

GUILHERME EDUARDO DA CUNHA BARBOSA

**RECUPERAÇÃO E/OU MODERNIZAÇÃO DE MÁQUINAS: UMA
ABORDAGEM VOLTADA À CONFIABILIDADE**

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

São Paulo

2005

OK

GUILHERME EDUARDO DA CUNHA BARBOSA

**RECUPERAÇÃO E/OU MODERNIZAÇÃO DE MÁQUINAS: UMA
ABORDAGEM VOLTADA À CONFIABILIDADE**

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 Livre-Docente
Gilberto Francisco Martha de Souza

São Paulo

2005

À memória de meu pai,

Elmo Barbosa,

Engenheiro Mecânico.

AGRADECIMENTOS

Ao amigo e orientador, Prof. Dr. Gilberto Francisco Martha de Souza, pela sua inestimável orientação, que me permitiu a realização de um nobre passo em minha vida.

Ao Professor Luiz Eduardo Lopes, pela valiosa contribuição no aprimoramento deste texto.

Aos meus companheiros do Arsenal de Guerra de São Paulo.

Ao amigo Eduardo Gomes Ferreira Pinto.

Àqueles que contribuíram de alguma forma na elaboração desta dissertação.

À minha noiva Sandra. à minha mãe Sonia e à minha querida filhinha Mariana. Peço desculpas se sacrifiquei horas de convívio em prol deste trabalho.

E, acima de tudo, agradeço a DEUS.

MELIOR AMAVISSE ET AMISSISSE

QVAM NUNQVAM AMAVISSE.

(Santo Agostinho)

RESUMO

Atualmente, devido a fatores econômicos e tecnológicos, a modernização de uma máquina em uso vem apresentando considerável crescimento como alternativa para a aquisição de uma nova máquina. Esta modernização pode ser entendida como um projeto de engenharia a ser desenvolvido sobre uma máquina já existente, que foi fruto de um projeto no passado. O projeto de modernização deve considerar uma nova capacidade desejada da máquina, além de um novo regime de funcionamento e ambiente operacional. Assim, a ciência da confiabilidade torna-se uma poderosa ferramenta, em virtude de sua própria definição e de sua metodologia. Este trabalho pretende propor uma metodologia própria para projetos de recuperação e/ou modernização de máquinas. Algumas filosofias de projeto como a engenharia do valor e a metodologia DFX são propostas e discutidas de forma a serem aproveitadas em virtude de sua comprovada eficiência no melhoramento de projeto. Finalmente, devido à participação do autor no “Programa de Revitalização das Viaturas Urutu e Cascavel”, a metodologia desenvolvida no trabalho é aplicada na discussão da recuperação e/ou modernização de alguns sistemas não-críticos da Viatura Blindada Sobre-rodas EE-9 CASCAVEL MII.

Palavras-chave: Recuperação de máquinas. Modernização de máquinas. Confiabilidade.

ABSTRACT

In the current days, due to technological and economic factors, the retrofiting of a machine in use becomes an important alternative for the acquisition of a new one. The retrofiting may be understood as an engineering design to be developed on an existing machine that was the result of a design in the past. The retrofiting design must consider a new desired capability of the machine, a new regimen of working and a new operational environment. Thus, the science of reliability becomes a powerful tool in this analysis due to its proper definition and methodology. This work intends to propose a methodology for overhaul and/or retrofiting design of machines. Some philosophies of design as the value engineering and the DFX methodology are proposed and studied to be used owing to its recognized efficiency in the design improvement. Finally, due to the participation of the author in the "Programa de Revitalização das Viaturas Urutu e Cascavel", the methodology developed in this work is applied in the discussion about the overhaul and/or retrofiting of some non-critical systems of the Armoured Wheeled Vehicle EE-9 CASCAVEL MII.

Keywords: Machine overhaul. Machine retrofiting. Reliability.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	xiii
LISTA DE TABELAS.....	xv
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xvii
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xviii
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Considerações iniciais.....	1
1.2 Objetivo do trabalho.....	2
1.3 Estrutura do Trabalho.....	3
CAPÍTULO 2 - APRESENTAÇÃO DE VARIÁVEIS PARA A ANÁLISE DAS DECISÕES EM UM PROJETO DE RECUPERAÇÃO E/OU MODERNIZAÇÃO DE MÁQUINAS.....	5
2.1 Considerações iniciais.....	5
2.2 Confiabilidade.....	6
2.2.1 Confiabilidade de um elemento.....	7
2.2.1.1 Taxa de falhas.....	9
2.2.1.2 Tempo médio até falha.....	12
2.2.1.3 Distribuição exponencial.....	13
2.2.1.4 Distribuição de Weibull.....	14
2.2.2 Confiabilidade de sistemas.....	15
2.2.2.1 Diagramas de blocos.....	16
2.2.2.2 Arranjo em série.....	16

2.2.2.3 Arranjo com redundâncias.....	17
2.2.2.4 Confiabilidade de sistemas eletrônicos.....	19
2.2.2.5 Confiabilidade de sistemas mecânicos.....	19
2.2.2.6 Confiabilidade de sistemas reparáveis.....	22
2.2.3 Análise de confiabilidade.....	25
2.2.3.1 Análise de modos e efeitos de falha.....	25
2.2.3.2 Análise de árvore de falhas.....	33
2.3 Manutenibilidade.....	37
2.4 Disponibilidade.....	38
2.5 Capabilidade.....	40
2.6 Outras variáveis: especificações da máquina.....	42
2.7 Custos.....	46
2.7.1 Classificação de custos.....	46
2.7.1.1 Custos iniciais e custos de operação e manutenção.....	48
2.7.1.2 Custos fixos e variáveis.....	49
2.7.1.3 Custos diretos e indiretos.....	50
2.7.1.4 Métodos de estimativa de custos.....	51
2.7.2 Custos do ciclo de vida (LCC)	52
CAPÍTULO 3 - ANÁLISE DE FILOSOFIAS DE PROJETO.....	55
3.1 O que é um projeto de engenharia?.....	55
3.1.1 Fases de um projeto de engenharia.....	56
3.1.1.1 Estudo de viabilidade.....	57
3.1.1.2 Projeto preliminar.....	57
3.1.1.3 Projeto detalhado.....	58
3.1.1.4 Continuidade do projeto.....	58

3.2 Aplicação de engenharia reversa no projeto de recuperação e/ou modernização....	60
3.3 Aplicação de análise do valor e engenharia do valor no projeto de recuperação e/ou modernização.....	62
3.3.1 Definição e histórico da análise do valor e engenharia do valor	62
3.3.2 Conceitos fundamentais da AV/EV.....	63
3.3.2.1 Função.....	63
3.3.2.2 Custo.....	64
3.3.2.3 Desempenho.....	64
3.3.2.4 Valor.....	65
3.3.3 Método da AV/EV.....	65
3.3.4 Estabelecimento das funções.....	67
3.3.5 Avaliação das funções.....	69
3.3.6 Método FAST.....	71
3.4 Aplicação de metodologias de projeto DFX no projeto de recuperação e/ou modernização.....	74
3.4.1 Projeto para confiabilidade (DFR).....	75
3.4.1.1 Aplicação de metodologia DFR na concepção do projeto.....	76
3.4.1.2 Aplicação de metodologia DFR na fase de elaboração do projeto.....	77
3.4.1.3 Aplicação de metodologia DFR no início da produção.....	79
3.4.1.4 Outras regras de projeto DFR.....	80
3.4.2 Projeto para manutenibilidade.....	81
CAPÍTULO 4 - METODOLOGIA DE PROJETO DE RECUPERAÇÃO E/OU MODERNIZAÇÃO DE MÁQUINAS.....	
4.1 A recuperação e/ou modernização de máquinas como um projeto de engenharia...	84
4.2 Proposta de metodologia.....	85

4.2.1 Aspectos a serem analisados.....	86
4.2.2 Estudo de viabilidade.....	89
4.2.3 Projeto preliminar.....	92
4.2.4 Projeto detalhado e demais fases do projeto.....	96
CAPÍTULO 5 - TOMADAS DE DECISÃO EM PROJETO DE RECUPERAÇÃO E/OU MODERNIZAÇÃO DE MÁQUINAS.....	
5.1 Tomadas de decisão no projeto de engenharia.....	98
5.2 Processo de tomada de decisão.....	100
5.3 Apresentação de aspectos básicos da teoria da decisão.....	103
5.3.1 Conceitos básicos.....	103
5.3.2 Decisão sob certeza.....	105
5.3.3 Decisão sob risco.....	105
5.3.4 Decisão sob incerteza.....	106
5.4 Métodos de escolha de alternativas.....	109
5.4.1 Votação de Pareto.....	109
5.4.2 Atribuição de notas para os critérios e matrizes de decisão.....	110
5.4.3 Árvore de decisão.....	111
CAPÍTULO 6 - APLICAÇÃO DA METODOLOGIA NO PROJETO DE RECUPERAÇÃO E/OU MODERNIZAÇÃO DO EE-9 CASCAVEL MII.....	
6.1 Breve histórico da recuperação e/ou modernização de veículos blindados no Exército Brasileiro.....	114
6.2 Manutenção no Exército Brasileiro.....	116
6.3 Processo de recuperação de viaturas blindadas no Arsenal de Guerra de São Paulo.....	117

6.4 Projeto de recuperação e/ou modernização do EE-9 CASCAVEL MII.....	120
6.5 Aplicação de estudo de caso no projeto de recuperação e/ou modernização do EE-9 CASCAVEL MII.....	123
6.5.1 Considerações iniciais.....	123
6.5.2 Histórico de dados sobre o EE-9 CASCAVEL MII.....	124
6.5.3 Confiabilidade requerida pelo Exército Brasileiro.....	125
6.5.4 Ambiente operacional da viatura após a sua recuperação e/ou modernização.....	125
6.6 Projeto do sistema de alimentação.....	126
6.6.1 Estudo de viabilidade.....	127
6.6.1.1 Análise de confiabilidade inicial.....	127
6.6.2 Projeto preliminar.....	131
6.6.2.1 Aplicação da AV/EV no projeto de recuperação e/ou modernização do sistema de alimentação.....	131
6.6.2.2 Geração de alternativas.....	134
6.6.2.3 Avaliação das alterações propostas.....	138
6.6.2.3.1 Implicações na confiabilidade do sistema de alimentação.....	138
6.6.2.3.2 Implicações na operação e manutenção do sistema de alimentação.....	140
6.6.3 Seleção da melhor alternativa.....	141
6.6.3.1 Modelo de decisão monocritério – custo do ciclo de vida.....	142
6.6.3.2 Outros modelos de decisão.....	143
6.7 Projeto do sistema elétrico.....	144
6.7.1 Estudo de viabilidade.....	145
6.7.1.1 Análise de confiabilidade inicial.....	145
6.7.1.1.1 Geração e armazenamento de energia elétrica.....	146
6.7.1.1.2 Partida do motor.....	149

6.7.1.1.3 FMEA do sistema elétrico.....	151
6.7.2 Projeto preliminar.....	152
6.7.2.1 Aplicação de AV/EV no projeto de recuperação e/ou modernização do sistema elétrico.....	152
6.7.2.2 Geração de alternativas.....	156
6.7.2.3 Avaliação das alterações propostas.....	160
6.7.2.3.1 Implicações na confiabilidade do sistema elétrico.....	160
6.7.2.3.2 Implicações na operação e manutenção do sistema elétrico.....	161
6.7.3 Seleção da melhor alternativa.....	162
CAPÍTULO 7 - CONCLUSÕES E RECOMENDACÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	163
CAPÍTULO 8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	166
APÊNDICE A.....	172
APÊNDICE B.....	176
APÊNDICE C.....	180
APÊNDICE D.....	185

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Curva da banheira.....	10
Figura 2.2 – Padrões de curvas de taxas de falhas.....	12
Figura 2.3 – Distribuição em série.....	17
Figura 2.4 – Arranjo em paralelo.....	18
Figura 2.5 – Exemplos de formatação de FMEA e de FMECA.....	29
Figura 2.6 – Simbologia do FTA.....	34
Figura 2.7 – Exemplo de FTA para a falha no disparo do canhão EC-90.....	35
Figura 2.8 – Margem de deterioração.....	41
Figura 2.9 – Estrutura analítica de custos do ciclo de vida.....	54
Figura 3.1 – Notação da metodologia do FAST.....	73
Figura 3.2 – Exemplo de FAST – lâmpada.....	74
Figura 3.3 – Aplicação de DFR.....	76
Figura 4.1 – Diagrama de processo do projeto de recuperação e/ou modernização de uma máquina – fase do estudo de viabilidade.....	90
Figura 4.2 – Diagrama de processo do projeto de recuperação e/ou modernização de uma máquina – fase do projeto preliminar.....	93
Figura 5.1 – Processo da análise de decisão.....	102
Figura 5.2 – Árvore de decisão para um problema de manutenção.....	112
Figura 6.1 – Fluxograma da recuperação de viaturas blindadas no AGSP.....	118
Figura 6.2 – EE-9 CASCAVEL MIL.....	121
Figura 6.3 – Diagrama de blocos para a função “ <i>prover mobilidade</i> ”.....	128
Figura 6.4 – Alternador remanufaturado BOSCH.....	148

Figura 6.5 – Motor de partida com procedimentos de recuperação..... 150

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Tipos de falhas.....	11
Tabela 2.2 – Interpretação física dos parâmetros de Weibull.....	15
Tabela 2.3 – Exemplo de Severidade.....	31
Tabela 2.4- Exemplo de Ocorrência.....	32
Tabela 2.5 – Exemplo de Detecção.....	32
Tabela 2.6 – Comparação entre FTA e FMEA.....	36
Tabela 3.1 – Seqüência de projeto.....	56
Tabela 3.2 – Referência de dados técnicos.....	61
Tabela 3.3 – Tratamento de funções.....	70
Tabela 3.4 – Análise de custo por função.....	71
Tabela 5.1 – Ingredientes da decisão.....	99
Tabela 5.2 – Tabela de decisão para o exemplo de seleção de alternativa.....	104
Tabela 5.3 - Aplicação da regra de HURWICZ.....	109
Tabela 5.4 – Exemplo de matriz de decisão.....	110
Tabela 6.1 – Conjuntos do EE-9 CASCAVEL MII.....	122
Tabela 6.2 – Custos da recuperação do sistema de alimentação.....	130
Tabela 6.3 – Identificação das partes e funções do sistema de alimentação.....	131
Tabela 6.4 – Classificação das funções do sistema de alimentação.....	132
Tabela 6.5 – Análise de custos da recuperação do sistema de alimentação.....	134
Tabela 6.6 – Custos da alternativa proposta para o sistema de alimentação.....	137
Tabela 6.7 – Análise de custos de funções secundárias do sistema de alimentação.....	138

Tabela 6.8 – Estimativas de custos para decisão para o sistema de alimentação.....	142
Tabela 6.9 – Vantagens e desvantagens das configurações do sistema de alimentação.....	144
Tabela 6.10 – “Troubleshooting” da geração e armazenamento de energia.....	147
Tabela 6.11 – “Troubleshooting” do motor de partida.....	149
Tabela 6.12 – Estimativa de custos da recuperação do sistema elétrico.....	152
Tabela 6.13 – Identificação das partes e funções do sistema elétrico.....	153
Tabela 6.14 – Classificação das funções do sistema elétrico.....	154
Tabela 6.15 - Custo da aplicação da metodologia proposta para o sistema elétrico.....	159
Tabela 6.16 – Análise de custos de funções secundárias para a recuperação do sistema elétrico.....	159
Tabela 6.17 – Análise de custos de funções secundárias do sistema elétrico, após a aplicação da metodologia.....	160
Tabela 6.18 – Análise de custos para a decisão do sistema elétrico.....	162

LISTA DE ABREVIATURAS

CRR	Carro de Reconhecimento sobre Rodas
DFR	Design for Reliability
DFX	Design for Excellence
ER	Engenharia Reversa (Reverse Engineering)
EV/AV	Engenharia do Valor/Análise do Valor
FAST	Function Analysis System Technique
FMEA	Failure Modes and Effects Analysis
FTA	Failure Tree Analysis
LCC	Life Cycle Costs
MTTF	Mean Time To Failure
MTTR	Mean Time To Repair
NARMNT	Normas Administrativas Relativas a Manutenção
PCP	Planejamento e Controle da Produção
RTB	Requisitos Técnicos Básicos
U.M.	Unidade Monetária (valor de referência)

LISTA DE SÍMBOLOS

P	Probabilidade
$R(t)$	Confiabilidade no tempo t
c_1, c_2	Condições de funcionamento, incluindo o ambiente.
t_f	Tempo para ocorrer uma falha
$f(t)$	Função densidade de probabilidade de falha
$F(t)$	Função acumulada de probabilidade
$\lambda(t)$	Taxa de falhas
T_0	Constante de localização da distribuição de Weibull
η	Constante de escala da distribuição de Weibull
β	Constante de forma da distribuição de Weibull
$R_s(t)$	Confiabilidade do sistema no tempo t
$R_i(t)$	Confiabilidade do i -ésimo componente no tempo t
$R_M(t)$	Confiabilidade do sistema com manutenção no tempo t
T_M	Tempo até a manutenção
C	Índice de criticidade de cada item do sistema
C_m	Índice de criticidade de cada modo de falha analisado
β	Severidade
α_m	Frequência de ocorrência do modo de falha
λ_p	Taxa de falha do componente
NPR	Número de Prioridade de Risco

S	Severidade
O	Ocorrência
D	Detecção
$m(t)$	Função densidade de probabilidade de manutenção
$v(t)$	Taxa de reparos
$A^*(T)$	Disponibilidade em um intervalo de tempo $[0, T]$;
$A(t)$	Disponibilidade instantânea, no tempo t .
a_i	i -ésima alternativa em uma decisão
θ_i	i -ésimo estado da natureza
$E(a)$	Valor esperado da alternativa a
s_i	Nível de segurança
o_i	Nível de otimismo
α	Índice de otimismo-pessimismo de HURWICZ

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

Um sistema mecânico é projetado para operar durante um intervalo de tempo. Durante este intervalo, são realizadas operações de manutenção que visam manter o funcionamento da máquina ou, se houver um defeito da mesma, recuperar a funcionalidade desta máquina. No final de um grande período, pode haver o “*overhaul*” da máquina. O termo “*overhaul*” é aplicado à ação de manutenção que consiste em desmontar totalmente a máquina e realizar a devida manutenção de seus componentes. Um motor de automóvel tem alguns “*overhauls*” previstos em sua vida útil. São as conhecidas retíficas de motor.

Se, por algum motivo, houver a necessidade de melhorar o desempenho da máquina além de sua capacidade inicial, o proprietário da máquina pode se ver obrigado a adquirir outra unidade.

Entretanto, atualmente, vem crescendo a procura por uma alternativa à solução de trocar a máquina por um outro modelo. É o “*retrofitting*” de máquina, ou seja, a modernização ou atualização tecnológica de uma máquina antiga. Um caso clássico é a incorporação de componentes de comando numérico em máquinas ferramentas convencionais. Empresas de renome, como a SIEMENS, [2], oferecem pacotes que vão desde a instalação imediata de novos componentes até a execução de uma reforma completa da máquina, com a aplicação de novos componentes.

Segundo MAWAKDIYE, [3], a recessão enfrentada no Brasil a partir de 1990 fomentou o mercado de “*retrofitting*”, porém está ocorrendo uma mudança de mentalidade: as indústrias começam a tratar o “*retrofitting*” como uma rotina empresarial, não apenas como uma “solução barata para o maquinário”. O crescimento do “*retrofitting*” está ligado a um fato presente nos tempos modernos: devido ao ritmo acelerado do surgimento de novas tecnologias, percebeu-se, no Primeiro Mundo, que é mais fácil adaptar as inovações tecnológicas às máquinas existentes do que trocar de máquina a cada indício de inovação.

Neste trabalho, o termo “*overhaul*” será compreendido por recuperação e o termo “*retrofitting*” será entendido por modernização. O intuito deste trabalho é somar esforços a um processo já existente no Exército Brasileiro: a revitalização de viaturas blindadas sobre rodas de fabricação da empresa nacional ENGESA.

Esta revitalização foi o resultado de estudos iniciados em 1996 no sentido de recuperar as viaturas existentes. Como há uma variedade de modelos, foi pensado em uma possível padronização, que pode ser compreendida como a modernização de um modelo antigo de forma a se tornar mais semelhante possível ao modelo mais recente.

Desta forma, criou-se a oportunidade de aplicação de uma metodologia que é desenvolvida neste trabalho, a partir de uma pesquisa bibliográfica e de uma discussão crítica de seus fundamentos.

1.2 Objetivo do trabalho

De acordo com as considerações vistas na seção anterior, o objetivo deste trabalho é desenvolver uma metodologia de projeto aplicável à recuperação e/ou modernização de

máquinas, discutindo critérios que possam ser observados no desenvolvimento das ações de recuperação. Também são analisados os processos de tomada de decisão envolvendo as particularidades do trabalho de recuperação e/ou modernização de máquinas.

A metodologia é fundamentada na aplicação de conceitos como a confiabilidade, manutenibilidade e capacidade. Estes conceitos servem como parâmetros fundamentais de projeto, constituindo variáveis a serem analisadas nas tomadas de decisão do processo. Este trabalho propõe a utilização destes conceitos aliada à aplicação de filosofias de projeto a fim de criar uma metodologia própria aplicável aos diversos casos de recuperação e/ou modernização de máquinas.

1.3 Estrutura do Trabalho

Para se atingir o objetivo de desenvolver uma metodologia de projeto para recuperação e/ou modernização de máquinas, este trabalho é composto de oito capítulos. Este primeiro capítulo é uma introdução ao problema, sendo desenvolvido a partir de uma motivação, da discussão sobre o objetivo e da explanação acerca da estrutura do trabalho.

O segundo capítulo discorre sobre as variáveis que são consideradas no projeto de recuperação e/ou modernização. A confiabilidade, que é definida por LEWIS, [4], como a probabilidade de que um sistema irá funcionar corretamente durante um período de tempo sob condições específicas de uso, será largamente explorada tendo em vista que tal ciência está associada a questionamentos sobre falhas e sua relação com a idade do equipamento, o que é um fator presente na recuperação de uma máquina. Além da própria confiabilidade, outros termos associados a esta variável, como a manutenibilidade e a disponibilidade são explorados.

O terceiro capítulo apresenta metodologias de projetos em engenharia mecânica. A metodologia de fases de projeto sugerida por ASIMOW é apresentada como referência para este trabalho. A seguir, são apresentadas filosofias de projeto que podem ser aplicadas no projeto de recuperação e/ou modernização de máquinas como a Engenharia Reversa, a Engenharia do Valor e, devido à importância da confiabilidade, técnicas de projeto ligadas à própria confiabilidade e manutenibilidade.

Uma proposta de metodologia aplicável ao projeto de recuperação e/ou modernização de máquinas é apresentada no quarto capítulo.

O quinto capítulo é destinado ao estudo dos processos de tomada de decisão, sendo feita uma rápida explanação sobre a teoria envolvida de modo a subsidiar a metodologia é desenvolvida neste trabalho, apresentada no terceiro capítulo.

O sexto capítulo é dedicado ao estudo de caso. Após uma breve introdução que descreve parte da história da recuperação de blindados no Exército Brasileiro e apresenta a situação atual da recuperação do EE-9 CASCAVEL, dois sistemas do carro são explorados como aplicação da metodologia proposta.

No sétimo capítulo, são apresentadas as conclusões obtidas na execução deste trabalho, como também são apresentadas recomendações e sugestões para trabalhos futuros, tendo em vista a continuidade desta linha de pesquisa. A bibliografia utilizada neste trabalho é apresentada no oitavo capítulo.

CAPÍTULO 2

APRESENTAÇÃO DE VARIÁVEIS PARA A ANÁLISE DAS DECISÕES EM UM PROJETO DE RECUPERAÇÃO E/OU MODERNIZAÇÃO DE MÁQUINAS

2.1 Considerações iniciais

Um projeto de engenharia processa um grande número de informações até a sua conclusão em um produto final. São informações que influenciam as diversas escolhas ou tomadas de decisão do projeto. Este presente capítulo trata da apresentação de variáveis que são consideradas nas tomadas de decisão particulares ao projeto de recuperação e/ou modernização de máquinas.

Como o enfoque deste trabalho está centrado na aplicação de conceitos de confiabilidade no projeto, neste capítulo é dado um destaque maior para esta disciplina e suas derivações, como a manutenibilidade e a disponibilidade. Outras variáveis consideradas são apresentadas em seguida.

2.2 Confiabilidade

A norma americana MIL-STD-721C, [6], define confiabilidade como sendo a probabilidade de um item executar a sua função (missão) sob condições pré-definidas de uso e manutenção por um período de tempo específico. Para definir a confiabilidade de um item qualquer é necessário especificar uma ou mais funções desempenhadas, além de se considerar condições de operação e tempo de utilização. Para as funções do item, também se deve especificar um desempenho desejado. Se este item deixar de cumprir pelo menos uma de suas funções requeridas ou se cumprir esta função com um desempenho abaixo do requerido, pode-se dizer que este item falhou.

MODARRES, [7], afirma que o termo confiabilidade tem duas conotações. A primeira conotação, de cunho probabilístico, possui um tratamento matemático mais apurado. É uma análise quantitativa, sendo desenvolvida segundo modelos matemáticos que estão baseados em hipóteses que devem ser observadas na sua aplicação ao modelo real. Assim, em uma linguagem matemática simples, a confiabilidade pode ser definida como:

$$R(t) = P(t_f \geq t | c_1, c_2, \dots) \quad (2.1)$$

onde,

P = probabilidade

t = o tempo determinado de funcionamento ou a duração da missão;

t_f = tempo para ocorrer uma falha;

$R(t)$ = confiabilidade do item;

c_1, c_2 = condições de funcionamento, incluindo o ambiente.

Uma outra visão de confiabilidade, que MODARRES, [7], conceitua como determinística, está centrada na análise de como e por quê um item vem a falhar. Neste importante ramo, surgem teorias sobre princípios físicos da ocorrência e da propagação de falhas, além de metodologias de análise e prevenção de falhas. É uma forma de análise qualitativa, fundamentada na interpretação do fenômeno, com resultados fortemente aplicáveis para o projeto, operação e manutenção do item analisado.

2.2.1 Confiabilidade de um elemento

Um elemento a ser analisado pode apresentar dois estados mutuamente excludentes: um estado de funcionamento normal e um outro estado de falha. Baseado nesta hipótese, são definidas as funções de probabilidades utilizadas no desenvolvimento matemático da confiabilidade.

