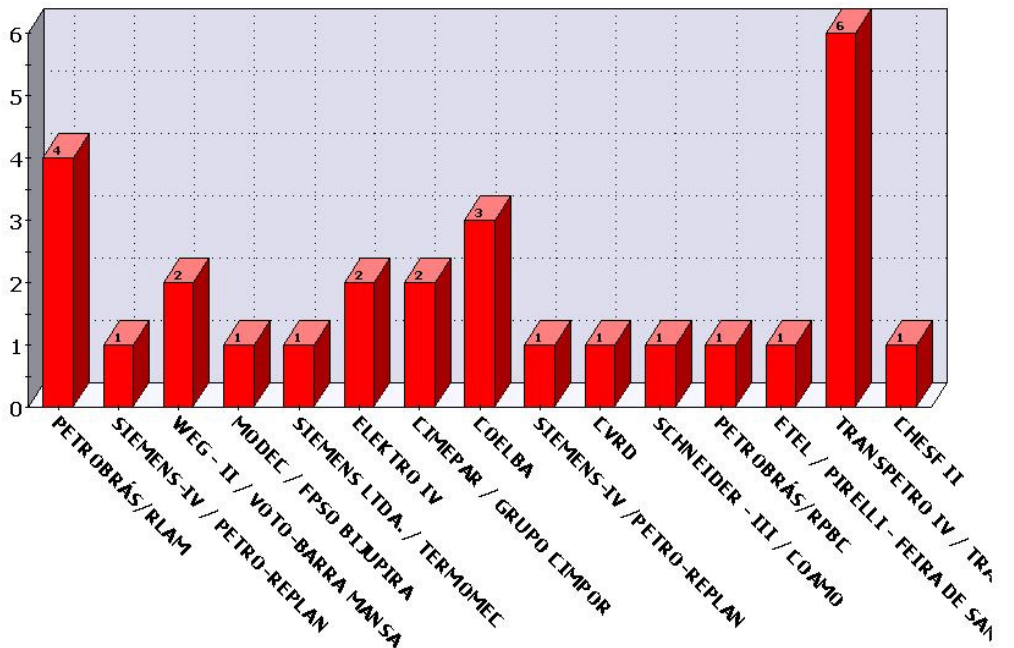


Figura 42 – Incidentes por cliente

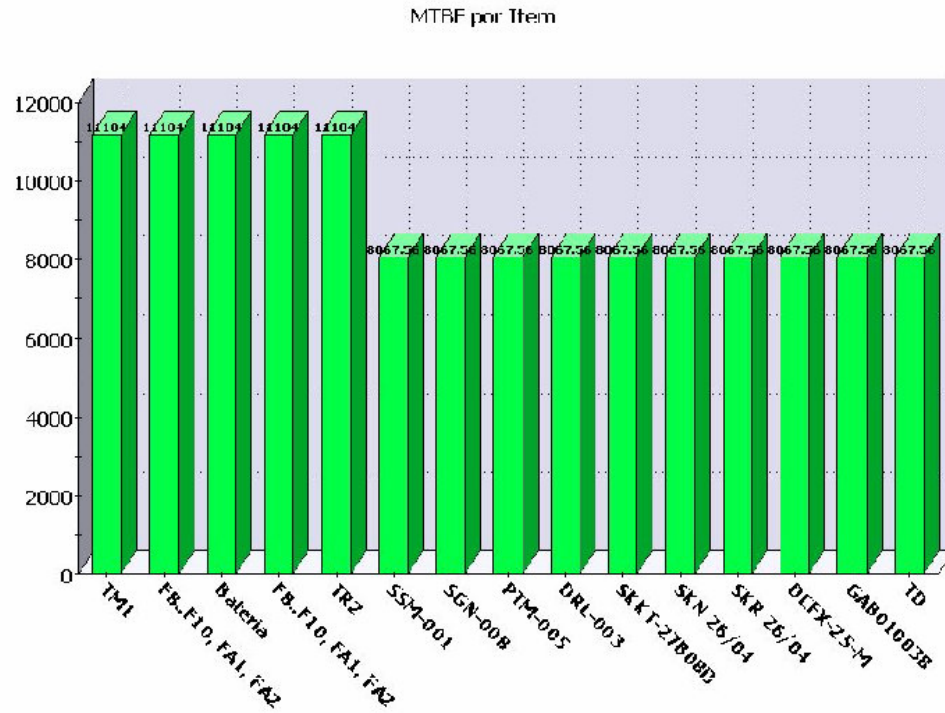


Figura 43 – MTBF por item

6.4.13 Ações corretivas automáticas

Algumas ações corretivas podem ser feitas através de alertas automáticos enviados por e-mail, controlando também a finalização de tarefas. A seguir um exemplo de alerta por e-mail.

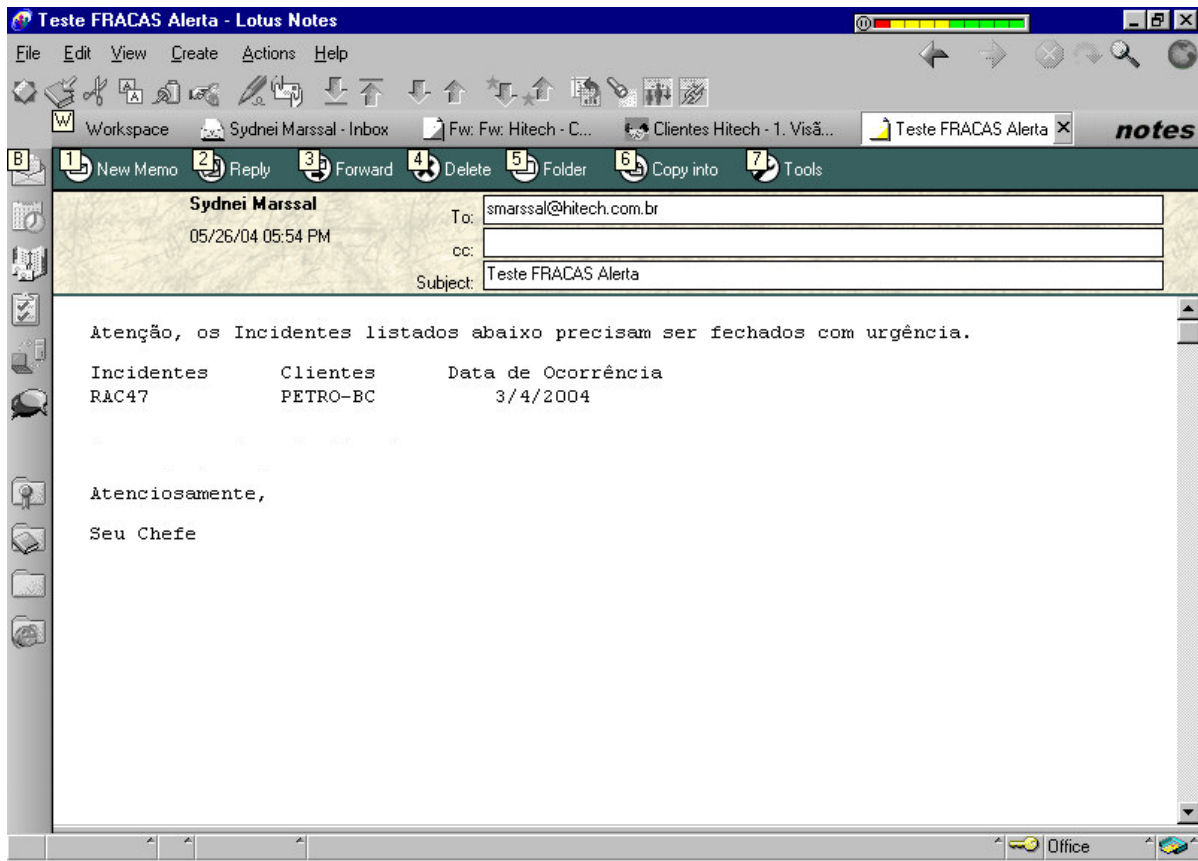


Figura 44 – E-mail de alerta para incidentes em aberto

6.5 Resultados do sistema implementado

Alguns resultados já puderam ser vislumbrados mesmo com o pouco tempo de implementação piloto do sistema, entre eles:

- Redução no tempo de levantamento de informações de 4 horas para 4 segundos;
- Identificação dos itens que devem ser investigados ou re-projetados;
- Identificação dos fornecedores críticos;
- Cálculo dos custos com garantia;
- Ajuda na definição de prioridades de atendimento;
- Entendimento das características de falha do equipamento;
- Ações de “recall” e substituição preventiva de componentes;
- Redução no tempo de atendimento em mais 30%;
- Identificação de clientes insatisfeitos;
- Identificação do desempenho de funcionários de campo;
- Maior conhecimento do sistema;
 - Custo de manutenção;
 - Custo com reposições.