Tomando como variável aleatória o tempo t_f até a ocorrência da falha, define-se a função densidade de probabilidade $f(t)$, que fisicamente significa a probabilidade de ocorrência da falha em um intervalo $t + \Delta t$:

$$f(t)\Delta t = P\{t \leq t_f \leq t + \Delta t\} \quad (2.2)$$

Outra probabilidade de interesse é a denominada função probabilidade acumulada $F(t)$ que segue a fórmula:

$$F(t) = P\{t_f \leq t\} \quad (2.3)$$

Ou seja, a função probabilidade acumulada $F(t)$ expressa a probabilidade de ocorrer a falha até um tempo t . As duas probabilidades definidas acima são relacionadas pela expressão:

$$F(t) = \int_0^t f(t') dt' \quad (2.4)$$

Observando-se a hipótese básica de que o estado de falha é mutuamente excludente ao estado de operação, pode-se definir matematicamente a confiabilidade pela função:

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (2.5)$$

ou,

$$R(t) = 1 - \int_0^t f(t') dt' \quad (2.6)$$

ou,

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(t') dt' \quad (2.7)$$

Como consequência da definição da função distribuição acumulada, [4], observa-se que:

$$R(t = 0) = 1 \quad (2.8)$$

$$R(t = \infty) = 0 \quad (2.9)$$

2.2.1.1 Taxa de falhas

Define-se taxa de falhas como uma medida da frequência com que as falhas ocorrem, num intervalo de tempo. [8]. Matematicamente, define-se a taxa de falhas $\lambda(t)$ em termos da própria confiabilidade. Sendo $\lambda(t) \cdot \Delta(t)$ a probabilidade de que o sistema falhará em um tempo $t, < t + \Delta(t)$, dado que ainda não falhou até o tempo em $t, = t$, tem-se que $\lambda(t) \cdot \Delta(t)$ é a probabilidade condicional:

$$\lambda(t) \cdot \Delta t = P\{t_f < t + \Delta t | t_f > t\} \quad (2.10)$$

$$P\{t_f < t + \Delta t | t_f > t\} = \frac{P\{(t_f > t) \cap (t_f < t + \Delta t)\}}{P\{t_f > t\}} \quad (2.11)$$

$$P\{(t_f > t) \cap (t_f < t + \Delta t)\} \equiv P\{t < t_f < t + \Delta t\} = f(t) \Delta t \quad (2.12)$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.13)$$

onde $\lambda(t)$ representa a taxa de falhas instantânea

A representação gráfica da curva da taxa de falhas em relação ao tempo é conhecida como curva da banheira, em razão ao seu formato característico, como se pode observar na Figura 2.1. Na verdade, esta representação formada por três fases distintas é uma representação didática, [8].

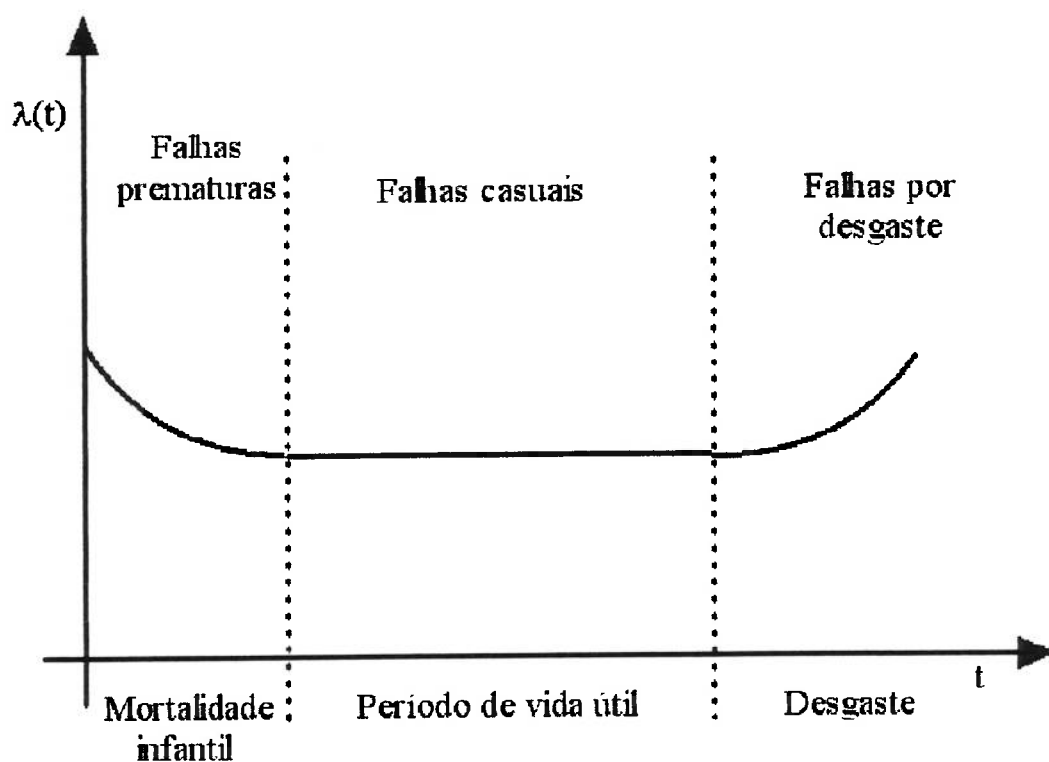


Figura 2.1 – Curva da banheira, [8].

A primeira fase ou período de mortalidade infantil apresenta um decréscimo da curva de taxa de falhas. Este fenômeno ocorre devido ao comportamento probabilístico de certos tipos de falhas que se manifestam no início da operação do item. São falhas originárias de erros ou imperfeições de projeto, fabricação, montagem, instalação e partida inicial. São conhecidas como falhas prematuras.

O segundo período, que apresenta uma taxa de falhas supostamente constante é, segundo MOUBRAY, [1], denominado de período de vida útil, quando as possíveis falhas são decorrentes de causas aleatórias ou imprevisíveis. Finalmente, quando a curva da taxa de falhas passa a exibir um comportamento crescente, inicia-se uma fase denominada de período de desgaste quando ocorrem com mais frequências as falhas decorrentes do envelhecimento e desgaste do material. A Tabela 2.1, apresentada por LAFRAIA, [8], cita exemplos de possíveis falhas características de cada fase.

Tabela 2.1 – Tipos de falhas, [8].

Falhas Prematuras	Falhas Casuais	Falhas por Desgaste
Processo de fabricação deficiente	Interferência indevida tensão/resistência	Envelhecimento
Controle de qualidade deficiente	Fator de segurança deficiente	Desgaste/Abrasão
Mão-de-obra desqualificada	Cargas aleatórias maiores do que esperado	Degradação de resistência
Amaciamento insuficiente	Resistência menor do que a esperada	Fadiga
Pré-teste insuficiente	Defeitos abaixo do limite de sensibilidade dos ensaios	Fluência
Debugging insuficiente	Erros humanos durante o uso	Corrosão
Materiais fora de especificação	Aplicação indevida	Deterioração mecânica, elétrica, química ou hidráulica
Componentes não especificados	Abusos	Manutenção insuficiente
Componentes não testados	Falhas não detectáveis pelo programa de manutenção preventiva	Vida de projeto muito curta
Componentes que falharam devido a estocagem/transporte indevido	Falhas não detectáveis pelo debugging	
Sobrecarga no primeiro teste	Causas inexplicáveis	
Contaminação	Fenômenos naturais	
Erro humano		
Instalação imprópria		

PINTO; XAVIER, [9], apresentam um estudo realizado pela UNITED AIRLINES que descreve seis padrões de comportamento de taxas de falhas, como se observa na Figura 2.2. MOUBRAY, [1], explica que a medida que os equipamentos se tornam mais complexos, a curva de taxa de falhas se assemelha mais aos padrões D, E e F, observando que 68% dos equipamentos têm curva de taxa de falhas no padrão F. É importante salientar que o padrão F apresenta uma constância da taxa de falhas devido à ação de uma manutenção eficiente, que não permite que um componente ingresse no período de desgaste.

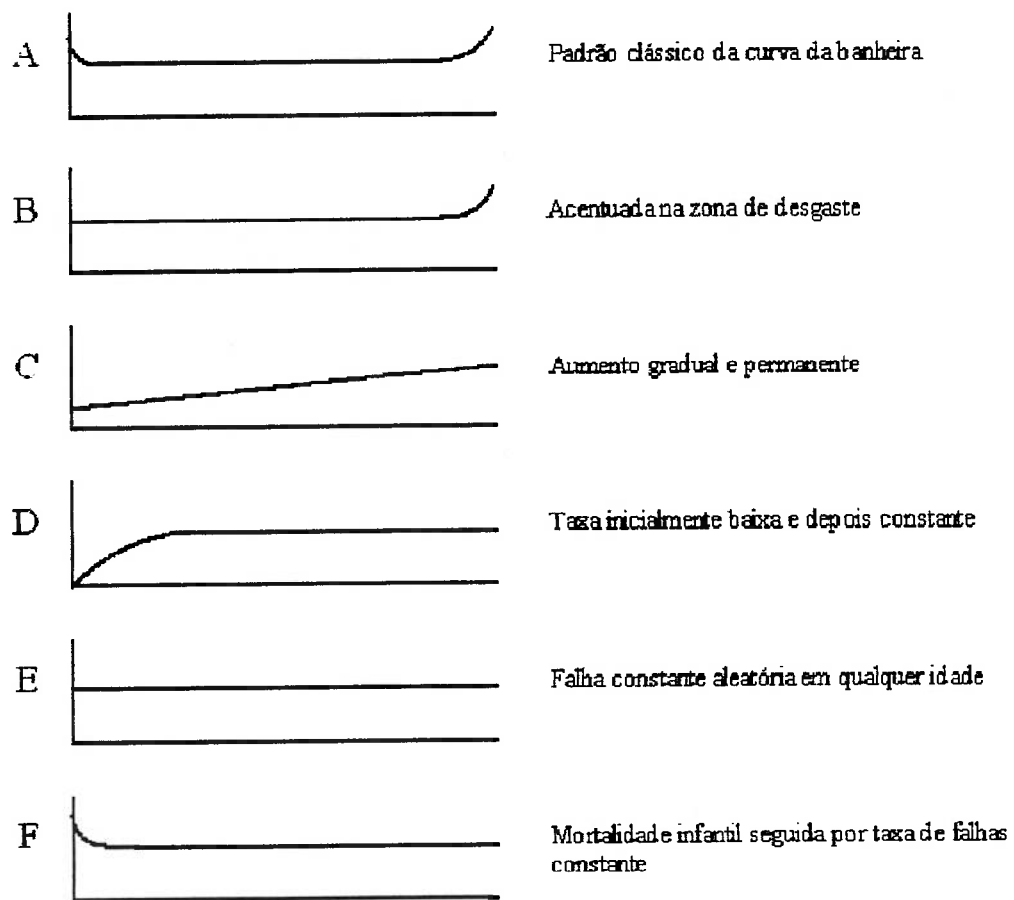


Figura 2.2 – Padrões de curvas de taxas de falhas, [9].

2.2.1.2 Tempo médio até falha

Um parâmetro muito utilizado em análise de confiabilidade é o chamado tempo médio até a falha *MTTF* (“*Mean Time To Failure*”), que é o valor esperado ou a média do tempo da falha. Escrevendo o *MTTF* em termos da função de confiabilidade tem-se, [4]:

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (2.14)$$

MOUBRAY, [1], salienta que o *MTTF* não pode ser confundido com a vida útil de um item. Para um padrão de taxa de falhas constante, por exemplo, o *MTTF* representa que 63% dos itens que seguem este padrão já falharam. Em um padrão de falhas B, como encontrado na Figura 2.2, a vida útil seria determinada por um período de tempo suficientemente anterior ao início do aumento da taxa de falhas.

2.2.1.3 Distribuição exponencial

A distribuição exponencial modela o comportamento de taxa de falhas constante. O modelo de taxa de falhas constante é, segundo LEWIS, [4], o mais usado para descrever fenômenos de confiabilidade, quando se assume que as falhas são independentes no tempo ou aleatórias. Nas fórmulas desta distribuição, está sempre presente a constante λ (taxa de falhas). Segundo LEWIS, [4], as funções densidade de probabilidade, probabilidade acumulada de falha e confiabilidade de uma distribuição exponencial podem ser relacionadas pelas expressões:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (2.15)$$

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (2.16)$$

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (2.17)$$

O tempo médio até a falha é calculado pela relação:

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t)dt = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} \quad (2.18)$$

2.2.1.4 Distribuição de Weibull

A distribuição de Weibull tem o seu nome originário do pesquisador sueco que a propôs em 1951, [10]. Esta distribuição é definida por três parâmetros, o que a torna muito flexível a ponto de representar uma grande variedade de fenômenos. Estes parâmetros são:

T_0 : constante de localização, que define a posição em que a função densidade de probabilidade tem origem;

η : constante de escala, que define o espalhamento da distribuição ao longo do eixo das abscissas;

β : constante de forma.

As funções densidade de probabilidade, probabilidade acumulada de falhas, confiabilidade e a função que define a taxa de falha estão, respectivamente, relacionadas abaixo:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - T_0}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left[\left(\frac{t - T_0}{\eta} \right)^\beta \right]} \quad (2.19)$$

$$F(t) = 1 - e^{-\left[\left(\frac{t - T_0}{\eta} \right)^\beta \right]} \quad (2.20)$$

$$R(t) = 1 - F(t) = e^{-\left[\frac{t-T_0}{\eta}\right]^\beta} \quad (2.21)$$

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-T_0}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (2.22)$$

A Tabela 2.2 apresenta correlações entre os parâmetros da distribuição de Weibull com as características da taxa de falha.

Tabela 2.2 – Interpretação física dos parâmetros de Weibull, [8].

T_0	β	Significado
$T_0 = 0$	T_0 igual a zero significa que o item não tem confiabilidade intrínseca, ou seja, em $t = 0$, a probabilidade de falha é nula.	
	$\beta < 1$	Taxa de falhas decrescente.
	$\beta = 1$	Taxa de falhas constante, falhas de origem aleatórias
	$\beta > 1$	Taxa de falha crescente, desgaste inicia-se logo que o componente entra em serviço.
$T_0 > 0$	Há período de garantia, durante o qual não ocorre falha. O componente possui confiabilidade intrínseca.	
	$\beta < 1$	Desgaste tipo fadiga ou similar
	$\beta \cong 0,5$	Fadiga de baixo ciclo
	$\beta \cong 0,8$	Fadiga de alto ciclo
	$\beta > 1$	Desgaste do tipo erosão
$T_0 < 0$	Há vida de prateleira, ou seja, o componente pode falhar antes de ser usado.	
	$\beta < 1$	Desgaste do tipo fadiga, iniciado antes do componente entrar em serviço
	$\beta > 1$	Desgaste devido à contínua redução da resistência

2.2.2 Confiabilidade de sistemas

Um sistema é composto de vários itens segundo um arranjo físico bem definido. Alguns componentes podem interagir com outros, de forma a criar relações de dependência

entre si. Para o cálculo da confiabilidade resultante do sistema, sob um ponto de vista matemático, estes fatores serão traduzidos em operações lógicas de acordo com a Teoria das Probabilidades.

2.2.2.1 Diagramas de blocos

Diagramas de blocos são utilizados para modelar os efeitos das falhas de componentes no desempenho do sistema, [7]. Estes diagramas representam os arranjos lógicos entre os componentes. Há duas situações particulares que são discutidas neste trabalho e descritas na seqüência deste texto

2.2.2.2 Arranjo em série

Um arranjo em série é composto de itens cuja falha individual implica na falha de todo o arranjo. Neste sentido, para o sistema funcionar é necessário que todos os componentes estejam funcionando. Em uma formulação matemática, significa que:

$$R_s(t) = R_1(t) \cdot R_2(t) \cdot \dots \cdot R_n(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t) \quad (2.23)$$

onde:

$R_s(t)$ = Confiabilidade do sistema no tempo t ;

$R_i(t)$ = Confiabilidade do i -ésimo componente no tempo t .

Observa-se que a confiabilidade de um sistema composto de dois ou mais itens em série será sempre menor do que a confiabilidade de seus componentes. Uma consequência importante deste fato é o impacto da adição de mais componentes em série, o que resultará sempre na diminuição da confiabilidade do sistema. A Figura 2.3 representa um arranjo em série.

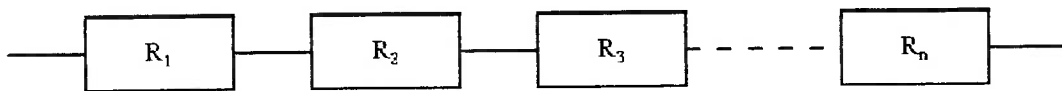


Figura 2.3 – Distribuição em série.

2.2.2.3 Arranjo com redundâncias

O termo redundância pode ser definido como a existência de mais de um meio para executar uma função, [6]. Como esta função terá a sua falha condicionada às falhas simultâneas de mais de um meio ou componentes, a confiabilidade de um arranjo com uma redundância é maior do que uma configuração simples com um único meio ou componente. De acordo com as relações lógicas que definem a falha do arranjo, existem muitas configurações diferentes para a redundância.

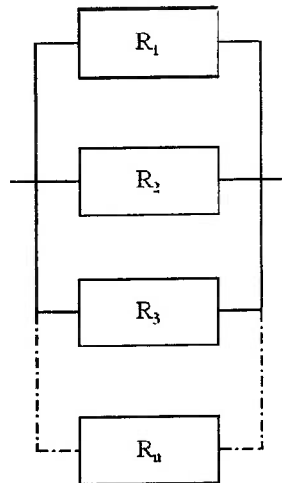


Figura 2.4 – Arranjo em paralelo.

A mais básica configuração de redundância é a disposição em paralelo, como mostrado na Figura 2.4. Neste arranjo, a falha do sistema ocorrerá apenas quando todos os componentes tiverem falhado. Sendo $F_1(t)$, $F_2(t)$, ..., $F_n(t)$ as funções de probabilidade acumulada de falhas dos n componentes de um arranjo em paralelo, a função $F_s(t)$ resultante do sistema pode ser obtida:

$$F_s(t) = F_1(t) \cdot F_2(t) \cdot \dots \cdot F_n(t) = \prod_{i=1}^n F_i(t) \quad (2.24)$$

e a confiabilidade é definida pela relação:

$$R_s(t) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - R_i(t)] \quad (2.25)$$

onde:

$R_s(t)$ = Confiabilidade do sistema no tempo t ;

$R_i(t)$ = Confiabilidade do i -ésimo componente no tempo t .

2.2.2.4 Confiabilidade de sistemas eletrônicos

De acordo com LEWIS, [4], os componentes eletrônicos têm uma curva de taxa de falhas mais fiel à sua representação clássica, com a predominância de um período de taxa de falhas constante. Isto significa que a distribuição exponencial constitui uma boa aproximação para o estudo das falhas deste tipo de componentes. Além disso, a confiabilidade de equipamentos eletrônicos é bem regulamentada, existindo normas e manuais como a MIL-HDBK-217, [11] e a MIL-HDBK-338, [12], que tratam da predição de confiabilidade e da própria confiabilidade de componentes eletrônicos, respectivamente. Nestas publicações é possível encontrar vasto banco de dados e formulações sobre predição e cálculo de confiabilidade.

2.2.2.5 Confiabilidade de sistemas mecânicos

Segundo DOYLE, [13], não existe uma metodologia totalmente aceita como válida para a predição de confiabilidade em componentes mecânicos. Alguns autores apresentam dados de taxa de falhas para alguns componentes mecânicos, mas estes dados se referem a problemas reais limitados a uns poucos casos de interesse geral. DOYLE, [13], apresenta as seguintes razões para a dificuldade de se precisar a confiabilidade de componentes mecânicos:

- 1) Os componentes mecânicos podem executar mais de uma função, podendo apresentar, portanto, mais de um modo de falha. Agrava-se o fato de que um banco

de dados dificilmente terá informações sobre aplicações específicas ou não padronizadas de componentes mecânicos.

2) A própria definição de falha do componente mecânico depende da sua aplicação. Uma máquina que tem como capacidade de produção dez itens por hora, mas que só consegue produzir sete não estará em falha se a produção desejada for de cinco itens.

3) Devido ao processo de desgaste dos componentes mecânicos, não se pode falar em taxa de falhas constante.

4) Quando ao desgaste, o equipamento mecânico é muito sensível ao carregamento imposto, ao modo de utilização e a taxa de uso. Para um banco de dados poder ser aplicado, seria necessário se valer de muitos fatores de correção, o que nem sempre é disponibilizado.

5) Sendo sensível a muitos fatores, a vida do componente mecânico depende da correção de sua instalação. Uma instalação incorreta, ou seja, que contenha uma ligeira imperfeição acelerará certos modos de falha, podendo diminuir consideravelmente a vida útil da peça.

O *Reliability Analysis Center* (RAC), [15], organizou um banco de dados de confiabilidade intitulado *NPRD-95 Nonelectronic Part Reliability Data*, onde dispõe de taxas de falhas de componentes mecânicos, eletromecânicos e algumas montagens envolvendo estes componentes. Segundo o RAC, os dados foram colhidos da experiência obtida em aplicações militares e comerciais. Apesar de contar com mais de 25.000 itens, acumulando informações colhidas em mais de vinte e cinco anos de pesquisa, o RAC alerta para que os seguintes fatores sejam considerados, [15]:

- 1) Na consideração de fatores que influenciam a confiabilidade de cada item, alguns fatores foram desprezados.
- 2) Existe um grau de incerteza nos dados sobre taxa de falha decorrente de:
 - a) Incerteza se a falha detalhada é um caso comum ou excepcional;
 - b) Dificuldade na separação entre falhas primárias e falhas secundárias (causadas por outras);
 - c) Existência de informações muito genéricas, sem especificação de fabricantes e de possíveis variações no processo de fabricação dos componentes.
- 3) É difícil distinguir os efeitos de variáveis correlacionadas. Por exemplo, o típico uso de componentes de alta qualidade em ambientes mais nocivos torna impossível determinar e distinguir em termos de confiabilidade os efeitos da qualidade e do ambiente.
- 4) As horas de operação relatadas para a pesquisa de informações podem estar incorretas.
- 5) É possível que tarefas de manutenção não tenham sido executadas corretamente.
- 6) As tensões reais raramente são conhecidas, sendo utilizadas as tensões nominais.

2.2.2.6 Confiabilidade de sistemas reparáveis

Sistemas não reparáveis são aqueles que são descartados após as suas falhas. Lâmpadas e juntas de vedação são exemplos desta classe de materiais, em que a sua confiabilidade significa a sua sobrevivência, pois estes itens apresentam apenas uma falha em toda a sua vida. Após a falha e o descarte, um outro item semelhante poderá ser aplicado em seu lugar.

Sistemas reparáveis são aqueles que após suas falhas, são reparados e colocados a funcionar novamente. Grandes sistemas mecânicos como uma bomba centrífuga ou um automóvel são exemplos destes materiais.

De acordo com MODARRES, [7], os seguintes tópicos devem ser avaliados na análise de taxas de falhas de sistemas reparáveis:

- 1) Como podem ocorrer tanto falhas parciais como consertos imperfeitos, os períodos entre falhas sucessivas não são necessariamente independentes entre si;
- 2) Reparações imperfeitas não renovam o sistema, isto é, o componente não será tão bom quanto novo após sua manutenção;
- 3) Reparações por ajustagens, lubrificação ou outra forma de reparar seus componentes desgastados apenas conferem um pequeno aumento da capacidade do sistema, não renovando;
- 4) Um componente deve falhar com mais frequência conforme o tempo de uso e desgaste.

A reparação de um sistema é um processo de manutenção que pretende devolver a funcionalidade ao sistema. Entretanto, YAÑES; JOGLAR; MODARRES, [16], argumentam que a reparação do sistema pode levá-lo a um dos seguintes estados:

- 1) Tão bom quanto novo;
- 2) Tão ruim quanto velho;
- 3) Melhor do que velho, porém pior do que novo;
- 4) Melhor do que novo;
- 5) Pior do que velho.

Os possíveis estados pós-reparação representam, segundo YAÑES et al, [16], complicações ao modelo matemático do processo, sendo mais comum considerar apenas os dois primeiros estados como mais prováveis. Em termos práticos, a qualidade da reparação, o material empregado, a competência da mão-de-obra e outros fatores influenciarão no estado final do sistema reparado.

Para entender o efeito da manutenção preventiva em um sistema, pode-se considerar a confiabilidade deste sistema em duas situações: com e sem manutenção. Seja a manutenção executada em intervalos de tempo T_M . Assim, para valores de tempo $t < T_M$, a manutenção não terá influência na confiabilidade sendo que:

$$R_M(t) = R(t), \quad 0 \leq t < T_M \quad (2.26)$$

onde $R_M(t)$ representa a confiabilidade do sistema com manutenção no tempo t .

Após a execução da manutenção no tempo T_M , supõe-se que o sistema seja restaurado a um estado tão bom quanto novo. Desta forma, a confiabilidade do sistema no intervalo

$T_M < t \leq 2T_M$ será o produto da probabilidade $R(T_M)$ do sistema ter operado até o tempo T_M e a probabilidade $R(t - T_M)$ que o sistema tão bom quanto novo em T_M opere até um tempo $t - T_M$, sem falhas:

$$R_M(t) = R(T_M) \cdot R(t - T_M), \quad T_M \leq t < 2T_M \quad (2.27)$$

Para um tempo t qualquer, a confiabilidade do sistema mantido será expresso pela relação, [4]:

$$R_M(t) = R(T_M)^N \cdot R(t - N \cdot T_M), \quad NT_M \leq t < (N + 1)T_M \quad (2.28)$$

$$N = 0, 1, 2, \dots$$

O tempo médio entre falhas será obtido da relação, [4]:

$$MTTF = \frac{\int_0^t R(t) dt}{1 - R(T_M)} \quad (2.29)$$

LEWIS, [4], demonstra que a manutenção preventiva será efetiva apenas para sistemas cuja taxa de falhas aumenta com o tempo. É o caso de sistemas que desgastam ou “envelhecem”.

2.2.3 Análise de confiabilidade

Segundo DIAS, [17], existem três abordagens para a garantia da confiabilidade de um produto: métodos para medir e prever falhas, métodos para acomodar falhas e métodos para prevenir falhas. Os métodos para medir e prever falhas são baseados em distribuições de probabilidade e em parâmetros como taxa de falha e o tempo médio entre falhas. Os métodos para acomodar falhas são baseados na idéia de diminuir os efeitos de possíveis falhas através da alocação de redundâncias e de sistemas de detecção de falhas. Finalmente, os métodos para prevenir falhas são utilizados quando não há uma base de dados estatísticos confiáveis. Para utilizar os métodos para prevenir a falha é recomendável conhecer todos os itens do sistema, o ambiente de operação, a função de cada item no sistema de modo a identificar os possíveis modos e mecanismos de falha. Nesse caso recomenda-se fazer uma análise funcional a partir do modelo físico do sistema. Este tipo de análise é também denominado de “análise física da falha”. É assim chamado porque a prevenção da falhas, muitas vezes deve ocorrer em nível estrutural.

2.2.3.1 Análise de modos e efeitos de falha

Segundo SOUZA, [10], o método conhecido como FMEA (*“Failure Modes and Effects Analysis”*) é o método de análise de confiabilidade mais amplamente utilizado e de maior eficácia em uso atualmente, sendo uma das razões disso a análise conjunta dos modos

das falhas com seus efeitos. A norma MIL-STD-1629, [18], é apontada como referência básica para execução de uma análise de modos e efeitos de falha.

O FMEA é um método estruturado que se baseia na análise de cada componente ou parte do sistema, observando as suas funções e analisando possíveis estados de falhas, com suas causas e efeitos. É um método de análise do tipo “*bottom-up*”, pois começa com o menor nível na hierarquia do sistema (isto é, o componente), e pelo conhecimento dos modos de falha de cada parte, prevê o efeito destas falhas no sistema como um todo. Segundo o MIL-HDBK-338B, [12], uma boa análise de modos e efeitos de falha (FMEA) pode proporcionar:

- 1) Um método para seleção de projeto com uma grande probabilidade de sucesso operacional e segurança;
- 2) Um método padronizado e documentado de estudo dos modos de falhas e de seus possíveis efeitos no sistema;
- 3) Previsão de possíveis problemas nas interfaces de sistemas;
- 4) Uma listagem das possíveis falhas, o que permite classificá-las em categorias de acordo com seus efeitos e a probabilidade de ocorrência;
- 5) Identificação de pontos críticos para ocorrência de falhas;
- 6) Critérios para o planejamento de testes para assegurar a confiabilidade;
- 7) Dados de entrada para a predição de confiabilidade e modelos de segurança;
- 8) Uma base para o projetista alocar sistemas de monitoramento de operação ou detecção de falhas ou redundâncias;
- 9) Uma ferramenta de auxílio na avaliação de alterações nas configurações de projeto e operação.

Na literatura, encontram-se vários métodos de procedimentos para a confecção do FMEA, sendo comum variações segundo o contexto de aplicação ou áreas específicas como a automobilística ou a aeroespacial. A norma MIL-STD-1629, [18], apresenta como referência um conjunto de oito passos para a confecção do FMEA:

- 1) Definir o sistema a ser analisado – incluindo a identificação das funções internas e das funções das interfaces do sistema, o desempenho esperado, e a definição das falhas;
- 2) Construir diagramas de blocos para esquematizar as relações entre os componentes do sistema;
- 3) Identificar todos os modos de falhas potenciais de cada item e de cada interface;
- 4) Avaliar cada modo potencial de falha em termos da pior consequência possível de forma a classificar a sua severidade;
- 5) Identificar métodos de detecção de falhas;
- 6) Identificar ações corretivas de projetos ou outras ações necessárias para eliminar a falha ou controlar o risco;
- 7) Identificar os efeitos de ações corretivas;
- 8) Documentar a análise, destacando os problemas que não podem ser corrigidos por modificações de projeto e identificar os controles especiais necessários para reduzir o risco da falha.

Apesar de não existir uma formatação rigidamente padronizada para a sua esquematização, o FMEA é apresentado sob forma de uma tabela, como exemplificado pela Figura 2.5.a, que foi extraída da norma MIL-STD-1629, [18]. As primeiras colunas são destinadas à identificação do componente. A seguir, as funções desempenhadas por este

componente são identificadas na terceira coluna. Todas as falhas previsíveis devem ser identificadas e analisadas. Os prováveis modos de falha devem ser obtidos através do exame das relações funcionais do componente e, se um modo de falha possuir mais de uma causa, todas as possíveis causas independentes também devem ser analisadas separadamente. Para assegurar uma análise mais completa, a norma MIL-STD-1629 apresenta a seguinte listagem de condições de falha:

- 1) Operação prematura – o item funciona antes do previsto;
- 2) Falha em operar em um tempo prescrito – o item não opera durante o tempo especificado;
- 3) Operação intermitente – intercalam-se períodos de funcionamento com períodos de falha;
- 4) Falha em cessar a operação em um tempo prescrito – o item não desliga quando especificado;
- 5) Perda de desempenho ou falha durante a operação;
- 6) Degradação do desempenho ou da capacidade – ao longo do tempo, a máquina sofre degradação da sua capacidade;
- 7) Outras condições particulares ao sistema analisado.

Os efeitos da falha são analisados nos diversos níveis. O efeito local é constituído especificamente no impacto da falha na operação e funcionamento do próprio componente. Também são observados os efeitos da falha em um próximo nível e seu efeito final.

NÚMERO IDENTIFICAÇÃO	ITEM	FUNÇÃO	MODOS E CAUSAS DE FALHA	FASE DA MISSÃO/ MODO DE OPERAÇÃO	EFEITOS DA FALHA			MÉTODO DE DETEÇÃO DA FALHA	MEDIDAS COMPENSATORIAS (PROJETO) (OPERAÇÃO)	SEVERIDADE	OBSERVAÇÕES
					LOCAL	PROXIMO NÍVEL	FINAL				

(a) - ANÁLISE DE MODOS E EFEITOS DE FALHA

NÚMERO IDENTIFICAÇÃO	ITEM	FUNÇÃO	MODOS E CAUSAS DE FALHA	FASE DA MISSÃO/ MODO DE OPERAÇÃO	SEVERIDADE	PROBABILIDADE DE FALHA			OBS
						β^*	α_m^*	λ_p^*	

$C_m = \beta \cdot \alpha_m \cdot \lambda_p \cdot t^*$
 $C = \sum_{i=1}^h C_m^*$

* - A definição destes termos está descrita no texto

(b) - ANÁLISE DE MODOS, EFEITOS E CRITICIDADE DE FALHA

Figura 2.5 – Exemplos de formatação de FMEA e de FMECA, [18].

A norma MIL-STD-1629 trata, na verdade, da chamada análise crítica de falha ou FMECA, onde a letra “C” refere-se ao índice de criticidade da falha, que a norma define como uma medida relativa das conseqüências de um modo de falha e da probabilidade de sua ocorrência. A Figura 2.5.b apresenta um exemplo de planilha de FMECA, sendo que os termos da análise de criticidade são definidos pelas equações:

$$C = \sum_{i=1}^h C_m \quad (2.30)$$

$$C_m = \beta \cdot \alpha_m \cdot \lambda_p \cdot t \quad (2.31)$$

onde:

C = Índice de criticidade de cada item do sistema

C_m = Índice de criticidade de cada modo de falha analisado

cujas variáveis são:

β = Severidade;

α_m = Frequência de ocorrência do modo de falha;

λ_p = Taxa de falha do componente;

t = Tempo de operação do componente.

Uma alternativa para a análise de criticidade do FMECA é avaliar o cálculo do chamado Número de Prioridade de Risco (NPR), [12]. O NPR é obtido a partir da consideração de três índices de análise: severidade (S), ocorrência (O) e detecção (D), sendo obtida pela relação:

$$\text{NPR} = S \times O \times D \quad (2.32)$$

O índice de severidade (S) reflete as conseqüências do efeito de uma falha. Uma conseqüência catastrófica como a morte de alguém receberia um valor máximo, por exemplo. Na verdade, tanto a severidade quanto os demais índices são tabelados segundo um julgamento aproximado, sendo comum uma variação de seu valor entre o grau mínimo 1 e o grau máximo 10. Como exemplo, a Tabela 2.3 apresenta valores para a severidade aplicada ao FMEA de componentes eletrônicos de aplicação militar extraídos da norma MIL-HDBK-338.

Tabela 2.3 – Exemplo de Severidade, [12].

LI ELITO	CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO DA SEVERIDADE DO EFLITO	VALOR
Perigoso - sem aviso	Um modo de falha potencial afeta a segurança da operação do veículo e ou envolve o não cumprimento de regulamentação governamental. Ocorrência sem aviso prévio.	10
Perigoso - com aviso	Um modo de falha potencial afeta a segurança da operação do veículo e/ou envolve o não cumprimento de regulamentação governamental. Ocorrência com aviso prévio.	9
Muito elevado	Inoperância do veículo ou do item. Perda da função primária.	8
Elevado	Inoperância do veículo ou do item. Redução do desempenho da função primária. Insatisfação do cliente.	7
Moderado	Veículo ainda opera, porém há inoperância de itens de conforto ou conveniência. O cliente experimenta um desconforto.	6
Baixo	Veículo ainda opera, porem alguns itens de conforto ou conveniência operam insatisfatoriamente. O cliente experimenta uma sensação de insatisfação.	5
Muito baixo	Item apresenta não-conformidade de acabamento ou aparecimento de ruídos. Defeito pode ser notado pela maioria dos clientes.	4
Mínimo	Item apresenta não-conformidade de acabamento ou aparecimento de ruídos. Defeito pode ser notado pelo cliente médio.	3
Abaixo do mínimo	Item apresenta não-conformidade de acabamento ou aparecimento de ruídos. Defeito pode ser notado por um cliente muito crítico.	2
Nenhum	Nenhum efeito	1

O índice de ocorrência (O) está relacionado com uma estimativa da probabilidade de ocorrência de uma causa de falha. Este índice é mais uma medida relativa do que uma probabilidade. Seu valor também varia entre 1 e 10, como se pode observar na Tabela 2.4, também extraída do MIL-HDBK-338.

Tabela 2.4- Exemplo de Ocorrência, [12].

PROBABILIDADE DE FALHA	PROVAVEIS TAXAS DE FALHAS	VALOR
Muito elevada: a falha é inevitável.	Maior ou igual a 1 em 2 1 em 3	10 9
Elevada: falhas recorrentes.	1 em 8 1 em 20	8 7
Moderada: falhas ocasionais.	1 em 80 1 em 400 1 em 2.000	6 5 4
Baixa: relativamente poucas falhas.	1 em 15.000 1 em 150.000	3 2
Remota: a falha é improvável.	1 em 1.500.000	1

O índice de detecção (D), vide Tabela 2.5, é uma aproximação da probabilidade do controle atual impedir a ocorrência da falha. Uma função devidamente monitorada, com um modo de falha que exhibe sinais prematuros indicativos de sua ocorrência, como uma alteração em variáveis de controle, receberia um valor menor do que um modo de falha que não pudesse ser monitorado a tempo.

Tabela 2.5 – Exemplo de Detecção, [12].

DETECÇÃO	CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO DA DETECÇÃO PLLO CONTROLE PROJETADO	VALOR
Absolutamente incerta	O controle projetado não irá ou não poderá detectar potencial causa ou mecanismo e seu conseqüente modo de falha; ou não há controle projetado.	10
Muito remota	Chance muito remota de que o controle projetado possa detectar potencial causa ou mecanismo e seu conseqüente modo de falha.	9
Remota	Chance remota de que o controle projetado possa detectar potencial causa ou mecanismo e seu conseqüente modo de falha.	8
Muito pequena	Chance muito pequena de que o controle projetado possa detectar potencial causa ou mecanismo e seu conseqüente modo de falha.	7
Pequena	Pequena chance de que o controle projetado possa detectar potencial causa ou mecanismo e seu conseqüente modo de falha.	6
Moderada	Chance moderada de que o controle projetado possa detectar potencial causa ou mecanismo e seu conseqüente modo de falha.	5
Moderadamente alta	Chance moderadamente alta de que o controle projetado possa detectar potencial causa ou mecanismo e seu conseqüente modo de falha.	4
Elevada	Chance elevada de que o controle projetado possa detectar potencial causa ou mecanismo e seu conseqüente modo de falha.	3
Muito elevada	Chance muito elevada de que o controle projetado possa detectar potencial causa ou mecanismo e seu conseqüente modo de falha.	2
Quase certa	O controle projetado certamente irá detectar potencial causa ou mecanismo e seu conseqüente modo de falha.	1

É importante ressaltar que cabe ao executante do FMEA definir o nível de detalhamento e a abrangência de seu estudo. O FMEA depende também do conhecimento técnico acerca do funcionamento e do projeto do sistema a ser estudado, bem como de uma noção suficientemente boa sobre as possíveis falhas.

2.2.3.2 Análise de árvore de falhas

Uma outra ferramenta de análise de confiabilidade muito utilizada é a análise da árvore de falhas, mais conhecida sob a sigla FTA (*"Fault Tree Analysis"*). Utilizando uma notação de símbolos lógicos definidos, o FTA parte de um evento específico como uma falha para verificar as suas origens e possíveis causas, [10]. Algumas destas notações podem ser visualizadas na Figura 2.6. Assim, o FTA difere sensivelmente do FMEA, uma vez que este inicia a sua análise partindo de cada componente do sistema até atingir o estado de falha. Outra diferença importante entre os dois métodos reside no fato do FMEA analisar apenas falhas simples, enquanto que o FTA permite a análise de estados múltiplos de falhas. A norma MIL-HDBK-338B afirma ainda que o FTA pode ser útil nas seguintes aplicações, [12]:

- 1) Alocação de probabilidades de modos de falhas críticos de componentes;
- 2) Comparação de alternativas de configurações de projeto segundo o ponto de vista da segurança;
- 3) Identificação de caminhos críticos de falhas e deficiências de projeto;
- 4) Avaliação de ações corretivas alternativas;
- 5) Desenvolvimento de procedimentos de operação, teste e manutenção para o reconhecimento de modos críticos de falhas.

Assim como o FMEA, a aplicação do FTA exige um bom conhecimento do sistema e de suas possíveis falhas, sendo comum a construção prévia de um diagrama de blocos a fim de se determinar as relações lógicas entre os componentes. SOUZA, [10], afirma que dependendo de tão complexo seja o sistema observado, diferentes observadores podem

elaborar análises não necessariamente idênticas sem, contudo, apresentar discrepâncias nas relações lógicas entre os blocos do sistema.









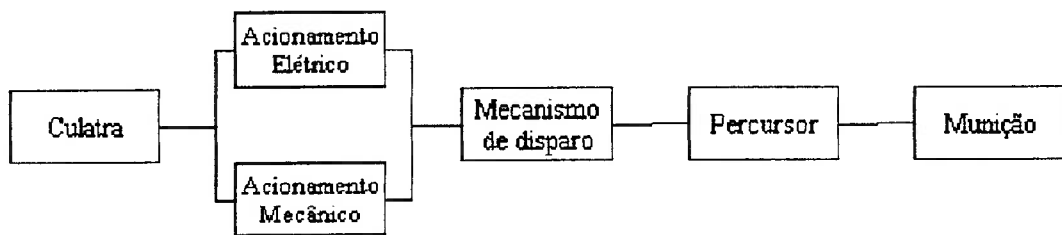
 <p>Porta lógica "E" ("AND") - "A" existe se e somente se "B₁" e "B₂" existirem ao mesmo tempo</p>	 <p>Evento básico para o qual não há desdobramentos</p>
 <p>Porta lógica "OU" ("OR") - "A" existe se qualquer B existir</p>	 <p>Evento básico dependente de outros eventos</p>
 <p>Um evento - geralmente a entrada (ou saída) de uma porta lógica</p>	 <p>Porta inibidora - usada para descrever a relação entre duas falhas. A falha de entrada diretamente produz uma outra falha de saída se a condição indicada for satisfeita.</p>
 <p>Evento básico</p>	 <p>Símbolo de conexão</p>

Figura 2.6 – Simbologia do FTA.

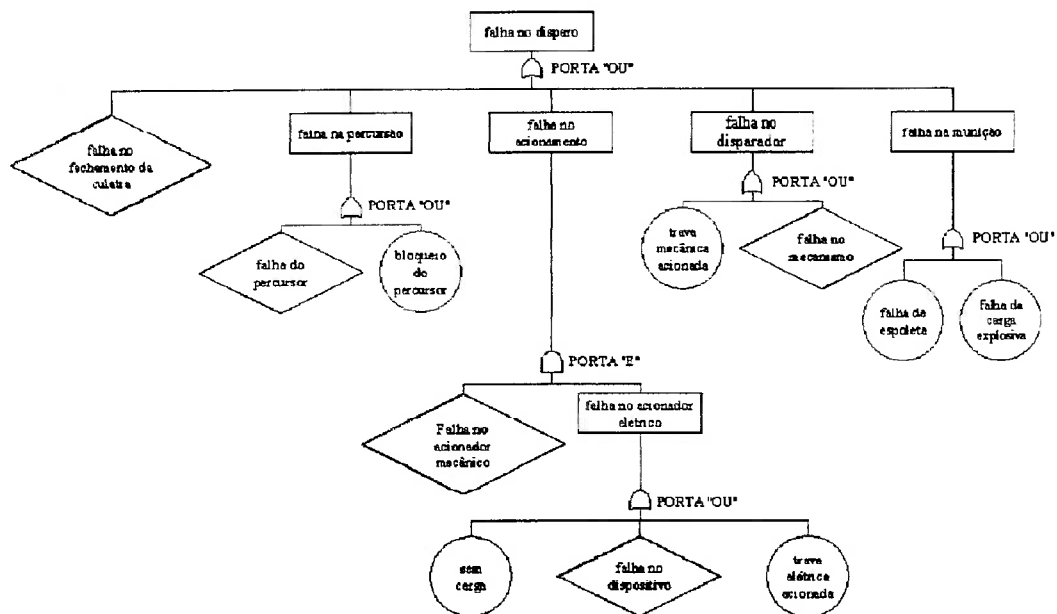
Para a elaboração do FTA é preciso estabelecer as relações lógicas que envolvem o evento falha. A construção de um diagrama de blocos permite visualizar o arranjo do sistema, considerando inclusive as possíveis redundâncias. Como exemplo, a Figura 2.7 apresenta a elaboração do FTA para uma falha no disparo do canhão EC-90, peça que equipa a viatura blindada de reconhecimento EE-9 CASCAVEL. Esta falha, conhecida no jargão militar como “NEGA”, acontece quando o atirador do carro dispara o canhão sem, no entanto, ocorrer o tiro, [19].

Na Figura 2.7.a, observa-se o diagrama de blocos onde estão arranjados apenas os componentes do armamento envolvidos com o disparo. Nota-se a presença de dois sistemas de acionamento de disparo: elétrico e mecânico – o que constitui uma redundância para o sistema de acionamento e que foi prevista no seu projeto. Para a construção do FTA propriamente dito na Figura 2.7.b, levou-se em consideração o diagrama de blocos e a ocorrência de eventos de falha dos componentes. É possível também associar o diagrama de FTA com dados de probabilidade de ocorrência dos eventos e, através da própria lógica do

diagrama, obter a probabilidade do evento falha. Para o caso exemplo, é possível também aprofundar a análise fazendo novos FTAs para algumas falhas como a “falha no acionador mecânico” considerada como um evento básico no diagrama. Similarmente ao FMEA, o FTA também tem a sua abrangência e sua profundidade definida pelo seu executor, enriquecendo-se com seu detalhamento.



(a) - Diagrama de blocos



(b) - Árvore de falha

Figura 2.7 – Exemplo de FTA para a falha no disparo do canhão EC-90.

Segundo SOUZA, [10], tanto o FMEA quanto o FTA são recursos cientificamente válidos para a análise de confiabilidade de um sistema. É preciso ressaltar que as duas metodologias se valem de um bom conhecimento acerca do arranjo e do funcionamento de sistema analisado, bem como de uma noção correta do que se pode classificar como falha. Para CARDOSO, [20], o FMEA pode orientar a construção de FTAs mais confiáveis e *vice-versa*. A Tabela 2.6 apresenta um comparativo sobre as vantagens e melhores aplicações para os dois métodos.

Tabela 2.6 – Comparação entre FTA e FMEA, [21].

Características	FTA	FMEA
Melhor para:		
Estado múltiplo de falhas	X	
Análise de falhas isoladas		X
Evitar análise de falhas que não sejam críticas	X	
Identificar um evento importante como consequência de eventos secundários	X	
Possuir uma boa noção acerca do fenômeno de falha		X
Ter poucas restrições e ser fácil de seguir	X	
Identificar influências externas		X
Identificar detalhes críticos		X
Prover um formato para planos de validação		X
Deve ser usado quando:		
É preciso uma análise quantitativa	X	
É preciso ter certeza de que cada componente foi examinado a respeito de seus modos e efeitos de falha		X
A informação é limitada a esquemas de funcionamento	X	
A informação de projeto está disponível na forma de desenhos e especificações técnicas		X
Na avaliação de redundâncias	X	
Na avaliação de integridade do projeto, incluindo segurança contra as falhas e detecção de falhas		X
A análise quer deduzir as causas de uma falha	X	
A análise quer deduzir os efeitos de uma falha		X

2.3 Manutenibilidade

Um sistema que foi projetado para executar uma ou mais funções pode apresentar falhas em alguns componentes, sendo necessário o conserto ou reposição dos componentes falhados. Também pode ocorrer que seja necessário cumprir determinadas tarefas para que o sistema permaneça com seus componentes operando. Como exemplos destas tarefas, podem-se citar os trabalhos de lubrificação, algumas ajustagens e a troca de componentes desgastados.

As duas situações discutidas acima são exemplos trabalhos de manutenção. A manutenção é o conjunto das ações destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual pode executar a sua função requerida, [6].

Associado ao conceito de manutenção está o termo manutenibilidade. A norma MIL-STD-721C, [6], define manutenibilidade como a habilidade de um item ser mantido ou recolocado no estado no qual pode executar suas funções requeridas, sob condições de uso especificadas, quando a manutenção é executada sob condições determinadas e mediante procedimentos e meios prescritos, em cada nível de manutenção. Para exprimir a manutenibilidade em termos matemáticos seja t_r o tempo necessário para reparar um sistema, medido a partir do tempo da falha. Esta variável t_r pode ser considerada como variável aleatória em termos das funções de distribuição a seguir, [4].

A função densidade de probabilidade de manutenção é definida como:

$$m(t)\Delta t = P\{t \leq t_r \leq t + \Delta t\} \quad (2.33)$$

e sua função acumulada de probabilidade, expressa por:

$$M(t) = \int_0^t m(t') dt' \quad (2.34)$$

Semelhante ao *MTTF*, o parâmetro mais usual de manutenibilidade é o denominado tempo médio para reparo (“*Mean Time To Repair*”) abreviado como *MTTR*. O *MTTR* pode ser obtido pela equação:

$$MTTR = \int_0^{\infty} t.m(t) dt \quad (2.35)$$

Além do *MTTR*, pode-se empregar a taxa de reparos, expressa por $\nu(t)$. Segundo CARDOSO, [20], o significado prático desta taxa é que se ela for muito alta ou se ela aumentar com o tempo, pode estar sendo utilizada uma prática inadequada de manutenção. Esta taxa é definida pela relação:

$$\nu(t) = \frac{m(t)}{1 - M(t)} \quad (2.36)$$

2.4 Disponibilidade

Segundo LEWIS, [4], a disponibilidade é uma grandeza fundamental para sistemas reparáveis. Ela é definida pela probabilidade de um sistema estar operando satisfatoriamente

no tempo t . Esta relação se refere à disponibilidade instantânea. Para um certo intervalo de tempo, a disponibilidade é definida pela relação:

$$A^*(T) = \frac{1}{T} \int_0^T A(t) dt \quad (2.37)$$

onde,

$A^*(T)$ = Disponibilidade em um intervalo de tempo $[0, T]$;

$A(t)$ = Disponibilidade instantânea, no tempo t .

a disponibilidade assintótica é definida por:

$$A^*(\infty) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T A(t) dt \quad (2.38)$$

Segundo LEWIS, [4], após um período inicial de efeitos transientes sobre a disponibilidade instantânea, a disponibilidade dos sistemas reparáveis assume um comportamento independente do tempo, que é a disponibilidade assintótica.

Em sistemas não-reparáveis, quando a falha significa o fim da vida útil, o conceito de disponibilidade, em termos matemáticos, se confunde com a confiabilidade. A disponibilidade assintótica nestes casos será igual a zero.

Segundo CARDOSO, [20], dependendo das distribuições associadas às taxas de falha e de reparo, o cálculo da disponibilidade pode ser muito laborioso. Considerando estas duas taxas como constantes, ter-se-á:

$$MTTR = \frac{1}{\nu} \quad (2.39)$$

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad (2.40)$$

A disponibilidade assintótica será:

$$A^*(\infty) = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} \quad (2.41)$$

Segundo a norma MIL-HDBK-470, [22], a manutenibilidade e a confiabilidade são consideradas disciplinas complementares. Ambos os conceitos contribuem para a disponibilidade do sistema, de modo que se a confiabilidade decair, será necessária uma melhor manutenibilidade para justamente proporcionar uma mesma taxa de disponibilidade e *vice-versa*. Esta relação é importante quando se deseja como objetivo uma certa taxa de disponibilidade. Por exemplo, se proporcionar confiabilidade custa relativamente caro ou é tecnicamente difícil, pode-se dar ênfase no projeto para reduzir o tempo de manutenção com vistas a aumentar a manutenibilidade.

2.5 Capabilidade

Uma máquina realiza funções. Segundo MOUBRAY, [1], uma função é definida por um verbo mais um substantivo (objeto), além de um desempenho almejado. Por exemplo, uma bomba hidráulica terá a função “*bombear água*” e um desempenho almejado como “*bombear água a vazão de 1 metro cúbico por hora*”. Para um projeto de um sistema hidráulico, a bomba selecionada deve apresentar no mínimo este desempenho, senão acontece

a falha. Como o desempenho da bomba é prejudicado por processos físicos (desgaste de componentes, cavitação, etc.), haverá uma margem de deterioração entre o desempenho inicial da bomba e o desempenho requerido. MOUBRAY, [1], denomina de capacidade inicial a este desempenho que a máquina pode proporcionar. A Figura 2.8 ilustra esta situação.

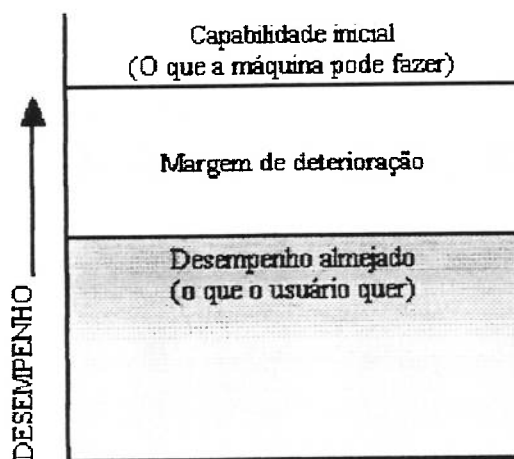


Figura 2.8 – Margem de deterioração, [1].