6.6 Análises complementares

Foram efetuadas análises complementares para se mostrar o potencial dos dados coletados na definição de políticas de manutenção. Infelizmente pela baixa qualidade dos dados não foi seguro implementar quaisquer alterações nos procedimentos atuais, porém fica clara a potencialidade que o sistema FRACAS fornece.

Considerando a distribuição de Weibull a dois parâmetros foi possível avaliar os tipos de falha, através da curva da banheira para cada subsistema

e depois através da análise do sistema foi possível efetuar as mesmas avaliações para o produto.

Com a simulação e otimização através do método de Monte Carlo foram feitas simulações e otimizações para encontrar as melhores políticas de manutenção corretiva para o equipamento.

6.6.1 Objetivos

Diversos objetivos foram estabelecidos para estas análises, entre eles:

- Gerar um padrão para futuras análises;
- Gerar uma estrutura de análise para a avaliação das políticas de manutenção;
- Apresentar a potencialidades das análises em questão;
- Avaliar os comportamentos e tipos de falha de cada subsistema;
- Avaliar os comportamentos e tipos de falha do Produto;
- Avaliar a pré-suposição de que equipamentos elétricos e eletrônicos obedecem a distribuição exponencial;
- Simular disponibilidade média e custos nos primeiros dois anos;
- Otimizar número de sobressalentes para as três principais placas eletrônicas.

6.6.2 Métodos

Foram enfrentados alguns problemas para a geração das análises e o principal foi o número de falhas de alguns, pois para alguns itens eles eram grandes o suficiente para exigir uma avaliação em separado e pequeno o suficiente para praticamente invalidar a análise da distribuição.

Foi considerado que três falhas poderiam nos permitir pelo menos estruturar a análise, porém é importante registrar que não se sabe qual a validade dos resultados, uma vez que para alguns itens existem apenas três falhas. O principal intuito da análise é gerar um sistema de informação apresentando resultados preliminares de validade contestável, porém permitindo vislumbrar as potencialidades do sistema de gestão.

Como entre os dados recebidos existiam Incidentes com informações incompletas, algumas falhas não puderam ser atribuídas aos componentes e tiveram de ser atribuídas aos subsistemas ou até ao sistema. Isso obrigou o acréscimo de blocos na análise referentes aos subsistemas e sistemas.

6.6.3 Análises de distribuições

Pela grande capacidade de representação, flexibilidade e simplicidade a distribuição de Weibull foi escolhida. Apesar desses pontos positivos ainda foram feitas verificações de representatividade através de índices de correlação. Os dados utilizados no estudo são provenientes de falhas em período de garantia, sendo tratados como tempo até a falha.

O Produto será composto de quatro subsistemas, sendo um deles constituído de três componentes e um subsistema como mostrado a seguir:

- Sistema (calibrações, bateria, magnético, outros);
- Proteção e componentes de potência;
- “Software”;
- Eletrônica de controle;
 - Placa CMU;
 - Placa SSM;
 - Placa DRL;
 - Outras placas.

Todas as análises feitas pressupõem suspensões. Os gráficos em papel de weibull estão apresentados nos apêndices. É importante salientar que os dados não apresentavam a devida qualidade, uma vez que os padrões de coleta não existiam antes do presente trabalho e todas as análises que seguem não podem ser consideradas como parâmetro final para qualquer tomada de decisão mais séria. As análises que seguem foram executadas para demonstrar o potencial do sistema FRACAS em permitir análises complexas.

Tabela 6 – Resultados da análise de distribuição

Parâmetros de Weibull		
	Beta	Eta (horas)
Sistema	0.845	210320
Proteção e Componentes de Potência	0.790	1162925
“Software”	2.396	52710
Placa CMU	1.972	70734
Placa SSM	2.201	51272
Placa DRL	2.915	41605
Outras Placas	2.496	37284

6.6.4 Análise do sistema

Para a análise do sistema serão utilizados diagramas de blocos em que todos os blocos estarão em série, não havendo redundâncias de qualquer tipo.

As figuras a seguir mostram a configuração do sistema. Cada bloco possui um nome e os parâmetros da distribuição Weibull correspondente. O Bloco Controle Eletrônico é representado por quatro outros blocos.

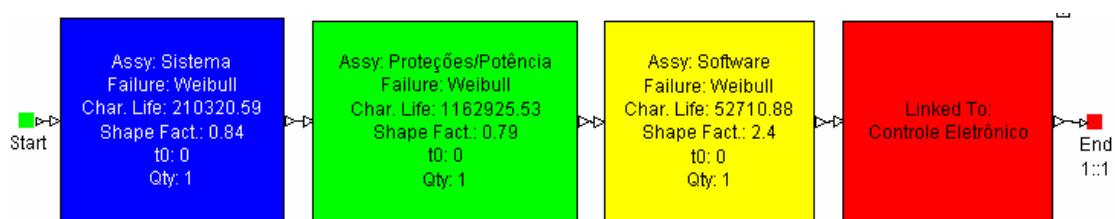


Figura 45 - Subsistemas

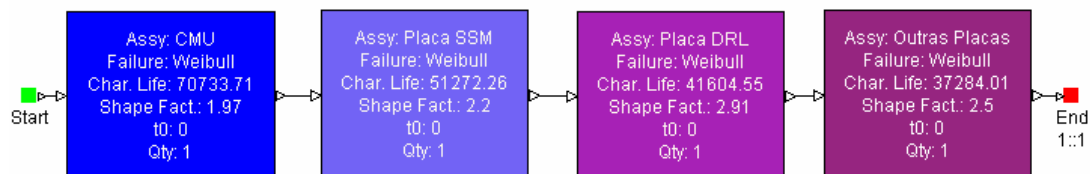


Figura 46 – Sistema de controle

A confiabilidade, a probabilidade de falha acumulada e a taxa de falha do sistema foram calculadas de maneira analítica sem a utilização de simulações pelo Método de Monte Carlo. A Figura 47 mostra esses resultados variando no tempo. O gráfico de taxa de falha possui uma curva indicativa do que seria o ideal para o produto, como mostrado na Figura 48.

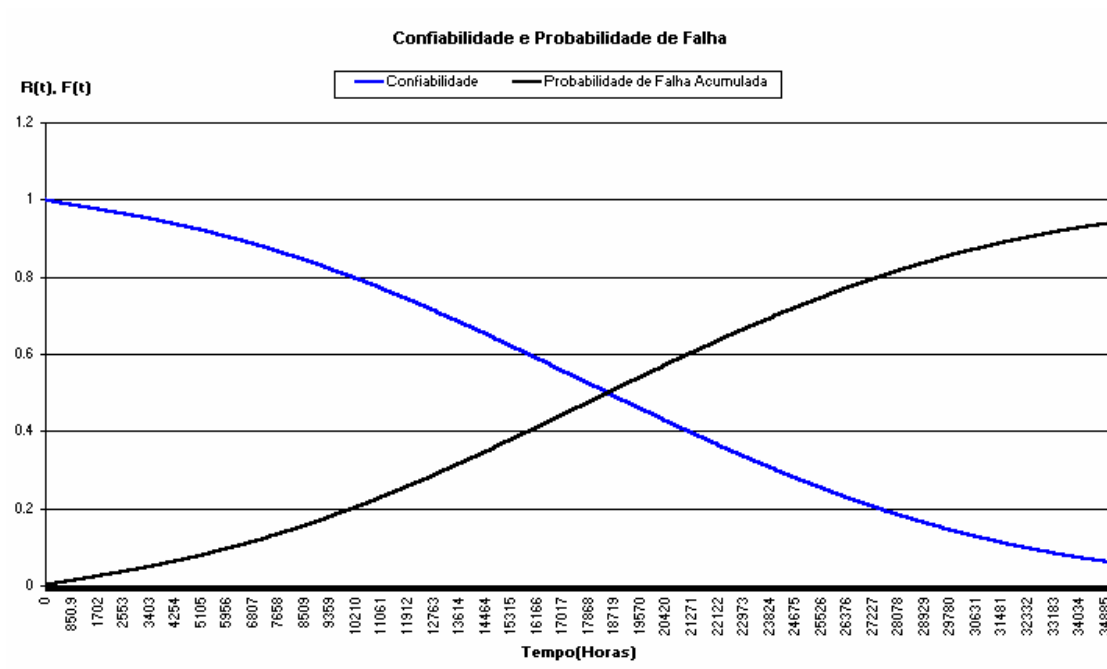


Figura 47 – Confiabilidade e probabilidade de falha do sistema

O gráfico de Confiabilidade indica que mais de 90% dos equipamentos produzidos terão tido uma falha após 34.800 horas, aproximadamente quatro anos.