A capacidade inicial de uma máquina é estabelecida por seu projeto e pelo seu processo de fabricação. As ações de manutenção, incluindo a recuperação, poderão no máximo restabelecer a capacidade inicial do equipamento, [1]. Desta forma, para que a máquina possa cumprir um desempenho acima de sua capacidade inicial, será preciso modernizá-la, alterando o seu projeto.

2.6 Outras variáveis: especificações da máquina

As especificações do produto ou serviço são muito particulares a cada caso. As especificações são os meios formais de comunicação entre o vendedor e o comprador. DIETER, [23], apresenta como uma listagem bem elaborada de parâmetros que descrevem o resultado do produto. Segundo o autor, esta não deve ser utilizada como um meio de forçar um projeto e predizer seus resultados, mas como uma apresentação das limitações impostas pelo mercado ou pela empresa. A seguinte listagem é adaptada de DIETER, [23]:

- 1) Desempenho – O desempenho de um produto representa a primeira decisão de requisitos. Esta especificação é iniciada com a listagem das funções executadas pelo produto. Cada função pode ser expressa em duas palavras, um verbo e um substantivo, objeto da ação deste verbo. Por exemplo, um redutor mecânico poderia ter como funções: “*transmitir potência*”, “*aumentar torque*”, “*reduzir velocidade angular*”, etc. Para cada uma destas funções, estimam-se faixas de desempenho desejáveis.
- 2) Ambiente de operação – O ambiente onde operará o produto deve ser especificado em termos de temperatura de funcionamento, pressão, umidade e a possível presença de agentes nocivos como sujeira, poeira, ambientes corrosivos, ação de choques mecânicos, entre outros.
- 3) Vida útil ou de serviço – A vida esperada de serviço ou operação do produto precisa ser estabelecida antes do início do projeto.
- 4) Manutenção e logística – Um produto pode ser projetado para ser descartado após a falha, reparado pelo usuário, reparado por assistência técnica ou reparado

na fábrica. Cada um destes conceitos de manutenção pode ocasionar um efeito diferente no projeto do produto, impondo especificações de apoio logístico como rede de assistência, disponibilidade de sobressalentes ou kits de reparos e treinamento de mão-de-obra. A rapidez e a facilidade de reparação de um sistema pode influenciar a aceitação do produto no mercado.

5) Meta de custo do produto – É necessário estabelecer metas de custo, porém a experiência mostra que quase todas as metas de custo são muito baixas para serem realizáveis. Deve-se ter cuidado em atribuir metas de custos compatíveis com os custos de fabricação, que são fortemente influenciados pelos equipamentos disponíveis no chão-de-fábrica. Alguns consumidores estão interessados no custo do ciclo de vida, sendo necessário também estabelecer metas de custos para instalação, operação e manutenção.

6) Competição – O processo de “*benchmarking*” deve incluir uma completa análise de competição.

7) Transporte – É importante conhecer como o produto será entregue ao consumidor. É necessário considerar alguns fatores como tamanho de caixas ou contêineres; limites de pesos de transporte rodoviário, ferroviário, aéreo ou naval. Estes fatores podem significar complicações como acréscimos de custos, limitações de transportes entre outros.

8) Empacotamento – É necessário especificar a embalagem de forma a permitir o transporte e garantir a integridade do produto de acordo com o seu armazenamento.

9) Quantidade – O número estimado de produtos a serem fabricados é uma variável que determina o custo unitário e que tem grande influência sobre os métodos de produção.

10) Operações de manufatura – É importante integrar o projeto para manufatura com o projeto do produto. Um produto pode ser manufaturado dentro das instalações disponíveis ou pode ter sua produção terceirizada em uma outra planta. Também é possível que a fabricação de um novo produto provoque a aquisição de novas máquinas ou a implementação de novas técnicas de produção.

11) Tamanho – Já mencionado no item de transporte, o tamanho pode ser um limitante quando se insere o produto no mercado, devido a tendências já consolidadas.

12) Peso – O peso está relacionado com fatores de custos e de facilidade de transporte e instalação.

13) Estética e acabamento – Um consumidor padrão observa primeiro a aparência do produto, para depois analisar o desempenho deste produto.

14) Um projeto de engenharia mecânica, mesmo simples, envolve a seleção de materiais. Em alguns casos, quando se deseja desempenhos específicos ou operações em ambientes severos, pode ser necessário o emprego de especialistas para seleções mais complicadas.

15) Expectativa de tempo de mercado do produto – É necessário estimar por quanto tempo o produto permanecerá no mercado, pois esta definição terá reflexos nos investimentos de produção, estratégias de vendas e atividades de logística.

16) Normas e especificações – Em alguns projetos de engenharia mecânica pode ser necessário especificar o uso de unidades S.I. ou unidades inglesas. Muitos produtos também são normalizados, o que deve ser considerado em seu projeto.

17) Ergonomia – A interface homem-máquina deve ser especificada a contento.

18) Consumidor – As informações acerca dos gostos e preferências dos consumidores constituem-se de itens que devem ser analisados através do processo de “*benchmarking*”.

19) Qualidade e Confiabilidade – Atualmente estes dois conceitos cresceram de importância no mercado moderno.

20) Vida de prateleira durante a estocagem – Para alguns produtos perecíveis como baterias e tintas, é necessário estimar o tempo de estocagem de forma a controlar o almoxarifado destes itens. Para produtos de maior durabilidade e maior previsão de estocagem, pode ser necessário prever embalagens duráveis que mantenham condições específicas de armazenamento a fim de não iniciar modos de falhas de degradação do material.

21) Processos internos – Alguns processos específicos como tratamento superficial, tratamento térmico entre outros precisam ser considerados de forma a não causar gargalos no processo de produção.

22) Agenda de projeto – É necessário alocar tempo suficiente para as etapas do projeto, atribuindo marcos de processo a fim de administrar corretamente as etapas do projeto. Projetos realizados sem tempo suficiente podem representar problemas futuros durante a produção.

23) Testes e inspeção – Todo produto precisa ser avaliado para determinar o quanto afinal atingiu as suas expectativas de requisitos. Da mesma forma, pode ser necessário especificar procedimentos de inspeção que confirmem o bom funcionamento do produto ou ainda a necessidade de manutenção quando em serviço.

24) Segurança – É necessário especificar itens críticos do produto, que possam causar danos ou condições inseguras de funcionamento. Conhecendo tais partes

críticas, há como minimizar o risco de acidentes e danos, além de se poder adotar uma sinalização de segurança com etiquetas e outros meios de advertência.

25) Restrições da companhia – As restrições impostas pelas características das companhias devem ser consideradas.

26) Restrições de mercado – Não se pode descartar as experiências obtidas com as interações com o mercado. Por exemplo, a recusa de uma certa marca pelo mercado pode repercutir na utilização de produtos derivados.

27) Patentes – Quando se lança no mercado um produto novo ou se usa de uma técnica inovadora, é necessário ter certeza de não estar violando direitos autorais.

28) Fatores políticos e sociais – Em certos casos é necessário considerar as tendências de regulamentação de mercado e de produtos impostas pelas legislações ou pelos costumes sociais.

29) Descarte – Em determinados produtos é necessário planejar a sua retirada de circulação, devido a motivos que variam de razões ecológicas até questões políticas, como as que envolvem materiais bélicos.

2.7 Custos

2.7.1 Classificação de custos

Segundo DIETER, [23], um projeto de engenharia não é completo antes de possuir uma boa idéia de custo requerido para construir o projeto ou fabricar o produto. Sob o ponto

de vista econômico, entende-se por custo toda e qualquer aplicação de recursos, sob diferentes formas e expressa em seu valor monetário, para a produção e distribuição de mercadorias (ou prestação de serviços) até o ponto em que possa receber o preço conveniado, [24]. Pode-se compreender a importância de uma análise de custos devido a sua aplicação nos seguintes processos:

- 1) No estabelecimento de preço de venda de um produto ou a cotação de um bem ou serviço;
- 2) Na definição do método ou processo mais econômico para a fabricação de um produto;
- 3) Como ferramenta de um programa de redução de custos;
- 4) No estabelecimento de padrões de desempenho que possam ser utilizados em um programa de controle de custos;
- 5) Para prover uma idéia inicial de lucratividade de um novo produto.

A análise de custos pode ser aplicada a duas categorias de situações: estimativa dos custos de se construir uma planta ou instalar um processo a partir de uma instalação industrial e a estimativa de custos para manufaturar uma peça baseada em uma seqüência de etapas de fabricação. Nota-se que as planilhas de análise de custos de um produto ou serviço raramente são publicadas, parte porque não são informações estritamente essenciais, parte porque são informações técnicas pertencentes ao fabricante ou prestador de serviço. Apesar do fato de que algumas empresas e órgãos públicos adotarem metodologias próprias de análise de custos segundo padronizações internas, os conceitos gerais são válidos e aplicáveis a uma vasta gama de casos, [23].

2.7.1.1 Custos iniciais e custos de operação e manutenção

Não existe uma forma única de classificação dos custos de um produto ou serviço. Uma primeira classificação, muito interessante quando se lida com investimento de capitais é proposta de acordo com a ocorrência do custo durante a vida do produto. De acordo com esta ocorrência do custo, este pode ser classificado como inicial ou de investimento; ou então, pode ser classificado como custo de operação e manutenção, [23].

Na categoria dos custos iniciais ou de investimento incluem-se os custos originados pelo início de uma atividade ou projeto. São os custos da aquisição, entrega, instalação e treinamento previstos como parte do recebimento do equipamento. Se o equipamento não for um item já comercializado, nesta categoria serão inclusos os custos de projeto e desenvolvimento além dos custos de produção. Para um processo de tomada de decisão, os custos iniciais representam o montante de capital necessário para o início do projeto ou da aquisição do equipamento.

Nos custos de operação e manutenção incluem-se os custos de mão-de-obra, combustível e energia; materiais e suprimento; peças de reposição; reparos; pagamento de taxas de seguro e outras despesas que ocorrem durante a vida operacional do equipamento. Para um processo de tomada de decisão, estes custos estarão presentes ao longo da vida operacional do produto e representarão um quantitativo de despesas periódicas que se somadas podem até suplantarem de importância os custos da aquisição.

2.7.1.2 Custos fixos e variáveis

Custos fixos são os que permanecem relativamente constantes durante a vida operacional de uma planta industrial, de um sistema, de um equipamento ou componente. Não são rigorosamente invariáveis, porém são independentes do volume de produção ou do uso do equipamento. Nesta categoria podem ser classificados os custos decorrentes de, [25]:

- 1) Depreciação do bem;
- 2) Taxas e impostos;
- 3) Pagamento de seguro;
- 4) Aluguéis e alguns gastos administrativos;
- 5) Mão-de-obra com remuneração independente da produção.

Custos variáveis são os que mantêm uma relação de proporção com o volume de produção ou de uso, podendo esta relação ser progressiva ou regressiva, [25]. São progressivos os custos que aumentam em relação a cada unidade produzida à medida que se aumenta a produção ou utilização. Os custos regressivos são os que diminuem e tendem a desaparecer com o aumento da produção ou utilização. Pode-se incluir nesta categoria os custos decorrentes de, [25]:

- 1) Materiais;
- 2) Mão-de-obra direta;
- 3) Supervisão direta da produção;
- 4) Custos de manutenção;

- 5) Energia e insumos;
- 6) Controle de qualidade;
- 7) Pagamento de “royalties”;
- 8) Empacotamento e armazenamento;
- 9) Perdas por quebras e deterioração;

2.7.1.3 Custos diretos e indiretos

Na fabricação de um componente ou na manutenção de um sistema podem existir gastos que são identificados para cada item e, por consequência, podem ser medidos com precisão. Gastos com matéria-prima para fabricação ou custos de peças de reposição são exemplos para esta categoria de custos, que segundo HERRMANN, [25], são classificados como custos diretos.

Em contrapartida podem existir gastos de caráter geral, como por exemplo, o aluguel de instalações. Esta categoria de custos, classificada por HERRMANN, [25], como custos indiretos são incorporados ao custo de cada produto através de coeficientes de rateio calculados em função de fatores de influência considerados predominantes.

2.7.1.4 Métodos de estimativa de custos

A estimativa de custos de um sistema, quer na sua aquisição, quer na sua operação e manutenção é de vital importância para o projeto em si. DHILLON, [26], apresenta cinco metodologias para esta estimativa:

- 1) Utilização de opinião de especialistas – Quando não há dados suficientes ou não há confiança na precisão destes dados, uma boa alternativa é considerar a opinião de especialistas que possuam boa experiência com o material a ser analisado.
- 2) Utilização de dados catalogados – Uma peça cujo preço deva ser estimado é identificada em um grupo específico. Seu custo é obtido a partir de literatura técnica acerca deste grupo. Exemplo: utilização de literatura consolidada sobre elementos de máquina para obter o custo de um sistema que é uma montagem destes elementos.
- 3) Analogia com produtos similares – Dados sobre experiências antigas com itens similares podem ser utilizados, considerando o efeito das inovações do produto para a estimativa de custo.
- 4) Método “*cost-to-cost*” – Este método é baseado na hipótese de que a estimativa de um fator do custo do produto específico tenha alguma relação com outro fator conhecido de custo. Por exemplo, supõe-se que o custo periódico de manutenção de um equipamento seja proporcional ao custo de aquisição do mesmo.
- 5) Método “*non-cost-to-cost*” – Peso, dimensões ou algumas características de desempenho podem ser usados como referência aproximada para estimativas de

custos. Por exemplo, supor que o custo de manutenção de um equipamento seja função do peso do equipamento.

2.7.2 Custos do ciclo de vida (LCC)

A compra de um bem não significa o fim das despesas. É preciso mantê-lo em funcionamento, o que requer cuidados específicos. Se este bem quebrar será necessário restaurá-lo. Assim, até o descarte do bem (o que em alguns casos, pode até representar algum tipo de custo), existem várias parcelas de custo que podem ser avaliadas e servir de critério de decisão. Desta forma, definem-se como custos do ciclo de vida, do inglês "*Life Cycle Costs*" (LCC), a somatória das estimativas de custos de toda a vida do produto, o que vai da sua concepção até o seu descarte. O objetivo de se lidar com a análise dos custos do ciclo de vida é poder contar com um melhor enfoque quando se considera o custo da propriedade do equipamento. Desta forma, sua metodologia visa auxiliar o engenheiro na seleção de alternativas, justificando decisões baseadas mais na totalização dos custos do que simplesmente no custo inicial ou de aquisição, pois muitas vezes a totalização dos custos de operação e de manutenção de um equipamento superam os valores pagos na sua aquisição, [27].

Existem diversos modelos de cálculo dos custos de ciclo de vida de um equipamento, [23], [26] e [28]. A razão da diversidade de aproximações para este cálculo é devida a também vasta diversidade de equipamentos e modos de operação destes equipamentos. Segundo ERTAS; JONES, [29], um método eficiente de se trabalhar com a metodologia de custos do ciclo de vida é discriminá-los em uma estrutura analítica. A Figura 2.9 é uma

modificação da estrutura apresentada por BARRINGER, sendo composta por dois ramos principais: uma árvore de custos de aquisição e uma árvore de custos de propriedade. Neste modelo, a árvore de custos de aquisição é composta pelos diversos fatores de custos:

- 1) Custos de pesquisa e desenvolvimento – englobam os custos de pesquisa, aquisição e desenvolvimento de tecnologia, e também da criação do próprio projeto em si, com a elaboração de protótipos e testes. Indústrias que trabalham com tecnologia de ponta investem cifras consideráveis neste ramo de custos;
- 2) Custos não-recorrentes – são os custos de aquisição que incidem apenas uma vez, como o montante empregado na compra de um carro;
- 3) Custos recorrentes – são os custos que incidem mais de uma vez. São devidos a aperfeiçoamentos e incorporação de novas tecnologias. Um exemplo é a incorporação de “*upgrades*” programados de computadores.

Por sua vez, os custos de propriedades são compostos por:

- 1) Custos de manutenção – envolvem gastos com mão-de-obra e material para manutenção, incluindo o custo em se manter uma base de dados documentados;
- 2) Custos de operação – englobam gastos com energia e material, além da mão-de-obra e de aluguel de instalações;
- 3) Custos do descarte – em certos casos, é necessário planejar o descarte do equipamento e considerar os custos desta operação. Aparelhos que trabalham com partículas radiativas, por exemplo, não podem ser abandonados à própria sorte.

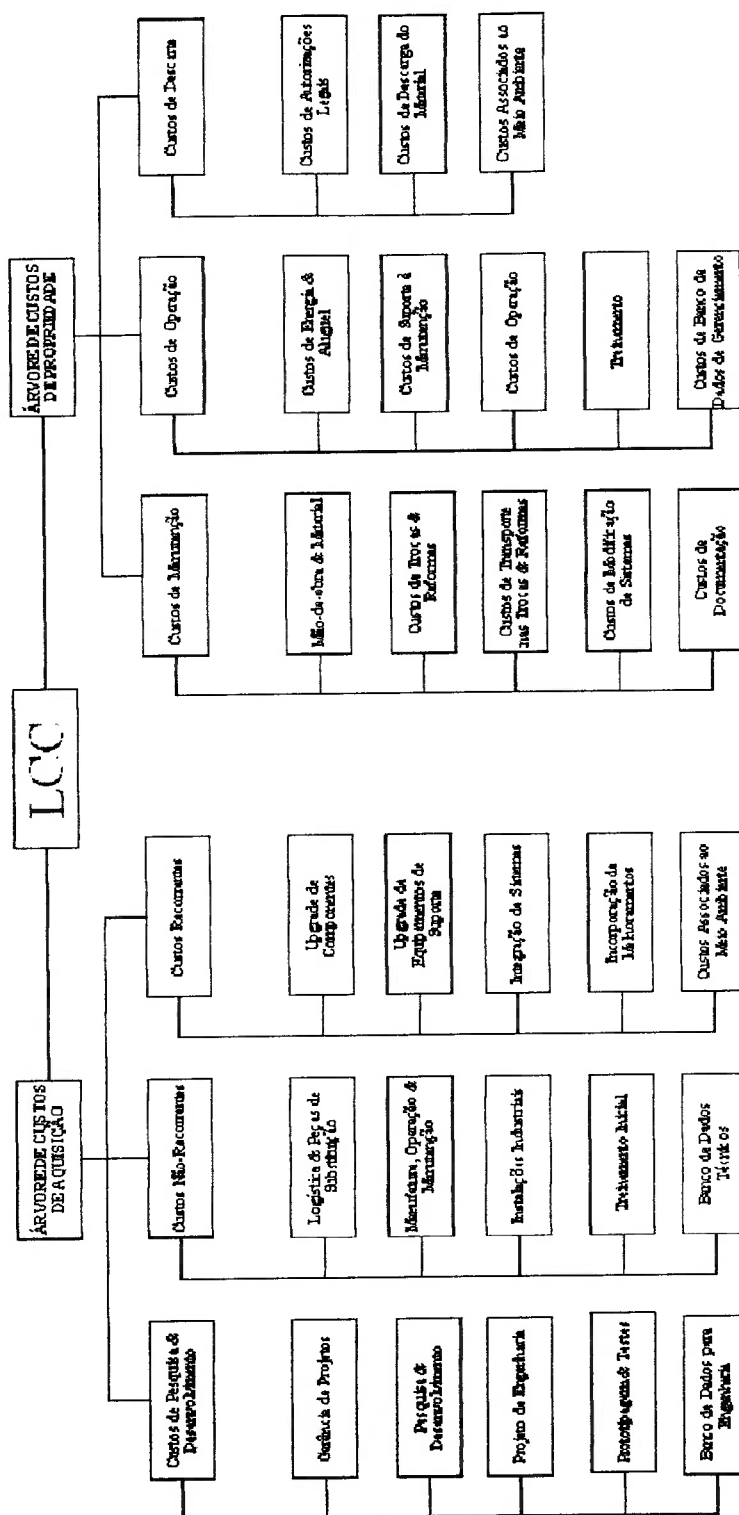


Figura 2.9 – Estrutura analítica de custos do ciclo de vida, adaptado de [27].

CAPÍTULO 3

ANÁLISE DE FILOSOFIAS DE PROJETO

3.1 O que é um projeto de engenharia?

ASIMOW, [30], define projeto de engenharia como uma atividade orientada para o atendimento das necessidades humanas, principalmente aquelas que podem ser satisfeitas por fatores tecnológicos. ERTAS; JONES, [29], citam como definição mais apropriada do termo projeto de engenharia a promulgada pela Accreditation Board for Engineering and Technology:

Projeto de engenharia é o processo de se imaginar ou criar um sistema, componente ou processo para satisfazer uma necessidade. É um processo de tomada de decisão no qual as ciências básicas, a matemática e as ciências de engenharia são aplicadas para manipular otimamente os recursos disponíveis para atender um objetivo especificado. Entre os elementos fundamentais do processo de projeto estão o estabelecimento de objetivos e critérios, síntese, análise, construção, teste e avaliação.

NORTON, [31], ressalta a necessidade do projeto de engenharia em descrever um componente, um processo ou um sistema de uma forma detalhada que permita a sua realização e reprodução. Assim, é necessário utilizar uma linguagem técnica que possibilite a sua correta interpretação por outras pessoas. O engenheiro como profissional de projeto deve conhecer as normas e regras de linguagem técnica e, especialmente, deve descrever o projeto com todas as informações necessárias ao seu entendimento.

Devido à própria dimensão da engenharia, não existe uma metodologia única e universal que estruture o processo de obtenção de um projeto. Em comum, está o consentimento de que o projeto surge com o descobrimento ou o estabelecimento de uma necessidade, cujo intuito de satisfação provoca todo o processo e cuja busca de uma solução racional e técnica é denominada projeto de engenharia.

3.1.1 Fases de um projeto de engenharia

Mesmo considerando que cada projeto tem um histórico particular, ASIMOW, [30], argumenta existir uma ordem cronológica aplicável a maioria dos projetos. Esta seqüência, que está apresentada na Tabela 3.1, é composta de sete fases, sendo que as três primeiras fases se referem mais precisamente às atividades de estudo, pesquisa e elaboração do projeto propriamente dito. As quatro últimas fases são compostas de planejamentos para produção, distribuição, consumo e retirada do produto.

Tabela 3.1 – Seqüência de projeto, [30].

Ordem	Etapa
1	Estudo de viabilidade
2	Projeto preliminar
3	Projeto detalhado
4	Planejamento da distribuição
5	Planejamento da produção
6	Planejamento do consumo
7	Planejamento da retirada do produto

3.1.1.1 Estudo de viabilidade

O ponto inicial do projeto de engenharia é o estabelecimento de uma necessidade que hipoteticamente foi observada no cenário sócio-econômico, [30]. O estudo de viabilidade é iniciado com a verificação da validade desta necessidade inicial. Desta forma, são identificados requisitos, parâmetros, limitações e critérios importantes provenientes da assunção do problema inicial. No decorrer do estudo de viabilidade, várias propostas de solução são formuladas, tornando-se necessário analisar a exequibilidade física, a viabilidade econômica e a compensação financeira que cada uma das propostas pode oferecer. Desta análise, chega-se a um conjunto de soluções viáveis, cuja seleção é realizada em um próximo passo.

3.1.1.2 Projeto preliminar

A partir do conjunto de soluções viáveis, é necessário estabelecer critérios de decisão que apontem uma solução preferencial que será escolhida para o desenvolvimento do projeto. Uma vez escolhida a solução, esta será detalhada em um modelo matemático para que seja possível a sua análise. A representação do modelo matemático pode ser visualizada em um sistema composto de parâmetros que pretendem descrever as várias especificações do produto. As solicitações a este sistema podem ser expressas como variáveis de entrada, dependentes ou não do tempo, que, através de equações matemáticas, resultariam em variáveis de saída representantes do desempenho do sistema. Cabe ao projeto também avaliar

a compatibilidade e a estabilidade do modelo além de prever respostas para as várias possibilidades de cenários e para a ação do tempo.

3.1.1.3 Projeto detalhado

Após a concepção da solução mais viável no projeto preliminar, é necessário descrevê-la em uma linguagem de engenharia através de um trabalho minucioso e complexo, a fim de materializar o produto final resultante de todo o processo do projeto, [29].

3.1.1.4 Continuidade do projeto

Segundo DIETER, [23], as fases do projeto que foram vistas anteriormente, trazem o projeto do domínio da possibilidade ou probabilidade para o mundo real da execução; constituindo-se em fases primárias do projeto. Entretanto, o processo de projeto não pode ser finalizado apenas com a liberação de um conjunto de desenhos técnicos, posto que se torna necessário a realização de planejamentos e decisões comerciais para a produção e utilização do material. As quatro últimas fases do projeto que lidam com estes aspectos de planejamento exigem a contribuição de outros departamentos ou disciplinas. Como apresentado por ASIMOW, [30], são as fases:

- 1) Planejamento da produção – a fabricação ou aquisição de cada componente deve ser estabelecida de acordo com as características próprias do fabricante do sistema projetado. Assim, será necessária a contribuição da engenharia de processos ou de produção para o delineamento das etapas de obtenção do produto final.
- 2) Planejamentos da distribuição – nesta fase de projeto concentram-se os esforços em se estabelecer uma divulgação do produto, além da implantação de toda uma logística de distribuição.
- 3) Planejamento do consumo – a influência do consumo no projeto é grande, visto que penetra todas as fases do processo. O objetivo desta fase é incorporar os aspectos adequados de serviços ao projeto e prover uma base racional para o aperfeiçoamento e reprojetado do produto.
- 4) Planejamento da retirada do produto do mercado – para o engenheiro projetista, a questão de projetar considerando-se a deterioração física, ou considerando a obsolescência técnica é fundamentalmente importante. Sendo possível assinalar o fim da vida útil do produto, pode-se estimar com melhor precisão o custo do ciclo de vida do material. É importante também considerar o suprimento de peças de reposição para manutenção, detalhe que compõe importante parcela do custo do ciclo de vida.

3.2 Aplicação de engenharia reversa no projeto de recuperação e/ou modernização

A engenharia reversa, que neste texto será abreviada como ER, é o processo que utiliza a desmontagem de um item ou sistema para determinar o seu projeto, [32]. Segundo FERNEDA, [33], é possível que a ER tenha se originado em processos de manutenção quando se era necessário reparar a falha de um componente de uma máquina de fabricação antiga. Nota-se então que esta aplicação original está bem inserida no contexto deste trabalho, fato confirmado por INGLE, [32], ao apontar a possibilidade de aplicação na modernização e revitalização de produtos antigos quando há falta de documentação de projeto (desenhos, normas, etc). Existem outras aplicações da metodologia fora do campo da manutenção e recuperação, quando, por exemplo, um fabricante decide utilizar um produto da concorrência para análise de “*benchmarking*”, antes de lançar o seu produto no mercado, [33].

Para se fazer ER de um produto, é necessário extrair deste produto dados técnicos de fabricação, montagem, manutenção entre outros. A complexidade deste trabalho é proporcional à complexidade do item a ser analisado, fato que pode exigir um esforço considerável da equipe responsável por este processo, podendo ser necessário o emprego de equipes multidisciplinares. Devido a limitações de processos ou da equipe de ER, alguns dados técnicos do projeto podem não ser obtidos simplesmente através da análise do produto, sendo necessário ser gerar estas informações a partir dos demais dados. A base de informações obtida com este processo passará a ser trabalhada com vistas a constituir um novo projeto que será verificado e implementado. Segundo INGLE, [32], o processo de ER está estruturado em quatro fases:

- 1) Primeira fase: avaliação e verificação – baseada na desmontagem e no exame das características do produto, além do confronto com dados disponíveis em literatura técnica;
- 2) Segunda fase: geração de dados técnicos - gerar informações que não puderam ser obtidas anteriormente;
- 3) Terceira fase: verificação do projeto;
- 4) Quarta fase: implementação do projeto.

A avaliação do produto é a etapa mais demorada de um processo de ER. Esta etapa envolve a completa caracterização de uma peça através de inspeção visual e dimensional da peça, além da análise e identificação de materiais. O rol de características de um produto apresentado na Tabela 3.2 pode ser utilizado como guia para a obtenção das informações no processo de inspeção visual e dimensional.

Tabela 3.2 – Referência de dados técnicos, [32].

Resistência mecânica	Condições de atrito	Desgaste
Proteção contra corrosão	Custo	Processamento
Peças obsoletas	Ruído	Segurança
Peso	Flexibilidade	Estilo
Forma	Controle	Tamanho
Acabamento superficial	Manutenção	Rigidez
Lubrificação	Especificações	Volume

Depois da obtenção destes dados, pode-se compará-los com informações disponíveis em catálogos, memoriais descritivos, publicações técnicas, entre outros. As diferenças observadas entre dados técnicos da literatura com valores medidos devem ser relacionadas e

analisadas criteriosamente para se evitar que possíveis incorreções e não-conformidades sejam incorporadas ao projeto resultante da ER. Segundo INGLE, [32], também como um dos processos desta primeira fase, é possível realizar uma análise de falhas, como o FMEA.

A segunda fase de ER é realizada de modo a preencher a lacuna de dados técnicos que não puderam ser obtidos pela fase anterior, além de gerar desenhos que serão incorporados ao processo de fabricação do produto obtido pela ER. Com o encerramento desta fase, eliminam-se as diferenças entre um projeto obtido por ER e outro de concepção normal. As duas próximas fases tratam do prosseguimento do projeto resultante, não havendo necessidade de entrar em maiores detalhes.

3.3 Aplicação de análise do valor e engenharia do valor no projeto de recuperação e/ou modernização

3.3.1 Definição e histórico da análise do valor e engenharia do valor

A técnica de Análise de Valor e Engenharia de Valor (AV/EV) é um esforço organizado, dirigido para analisar as funções de bens e serviços, com o propósito de atingir as funções necessárias e características essenciais da maneira mais rentável, [34]. Seu surgimento se deveu à pesquisa de novos materiais, de mais baixo custo e mais fácil obtenção, para substituir os materiais escassos durante a II Guerra Mundial. Esta pesquisa inicialmente teve origem nas instalações da General Eletric nos EUA, sendo a técnica de AV/EV formalizada por Lawrence D. Miles em 1947.

Os estudos de Miles levaram à formulação de uma série de técnicas de análise em torno da idéia de focalizar estudos de produtos em termos de funções em lugar de peças ou componentes. Essa abordagem traria resultados muito promissores, como já se percebia nessa época inicial, [34].

As práticas de AV/EV foram adotadas pelo Departamento de Defesa Americano (DoD) desde 1954, quando o NAVY'S BUREAU OF SHIPS formalizou a primeira aplicação desta disciplina. O DoD estabeleceu o programa de AV/EV em 1963, com dois propósitos: um primeiro propósito de divulgação e aplicação interna e um segundo, pela inclusão em contratos de requisitos de programas específicos de AV/EV a fim de permitir mudanças em propostas de fornecedores com vistas a permitir ganhos econômicos, [35].

Segundo CSILLAG, [34], o termo Análise do Valor foi inicialmente aplicado quando na análise de produtos existentes, enquanto que o termo Engenharia do Valor foi relacionado com o desenvolvimento de produtos novos. Apesar das diferentes utilizações, os termos Análise do Valor (AV) e Engenharia do Valor (EV) passaram a ser usados indistintamente. Neste trabalho, será utilizado, a título de simplificação, a abreviatura AV/EV.

3.3.2 Conceitos fundamentais da AV/EV

3.3.2.1 Função

CSILLAG, [34], afirma que o conceito de função é fundamental dentro da metodologia de AV/EV. Para os trabalhos de AV/EV, a função de um item ou parte de um

item é expressa de forma simplificada por um verbo mais um substantivo, [35]. Por exemplo, uma das funções de um automóvel seria “*conduzir passageiros*”.

3.3.2.2 Custo

Para a AV/EV, custo é o total de recursos necessários para adquirir, utilizar e manter uma função específica, [35]. Para o vendedor de um produto, custo é o total dispendido na produção deste produto.

3.3.2.3 Desempenho

Em AV/EV, o desempenho de um produto pode ser definido como o conjunto específico de habilidades funcionais e propriedades que o fazem adequável e vendável para uma finalidade específica, [34]. Como objetivo básico, a AV/EV se esmera em determinar onde termina o desempenho satisfatório e necessário de uma função e começa o excesso de desempenho, ou “desperdício” de desempenho, pois a partir deste ponto o seu valor real será diminuído para o usuário. Observa-se que, para o exemplo do automóvel, o desempenho poderia ser estabelecido de acordo com o número de passageiros: “*conduzir cinco passageiros*”.

3.3.2.4 Valor

Uma vez definidos os conceitos básicos da metodologia, pode-se definir o conceito principal de trabalho, que é o conceito de valor. Sendo assim, “valor” pode ser definido como uma relação entre o desempenho da função e seu custo, representada pela equação, [36]:

$$Valor = \frac{Desempenho}{Custo} \quad (3.1)$$

Baseado nessa definição, o objetivo de uma aplicação de AV/EV é desempenhar certa função essencial ao mínimo custo, ou seja, maximizar o “valor”, [34]. Nota-se que a AV/EV não é apenas mais uma técnica de redução de custos, pois segundo CSILLAG, [34], pode ocorrer um aumento do desempenho da função.

3.3.3 Método da AV/EV

Um plano de trabalho viável e consistente é fundamental para a execução da técnica de AV/EV. As fases seguintes fazem parte da grande maioria dos planos de trabalho existentes:

- 1) Fase de orientação: quando se é decidido o que deve ser desempenhado, quais os desejos e necessidades reais do cliente e quais as especificações desejadas, [34].
- 2) fase de informação: quando se coleta todos os dados e informações disponíveis sobre custos, quantidade, fornecedores, etc. Esta fase tem três objetivos, [35]:

- a) Entender o produto analisado;
- b) Determinar as funções;
- c) Estimar o potencial de aumento do valor.

3) Fase criativa: determinação de como o custo do produto ou operação poderá ser reduzido para o valor avaliado, por eliminação de funções desnecessárias ou substituição de itens ou operações. Nesta fase o julgamento deve ser temporariamente suspenso, a fim de não interpor barreiras críticas à criatividade.

4) Fase de análise: as idéias são analisadas e para cada uma escreve-se a resposta adequada, do que falta para funcionar, e não porque é que não funciona. Nesta fase são consideradas alternativas como comprar ou fazer, seleção do processo e do material e problemas de produção.

5) Fase de planejamento do programa: será planejada a execução do trabalho. Pode-se dividir o projeto em áreas funcionais, facilitando a análise por especialistas. Deve ser feita uma programação para as atividades, considerando-se os tempos e custos envolvidos.

6) Fase de execução do programa: acompanhamento dos resultados e conseqüente ajustagem do programa em função do andamento.

7) Fase final com conclusões e relatório: o processo decisório é de importância capital. Vários elementos devem ser levados em conta: o elemento do conflito, do tempo, do acaso e da estratégia. A utilização de técnicas para a tomada de decisão, como por exemplo, a "matriz de decisão" é recomendável. O relatório é fundamental como registro de estudo.

Observa-se que estas sete fases podem estar agrupadas em dois segmentos. As quatro primeiras fases se referem à aplicação da metodologia de trabalho de AV/EV enquanto as três últimas se referem a implementação do projeto, que foi resultado desta metodologia.

3.3.4 Estabelecimento das funções

O conteúdo base da aplicação da técnica de AV/EV envolve três etapas distintas: estabelecimento das funções, avaliação da função por comparação e desenvolvimento de alternativas para o valor. A abordagem funcional pode ser definida como a determinação da natureza essencial de uma finalidade, considerando que todo objeto ou toda ação, para existir, tem ou tinha uma finalidade, [34]. A fim de se obter as funções de cada parte de um sistema, MASSARANI, [37], apresenta uma metodologia composta de um estudo detalhado do sistema, que será realizado através de um texto descritivo (descrição), da divisão do sistema estudado em partes (partição) e na análise crítica das funções obtidas (derivação das funções).

ANDRÉ, [38], define descrição como o retrato que fazemos, por meio da palavra, de um ser, reproduzindo-o pela adequada e artística apresentação de sua forma. A descrição proposta em uma análise de valor pode ser centrada tanto na obtenção quanto na utilização ou emprego do objeto de análise. A descrição tendo em vista a obtenção de um bem geralmente contém as fases de fabricação, idealização ou implementação deste bem.

Feita a descrição, passa-se à fase de partição. Há dois focos utilizados pela metodologia para obter a partição: foco no objeto ou foco no processo. Uma partição com foco no objeto se propõe a fracionar o objetivo da análise em partes físicas menores. Assim,

por exemplo, um automóvel pode ser particionado em peças que executam funções específicas.

A partição com foco no processo enumera as partes, seja na obtenção ou no emprego, de acordo com a descrição inicial. O automóvel do exemplo anterior, se cuja descrição for de obtenção, teria em sua partição os processos de montagem. Se a descrição fosse de emprego, os fenômenos físicos que possibilitam o carro se mover e parar seriam listados como partes.

Como próximo passo, para cada parte são atribuídas funções. Uma parte pode possuir tantas funções quanto for necessário. São recomendadas definições mais gerais, verbos de ação e substantivos mensuráveis ou passíveis de comparação. A criatividade deve ser deixada de lado, pois será empregada em posterior fase. A seguir é realizada a análise funcional quando se torna importante abandonar o vínculo das funções encontradas com as partes do objeto de análise e passa-se a trabalhar apenas as funções desempenhadas. Estas funções são classificadas da seguinte forma, [37]:

- 1) Função identificadora – é a razão de existir do objeto de análise, sendo única para o contexto em estudo.
- 2) Funções secundárias – são as demais funções que particularizam a solução.

Por sua vez, as funções secundárias são classificadas de dois modos, [37]:

- 1) Classificação como “de estímulo” ou “de suporte” – define-se como de suporte a função secundária que viabiliza o desempenho da função identificadora e como de estímulo a função que, apesar de não ter ligação com a função identificadora, estabelece o diferencial competitivo da solução.

2) Classificação em “relevante”, “irrelevante” ou “indesejável” – esta classificação está subordinada aos anseios do cliente, sendo auto-explicativa.

É utilizada a classificação cruzada. Assim, uma função secundária que não é essencial ao funcionamento de um produto, mas que, porém é desejada pelo cliente, teria a classificação de *função secundária de estímulo e relevante*. Da mesma forma, uma função decorrente do modo de funcionamento de um produto, mas que representa um fator negativo aos olhos do cliente seria uma *função secundária de suporte e indesejável*. Como exemplo desta última, a função “*poluir meio ambiente*”, presente em uma análise em automóveis.

3.3.5 Avaliação das funções

A partir da classificação das funções, é possível fazer um diagnóstico sobre o desempenho destas funções. A função identificadora obviamente deve ser desempenhada, porém é necessário conhecer o nível ótimo de desempenho desta função.

As secundárias são diagnosticadas conforme a sua classificação. As classificadas como *de estímulo e relevantes* oferecem atrativos consideráveis, portanto devem ser desempenhadas da melhor forma. As *de suporte e relevantes* são otimizadas a desenvolver o nível exato de suas especificações, pois o excesso seria desperdício aos olhos do cliente. Quando se trata de funções *de suporte e irrelevantes*, estas podem ser substituídas ou eliminadas na gama de novas opções. As *de estímulo e irrelevantes* podem desempenhar item de desempate em produtos iguais, o que traz à análise o problema de eliminar ou não tais funções. Uma função

de suporte e indesejável, como reza o bom senso, deve ser eliminada ou reduzida. Eliminar ou reduzir funções indesejadas apontam para uma possível troca de tecnologia, [37].

A Tabela 3.3 apresenta de forma resumida e esquemática o tratamento dado às funções durante este processo de AV/EV.

Tabela 3.3 – Tratamento de funções.

Classificação	Descrição	Tratamento
Identificadora.	Razão de existir do objeto de análise, sendo única para o contexto em estudo.	Deve ser desempenhada, porém é necessário conhecer o nível ótimo de desempenho desta função.
Secundária, de estímulo e relevante.	Diferencial competitivo, atende aos anseios do cliente.	Devem ser desempenhadas da melhor forma.
Secundária, de estímulo e irrelevante.	Diferencial competitivo, irrelevante para o cliente.	Podem desempenhar item de desempate entre produtos.
Secundária, de suporte e relevante.	Viabiliza o desempenho da identificadora, atende aos anseios do cliente.	Otimizada a desenvolver o nível exato de suas especificações.
Secundária, de suporte e irrelevante.	Viabiliza o desempenho da identificadora, irrelevante para o cliente.	Podem ser substituídas ou eliminadas.
Secundária, de suporte e indesejável.	Viabiliza o desempenho da identificadora, indesejável para o cliente.	Deve ser eliminada ou reduzida.

CSILLAG, [34], apresenta várias técnicas de análise comparativa de funções, embora apresente como mais eficiente a técnica de relacionar custo por função. Esta técnica consiste em custear todas as funções que se encontram dentro dos limites do estudo. Inicialmente, preenche-se um quadro com os custos envolvidos, tendo por linhas os componentes e por colunas as funções desempenhadas pelo produto. A Tabela 3.4 exemplifica uma análise deste tipo. A distribuição do custo de um componente para cada função desempenhada é uma tarefa particular a cada caso. O julgamento pode ser feito de três maneiras diferentes:

- 1) Comparar o custo de prover funções dentro do produto (custo entre funções);
- 2) Comparar custos de funções similares em diferentes equipamentos produzidos;
- 3) Comparar inteligentemente funções com produtos concorrentes – estes podem prover algumas funções de maneiras diferente e com custos que podem ser estimados.

Tabela 3.4 – Análise de custo por função.

		FUNÇÕES			
		1	2	3	4
COMPONENTES	A	30 U\$	10 U\$	10 U\$	
	B				30 U\$
	C	10 U\$			10 U\$
Custo por função		40 U\$	10 U\$	10 U\$	40 U\$

3.3.6 Método FAST

As relações lógicas entre as funções do sistema em um processo de AV/EV podem ser estabelecidas através de uma metodologia conhecida como FAST – “*Function Analysis System Technique*”. Segundo MILES, [36], o FAST foi desenvolvido e bastante utilizado pelo engenheiro Charles W. Bytheway.

Segundo SILVA; CAVALCA; DEDINI, [52], esta técnica, quando aplicada no projeto, permite construir um diagrama de blocos com o desenvolvimento das funções do produto, possibilitando a sua organização e hierarquização entre elas.

Iniciando pela função principal, a metodologia do FAST é baseada no seguinte questionamento, [36]:

- 1) Como? – Como a função é cumprida;
- 2) Por que? – Por que a função é desempenhada;
- 3) Quando? – Quando a função é desempenhada.

Uma vez que na metodologia do FAST as demais funções são exatamente as respostas a estes questionamentos, pode-se ordená-las segundo a notação representada na Figura 3.1. Por exemplo, ao se perguntar por que uma função é executada, a resposta, que será uma outra função, será posicionada à esquerda. Ao se perguntar como, ou de que modo a função é executada, a resposta será posicionada à direita. Podem ocorrer vários caminhos paralelos, que não mantêm uma relação lógica entre si baseada nas perguntas “como?” e “por que?”. O questionamento de quando uma função é desempenhada irá estabelecer uma linha do tempo. Funções que são desempenhadas ao mesmo tempo deverão ser alinhadas uma acima da outra. Assim, é possível ordenar os diversos caminhos observando-se este critério.

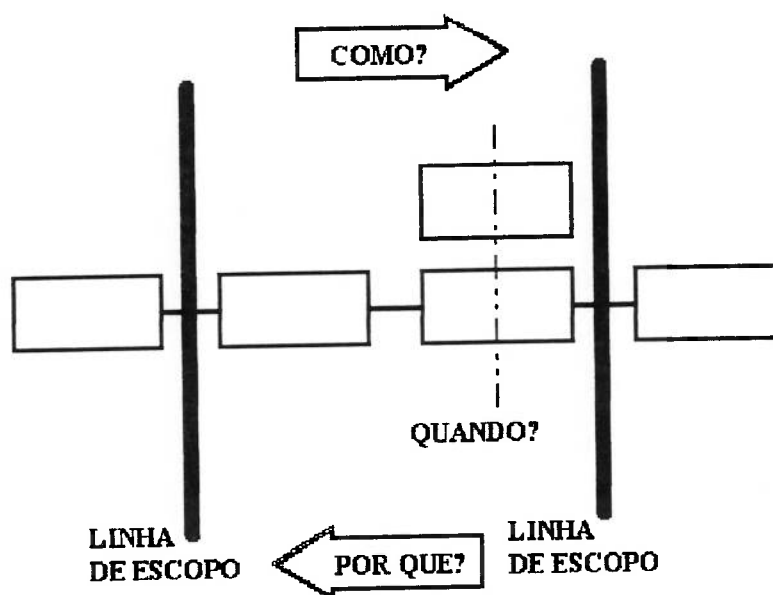


Figura 3.1 – Notação da metodologia do FAST.

No diagrama FAST percebe-se a existência de linhas de escopo que delimitam o problema. Dentro das linhas de escopo estarão as funções do sistema. A Figura 3.2 trata de uma análise FAST de uma lâmpada. Este exemplo simples permite compreender a limitação do problema nas linhas de escopo. A função principal da lâmpada, que é “*produzir luz*” está posicionada no caminho crítico. Logo à esquerda desta função e, fora do escopo, observa-se a função “*iluminar o ambiente*”. Esta função é, na verdade, pertencente a um nível superior, podendo ser desempenhada por uma ou mais lâmpadas ou então, por outros meios de iluminação. A função “*prover energia*” também estará fora do escopo da análise por se tratar de função de responsabilidade de outro sistema, como a rede elétrica.

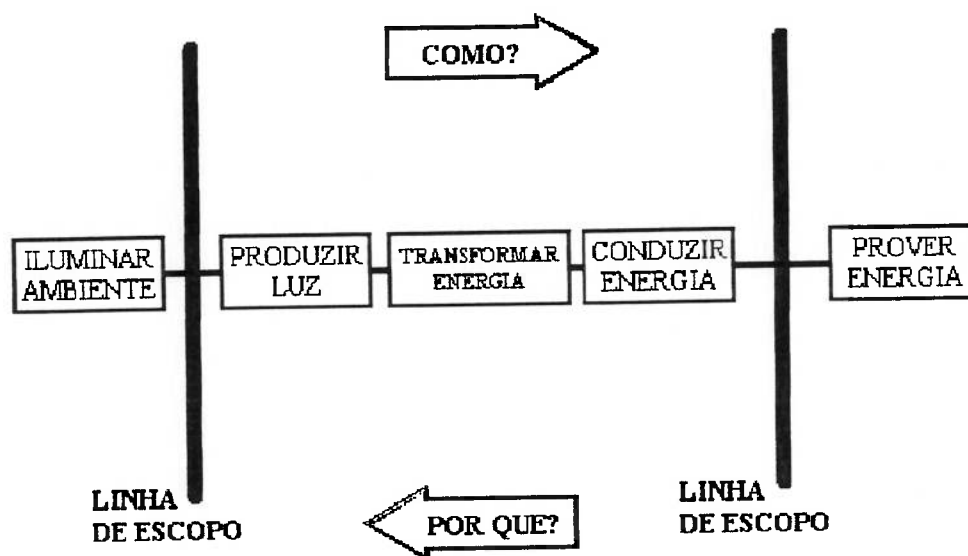


Figura 3.2 – Exemplo de FAST – lâmpada.

3.4 Aplicação de metodologias de projeto DFX no projeto de recuperação e/ou modernização

BRALLA, [39], define a filosofia de projeto DFX como uma abordagem de projeto que procura maximizar todas as características desejáveis – alta qualidade, confiabilidade, segurança entre outras – em um projeto de produto enquanto, ao mesmo tempo procura minimizar custos. Ao atingir estes objetivos, atinge-se a excelência (no inglês, excellence, representado pela letra X). A filosofia de projeto DFX teve origem com o DFM (“*Design for Manufacture*”), possuindo várias derivações como a DFA (“*Design for Assembly*”), a DFMA (“*Design for Manufacture and Assembly*”), entre outras.

Com a crescente importância dada à confiabilidade no pós-guerra e com a inclusão de metas de confiabilidades em encomendas de projetos, houve a necessidade de incorporar este parâmetro como um objetivo de projeto, [39]. O mesmo também se aplica para outro atributo

já visto neste trabalho que é a manutenibilidade, uma vez que estes dois atributos têm grande influência no custo do ciclo de vida do produto. Nesta seção, são apresentados conceitos de aplicações da filosofia DFX para a confiabilidade e manutenibilidade.

3.4.1 Projeto para confiabilidade (DFR)

Segundo MOSS, [40], a expressão “*Design for Reliability*” (DFR) surgiu nos meados dos anos 80 como uma proposta de solução adotada pela indústria eletrônica americana para tentar resolver o problema do aumento dos custos da garantia dos seus produtos. Uma força tarefa, após estudar este problema, propôs entre outras melhorias a implantação ampla de métodos de aumento da confiabilidade em todos os setores da companhia.

Como método prático, o DFR é baseado em 37 atividades de aumento de confiabilidade nos níveis de gerência, de engenharia e de manufatura. Dessas atividades, oito são intimamente relacionadas com o aumento de confiabilidade e, desta forma, serão tratadas como atividades chaves e analisadas nesta seção. A Figura 3.3 apresenta estas atividades chaves inseridas no contexto de três fases distintas do projeto: concepção, projeto e preparação para a produção.

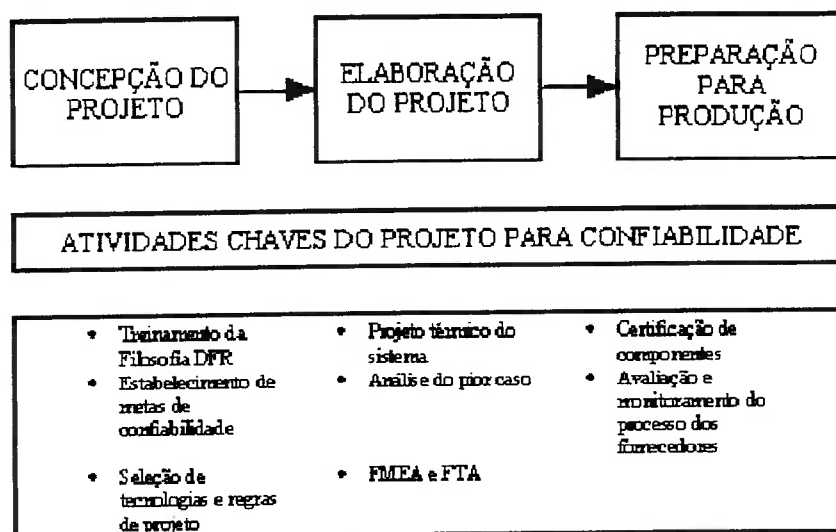


Figura 3.3 – Aplicação de DFR, adaptado de [40].

3.4.1.1 Aplicação de metodologia DFR na concepção do projeto

No início do processo do projeto, quando se procura estabelecer uma metodologia que incorpore a própria definição do que se deseja obter, é necessário tomar decisões que sirvam como base de todo o desencadeamento dos trabalhos futuros. Para que isto seja atingido, procura-se desenvolver na equipe de projeto uma capacidade de se lidar com os conceitos e técnicas da Ciência da Confiabilidade. Os primeiros três passos ou atividades chaves buscam a utilização racional e proveitosa desta ciência:

- 1) Treinamento da equipe de projeto – as atividades de treinamento da própria filosofia DFR visam preparar a equipe de projeto no uso das técnicas e métodos empregados na Ciência da Confiabilidade. Metodologias clássicas como FMEA, FTA, diagrama de blocos e projetos de testes de confiabilidade requerem horas de

treinamento que, se bem ministrados, levarão a equipe de projeto a um raciocínio comum sobre a importância da metodologia DFR.

2) Estabelecimento de metas de confiabilidade – estabelecer metas de confiabilidade como parte do escopo de projeto cria desde o início um comprometimento com a filosofia DFR, além de especificar quantidades como a taxa de falhas, o tempo médio entre falhas e a própria função de confiabilidade entre outras grandezas. Estas quantidades deverão ser medidas e analisadas como critério de avaliação do protótipo, a fim de garantir os índices aceitáveis de confiabilidade e suas implicações como os custos de garantia e de manutenção.

3) Seleção de tecnologia e regras de projeto – cada tecnologia tem seus pontos fortes e fracos. Analisar as suas características em termos de confiabilidades torna possível conhecer prováveis modos de falha e estabelecer critérios que eliminem ou diminuam seus efeitos. Uma outra classe de regras de projeto é relacionada com os processos de manufatura ou execução que podem introduzir modos de falha, principalmente falhas que ocorrerão durante o período de garantia do produto.

3.4.1.2 Aplicação de metodologia DFR na fase de elaboração do projeto

Como o projeto é um empreendimento complexo composto de sub-projetos, é necessário empregar inteligentemente as técnicas abordadas no treinamento da equipe de projeto e definidas na fase anterior. MOSS, [40], sugere três atividades chaves, a serem aplicadas nesta fase, que incorporam fielmente a metodologia DFR:

1) Projeto físico do sistema – como a metodologia de DFR surgiu por intermédio da indústria eletrônica, observa-se o cuidado tomado em relação à influência da temperatura no funcionamento e na confiabilidade em seus componentes. O projeto físico sugerido praticamente consiste em projetar o sistema de tal forma que seus componentes não experimentem acréscimos consideráveis de temperatura decorrente da influência de outros componentes ou do ambiente externo. Além de o projeto possuir esta preocupação, também é necessário mapear termicamente os primeiros protótipos a fim de certificar os parâmetros especificados. Esta preocupação original em relação à influência da temperatura pode ser expandida para outras formas de interações danosas como vibrações, ruídos, choques e tensões. BRALLA, [39], sugere ainda quatro medidas de diminuição de efeitos danosos devido ao ambiente de operação:

- a) Proteger contra fontes de calor externas
- b) Proteger contra umidade;
- c) Proteger contra choques;
- d) Proteger contra radiação eletromagnética e eletrostática.