A Figura 48 apresenta a taxa de falha do sistema, e em azul a taxa de falha esperada para um sistema predominantemente eletrônico.

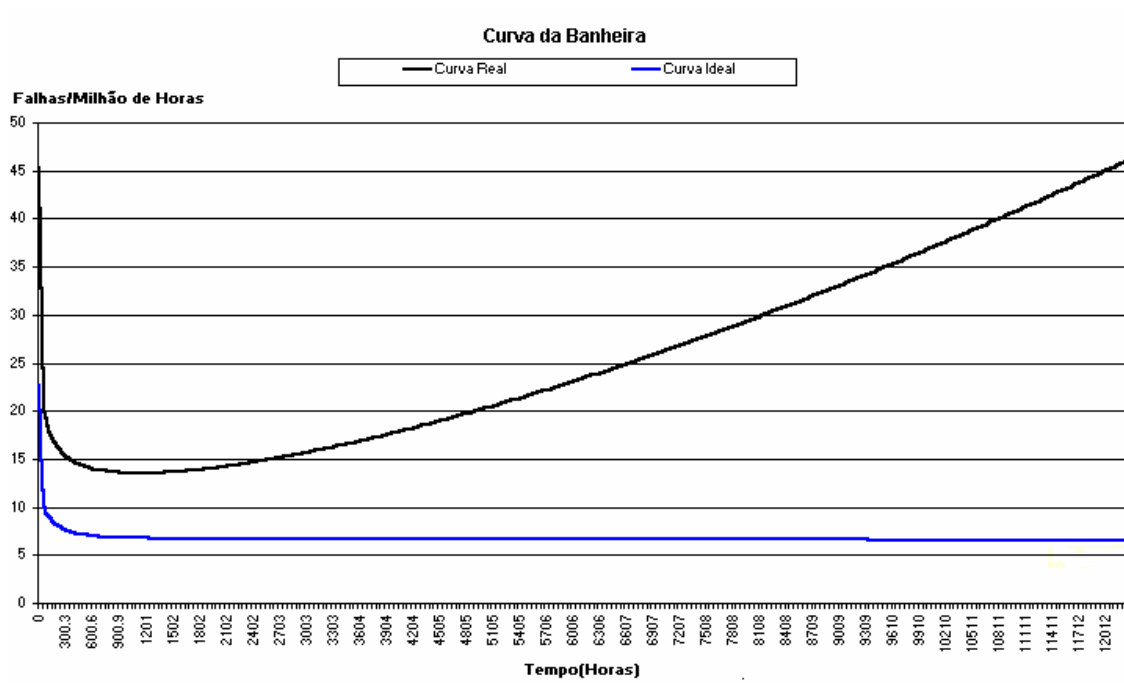


Figura 48 – Taxa de falha do sistema

Através da curva da taxa de falha do sistema foi possível estimar um tempo de 350 horas (aproximadamente 15 dias) de “ESS”, ou seja, com o equipamento operando dentro das instalações da empresa.

Também foi possível ver que diferente do imaginado o produto está longe de apresentar uma taxa de falha constante, o que nos leva até a imaginar a possibilidade de manutenções preventivas para o produto.

Na realidade isso pode se dever a um sub-dimensionamento dos componentes eletrônicos, o que faz com que estes apresentem características de degradação, ou até que existe algum problema de ordem térmica, que leva o produto a deteriorar com o uso.

Vale lembrar que existe muita incerteza em relação aos resultados, pois componentes importantes tiveram poucos dados de falha para validar a análise.

6.6.5 Simulação e otimização

Com a finalidade de gerar um exemplo de estrutura, foi executada uma análise de exemplo através da simulação das políticas de manutenção na disponibilidade do produto. Com a utilização do método de Monte Carlo foi gerado um modelo e colhidos os resultados. Foi analisado em específico o período de dois anos (17.520 horas) que é onde se situam as falhas registradas e em que os intervalos de confiança são mais estreitos.

Primeiramente dados de manutenção e de custos precisaram ser fornecidos, a tabela a seguir apresenta estes resultados.

Tabela 7 – Dados de manutenção

Dados	Unidade	Valor
Custo da Mão de Obra	R\$/hora	17,00
Custo Adicional da Hora Extra	R\$/hora	17,00
Custo de Downtime	R\$	1000,00
Custo por Incidente	R\$	100,00
Tempo Médio de Logística	horas	2
Tempo Médio de Reparo	Dist.LogNormal	
Média		2 horas
Dsv.Padrão		0,5 horas
Custos das Unidades	R\$	--
Não Existem Sobressalentes		

Alguns dos dados foram estimados, pois a maior intenção com este trabalho é gerar uma estrutura de análise e avaliar que tipo de resultados ela pode fornecer. Mesmo com dados estimados crê-se que estes não se distanciam da realidade e permitindo uma análise coerente e proveitosa dos resultados.

Alguns dados não estão sendo apresentados, como o custo de cada item, com o objetivo de facilitar o entendimento do processo de análise.

A tabela a seguir apresenta os resultados da simulação para um período de dois anos. Nesta simulação não foram considerados sobressalentes.

Tabela 8 – Resultados da simulação

Resultados	Unidades	Valores
Confiabilidade	%	53,77
Taxa de Falha	Falhas/10 ⁶ horas	71,3
Disponibilidade Média	%	93,20
Downtime Total	horas	1192
Custo de Downtime	R\$	1.191.726,00
Custo de Manutenção	R\$	1.196,00
Custo Total	R\$	1.192.922,00

Com o objetivo de aumentar a disponibilidade Média no período foi efetuada uma otimização do número de sobressalentes para as placas CMU, SSL e DRL e em seguida foi refeita a simulação. A tabela a seguir apresenta os resultados da Otimização e Re-simulação para o período de dois anos ou 17520 horas.

Tabela 9 – Resultados após a otimização

Resultados	Unidades	Valores
Confiabilidade	%	53,77
Taxa de Falha	Falhas/10 ⁶ horas	71,3
Disponibilidade Média	%	99,91
Downtime Total	horas	15
Custo de Downtime	R\$	14.850,00
Custo de Manutenção	R\$	2.061,00
Custo Total	R\$	16.911,00
Número Ótimo de Sobressalentes	CMU	1
Número Ótimo de Sobressalentes	SSM	1
Número Ótimo de Sobressalentes	DRL	1

Acrescendo apenas duas peças sobressalentes foi possível:

- Aumentar a Disponibilidade de 93,20% para 99,91 %;
- Reduzir o tempo de “Downtime” em 80 vezes;
- Reduzir o Custo Total em 70 vezes economizando R\$ 1.176.011,00.

6.7 Conclusões do estudo de caso

As análises complementares, apesar de ilustrativas, mostraram um grande potencial de suporte a tomada de decisão, qualificando os comportamentos de falha, evidenciando possíveis problemas de projeto e manufatura, reduzindo custos que podem permitir a empresa fabricante vender contratos de garantia de disponibilidade podendo quantificar os riscos tomados com o próprio equipamento.

Por não existir uma coleção de dados de falha mais completa não foram extrapoladas as análises e nem houve a tentativa de prever o comportamento de falha em períodos muito maiores que três anos. Porém conforme mais dados forem se tornando disponíveis, mais precisas e confiáveis serão as análises.

Outro problema que pode ocorrer com o método de Monte Carlo é a imprecisão de resultado devido a uma relação taxa de falha x tempo pequena, ou seja, para pequenas taxas de falha e pequenos intervalos de tempo a incerteza em relação aos incidentes é grande. Um exemplo disso é quando existe um componente com um taxa de falha de 0,01 falhas a cada ano e é desejado planejar o gasto com sobressalentes e manutenção para apenas o próximo ano de operação, o Método de Monte Carlo pode não apresentar uma resposta útil, ou indicando que não existirão falhas no próximo ano ou indicando que haverão falhas neste caso o risco de se tomar uma medida não ótima é muito grande.

O objetivo principal foi alcançado, ou seja, foi gerada uma estrutura de análise capaz de evoluir e permitir a gestão da confiabilidade e qualidade através do tempo, mostrando as potencialidades dos dados coletados e organizados através do sistema FRACAS.

6.8 Recomendações para a empresa analisada

No trato diário com a empresa escolhida para o estudo de caso, foi possível perceber que existiam diversos problemas de satisfação do consumidor, atrelados a falta de disponibilidade dos primeiros retificadores fabricados.

Os problemas foram sendo sanados ao longo de cerca de seis meses, a custo de re-projetos. Porém o re-projeto ocorria às pressas, até porque já existia um apertado cronograma de entrega de produtos. Esse processo lento de identificação de falhas de projeto fez com que diversos clientes recebessem produtos com baixa qualidade, levando a uma baixa satisfação principalmente para os primeiros que adquiriram o produto.

As sugestões de melhoria serão focadas em três fases do ciclo de vida do produto, a fase de levantamento de requisitos, a fase de projeto e a fase de operação e manutenção.

6.8.1 Na fase de levantamento de requisitos

1. Efetuar pesquisa com principais clientes, identificando e formalizando os critérios de decisão que os levam a escolher o produto a ser comprado. (Atualmente não existe tal procedimento, sendo esses requisitos estimados por algumas pessoas da equipe de projeto, feito informalmente e sem base sólida);
2. Efetuar pesquisa interna com agentes da manufatura, distribuição, operação, manutenção e descarte para identificar e formalizar suas necessidades;
3. Implementar técnica QFD, Brainstorming, SWOT e FMEA orientado ao produto. (Atualmente não existem quaisquer técnicas para ligar os requisitos dos consumidores aos requisitos de engenharia, que permita análises comparativas formais com a concorrência, ou ainda

que avalie qualitativamente os riscos envolvidos no processo de concorrência).

6.8.2 Na fase de projeto

1. Efetuar pesquisas individuais com a equipe de projeto para avaliar o entendimento que cada individuo possui sobre os problemas da área, sobre seu entendimento em relação a sua contribuição e pontos em que podem ser efetuadas melhorias;
2. Efetuar FMEA associado ao processo de projeto para avaliar em que fases do projeto estão embutidos os maiores riscos ao cumprimento de requisitos de confiabilidade, manutenibilidade, prazos, custos e outros aspectos que constituem a qualidade do Projeto;
3. Efetuar análises de predição de confiabilidade e manutenibilidade, para identificação de itens críticos e estimação dos fatores que atuam na criticidade dos componentes mais solicitados, permitindo também um espaço para análises comparativas de diversas soluções;
4. Registro de todas as ocorrências e eventos que possam atrapalhar o processo de projeto, com geração de alertas, para reduzir o tempo em que os problemas são resolvidos;
5. Treinamento da equipe de projeto em metodologias de projeto e organização, para garantir uma melhor comunicação e documentação.

6.8.3 Na fase de manufatura e testes

1. Efetuar FMEA de processo voltado à manufatura, identificando fases de maior risco e gerando ações de correção e prevenção;
2. Efetuar, além dos testes funcionais, testes com “camas de pregos” para validação elétrica das placas eletrônicas. Atualmente são feitos apenas testes funcionais, o que não permite a identificação de quais tipos de defeitos de manufatura estão ocorrendo, ou ainda se são defeitos de manufatura ou falhas de projeto;
3. Registrar todas as falhas encontradas nos testes, identificando as causas das falhas ou defeitos;
4. Implementação de tecnologia para rastreabilidade dos produtos e seus subsistemas e componentes.

6.8.4 Na fase de operação e manutenção

1. Efetuar FMEA de processo voltado à operação e a manutenção, identificando atividades de maior risco e gerando ações de correção e prevenção;
2. Geração de manuais simplificados para operadores e mantenedores;
3. Registro de:
 - a. Dados de falha e outras ocorrências;
 - b. Dados de Manutenção;
 - c. De troca de componentes e subsistemas;
4. Avaliação da satisfação dos clientes com o atendimento e com o produto;
5. Geração de ações de atendimento diferenciado para clientes insatisfeitos.

6.8.5 Recomendações finais para o programa

1. Criação da figura responsável pela gestão dos programas;
2. Consolidar FMEA do ciclo de vida do produto;
3. Identificar gargalos e pontos que afetem as vendas;
4. Garantir que as informações sejam centralizadas e sejam utilizadas nos momentos oportunos;
5. Controlar o avanço de tomada de mercado;
6. Verificar o momento em que um novo produto precisará ser lançado.
7. Melhoria do sistema FRACAS e ligação entre as diversas áreas ligadas ao ciclo de vida do produto, implementando a engenharia simultânea.

Capítulo 7 – Conclusões e Recomendações

No presente trabalho foi possível apresentar conceitos tanto gerenciais, para empresas geradoras de produtos, quanto conceitos teóricos relacionados a estatística e Confiabilidade aplicados aos processos de tomada de decisão na gestão de programas, projetos e operações.

Vários desses conceitos puderam ser aplicados a um estudo de caso, que tinha como objetivo apresentar parte do fluxo de gestão de programa, formatando um conjunto de diretrizes para implementação e pré-avaliando a potencialidade de resultados. Esses objetivos foram alcançados plenamente, apesar das restrições de tempo, já que muitas das técnicas propostas e utilizadas possuem um período longo de implementação. O fluxograma apresentado na Figura 49 apresenta as diretrizes sugeridas para implementação da gestão de RAMS. Com o fluxograma é possível entender os dois passos iniciais que são; entender através de análises de mercado a real necessidade de melhoria nos parâmetros de RAMS e entender através de análises comparativas quais núcleos de gestão devem receber o foco da atenção do gestor.

Na Tabela 10 são apresentadas, de modo resumido, algumas técnicas que podem ser implementadas e gerar grande melhoria nos resultados por todo o ciclo de vida dos produtos dentro de um programa.

Obviamente as diretrizes apresentadas apresentarão resultados diversos dependendo de uma série de fatores já apresentados no trabalho. E para alguns setores como as indústrias aeroespacial e nuclear as diretrizes serão demasiadamente simples. Contudo espera-se que a grande maioria dos setores desenvolvedores de produtos poderão se beneficiar seguindo as diretrizes apresentadas.