2) Análise do pior caso – esta técnica visa observar a resposta do sistema a condições extremas de temperatura, voltagem, carregamento e utilização. É importante raciocinar que projetar um sistema para condições extremas pode robustecer exageradamente o sistema, além de criar redundâncias desnecessárias que encareceriam o produto.

3) FMEA e FTA – como foi abordado no segundo capítulo, o FMEA é uma técnica consagrada que permite visualizar e priorizar possíveis modos de falhas e relacioná-los a causas decorrentes do projeto e da fabricação de um produto. Como sugere MOSS, [40], o FMEA traz consigo dois pontos importantes: a sua dinâmica

de trabalho em grupo e uma relativa independência temporal no processo de elaboração do projeto, o que permite preventivamente detectar falhas e propor mudanças no antes que tais falhas aconteçam. O FTA é complementar ao FMEA sendo mais efetivo quando o sistema é bem definido.

3.4.1.3 Aplicação de metodologia DFR no início da produção

As duas últimas atividades chaves, já relacionadas com a fabricação do produto abordam praticamente a utilização de componentes fabricados por terceiros, causa comum de grande parte das reclamações durante o período de garantia do produto final. São elas:

- 1) Certificação de componentes – o primeiro passo para certificar um componente requer um teste de compatibilidade deste componente na montagem no sistema projetado. Uma vez escolhido este componente, é necessário conhecer a sua confiabilidade, que pode ser obtida através de informações do fabricante ou através de ensaios.
- 2) Avaliação e monitoramento do processo dos fornecedores – uma vez selecionado o fornecedor de um determinado componente, o meio mais eficiente de alcançar uma boa confiabilidade deste componente é trabalhar em conjunto com o seu fornecedor, disseminando as técnicas adotadas no decorrer do processo em um processo de garantia da confiabilidade.

3.4.1.4 Outras regras de projeto DFR

BRALLA, [39], afirma que o mais importante elemento no desenvolvimento de confiabilidade do produto é o conhecimento e a experiência de seus projetistas. As seguintes regras de projeto podem ser aplicadas como complemento, de acordo com o caso em que se aplicarem:

- 1) Posicionar partes sensíveis à distância de fontes de calor;
- 2) Usar componentes padronizados com taxas de falhas definidas;
- 3) Evitar falhas por fadiga, inclusive fadiga decorrente de corrosão;
- 4) Quando usar uniões aparafusadas, considerar formas de travamento;
- 5) Aumentar os coeficientes de segurança, ou usar componentes de maior capacidade (“*derating*”);
- 6) Proteger ajustagens de alterações acidentais;
- 7) Identificar o componente com menor confiabilidade e conferir prioridade para melhoramentos;
- 8) Melhorar a manutenibilidade do sistema;
- 9) Antecipar erros de operação (erros humanos) e projetar para minimizar a probabilidade de ocorrência destes erros e também a dimensão de seus efeitos.

Como decorrência de uma idéia comum às filosofias de projeto para excelência (DFX), é sempre bom simplificar o projeto, [39]. À luz dos conceitos observados em confiabilidade de sistemas, simplificar um sistema pode significar retirar componentes que diminuiriam a confiabilidade resultante, além de se evitar possíveis modos de falha.

Entretanto, a simplificação do sistema não pode retirar redundâncias necessárias como as existentes em sistemas cujas falhas podem ser catastróficas.

3.4.2 Projeto para manutenibilidade

Semelhante ao que foi visto em confiabilidade, dentro de uma filosofia de otimização de um projeto, pode-se empregar técnicas de DFX para aumentar a manutenibilidade de um sistema a partir de seu projeto, [39]. Critérios de projeto de manutenibilidade são mais específicos do que as regras gerais de projeto, sendo orientados conforme a sua aplicação em equipamentos tais como sistemas eletrônicos, sistemas fluidodinâmicos, entre outros. KOWALSKI, [41], apresenta algumas regras de projeto:

1) Detalhes de projeto de caráter geral:

- a) Devido a possibilidade da ocorrência de danos durante as operações de manutenção, pode ser necessário a utilização de proteção em peças sensíveis que estão dispostas no acesso das operações rotineiras;
- b) Minimizar a necessidade de ferramentas especiais;
- c) A denominação de referência da peça deve ficar bem visível, legível e grafada de forma permanente;
- d) Para evitar que peças desmontadas sejam recolocadas de maneira errada, pode-se usar detalhes de montagem como chavetas, rasgos, etc;
- e) Pinos-guia conferem maior facilidade de alinhamento em peças;

- f) Em peças pesadas será necessário utilizar alças de içamento ou outros detalhes para movimentação como uma entrada para acoplamento de garra de empilhadeira;
 - g) Cantos vivos, pontas e demais detalhes que possam machucar devem ser evitados.
- 2) Montagem e localização de componentes:
- a) Prever a remoção e troca de itens de baixa confiabilidade sem a remoção de componentes não falhados;
 - b) Prever a remoção e troca de itens de baixa confiabilidade sem a interrupção de atividades críticas;
 - c) Prever acesso aos itens de baixa confiabilidade;
 - d) Montar as unidades mais pesadas o mais baixo possível.
- 4) Teste, checagem e calibração:
- a) Se houver controles de ajustagem e calibração, é necessário definir a sensibilidade destes controles de forma que não ocorram danos quando se tenta ajustar ou calibrar. Também é interessante definir limites para estas operações, com o mesmo propósito de se evitar danos de operação;
 - b) Todos os ajustes devem ser projetados conforme um padrão de resposta.
- 5) Cabos, fios e conectores:
- a) Prever espaço suficiente para acesso manual em torno de conexões;
 - b) Os cabos devem estar posicionados segundo rotas que facilitem inspeções, remoções e trocas;
 - c) O uso de códigos de cores ou etiquetas em fios permite a rápida identificação.
- 6) Outras regras:

- a) Intercambiabilidade de componentes:
- b) Uso de peças padronizadas:
- c) Uso de componentes comerciais;
- d) Limitar o número de níveis de manutenção.

CAPÍTULO 4

METODOLOGIA DE PROJETO DE RECUPERAÇÃO E/OU MODERNIZAÇÃO DE MÁQUINAS

4.1 A recuperação e/ou modernização de máquinas como um projeto de engenharia

Considerando a seqüência proposta por ASIMOW, o projeto de recuperação e/ou modernização de uma máquina usada tem origem no seguinte questionamento: “o que fazer com a máquina – recuperar, modernizar ou comprar uma nova?”

A partir deste questionamento, inicia-se o desenvolvimento de um estudo de viabilidade. Como observado na seção 3.1.1.1, o estudo de viabilidade é composto de uma análise de exeqüibilidade física e de uma análise de viabilidade econômica e de compensação financeira. A análise de exeqüibilidade física depende de indagações sobre a vida útil residual da máquina e sobre a possibilidade de adaptações e incorporação de itens mais modernos. Estes questionamentos são muito específicos para cada caso, porém é possível empregar a metodologia de análise de confiabilidade como ferramenta para subsidiar este estudo.

As análises de viabilidade econômica dependem da magnitude dos trabalhos necessários para a recuperação da máquina. Segundo MAWAKDIYE, [3], é aceitável que uma máquina modernizada custe até 60% do preço de uma nova. A partir desta análise, é possível definir pela modernização da máquina atual ou pela aquisição de uma nova máquina. A análise dos custos do ciclo de vida da máquina, como apresentado na seção 2.7.2, pode ser empregada para esta decisão. Caso seja escolhida a alternativa de se recuperar ou modernizar

a máquina, segue-se o desencadeamento do projeto, caso contrário conclui-se que o projeto de recuperação e/ou modernização da máquina é inviável, e se inicia o processo de aquisição da máquina nova.

Neste ponto da metodologia, é preciso definir quando termina o estudo de viabilidade e se inicia o projeto preliminar. ASIMOW, [30], propõe que o estudo de viabilidade termina com a apresentação de soluções viáveis. Para a metodologia proposta neste trabalho, o estudo de viabilidade termina com a proposição da recuperação e/ou modernização da máquina como uma alternativa viável à aquisição da máquina. Desta forma, por exemplo, em um estudo de adaptação de um comando numérico em uma máquina ferramenta usada, o estudo de viabilidade terminaria com a proposição de modernização como solução viável, sem definir precisamente o que incorporar à máquina. A escolha da solução mais viável é realizada durante o projeto preliminar.

O projeto detalhado pode ser entendido como o trabalho de codificar os procedimentos de recuperação e de modernização, transpondo-os a uma linguagem técnica de engenharia.

4.2 Proposta de metodologia

Após estudar as filosofias de projeto discutidas no terceiro capítulo, é possível propor uma metodologia própria para o projeto de recuperação e/ou modernização de uma máquina. A metodologia proposta nesta seção não se retém apenas na recuperação da máquina, o que apenas manteria a sua configuração original. É preciso também apontar alternativas, principalmente quando se deseja um melhoramento da capacidade, da confiabilidade ou da manutenibilidade da máquina.

4.2.1 Aspectos a serem analisados

Como primeiro passo para desenvolver a metodologia de projeto de recuperação e/ou modernização, é necessário identificar as peculiaridades deste tipo de projeto. Assim, deve-se considerar que a máquina a ser recuperada ou modernizada foi o resultado de um projeto específico desenvolvido pelo seu fabricante em um tempo remoto. A partir desta afirmação, é possível considerar as seguintes particularidades:

- 1) É possível que o projetista de recuperação não tenha acesso ao projeto original da máquina, sendo necessário obter informações do produto para se chegar a seu projeto, o que pode ser feito através da técnica de Engenharia Reversa, [32], abordada na seção 3.2;
- 2) No mundo atual, que vive grandes avanço em ciência e tecnologia, é bem provável que novos ingredientes sejam incorporados a um projeto de recuperação e/ou modernização tais como:
 - a) Novos materiais – A incorporação de novos materiais pode significar economias de custo, peso e volume ou representar ganhos de resistência ou confiabilidade. O crescente uso do plástico em automóveis é um bom exemplo de redução de custos e de peso.
 - b) Novas técnicas de fabricação – O uso de novas ferramentas, como as máquinas de controle numérico, pode requerer modificações no projeto, de forma a permitir o seu uso racional.
 - c) Novas ferramentas de engenharia – Com o desenvolvimento da informática, o engenheiro passou a ter maior acesso a potentes ferramentas

de cálculo. O significativo aumento da capacidade dos computadores permitiu, por exemplo, a disseminação do Método dos Elementos Finitos.

d) Nova visão da operação da máquina – A modernização também pode ser refletida nas exigências do mercado consumidor. Por exemplo: um carro fabricado antes da primeira crise do petróleo tinha um alto consumo de combustível em relação aos dias de hoje. Atualmente, o fator consumo passou a ser considerado um item de importância capital no projeto.

e) Nova visão de manutenção – Com o aperfeiçoamento da ciência de manutenção, esta passou a ser um fator considerável no desenvolvimento de um produto.

3) As soluções encontradas para os problemas que surgiram durante o projeto podem não ser as mais indicadas quando no projeto de recuperação. O projetista da recuperação deverá estar aberto para novas soluções.

4) Outro problema é que o projeto original da máquina levou em consideração a escala de produção definida pelo seu fabricante. A recuperação pode ser implementada para uma produção sensivelmente menor, como no caso de uma recuperação e/ou modernização de apenas uma máquina.

Uma outra gama de particularidades do projeto de recuperação e/ou modernização de máquinas se vale do fato de que a máquina já foi utilizada, condição que lhe confere as seguintes características:

1) Todos os seus componentes já iniciaram a sua vida operacional. Os componentes falhados certamente serão repostos ou substituídos por itens mais modernos. Entretanto, os componentes não falhados merecem um tratamento

especial. É necessário que o projetista de recuperação avalie a possibilidade de falha dos componentes durante o tempo restante de serviço da máquina.

2) Deve-se considerar o passado da máquina. Dados sobre a utilização da máquina e sobre as tarefas de manutenção realizadas constituem informações preciosas, que representam variáveis do estudo de confiabilidade e da análise de decisões importantes durante o projeto.

A existência de novos requisitos de desempenho ou do ambiente operacional da máquina forçará o projetista de recuperação a realizar alterações (modernização). Sob os aspectos desta modernização, pode-se considerar que:

- 1) As alterações no modo de operação ou no ambiente operacional representarão mudanças no desempenho e na durabilidade da máquina. O projetista deve considerar estes fatos de modo a assegurar requisitos desejados para que a recuperação seja realmente viável;
- 2) Alguns componentes deverão ser substituídos por similares mais modernos. Também pode ocorrer a inclusão de peças ou até sistemas novos. Será necessário que o projetista avalie o quanto estas mudanças afetarão os demais componentes e alterarão o sistema como um todo;
- 3) Pode ocorrer que estes itens e sistemas mais modernos tenham sido especificados para operação em condições bem diferentes do que encontrarão quando inseridos na máquina modernizada, havendo alterações importantes em seu desempenho.

A fim de se estabelecer a metodologia para a recuperação e/ou modernização da máquina, esta seção trata o assunto em seções. A primeira aborda o estudo de viabilidade, enquanto que a segunda concentra-se na fase projeto preliminar.

4.2.2 Estudo de viabilidade

A primeira parte do fluxograma, que está apresentada na Figura 4.1, é concernente aos trabalhos de estudo de viabilidade. O primeiro processo é a análise de exequibilidade física. Este estudo irá depender de condições muito específicas, como a frequência e tipos de falhas apresentados pela máquina e pela compatibilidade do que se pretende modernizar.

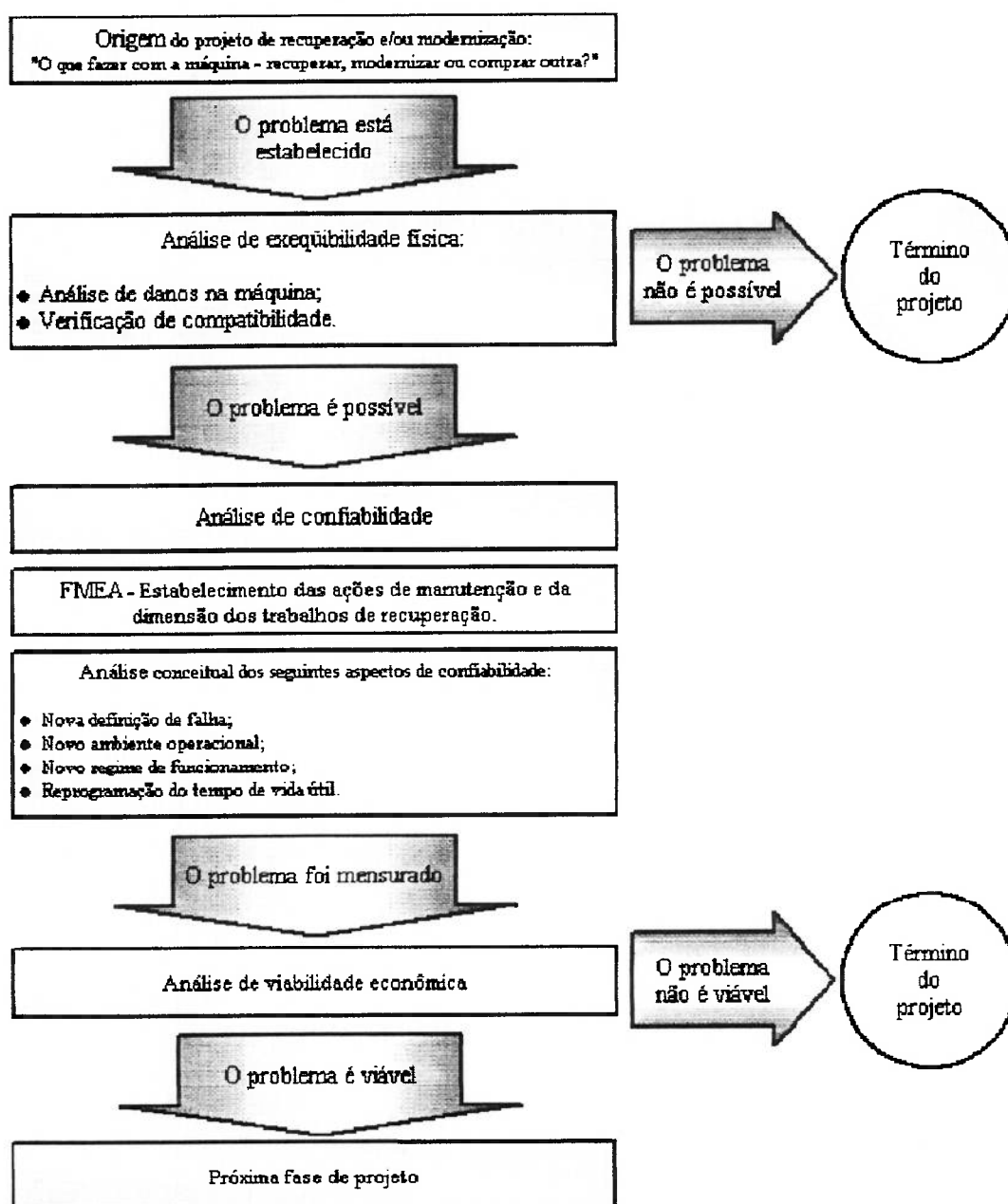


Figura 4.1 – Diagrama de processo do projeto de recuperação e/ou modernização de uma máquina – fase do estudo de viabilidade.

A seguir são realizados os primeiros estudos da confiabilidade do sistema a ser recuperado. Trata-se de estudos mais centralizados em fatores temporais como o parâmetro MTTF e o comportamento da curva de taxa de falhas. Através dos métodos de confiabilidade expostos neste texto é possível estabelecer uma primeira aproximação da recuperação a ser desenvolvida no sistema. A dinâmica de execução do FMEA é bem adequada a este estudo.

Através desta análise, o projetista avalia parte a parte, componente por componente. O projetista pode realizar o FMEA condicionando-o ao estado atual da máquina. Examinando modos de falhas e correlacionando-os com o histórico da máquina, o projetista pode identificar as ações que deverão ser tomadas, ou seja, as ações de recuperação da máquina, classificando os componentes e sub-sistemas em:

- 1) Itens que permanecem inalterados – não sofrem ação de manutenção;
- 2) Itens que sofrem reparação ou restauração – sofrem ações de manutenção;
- 3) Itens que são trocados – podem ser substituídos por peças originais ou modernizadas.

Adotando este procedimento, é possível estabelecer a abrangência e a complexidade dos trabalhos de recuperação. O resultado deste estudo serve como subsídio para o próximo passo de análise de confiabilidade e até mesmo para a análise de viabilidade econômica da recuperação.

Outro importante passo da análise de confiabilidade é a consideração de fatores que estão associados à sua própria definição: nova definição de falha, novo ambiente operacional, novo regime de funcionamento e reprogramação do tempo de vida útil.

A nova definição de falha está ligada ao desempenho esperado da máquina. Como foi apresentado por MOUBRAY, [1], o desempenho desejado em uma operação de manutenção não pode exceder a capacidade inicial da máquina. Neste caso está patente a necessidade de modernização.

Tanto o novo ambiente operacional como o novo regime de funcionamento podem proporcionar novos modos de falha e alterar sensivelmente os aspectos de confiabilidade do sistema. Através de um FMEA é possível conhecer os modos de falha de cada componente.

Sabendo a origem destes modos de falha, é possível estimar o impacto das mudanças de regime e ambiente de operação.

Finalmente, a reprogramação do tempo de vida útil da máquina também constitui base para a análise de viabilidade econômica. Considerando o parâmetro MTTF e o comportamento da curva da taxa de falhas, é possível analisar cada componente durante o tempo de vida útil restante e prever seu comportamento neste intervalo. Por exemplo, se em uma recuperação de uma caixa de redução for atestado que as engrenagens estão no final de sua vida útil e, estes elementos de máquina constituírem uma grande parcela de custos no valor total do sistema, a recuperação pode ser considerada inviável se estes componentes tiverem grande probabilidade de falhar antes do término da vida útil desejada.

A análise de viabilidade econômica é desenvolvida com os resultados dos estudos feitos anteriormente. Através deles é possível analisar os custos de recuperação, bem como uma estimativa de custos de propriedade que compõem os custos do ciclo de vida da máquina.

4.2.3 Projeto preliminar

Nesta fase de projeto, como se pode observar na Figura 4.2, são utilizadas as diversas filosofias de projeto estudadas neste texto. A base para a aplicação da metodologia proposta é derivada de um ponto comum entre uma análise de confiabilidade e da filosofia AV/EV: a análise funcional do sistema.

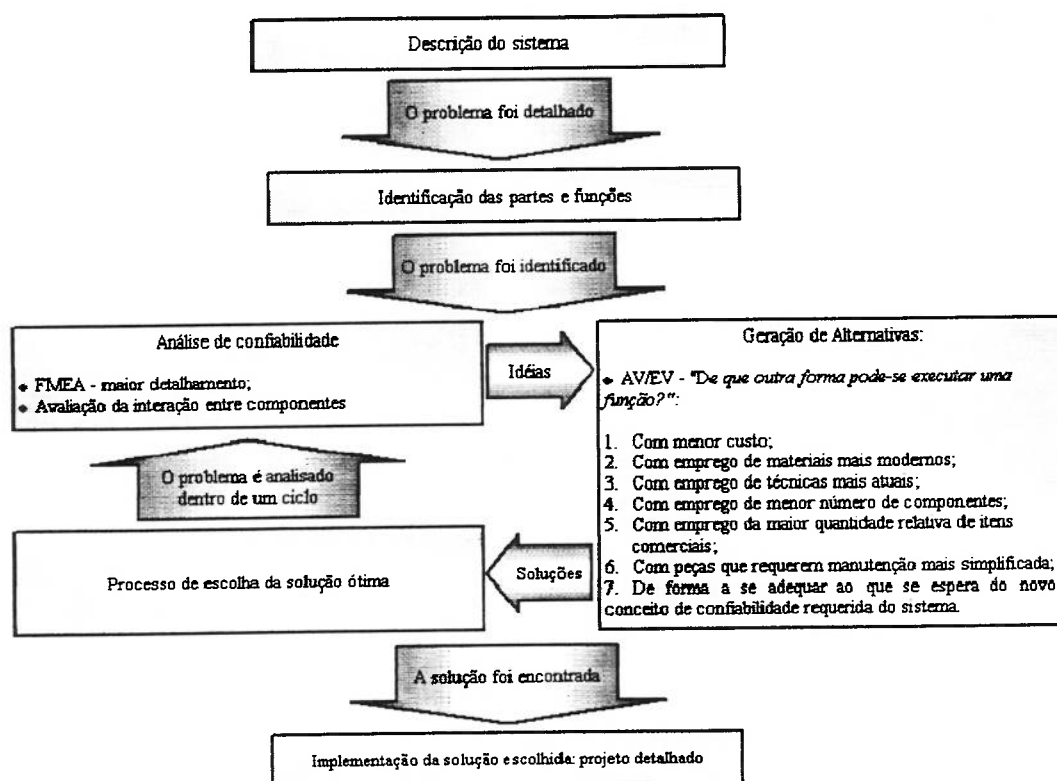


Figura 4.2 – Diagrama de processo do projeto de recuperação e/ou modernização de uma máquina – fase do projeto preliminar.

Como primeiro passo para uma análise funcional, é realizada uma descrição detalhada do sistema a ser recuperado ou modernizado. Este tipo de abordagem pode ser realizado também para um sistema que sirva como parâmetro ou “*benchmarking*”. A seguir são identificadas as partes ou componentes do sistema e identificadas as suas funções e o desempenho destas funções.

Identificadas partes e funções, o próximo passo é a análise de confiabilidade. Esta análise diferencia-se das análises de confiabilidade do estudo de viabilidade devido ao enfoque mais centralizado na interação dos componentes e, principalmente, na influência de possíveis alterações de componentes. Este enfoque serve como subsídio para a análise das alternativas de projeto a serem propostas e aplicadas. Uma outra diferença entre as análises de confiabilidade executadas nas duas fases de projeto é que, se o sistema for complexo, as primeiras análises são mais generalizadas, enquanto que neste momento do projeto é preciso

analisar mais criteriosamente os componentes. Daí ocorre um aumento do nível de detalhamento da análise.

Nesta análise, utilizam-se ferramentas para identificar e compreender os mecanismos de falha. O FMEA possibilita, nesta fase da metodologia, analisar item a item do sistema e apontar além dos modos de falha específicos de cada item, as possíveis contribuições que um item pode oferecer para o modo de falha de um outro item do sistema. Por exemplo, se um sistema possuir um componente que gera calor, a aposição de um componente eletrônico sensível à temperatura poderá requerer um tratamento melhor para a dissipação de calor, o que, provavelmente, não havia necessidade no projeto original.

Outro método aplicável nesta fase de projeto é o FTA. Pode haver a intenção em eliminar ou reduzir a probabilidade de uma certa falha. Através desta análise, é possível a identificação de caminhos críticos de falhas e deficiências de projeto. Estas deficiências de projeto podem ser corrigidas quando na recuperação e/ou modernização da máquina.

A análise de confiabilidade desenvolvida nesta fase do projeto em conjunto com a análise funcional possibilita uma aplicação da técnica de AV/EV no sentido de melhorar a confiabilidade do sistema e reduzir e até eliminar itens desnecessários. O projeto da máquina incorpora soluções, técnicas e materiais pertinentes a uma época passada. A base da metodologia de AV/EV está em se trabalhar com as funções do sistema. Este enfoque permite que o projetista não se limite às limitações da configuração original da máquina.

O reprojetado do sistema também permite a aplicação das filosofias de excelência em projeto, como o Projeto para Confiabilidade e o Projeto para Manutenibilidade. As regras de projeto discutidas nas seções 3.4.1 e 3.4.2 podem servir como uma base para ações que visem a melhoria destes aspectos, contribuindo em conjunto com a AV/EV.