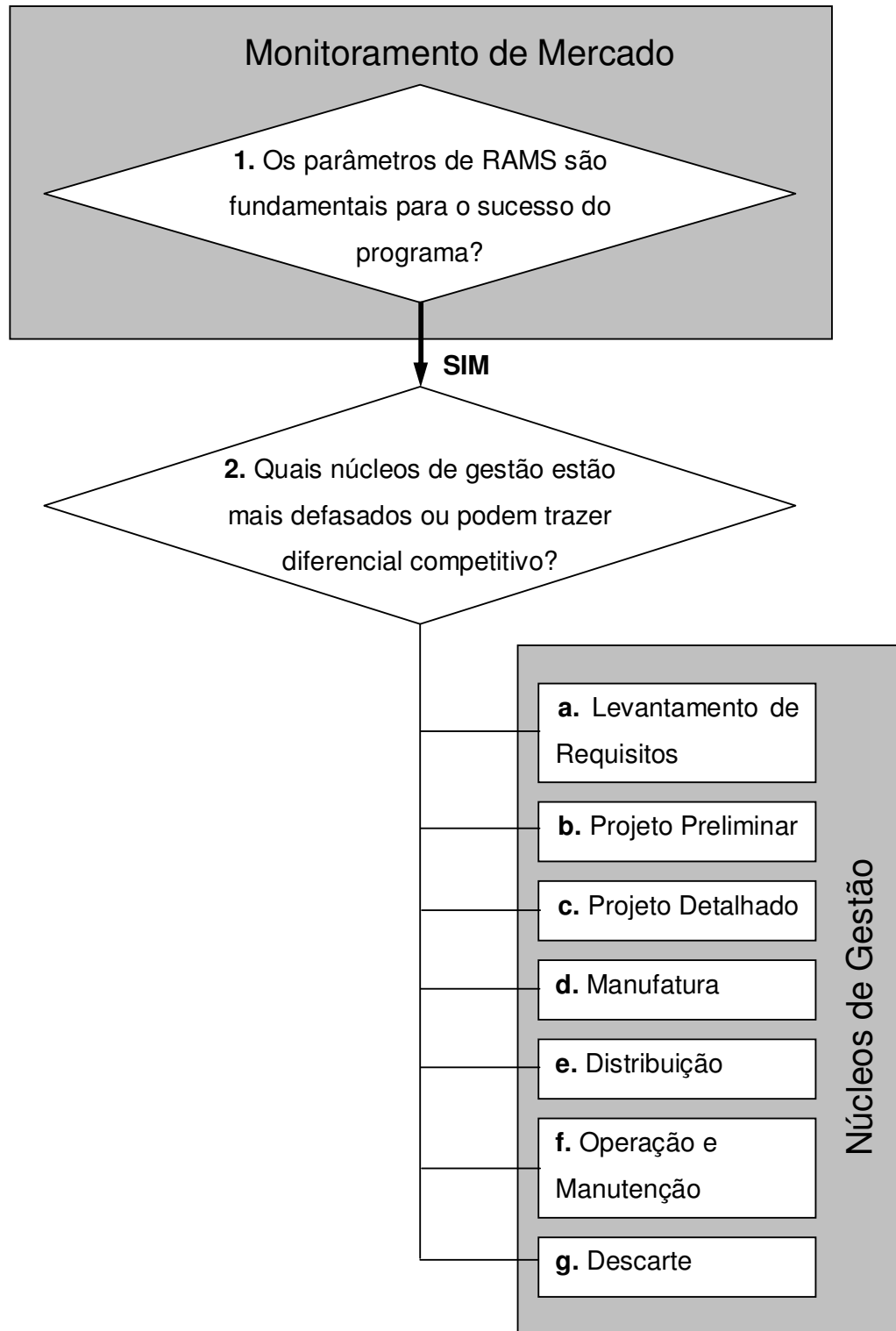


Figura 49 – Fluxograma para implementação da gestão de RAMS

Tabela 10 – Diretrizes para Gestão de RAMS

Fase		Técnicas e ações sugeridas
a	Levantamento de Requisitos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Construção de grupos multidisciplinares 2. Pesquisas de mercado 3. Brainstorming 4. QFD (Quality function deployment) 5. Conjoint analysis 6. Delphi 7. SWOT (Strengths, weaknesses, opportunities and threats)
b	Projeto Preliminar	<ol style="list-style-type: none"> 1. Consulta a dados de campo e ensaios 2. Análise de Modos e Efeitos de Falha (FMEA) 3. Consulta a Bibliotecas, como OREDA, MIL-HDBK-217, NSWC-98/LE1, IEC-61508, NPRD e EPRD. 4. Técnicas de Predição de Confiabilidade e Manutenibilidade, como MIL-HDBK-217, Telcordia, PRISM, NSWC-98/LE1, IEC-61508 e MIL-HDBK-472.
c	Projeto Detalhado	<ol style="list-style-type: none"> 1. Análise de Modos, Efeitos e Criticidade (FMECA) 2. Ensaio Acelerados 3. Crescimento da confiabilidade 4. Análises Bayesianas 5. Análises de “Derating”
d	Manufatura	<ol style="list-style-type: none"> 1. Análise de Modos e Efeitos de Falha em Processos (PFMEA) 2. Análise de Modos e Efeitos de Falha aplicada a Testabilidade 3. Homologação de componentes e fornecedores 4. DRACAS “Defect Reporting, Analysis and Corrective Action System”. 5. CEP – Controle estatístico de processos 6. HAZOP (Hazard and Operability Study) 7. RCM – Manutenção Centrada em Confiabilidade
e	Distribuição	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ensaio Acelerados 2. Análise de taxa de falha em dormência 3. Predição da confiabilidade em dormência 4. Análise do Custo do Ciclo de Vida
f	Operação e Manutenção	<ol style="list-style-type: none"> 1. RCM – Manutenção Centrada em Confiabilidade 2. FRACAS - Coleta de dados, Análises e Ações Corretivas
g	Descarte	<ol style="list-style-type: none"> 1. Análise de mecanismos de falha

O trabalho que se seguiu a partir das diretrizes permitiu abordar conceitos de qualidade, especificamente parâmetros como Confiabilidade, desde uma visão generalista até efetuando análises específicas como a simulação e otimização pelo Método de Monte Carlo. Do ponto de vista do aprendizado foi uma excelente oportunidade de abordar assuntos extensos em profundidade. Também foi possível validar os modelos de gestão, com a implementação parcial de um sistema FRACAS.

Infelizmente gerar resultados com reestruturações desse tipo pode levar muito tempo, pois existem barreiras conjunturais as reformas, como a política das empresas, inércia, resistência à mudança de cultura, e claramente os recursos que são limitados.

Foi possível entender as principais vantagens do sistema de gestão de Programas, como:

- Foco na lucratividade, rentabilidade e sustentabilidade;
- Visão de longo prazo e busca de mecanismos para a predição de condições futuras de mercado;
- Controle de custos e indicadores de qualidade de cada fase do ciclo de vida dos produtos.

Não foram identificadas desvantagens do sistema de gestão em malha fechada seja na sua aplicação direta ao programa, seja na sua aplicação especificamente no controle pós-venda. Contudo diversas barreiras se mostraram grandes desafios, como:

- Dificuldade de encontrar mão-de-obra qualificada seja para controlar os sistemas de gestão, para manter os sistemas computacionais funcionando adequadamente e até mão-de-obra capaz de executar os cálculos e gerar análises dos dados coletados;
- A tecnologia envolvida apesar de não ser algo novo, exige grande responsabilidade e conhecimento, uma vez que trata de informações sigilosas. Quanto maior for o cuidado com a construção de sistemas de dados, maior será o custo e como muitas vezes o retorno se dará em mais de um ano, as

exigências de fluxo de caixa podem atrasar os planos de implementação ou até inviabilizá-los;

- O processo de reestruturação administrativa costuma encontrar obstáculos culturais fortes, uma vez que os conceitos vão contra o senso estabelecido, além é claro da resistência natural à mudança e a insegurança que o novo modelo pode causar aos interesses pessoais dos envolvidos.

Com o presente trabalho crê-se ter alcançado os melhores resultados possíveis de um estudo de duração curta e dadas às dificuldades e barreiras encontradas durante todo o processo.

Diversas das técnicas apresentadas possuem comprovações de efetividade em muitos trabalhos, porém programas completos com a implementação simultânea e ordenada de diversas das técnicas possuem poucos trabalhos com dados consistentes. Portanto como recomendações para trabalhos futuros, existem diversas direções possíveis e interessantes, desde a implementação das diretrizes em diferentes empresas com a coleta dos resultados até um estudo detalhado para a proposição de normas que garantam padrões mínimos para diferentes produtos.

Referências bibliográficas

Ainscough, M.; Neailey, K.; Tennant, C. **A self-assessment tool for implementing concurrent engineering through change management.** International Journal of Project Management, 2001.

AT&T Bell Lab, **Telcordia - Reliability Prediction Procedure for Electronic Equipment, Technical Reference #TR-332**, 2000.

Barlow, R.E. **Mathematical Reliability Theory: From the Beginning to the Present Time.** University of California, College of Engineering, 2002.

Bodsberg, L.; Hokstad, P. **A System Approach to Reliability and Life-Cycle Cost of Process Safety-Systems**, IEEE, v.44, n.2, p. 179-186, 1995.

Brombacher, A.C.; Sander.P.C.; Sonnemans, P.J.M.; Rouvroye.J.L; **Managing product reliability in business processes 'under pressure'**, Reliability Engineering and System Safety, v.88, n.2, p. 137-146, 2004.

Brown, L.M. **Comparing Reliability Predictions to Field Data for Plastic Parts in a Military, Airborne Environment**, v.42, n.4, p. 536-540, IEEE, 2003.

Chan, L.K.; Wu, M.L. **QFD - Quality Function Deployment – A Literature Review**, City University of Hong Kong: European Journal of Operational Research, v.143, n.3, p.463-497, 2002.

Departamento de Defesa dos EUA. **MIL-HDBK-1547A – Eletronic parts, materials, and processes for space and launch vehicles**, 1997.

Departamento de Defesa dos EUA. **MIL-HDBK-217 – Reliability Prediction of Electronic Equipment**, 1995.

Departamento de Defesa dos EUA. **MIL-HDBK-472 – Maintanability Prediction**, 1966.

Departamento de Defesa dos EUA. **MIL-STD-1629 – Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis**, 1998.

Departamento de Defesa dos EUA. **MIL-STD-2155 – FRACAS: Failure Reporting, Analysis and Corrective Action System**, 1985.

Departamento de Defesa dos EUA. **MIL-STD-2173 – Reliability centered maintenance requirements for Naval aircraft, weapons systems and support equipment**, 1986.

Departamento de Defesa dos EUA. **MIL-STD-785B – Reliability program for systems and equipment development and construction**, 1988.

Dovich, R.; Wortman, B. **The Reliable Engineer Primer**, 2ª Edição, Quality Concil of Indiana, 1998.

Duane, J.T. - **Learning curve approach to reliability monitoring**, IEEE, 1965.

Glaccum, J.F.; Hirschauer, M.A. **Proactive Reliability: Using the right tool to grow reliability in product development**, ASQ-Quality Congress, 2002.

Guimarães, L.S.; **Gerenciamento de Riscos e Segurança de Sistemas**, 1ª Edição, 2003.

Hyman, B.; **Fundamentals of Engineering Design**, 1ª Edição, 1998.

IBQN. **Qualidade**. Disponível em:
<<http://www.pr.gov.br/batebyte/edicoes/1993/bb20/qualidade.htm>> Acesso em: 05/fev/2007

IEC-61508 **Functional safety of electrical/ electronic/ programmable electronic safety – related systems**, IEC, 1998.

Ivory, C.; Alderman, N. **Can project management learn anything from studies of failure in complex systems?**, Project Management Journal, v.36, n.3, p.5-16, 2005.

Jones, J.; Hayes, Joseph. **A Comparison of Electronic-Reliability Prediction Models**, Loughborough University of Technology, 1999.

Kales, Paul. **Reliability for technology, Engineering and Management**, 1998.

Kaminski, P.C. **Desenvolvendo produtos com planejamento, criatividade e qualidade**, 1ª Edição, 2000.

Ke, H.Y.; Hwang, C.P. **Reliability program management based on ISO 9000**, The International Journal of Quality & Reliability Management, v.14, n.3, p. 309, 1997.

Leitch, R.D. **Reliability Analysis for Engineers: an Introduction**, Oxford: 1ª Edição, 1995.

Ley, Willy. **Rockets, Missiles, and Men in Space**. New York: Viking, 1968.

Lewis, E.E. **Introduction to Reliability Engineering**, 2ª Edição, 1987.

Modarres, M. **What Every Engineer Should Know About Reliability and Risk Analysis**, 1993.

Moubray, J. **Reliability-Centered Maintenance**, 2ª Edição, 2003.

NASA. **NPR 7120.5B – NASA Program and Project Management Processes and Requirements**, 2002.

Nelson, W. **Accelerated Testing**, 1990.

OREDA Off-shore Reliability Data Handbook, 4ª edição, Sintef, 2002.

Philips, J. **PMP - Project Management Professional Study Guide**, 2003.

Project Management Institute. **PMBOK - The Project Management Body of Knowledge**, 3a Edição, 2004.

Pullman, E.M.; Moore, W.L.; Wardell, D.G. **A comparison of quality function deployment and conjoint analysis in new product design**, Colorado State University, 2001.

Reliability Analysis Center. **EPRD - Electronic Parts Reliability Data**, 1997.

Reliability Analysis Center. **FRACAS - Failure Reporting, Analysis and Corrective Action System - Application Guidelines**, 1999.

Reliability Analysis Center. **NPRD – Nonelectronic Parts Reliability Data**, 1995.

Rodrigues, E. **Escassez que dá lucro**, Fundação Oswaldo Cruz, 1998.

Sander, P.; Badoux, R. **Bayesian methods in reliability**, Kluwer, 1991.

Smith, C.L.; Womack, J.B. **Raytheon Assessment of PRISM as a field failure prediction toll**, Reliability Analysis Center, 2004.

Souza, G.F.M. **Análise de Confiabilidade Aplicada ao Projeto de Sistemas Mecânicos**, Apostila, Escola Politécnica, 2003.

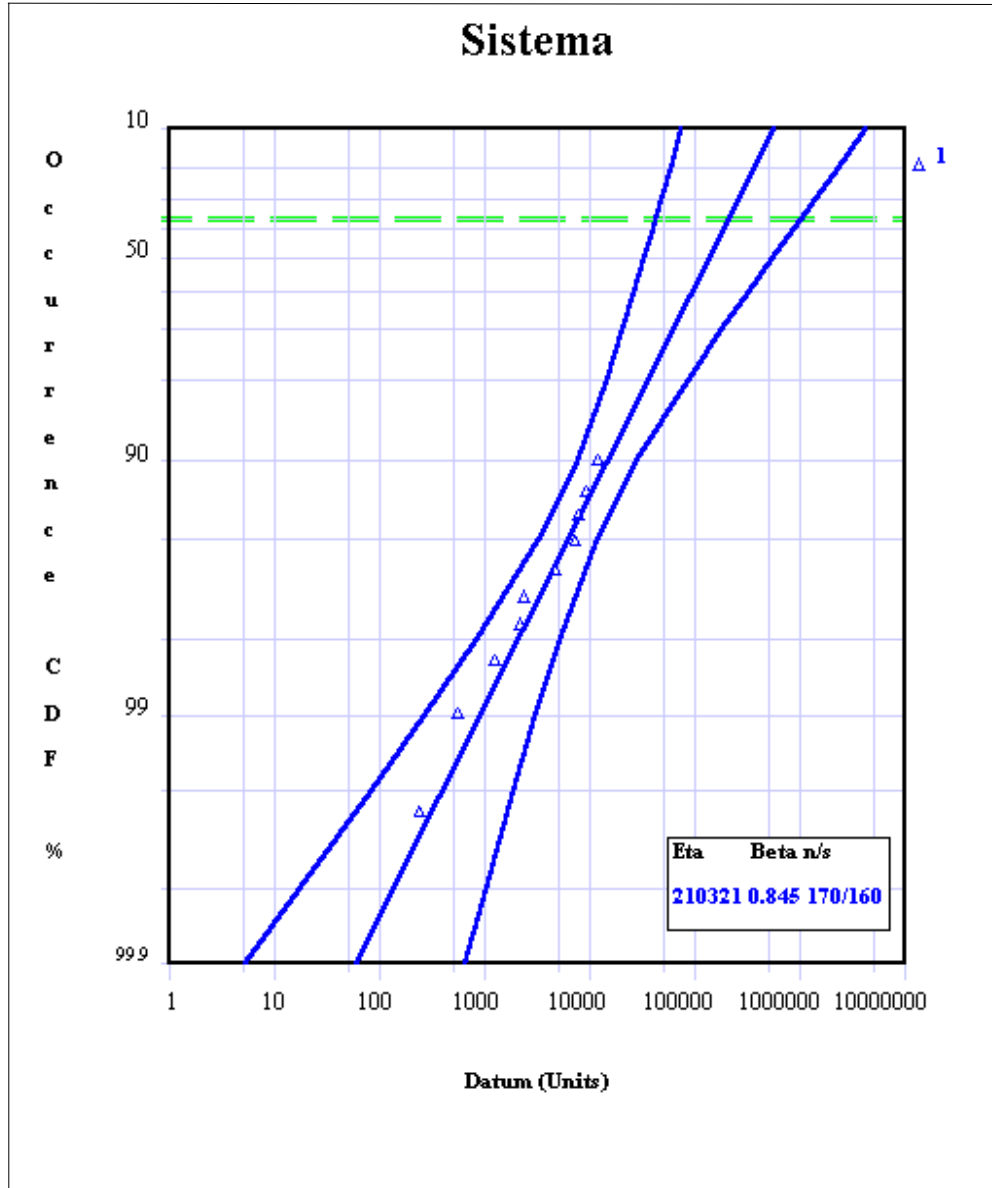
Souza, G.F.M.; Molinari, R. **Fundamentos da Manutenção de Sistemas Mecânicos**, Apostila de PMR-5209, Escola Politécnica, 2005.

Stamatis, D.H. **Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution**, Amer Society for Quality, 1995.