Uma vez que a AV/EV emprega o seguinte questionamento: “de que outra forma pode-se executar uma função?” – A resposta a esse questionamento pode considerar os

seguintes aspectos, deduzidos a partir da utilização das filosofias de projeto DFX estudadas neste texto:

- 1) Com menor custo – ou seja, com redução de custos de aquisição e de propriedade do sistema;
- 2) Com emprego de materiais mais modernos ;
- 3) Com emprego de técnicas atuais – técnicas de montagem, manutenção e operação;
- 4) Com emprego de menor número de componentes – trata-se de um princípio básico das filosofias DFX;
- 5) Com emprego da maior quantidade relativa de itens comerciais;
- 6) Com peças que requerem manutenção mais simplificada – neste sentido, pode-se listar as seguintes ações:
 - a) Limitação de níveis de manutenção;
 - b) Menor uso de ferramentas especiais;
 - c) Intercambialidade de componentes;
 - d) Melhor acesso para testes e manutenção;
 - f) Menor necessidade de ajustes e calibração.
- 7) De forma a se adequar ao que se espera do novo conceito de confiabilidade requerida do sistema. Por exemplo, uma redundância aplicada pode não ser mais necessária em um novo ambiente de operação.

O processo é cíclico com a geração de alternativas. A seleção da alternativa a ser implantada é realizada a partir de considerações sobre custos, capacidade, confiabilidade e manutenibilidade. A metodologia de auxílio a tomada de decisão é analisada, nesta obra, no

capítulo cinco. As ferramentas de confiabilidade podem ser usadas para avaliar o impacto das alterações propostas no projeto.

4.2.4 Projeto detalhado e demais fases do projeto

A execução do projeto detalhado envolve a seleção de todos os componentes que farão parte do dimensionamento do sistema em projeto. É uma atividade que se baseia nas definições e requisitos obtidos no projeto preliminar.

Dessa forma, a fase de projeto detalhado deve seguir os mesmos procedimentos executados ao longo de qualquer atividade de projeto. No projeto de recuperação e/ou modernização de máquinas, o projeto detalhado é influenciado pelas especificações de confiabilidade e manutenibilidade estabelecidos anteriormente, ou seja, os componentes devem obrigatoriamente respeitar estes requisitos que devem constar das especificações de compra. Especificamente, para o caso do dimensionamento de componentes mecânicos, é preciso empregar critérios de projeto baseados em confiabilidade, ou seja, os mesmos devem ter seu projeto baseado em uma probabilidade de falha pré-definida e não apenas na utilização de um fator de segurança associado a critérios de projeto determinísticos, como os usualmente empregados em projetos de componentes mecânicos, [14].

Para a execução do dimensionamento mecânico baseado em conceitos de confiabilidade, necessita-se modelar, com o emprego de funções de probabilidade, as incertezas associadas ao carregamento externo e à resistência mecânica do material, de forma a definir as dimensões do componente, controlando a probabilidade das tensões induzidas pela

solicitação externa ultrapassar a resistência mecânica do material. Os métodos de cálculo a serem empregados nesta análise são apresentados por SOUZA, [10].

Os ensaios de protótipos precisam considerar que os experimentos devem permitir a verificação de requisitos de confiabilidade e manutenibilidade definidos na fase de projeto preliminar.

Verifica-se, portanto, que as especificações de confiabilidade e manutenibilidade, bem como as ferramentas utilizadas para a análise destes requisitos exercem uma significativa influência nas primeiras etapas do projeto, enquanto que as demais fases, iniciadas pelo projeto detalhado, seguem as mesmas atividades executadas em qualquer projeto mecânico.

Desta forma, não é escopo deste trabalho discutir as atividades executadas na fase de projeto detalhado e nas demais fases de projeto, as quais são detalhadamente apresentadas na literatura associada a projetos de máquinas, como em DIETER, [23], NORTON, [31] e SHIGLEY, [14].

CAPÍTULO 5

TOMADAS DE DECISÃO EM PROJETO DE RECUPERAÇÃO E/OU MODERNIZAÇÃO DE MÁQUINAS

5.1 Tomadas de decisão no projeto de engenharia

O processo de criação de um projeto de engenharia envolve uma série de tomadas de decisão. O próprio projeto em si começa com a decisão inicial envolvendo uma tentativa de solução de um determinado problema. Ao longo do projeto, são desenvolvidas tomadas de decisão na concepção da organização estrutural da equipe de projeto, na determinação de objetivos, na escolha de requisitos, na determinação de conceitos, na síntese de uma solução e no desenvolvimento desta solução.

Estes processos de tomadas de decisão trazem consigo situações de tensão para o responsável em decidir, uma vez que o curso de uma decisão possivelmente beneficiará ou prejudicará alguém. Além disso, o decisor reconhece que a sua reputação e auto-estima estão em jogo. Estes fatores de tensão podem se tornar causas de erros na tomada de decisão. Segundo DIETER, [23], há cinco padrões com que as pessoas contam no desafio da tomada de uma decisão:

- 1) Adesão sem conflito – optar por uma linha de ação corrente, ignorando as discussões sobre riscos de perdas desta linha. Por exemplo, uma pessoa

conservadora prefere aplicar seus investimentos em poupança, sem considerar as taxas de rendimentos de outras aplicações.

2) Mudança sem conflito – decidir por qualquer curso de ação sem críticas. Têm-se, por exemplo, as pessoas impulsivas que adotam soluções inesperadas sem a devida reflexão sobre as suas conseqüências.

3) Posição defensiva – evitar o conflito delegando a outrem o ônus da decisão.

4) Supervigilância – procurar freneticamente por uma solução intermediária.

5) Vigilância – procurar por informações relevantes, de uma maneira não pré-concebida, para tomar cuidadosamente uma decisão. Segundo DIETER, [23], trata-se do modo mais correto de se decidir.

No processo de tomada de decisão, é necessário estabelecer os objetivos do processo e classificá-los de acordo com a sua importância. Ações alternativas também precisam ser desenvolvidas e comparadas com os objetivos definidos. Os ingredientes deste processo foram apresentados por DIETER, [23], na Tabela 5.1. A substituição de um fator ou ingrediente básico em si não significa que o processo decisório levará a uma má decisão, porém significa que a decisão pode estar enfraquecida.

Tabela 5.1– Ingredientes da decisão, [23].

Ingredientes básicos	Substitutos
Fatos	Informação
Conhecimento	Aconselhamento
Experiência	Experimentação
Análise	Intuição
Julgamento	Não há substituto

Se o decisor não puder dispor de fatos concretos, será necessário colher informações para auxiliar no processo de tomada de decisão. Estas informações devem ser examinadas e validadas. Se, por azar, os dados são enganosos, o decisor pode tomar uma decisão supostamente “correta” mas que, todavia carrega erros comprometedores.

O conhecimento também é considerado como ingrediente básico na tomada de decisão, podendo ser substituído por um aconselhamento ou consultoria técnica.

A própria experiência do decisor em ter enfrentado questionamentos semelhantes ou em se deparar com uma decisão sobre aspectos muito conhecidos, confere uma segurança no processo de tomada de decisão. Entretanto, o decisor pode precisar recorrer a experimentos em todo o processo decisório, bastando especificá-los corretamente. O decisor pode experimentar os dados que formam a sua base de conhecimento, de forma a testar a sua consistência e veracidade. Pode também propor avaliações que testem as possíveis alternativas de decisão, analisando a consistência, a consequência e a sensibilidade de cada opção.

Dependendo da complexidade do processo decisório, o decisor pode recorrer a técnicas de análise. A intuição e o bom senso podem substituir o processo analítico em alguns casos de pouca dificuldade.

Finalmente, não há substituto para o julgamento do decisor, [23].

5.2 Processo de tomada de decisão

O primeiro passo no processo de análise de decisão consiste em identificar corretamente o problema, apontando a situação a ser decidida e entendendo quais são os

objetivos da tomada de decisão. É importante refletir sobre os verdadeiros objetivos da decisão, evitando dispersar-se com falsas idéias e objetivos secundários. O processo continua com a identificação de alternativas e com a modelagem do problema. A modelagem é crítica em análise de decisão. Segundo SHIMIZU, [43], os modelos do processo de tomada de decisão podem ser:

- 1) Verbais – quando descritos e representados por palavras e sentenças, como em questionários;
- 2) Físicos – quando representados por algum tipo de material, como em protótipos;
- 3) Esquemáticos – quando representados por gráficos e diagramas;
- 4) Matemáticos – quando representados por equações e valores numéricos.

Como se observa na Figura 5.1, o processo de tomada de decisão é iterativo, de modo que após o modelo ter sido construído e uma solução considerada “ótima” ter sido encontrada, uma análise de sensibilidade é realizada. Esta análise responde a questionamentos como: “o que mudaria na decisão se houver uma mudança em uma variável do modelo?” O termo ciclo de análise de decisão melhor descreve o processo, que pode realizar várias iterações antes de encontrar uma solução satisfatória. Algumas vezes, principalmente quando há limitação de tempo, este processo é substituído por processos de intuição do decisor.

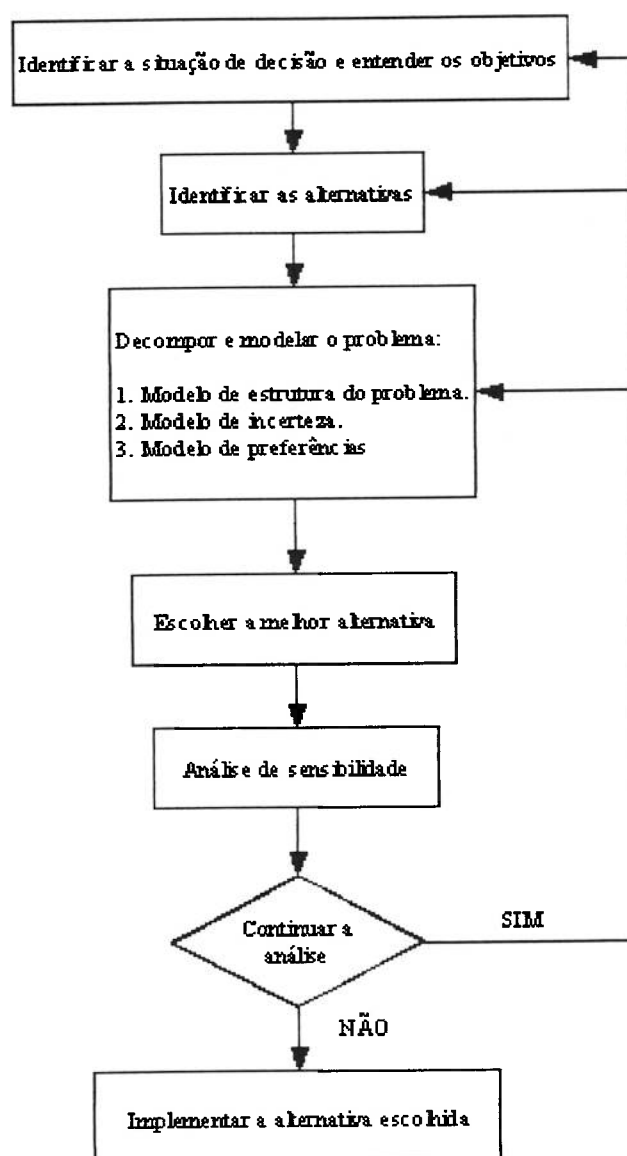


Figura 5.1 – Processo da análise de decisão, [42].

5.3 Apresentação de aspectos básicos da teoria da decisão

5.3.1 Conceitos básicos

A mais antiga contribuição para o desenvolvimento da análise de decisão na sua forma atual foi dada por Daniell Bernoulli em 1738, surgindo o conceito de utilidade, que significa a medida numérica para descrever a real importância das consequências de uma decisão. Bernoulli mostrou que para o mesmo valor em dinheiro, a utilidade desse dinheiro variava de indivíduo para indivíduo, devendo-se considerar o seu valor moral ou utilidade esperada, [42].

Além do conceito de utilidade, a teoria da decisão apóia-se no cálculo de probabilidades, que lhe confere uma quantificação das possíveis consequências de um processo decisório. Basicamente um processo decisório é composto de seis elementos básicos, [23]. Para melhor entendimento, a Tabela 5.2 apresenta um exemplo proposto sobre a ação a ser tomada em uma máquina. Neste sentido, os elementos básicos são:

- 1) As alternativas em um processo de decisão, denominadas como AÇÕES, são indicadas pela simbologia a_1, a_2, \dots, a_n . No exemplo da Tabela 5.2, dentro de um processo de decisão em termos de custos do ciclo de vida, o projetista pode decidir pela recuperação da configuração original (a_1), pela modernização da máquina (a_2), ou pela aquisição de uma máquina nova (a_3).
- 2) Denomina-se como ESTADO DA NATUREZA uma descrição completa dos fatores externos independentes do decisor. Também pode ser caracterizado como o ambiente onde o modelo de decisão está inserido. São representados pela

simbologia $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n$, assumindo vários estados possíveis. No exemplo da Tabela 5.2, os estados $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ e θ_4 poderiam representar condições de operação e ambiente, como θ_1 = ambiente agressivo e operação contínua, θ_2 = ambiente normal e operação contínua, θ_3 = ambiente agressivo e pouca operação, θ_4 = ambiente normal e pouca operação.

3) A combinação de uma ação ou alternativa com um determinado estado terá como consequência um RESULTADO. A Tabela 5.2 apresenta os resultados em termos de custos em valores de referência. Usualmente, esta tabela é denominada como tabela de decisão, [42].

Tabela 5.2 – Tabela de decisão para o exemplo de seleção de alternativa.

Ações	Estados da natureza			
	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4
Recuperação (a_1)	180	100	90	50
Modernização (a_2)	125	100	45	75
Nova aquisição (a_3)	50	25	250	150

* Valores em unidades monetárias de referência

4) Denomina-se OBJETIVO o estabelecimento do que se pretende obter através da decisão. No caso exemplo, pretende-se minimizar os custos representadas pelos valores demonstrados na Tabela 5.2.

5) UTILIDADE é a medida de satisfação ou valor associado a cada resultado possível;

6) Os problemas de decisão podem ser classificados de acordo com o CONHECIMENTO dos estados da natureza por parte do decisor em:

- a) Decisão sob certeza;
- b) Decisão sob risco;
- c) Decisão sob incerteza.

5.3.2 Decisão sob certeza

Nas decisões sob certeza, assume-se que o verdadeiro estado da natureza é conhecido pelo decisor antes dele fazer a sua escolha, conseguindo predizer sem erro os resultados de sua ação. Se, no caso exemplo, o projetista soubesse com certeza que o sistema irá operar em um ambiente agressivo, sob operação contínua (θ_1), a decisão recairia para a aquisição de uma máquina nova, (a_3).

5.3.3 Decisão sob risco

Nas decisões sob risco, o decisor pode quantificar através de uma distribuição de probabilidades a incerteza da ocorrência dos estados da natureza e optar pela alternativa com o maior valor esperado da função objetivo. O valor esperado para uma ação ou alternativa a_i é dado pela fórmula:

$$E(a_i) = \sum_i \text{Pr}(\theta_i) \cdot a_i \quad (5.1)$$

Se, para o caso exemplo, indicado na Tabela 5.2, for adotada a seguinte distribuição de probabilidade de ocorrência dos estados da natureza:

$$\Pr(\theta_1) = 0,1$$

$$\Pr(\theta_2) = 0,3$$

$$\Pr(\theta_3) = 0,4$$

$$\Pr(\theta_4) = 0,2$$

Os valores esperados para os custos de cada alternativa seriam calculados como:

$$E(a_1) = 0,1.(180) + 0,3.(100) + 0,4.(90) + 0,2.(50) = 94$$

$$E(a_2) = 0,1.(125) + 0,3.(100) + 0,4.(45) + 0,2.(75) = 75,5$$

$$E(a_3) = 0,1.(50) + 0,3.(25) + 0,4.(250) + 0,2.(150) = 142,5$$

Onde se observa que a escolha pela modernização (a_2) é a mais indicada por apresentar menores custos.

5.3.4 Decisão sob incerteza

Decisões sob incerteza – o decisor nada sabe a respeito dos estados da natureza. Ele não apenas desconhece as probabilidades dos estados como também não pode quantificar a sua incerteza de modo algum.

Para este tipo de decisão, foram desenvolvidos critérios como o “*maximin*” e o “*maximax*”. O “*maximin*” sugere que o decisor deve escolher a alternativa que apresenta o

maior nível de segurança possível, [42]. Em outras palavras, o critério “*maximin*” escolhe a alternativa com o “melhor” dos piores resultados. O nível de segurança, para uma alternativa a_i é obtido pela relação:

$$s_i = \min_{j=1}^n (\theta_j) \quad (5.2)$$

Em formulação matemática, o critério “*maximin*” é o seguinte: escolha a_k tal que, [42]:

$$s_k = \max_{i=1}^m (s_i) = \max_{i=1}^m [\min_{j=1}^n (\theta_j)] \quad (5.3)$$

No exemplo da Tabela 5.2, os piores resultados de cada alternativa são:

$$\begin{aligned} a_1 &\rightarrow s_1 = \theta_1 = 180 \\ a_2 &\rightarrow s_2 = \theta_1 = 125 \\ a_3 &\rightarrow s_3 = \theta_3 = 250 \end{aligned}$$

Pelo critério “*maximin*” a escolha recairia na alternativa (a_2). Este é um critério muito pessimista, [42].

O critério “*maximax*” é o oposto ao critério anterior, uma vez que pelo “*maximax*”, considera-se o melhor resultado de cada ação, recaindo a escolha sobre o melhor dos melhores resultados, ou seja, aquele que tiver o maior nível de otimismo [42].

O nível de otimismo, para uma alternativa a_i é obtido pela relação:

$$o_i = \max_{j=1}^n (\theta_j) \quad (5.4)$$

Em formulação matemática, o critério “*maximax*” é o seguinte: escolha a_k tal que.

[42]:

$$o_k = \max_{i=1}^m (o_i) = \max_{i=1}^m [\max_{j=1}^n (\theta_j)] \quad (5.5)$$

No mesmo exemplo da Tabela 5.2, os melhores resultados de cada alternativa seriam:

$$\begin{aligned} a_1 &\rightarrow o_1 = \theta_4 = 50 \\ a_2 &\rightarrow o_2 = \theta_3 = 45 \\ a_3 &\rightarrow o_3 = \theta_2 = 25 \end{aligned}$$

No caso, a escolha seria pela alternativa (a_3), ou seja pela aquisição de uma nova máquina.

Devido ao extremo destes dois critérios, uma alternativa é o chamado índice de otimismo-pessimismo de HURWICZ, [42]. Por este índice, o decisor pode ponderar os níveis de segurança e de otimismo, através da relação, [42]:

$$\alpha \cdot s_i + (1 - \alpha) \cdot o_i, \quad 0 \leq \alpha \leq 1 \quad (5.6)$$

Para o exemplo da Tabela 5.2, escolhendo um valor para o índice de otimismo-pessimismo $\alpha = 0,2$, a Tabela 5.3 apresenta o resultado da aplicação da regra de HURWICZ.

A seleção, neste caso recai na alternativa (a_2) de modernização.

Tabela 5.3 - Aplicação da regra de HURWICZ.

<i>Alternativa</i>	<i>Nível de segurança</i>	<i>Nível de otimismo</i>	<i>Total ($\alpha.s_i + (1-\alpha).o_i$)</i>
Recuperação (a_1)	180	50	76
Modernização (a_2)	125	45	61
Nova aquisição (a_3)	250	25	70

5.4 Métodos de escolha de alternativas

5.4.1 Votação de Pareto

Uma das técnicas usuais na restrição de alternativas e critérios para a decisão é a votação de Pareto que consiste em reduzir o número de soluções analisadas para 20% deste total. É a aplicação da regra 80/20, fenômeno estudado por Vilfredo Pareto que se tornou uma “verdade estatística”: 20% das soluções resolvem 80% dos problemas, enquanto que os demais 80% de soluções resolveriam apenas 20% dos problemas, [37].

A votação de Pareto serve como uma primeira aproximação, reduzindo drasticamente o número de alternativas e possibilitando uma análise mais rápida na busca de uma ou mais alternativas viáveis. Nesta fase, pode-se desenvolver outra metodologia de seleção de alternativas.

Além da aplicação da votação de Pareto para uma possível determinação de alternativas, este método pode ser empregado a contento na restrição dos critérios de avaliação.

5.4.2 Atribuição de notas para os critérios e matrizes de decisão

Pode ser necessário em uma decisão lidar com valores comparativos dos diversos critérios. Alguns desses critérios podem ser apresentados em valores, outros são critérios subjetivos como “bom”, “pior” ou “melhor”. Segundo DIETER, [23], o meio mais simples para se lidar com comparativos de especificações de projeto é utilizar uma escala de valores. Desta forma, pode-se atribuir uma nota a um critério, variando de 0 a 10, por exemplo.

Além desta atribuição de graus ou notas para os diversos critérios, é interessante também atribuir pesos conforme a importância do atributo. Um critério que seja mais importante para a análise receberia um peso maior do que um outro critério julgado de menor importância. Em um exemplo de decisão sobre a compra de um veículo, se o comprador apreciar muito o item “desempenho”, este poderá ter um peso maior do que o item “consumo”.

MELLO et AL, [44], sugerem a utilização de matrizes de decisão, pois consideram como a melhor estrutura para representar a relação entre os critérios e as alternativas. A Tabela 5.4 é um exemplo de matriz de decisão onde se considerou além do critério custo, uma outra variável quantitativa (potência do motor), além de um critério subjetivo (estilo).

Tabela 5.4 – Exemplo de matriz de decisão.

Critério	Peso	Carro A			Carro B			Carro C		
		Magnitude	Valor	Total	Magnitude	Valor	Total	Magnitude	Valor	Total
Preço	0,25	50.000	5	1,25	40.000	7,5	1,875	30.000	10	2,5
Potência	0,45	150 cv	10	3,6	125 cv	7,5	3,375	75 cv	5	1,8
Estilo	0,30	-	8	2,4	-	8	2,4	-	5	1,5
Total				7,25			7,65			5,8

Pelo exemplo da Tabela 5.4, foi utilizada uma ponderação para cada atributo. As magnitudes de cada critério, como a potência do motor, geraram valores escalonados de 0 a 10, o que possibilitou a aplicação dos pesos de cada critério, perfazendo um somatório para cada alternativa. Ainda que não possuísse os melhores valores de custo ou de potência, a alternativa escolhida seria o carro B.

5.4.3 Árvore de decisão

Algumas decisões implicam em outras decisões posteriores, de forma que o resultado da anterior influencia a próxima, como numa cadeia de conseqüências. Essas seqüências de decisão são chamadas de problemas de decisão em multi-estágios, [42]. Sendo possível a diagramação das decisões, será necessário utilizar uma formatação padronizada, como a empregada na técnica da árvore de decisão.

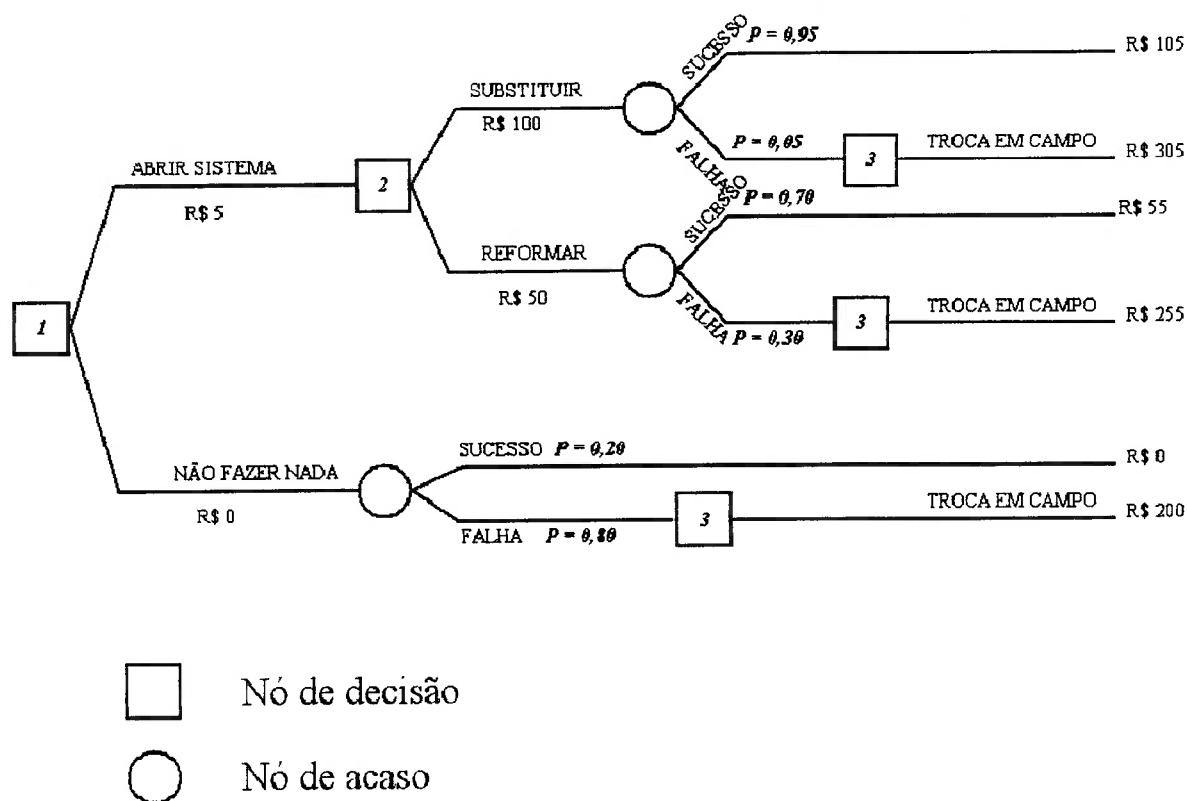


Figura 5.2 – Árvore de decisão para um problema de manutenção.

A Figura 5.2 é um exemplo de árvore de decisão. As decisões são representadas pelos chamados nós ou pontos de decisão, sendo que cada ramo originário deste nó é uma alternativa da decisão. No fim de cada ramo existe o chamado nó ou ponto de acaso, representado por um círculo. Cada ramo originário do ponto de acaso constitui um estado da natureza possível. No caso exemplo, é preciso decidir pela manutenção de um sistema não-falhado, decisão representada pelo nó (1). Uma vez aberto, pode-se trocar um componente crítico ou pode-se reformá-lo. Esta decisão está representada pelo nó (2). Caso o sistema falhe em campo, será necessário substituí-lo, o que está representado pelo nó (3). No final dos ramos, é possível observar as conseqüências ou resultados finais. É possível calcular o valor esperado para cada alternativa: substituir componente (a_1), recuperar componente (a_2) ou nada fazer (a_3):

$$E(a_1) = 105.(0,95) + 305.(0,05) = \text{R\$ } 115,00$$

$$E(a_2) = 55.(0,70) + 255.(0,30) = \text{R\$ } 115,00$$

$$E(a_3) = 0.(0,20) + 200.(0,80) = \text{R\$ } 160,00$$

Para o caso exemplo, comparando os valores esperados de cada alternativa, pode-se optar pela abertura do sistema, porém como os dois procedimentos de manutenção teriam o mesmo valor esperado, é necessário aprimorar a tomada de decisão.