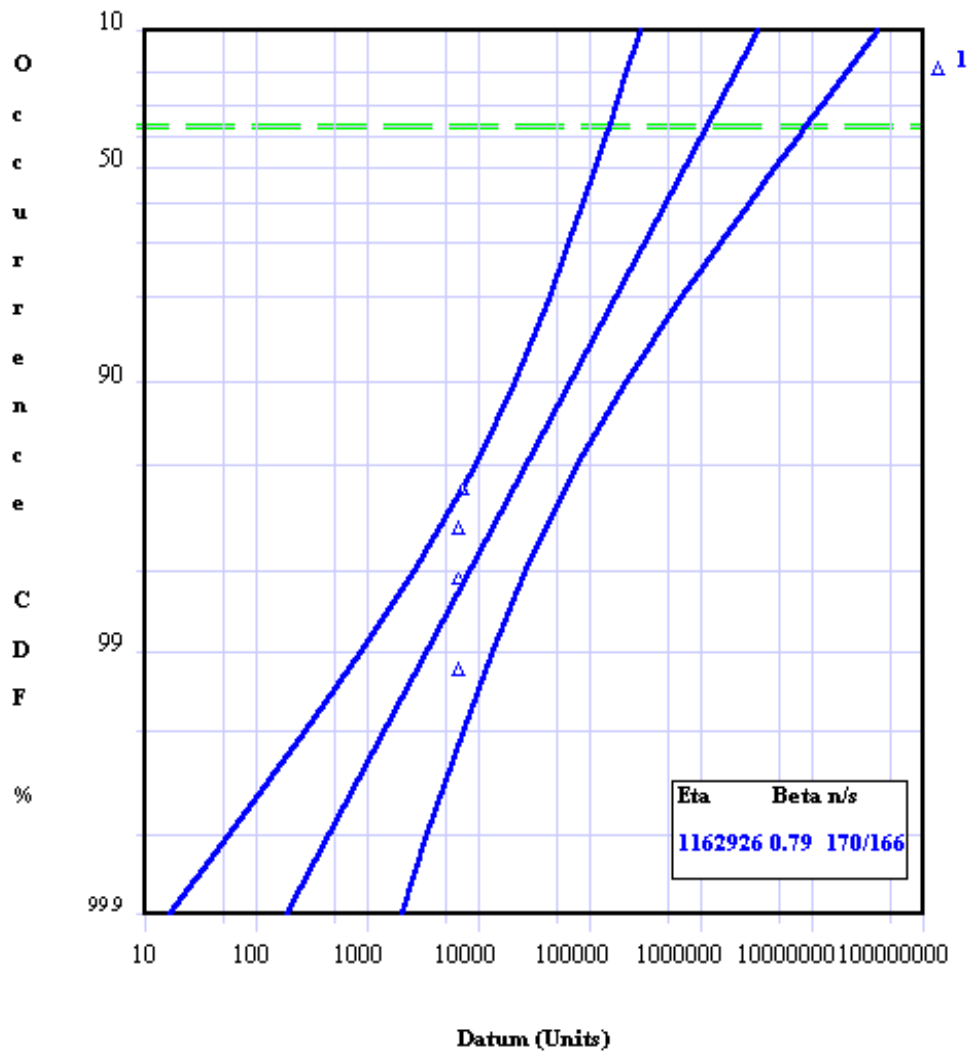
United States Navy. **NSWC-98/LE1 - Handbook of Reliability Prediction Procedures for Mechanical Equipment**, 1998.

Wahlström, B.; Haapanen, P.; Laakso, K.; Pulkkinen, U. **Safety of Nuclear Power; Who learns from whom?**. Technical Research Centre of Finland, 1994.

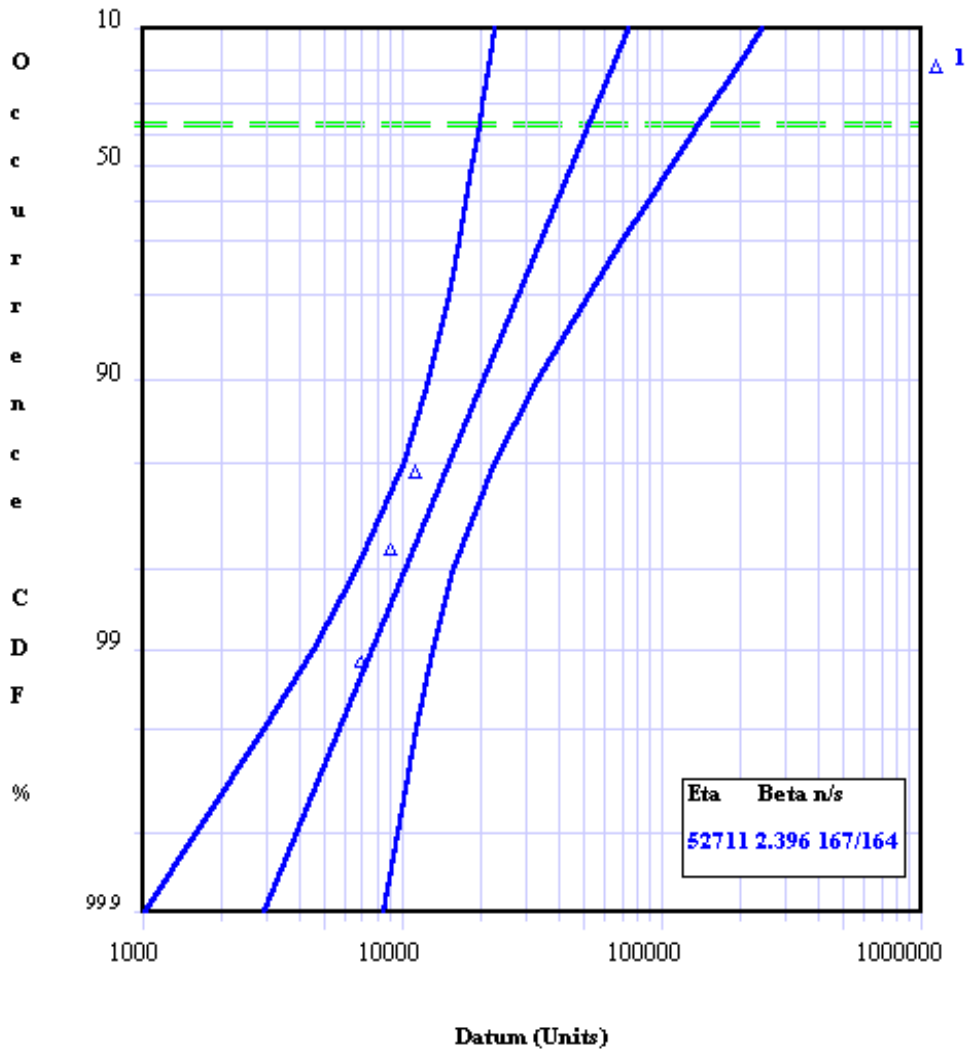
APÊNDICE A – Dados e Análises de Weibull



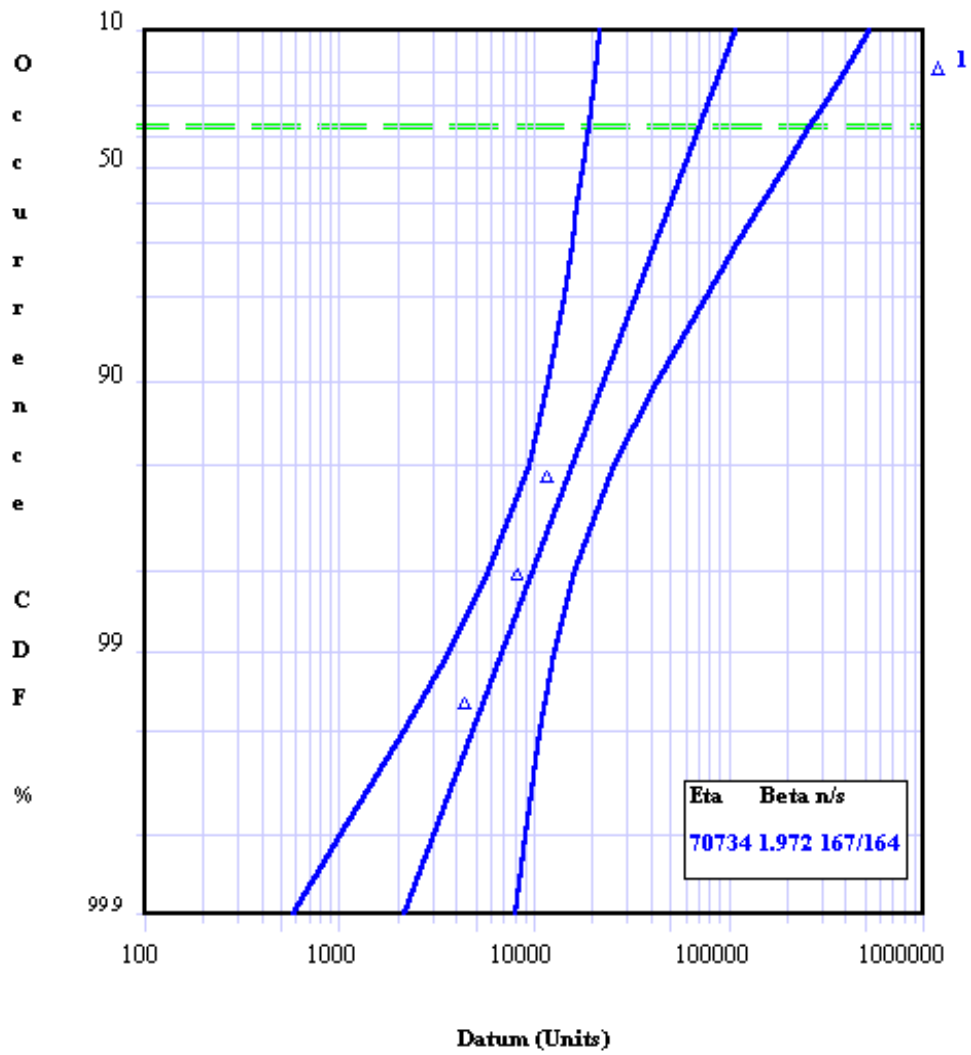
Proteções e Comp.Potência



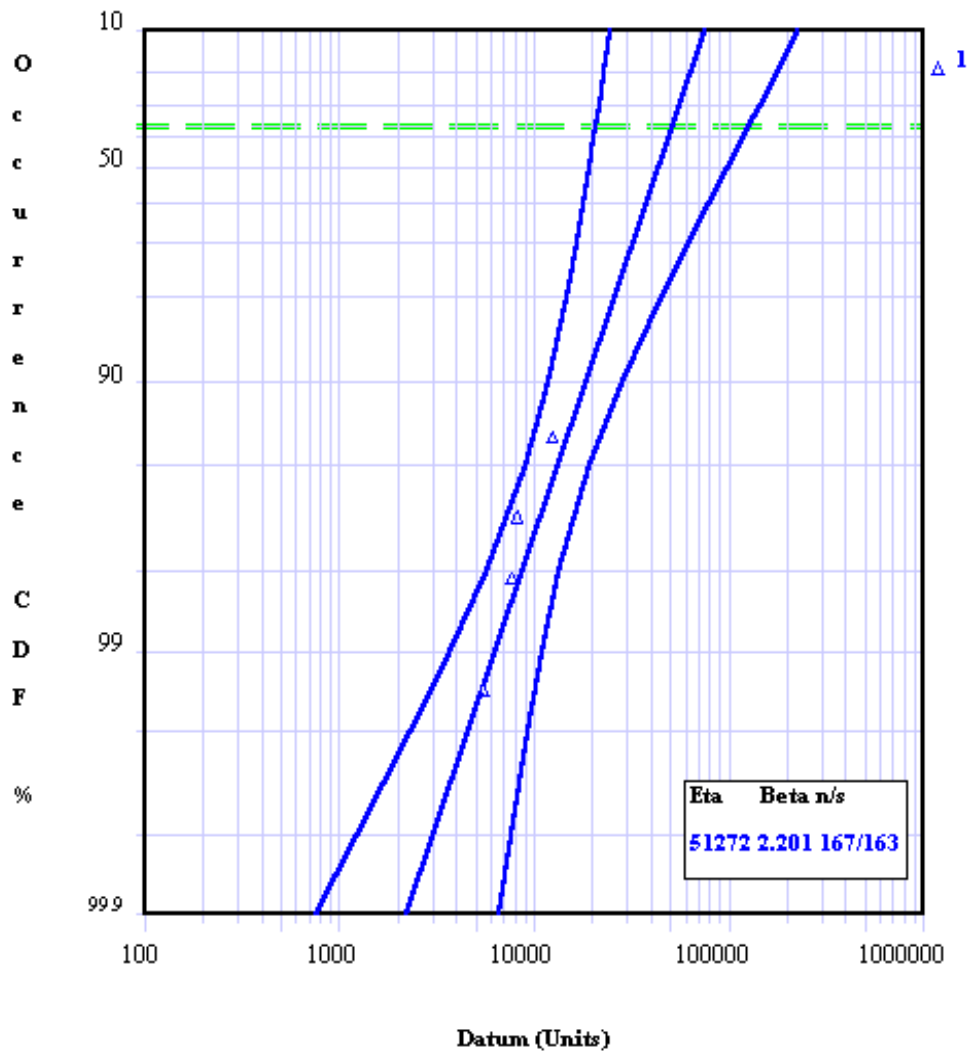
Software



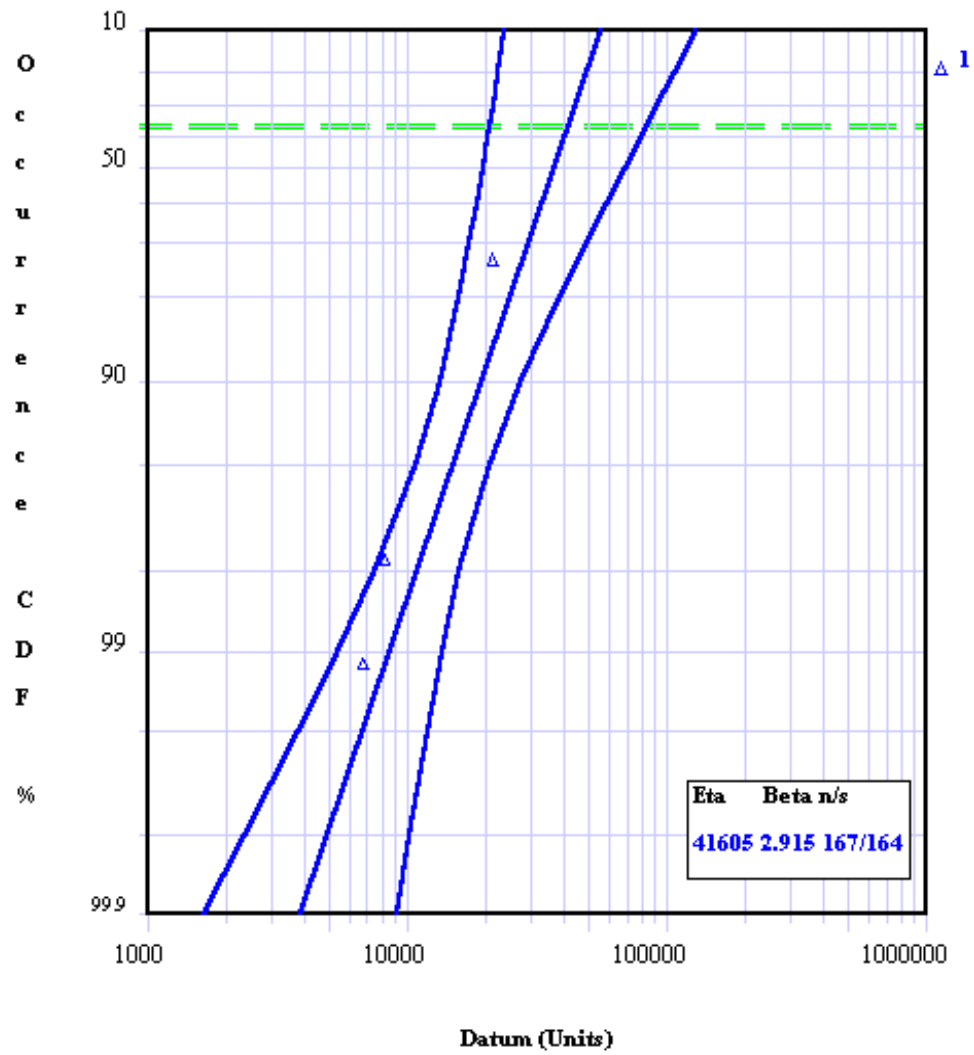
CMU



SSM



DRL



Placas Eletrônicas