CAPÍTULO 6

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA NO PROJETO DE RECUPERAÇÃO E/OU MODERNIZAÇÃO DO EE-9 CASCAVEL MII

6.1 Breve histórico da recuperação e/ou modernização de veículos blindados no Exército Brasileiro

Em 1967, foi criado no Parque Regional de Motomecanização da Segunda Região Militar (São Paulo), um grupo de trabalho, constituído por vários oficiais engenheiros mecânicos de automóvel, que, segundo BASTOS, [5], iniciou a adaptação de motores e outros componentes em veículos militares.

Esta experiência na recuperação e modernização de viaturas blindadas permitiu ao grupo de trabalho desenvolver uma viatura blindada de reconhecimento 6x6. Para o projeto da suspensão, foi adotado o recém criado sistema “*boomerang*” desenvolvido por uma pequena empresa chamada ENGESA, [5]. Com o prosseguimento do projeto, rebatizado de Carro de Reconhecimento sobre Rodas (CRR), foi assinado uma carta-contrato entre a Diretoria de Pesquisa e Ensino Técnico do Exército e a Engenheiros Especializados S/A – ENGESA. O CRR foi aperfeiçoado e rebatizado como EE-9 CASCAVEL. A ENGESA passou então a fabricar e vender este carro, símbolo maior do sucesso da indústria bélica brasileira.

Com a falência da ENGESA, o Exército Brasileiro assistiu à chegada do final da vida útil de suas viaturas CASCAVEL sem maiores definições sobre o que fazer com o material que cada dia se tornava mais indisponível.

Em 1996, a então Diretoria de Recuperação criou o Grupo de Trabalho – Viabilidade Técnica da Modernização de URUTU e CASCAVEL (GT-VTMUC). O grupo realizou um estudo de viabilidade técnica e econômica, que resultou em uma licitação para o desenvolvimento do projeto de padronização dos modelos, ou seja, uma tentativa de transformar todos os modelos de URUTU e CASCAVEL em um modelo único. A empresa vencedora desta licitação, a QT Engenharia e Equipamentos Ltda, desenvolveu durante o ano de 1998 os trabalhos de padronização dos modelos mais antigos, alocando também algumas inovações, como a troca do motor MERCEDES-BENZ OM 352 A por um OM 366 A, além da incorporação de dispositivos de visão noturna, [46].

Devido ao elevado custo desta padronização, o Estado-Maior do Exército decidiu abandonar a idéia de modernizar os modelos mais antigos, porém autorizou a recuperação das viaturas mais modernas (EE-9 CASCAVEL MVII SÉRIE 9 e EE-11 URUTU MVI SÉRIE 4), no sentido de proporcionar uma sobrevida até 2015. Para esta missão, o Arsenal de Guerra de São Paulo foi escolhido para projetar e tornar realidade uma linha de recuperação de viaturas blindadas sobre rodas. A decisão de recuperar os modelos mais novos levou em consideração a crença de que tais modelos teriam a manutenção menos onerosa, [46].

No dia 21 de maio de 1999, a Linha de Recuperação de Blindados foi inaugurada. Segundo OLIVEIRA, os problemas de maior vulto encontrados na implantação da Linha de Blindados foram a existência de grande quantidade e variedade de suprimentos e o gerenciamento de grande quantidade de mão-de-obra até então não-especializada, [47].

6.2 Manutenção no Exército Brasileiro

Para se compreender a dinâmica da recuperação e/ou modernização de uma viatura blindada no Exército Brasileiro, é necessário analisar as atividades de manutenção desenvolvidas pela Força Terrestre. A documentação relativa à manutenção e recuperação está contida nas NORMAS ADMINISTRATIVAS RELATIVAS à MANUTENÇÃO (NARMNT), [53] e no manual de campanha C 100-10 “LOGÍSTICA MILITAR TERRESTRE”, [45].

Segundo as NARMNT, [53], o Exército brasileiro conceitua a manutenção como sendo a atividade logística que compreende as ações executadas para manter em condições de uso o material ou revertê-lo a esta situação. Em sua doutrina, as atividades de manutenção são divididas em escalões, de responsabilidade definida entre as suas repartições, como apresentado pelo C 100-10, [45]:

- 1) Manutenção de 1^o escalão – é preventiva, corretiva ou de reparação, (sic) realizada por pessoal especializado dentro da Organização Militar detentora do material. No caso de uma viatura, são os procedimentos executados pelos mecânicos de garagem.
- 2) Manutenção de 2^o escalão – executado pelas Organizações Militares de apoio direto (Batalhões inseridos dentro da própria Grande Unidade na qual pertence a Unidade detentora do material) ou por empresas civis, para reparar e substituir peças que estejam além das possibilidades do 1^o escalão. Como a garagem da Unidade detentora do material tem limitações de responsabilidade, esta delega ao

escalão superior a execução de procedimentos de manutenção, em geral corretivos de reparação.

3) Manutenção de 3^o escalão – Executada pelos Parques Regionais de Manutenção, ou seja, órgãos estranhos à Brigada na qual pertence a OM detentora do material. São os procedimentos de manutenção que exigem técnicas mais apuradas e instrumental mais sofisticado que o 2^o escalão. Um bom exemplo é o recondicionamento de motores que exige usinagem, retífica, ajustagem e montagem precisa.

4) Manutenção de 4^o escalão – É a manutenção executada pelos Arsenais e fábricas. A recuperação do EE-9 CASCAVEL enquadra-se neste escalão. O Exército Brasileiro define recuperação como sendo a recolocação do material julgado inservível, em um padrão tão próximo quanto possível do estado de novo, na aparência, no funcionamento e na expectativa de vida (sic), após o que, em princípio o material retorna à cadeia de suprimento.

6.3 Processo de recuperação de viaturas blindadas no Arsenal de Guerra de São Paulo

Como pode ser visualizado na Figura 6.1, o início do processo de recuperação de uma viatura EE-9 CASCAVEL Modelo MVII no Arsenal de Guerra de São Paulo acontece no recebimento da mesma. Após este procedimento formal, a viatura permanece estacionada em um pátio de espera até o momento de sua desmontagem.

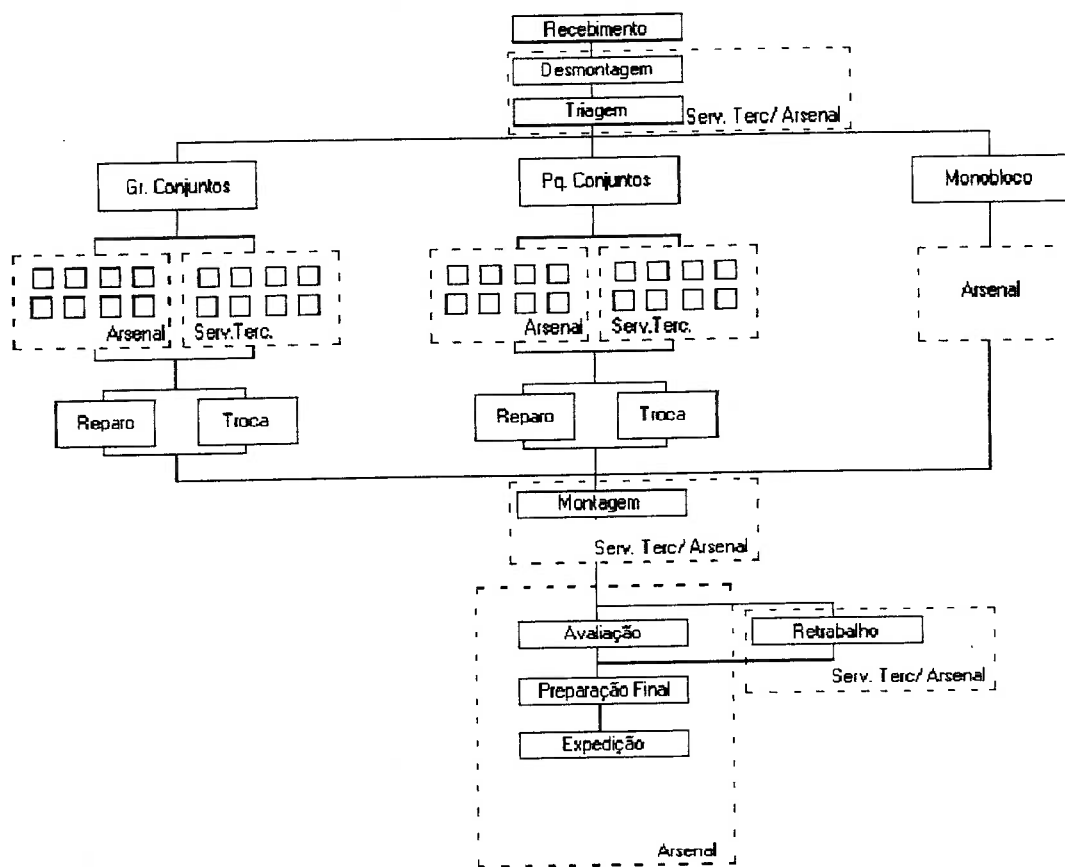


Figura 6.1 – Fluxograma da recuperação de viaturas blindadas no AGSP.

Na data determinada pela Seção de Planejamento e Controle de Produção (PCP), a viatura é movimentada para a oficina de desmontagem. Após o desmonte do carro, suas peças seguem para a oficina de triagem que, além da classificação das peças de acordo com a possibilidade ou não de manutenção, realiza a distribuição das mesmas para as demais oficinas.

A torre do carro é retirada e movimentada para a oficina de armamento pesado que a desmonta e faz a manutenção do armamento principal (canhão) e seus anexos. Os demais componentes dos sistemas são distribuídos nas suas respectivas oficinas. O Arsenal de Guerra de São Paulo também trabalha com a terceirização da manutenção de alguns sistemas. O

processo de manutenção dos conjuntos, de uma maneira resumida, é composto das seguintes operações, [48]:

- 1) Retífica completa do motor MERCEDEZ BENZ OM 352A, com teste e pré-amaciamento em dinamômetro computadorizado;
- 2) Manutenção e regulagem da bomba injetora, de acordo com tabelas do fabricante;
- 3) Revisão do sistema elétrico, com troca das baterias por modelo de baixa manutenção (baterias seladas) e substituição do alternador original por modelo com maior capacidade de carga (75 Ah);
- 4) Recuperação da colméia do radiador e revisão das hélices do sistema de arrefecimento;
- 5) Troca completa das guarnições de borracha e mangueiras de todos os sistemas do carro;
- 6) Manutenção completa da caixa automática de mudanças ALLISON MT 643, realizada em bancada especial, conforme normas do fabricante;
- 7) Manutenção da caixa de transferência, dos diferenciais e dos eixos dianteiro e traseiro, com desmontagem desses conjuntos para verificação de defeitos e tolerâncias de componentes internos;
- 8) Troca total dos amortecedores e revisão das molas das suspensões;
- 9) Revisão do sistema de freio com deposição de camada de cromo duro no êmbolo das pinças de freio e troca de pastilhas de freio;
- 10) Revisão completa da caixa de direção hidráulica com alinhamento da direção;
- 11) Montagem de novos pneus à prova de balas.

A carcaça da viatura, ou monobloco, antes de entrar na linha de montagem é destinada para a oficina de preparação que executa uma lavagem desengraxante seguida do jateamento e pintura preliminar na cor verde oliva. Após a pintura da carcaça, esta é movimentada para um boxe na linha de montagem. Inicia-se o processo de montagem pela instalação de dutos pneumáticos. Cada oficina especialista monta no carro o seu sistema já recuperado.

Ao término da fase de montagem, o carro segue para a instalação da torre pela seção de armamento pesado. Inicia-se o período de avaliação técnica da viatura, quando são realizados vários testes com o carro, com o intuito de certificar a qualidade da manutenção. Ocasionalmente defeitos encontrados são classificados como retrabalho, cuja manutenção fica sob responsabilidade da linha de montagem. No decorrer da avaliação da viatura, a oficina de armamento pesado realiza a avaliação do armamento principal sob forma de tiro técnico – execução de uma série de tiros do canhão com a aferição de parâmetros de desempenho.

Encerrado o período de avaliação da viatura, inicia-se a instalação de componentes óticos, de comunicações e acessórios pelas oficinas correspondentes. A oficina de preparação final realiza a pintura camuflada padrão. O carro pronto segue para o pátio de viaturas onde aguarda a sua entrega.

6.4 Projeto de recuperação e/ou modernização do EE-9 CASCAVEL MII

Em 2003, o Arsenal de Guerra de São Paulo foi solicitado para estudar a recuperação do modelo mais antigo empregado pela força, que é o EE-9 CASCAVEL MII série 3, apresentado na Figura 6.2. Deste modelo, existem atualmente por volta de cem unidades, a maioria encontra-se indisponível, [46].



Figura 6.2 – EE-9 CASCAVEL MII.

A Diretoria de Fabricação e Recuperação, órgão superior ao Arsenal de Guerra, solicitou a execução da manutenção de quarto escalão, em trabalho idêntico ao realizado na versão mais moderna. As possíveis mudanças, como a substituição da caixa mecânica por um modelo automático, deveriam ser apresentadas apenas como um orçamento comparativo, de forma que caberia ao escalão superior a decisão sobre a alteração do carro. Desta forma, a recuperação do EE-9 CASCAVEL seguiria o princípio de recuperar o carro com o mínimo de alterações. As mudanças de projeto devem possuir embasamento concreto que as justifique. Caso sejam necessárias mudanças, será privilegiado o emprego de soluções encontradas no modelo MVII.

Como primeiro trabalho, foram feitas análises sobre as diferenças entre os dois modelos – o que é atualmente recuperado (EE-9 CASCAVEL MVII) e o EE-9 CASCAVEL MII. O Exército Brasileiro passou a empregar o EE-9 CASCAVEL MII no final dos anos setenta, ou seja, por volta de dez anos antes do seu similar mais moderno, que é o EE-9 CASCAVEL MVII. Apesar desta diferença existente no tempo de serviço ou operação do carro na tropa, o modelo mais antigo também está sofrendo a sua primeira recuperação de último escalão ou nível de manutenção. Assim, de forma idêntica a experiência com o modelo mais moderno, considerando a complexidade e a abrangência do processo de manutenção, a

esperança do Arsenal de Guerra de São Paulo é que a recuperação do EE-9 CASCAVEL MII entregue para a tropa um veículo “tão bom quanto novo”.

De forma a organizar metodicamente os estudos da modernização do carro, foi realizado uma divisão do veículo em conjuntos e em sub-conjuntos. A Tabela 6.1 apresenta esta divisão.

Tabela 6.1 – Conjuntos do EE-9 CASCAVEL MII.

<ul style="list-style-type: none"> • Motor • Sistema de alimentação: <ul style="list-style-type: none"> ➢ Bomba injetora ➢ Turbo-compressor ➢ Alimentação de diesel • Sistema de aceleração • Escapamento • Sistema de arrefecimento • Direção hidráulica • Acessórios e anexos do monobloco 	<ul style="list-style-type: none"> • Caixa de mudanças e embreagem • Sistema de freio: <ul style="list-style-type: none"> ➢ Circuito de frenagem ➢ Freio das rodas Caixa de transferência • Caixa de descida • Eixo dianteiro • Eixo traseiro 	<ul style="list-style-type: none"> • Transmissão articulada • Sistema elétrico: <ul style="list-style-type: none"> ➢ Circuito do monobloco ➢ Circuito da torre Sistema de ar comprimido • Trem de rolamento • Monobloco • Torre • Armamento
---	--	---

A partir do estudo comparativo entre os modelos, foi possível realizar uma classificação dos conjuntos quanto à possibilidade de modernização, de forma a poder classificar os conjuntos em:

- 1) Conjuntos idênticos entre modelos – nestes casos, é evidente não ser necessária a modernização. Como exemplo, pode-se citar o conjunto da direção hidráulica (bomba, caixa de direção, reservatório e tubulação) que apresenta pequenas diferenças em conexões e tubulações;
- 2) Conjuntos comerciais – por exemplo, o motor da viatura. Nestes casos, caso haja necessidade, pode-se empregar um outro modelo do componente. Por exemplo, o estudo da possibilidade de troca do motor por um mais potente.

- 3) Conjuntos diferentes – neste caso, é possível aplicar a metodologia observada neste trabalho a fim de analisar possíveis modernizações. É o caso do sistema elétrico da viatura;
- 4) Conjuntos que foram projetados atendendo especificações de outros conjuntos – estes casos foram estudados apenas como consequência do estudo do conjunto ao qual estão configurados. É o exemplo do sistema de arrefecimento, projetado para o motor em uso na viatura;
- 5) O monobloco – a carcaça ou monobloco é a estrutura da máquina sobre a qual estarão montados os seus conjuntos.

6.5 Aplicação de estudo de caso no projeto de recuperação e/ou modernização do EE-9 CASCAVEL MII

6.5.1 Considerações iniciais

A fim de se poder aplicar a metodologia proposta por este trabalho, foram escolhidos dois sistemas do EE-9 CASCAVEL MII que apresentam diferenças em relação ao modelo mais atual. O primeiro sistema a ser estudado é o sistema de alimentação, que é responsável pelo suprimento de diesel para o motor. Trata-se de um sistema mecânico, que engloba o armazenamento, o bombeamento e o fornecimento do combustível. O segundo sistema a ser analisado é o sistema elétrico, que é composto por componentes elétricos e eletromecânicos.

No desenvolvimento dos estudos de caso, estes sistemas foram abordados como projetos diferentes.

6.5.2 Histórico de dados sobre o EE-9 CASCAVEL MII

O Exército Brasileiro não tem um arquivo de dados formalizado sobre a situação desta viatura, que deveria conter, entre outras informações, a quilometragem e o tempo de utilização de cada carro, além de um histórico de operação, manutenção e de falhas apresentadas. Em verdade, cada viatura dispõe de um livro registro para a anotação destas informações, mas, remetendo à experiência encontrada na manutenção do modelo mais moderno, estes registros muitas vezes são incompletos, incorretos e imprecisos, [55].

Para fins de desenvolvimento deste trabalho, aproveitando observações já realizadas sobre o modelo mais moderno, podem-se tomar como valores de referência uma idade de utilização de vinte e cinco anos, com uma quilometragem média anual de 1.000 km. Em termos de manutenção, admite-se que esta pode ter sido realizada nos primeiros três níveis ou escalões e que, pela primeira vez, está sendo realizada no último escalão, ou seja, a recuperação da viatura.

6.5.3 Confiabilidade requerida pelo Exército Brasileiro

Segundo LIMA; SILVA, [56], o documento intitulado “REQUISITOS TÉCNICOS BÁSICOS” (RTB) expressa o desempenho esperado ou parâmetro físico fundamental de um sistema, necessário às ações militares para a execução de missões de natureza estratégica, tática, administrativa ou de instrução. No RTB relativo a uma viatura blindada de reconhecimento, [57], a confiabilidade é traduzida pelo requisito: “apresentar quilometragem média entre falhas superior a 4.000 km”. O mesmo documento salienta que uma falha é considerada como qualquer defeito de um componente da viatura que imobilize ou danifique a viatura, ponha em risco a sua segurança e que não possa ser corrigido pela sua guarnição em até uma hora, incluindo o tempo de diagnóstico, utilizando-se apenas o ferramental embarcado. O RTB também especifica uma disponibilidade assintótica $A^{\lambda}(\infty) = 0,8$.

6.5.4 Ambiente operacional da viatura após a sua recuperação e/ou modernização

De acordo com a experiência vivida pela recuperação do modelo mais moderno, [55], sabe-se que o carro recuperado é recebido pela tropa, tal como se fosse novo. As informações repassadas pela tropa atestam que as viaturas EE-9 CASCAVEL MVII percorrem uma quilometragem média anual de 1.000 a 1.250 km. Em geral, estas viaturas são utilizadas em poucas ocasiões: instrução da tropa, manobras de exercício e pequenas mobilizações.

Por outro lado, se a viatura participar de uma mobilização mais prolongada, como uma participação em forças de paz da Organização das Nações Unidas, ou até mesmo em um

conflito em que o Brasil participe como lado beligerante, a viatura pode ser empregada em condições bem mais extremas do que a sua utilização em tempos de paz. Dados repassados ao Arsenal de Guerra de São Paulo, [55], indicam que os EE-11 URUTU, recuperados pelo AGSP e que participam da missão de paz no Haiti, percorrem uma média mensal de 15.000 km.

Estes dois regimes de emprego do carro significam respostas diferentes por parte da viatura em termos de confiabilidade, manutenibilidade e de custos de operação e manutenção.

Para subsidiar as análises de confiabilidade, considera-se que não haverá alteração substancial nos requisitos de desempenho da viatura após a sua recuperação e/ou modernização, uma vez que se admite que a viatura tenha sido projetada levando em conta este possível quadro. Entretanto, nas tomadas de decisões, pode-se empregar estes dois regimes como estados da natureza do modelo decisório.

6.6 Projeto do sistema de alimentação

O sistema de alimentação é responsável pelo suprimento de combustível para o motor da viatura. Este suprimento é bem controlado de forma a garantir a rotação precisa do motor, de acordo com a vontade do operador do carro.

6.6.1 Estudo de viabilidade

Como explanado nos capítulos três e quatro, o estudo de viabilidade é iniciado com a verificação da validade da necessidade do projeto. No caso do sistema de alimentação, este conjunto está inserido no contexto da viatura que está sofrendo a sua primeira manutenção de quarto escalão. Considerando a similaridade com os trabalhos já desenvolvidos na recuperação do EE-9 CASCAVEL MVII (modelo mais moderno), é possível utilizar esta experiência vivida como subsídio para a elaboração do estudo de viabilidade da recuperação e/ou modernização do EE-9 CASCAVEL MII (modelo mais antigo). Assim, considerando similaridades e diferenças entre modelos, conclui-se pela exeqüibilidade física da recuperação e/ou modernização do sistema de alimentação.

6.6.1.1 Análise de confiabilidade inicial

Considerando o sistema de alimentação em relação ao carro, observa-se que este faz parte dos sistemas envolvidos com a função “prover mobilidade”. Esta função é desempenhada pelos componentes assinalados no diagrama de blocos apresentado na Figura 6.3. Assim, uma falha na alimentação significa a falha de uma das funções mais importantes de um carro de reconhecimento.

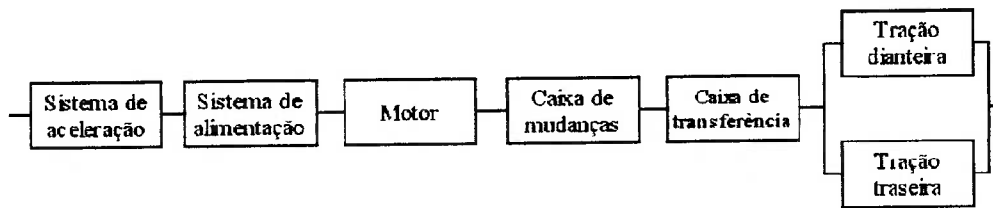


Figura 6.3 – Diagrama de blocos para a função “prover mobilidade”.

Segundo RACHE, [51], o sistema de alimentação pode falhar em uma das seguintes maneiras:

- 1) Falta de fornecimento do combustível;
- 2) Fornecimento de combustível com impurezas;
- 3) Vazamento de combustível para o meio ambiente;
- 4) Poluição excessiva.

A falta de combustível tem como consequência a parada do motor da viatura. Considerando a definição de falha como a paralisação da viatura por mais de uma hora, conclui-se que este estado pode se tornar uma falha da viatura.

O segundo modo de falha, que é o fornecimento de combustível com impurezas, está ligado também a alguns fatores externos, como a procedência do combustível. Admitindo neste trabalho que o combustível empregado tem a sua qualidade normal, este modo de falha estará ligado à eficiência e a manutenção dos filtros. Os demais modos de falha não apresentam consequências críticas para a viatura, embora constituam motivos de reparação e ajustagens.

A análise de confiabilidade segue por uma análise do tipo FMEA* de forma a determinar as ações de manutenção. Ao se comparar as ações necessárias à recuperação do sistema de alimentação do modelo antigo, observa-se a existência de poucas diferenças nos procedimentos em relação ao modelo mais moderno. Observa-se que as diferenças são devidas ao material da tubulação de diesel e à posição de alguns componentes.

Quanto aos aspectos conceituais de confiabilidade, não são previstas alterações na definição de falha e no regime de funcionamento e ambiente operacional, tendo em vista o retorno do carro à mesma tropa que o vinha utilizando. Ressalta-se a reprogramação do tempo de vida útil, com uma sobrevida desejada de dez anos.

Uma questão levantada durante o programa da recuperação do EE-9 CASCAVEL MVII foi a necessidade de recuperação de alguns componentes, particularmente o motor e a bomba injetora, [55]. Nestes casos, argumentou-se que a quilometragem média dos carros era extremamente baixa e que tais procedimentos de manutenção só deveriam ser realizados nas quilometragens indicadas pelo fabricante, muitas vezes mais altas. Este tipo de argumentação não levou em conta o efeito do pouco uso da viatura sobre seus sistemas. Durante a manutenção dos motores e bombas injetoras, atestou-se a evolução de diversos modos de falha relacionados com o tempo e com o desuso da viatura. Uma análise de FMEA que leve em conta esta preocupação – o fato de que a viatura desobedece aos parâmetros estipulados para a sua utilização – pode prever estes modos de falha e servir como decisão para a realização da manutenção. Levando-se em conta a sobrevida desejada (cerca de 10 anos), a realização destas tarefas de manutenção durante a recuperação e/ou modernização da viatura, diminui a probabilidade de que estas tarefas sejam requeridas durante a utilização da mesma pela tropa.

*vide APÊNDICE B

Para estimar o percentual de troca das tubulações rígidas, pode-se aproveitar o percentual de troca de tubulações similares no carro mais moderno. A troca é feita para recompletamento das peças que são reprovadas nos ensaios durante a manutenção.

Definidas as tarefas, tem-se uma base para as estimativas de custo de recuperação do sistema. A fim de normalizar as unidades de custos, neste trabalho é empregado o valor de 100 Unidades Monetárias (100 U.M.) para o custo total das peças novas do sistema, considerando custos associados como preparação e instalação. Assim, observando as tarefas previstas, a recuperação do sistema tem um custo de 56,35 U.M., ou seja, 56% da aquisição e instalação de um sistema novo, como atesta a Tabela 6.2. Os valores iguais para o custo de peça nova e peça recuperada significam que a peça é substituída por nova. Ainda, o custo citado para o tanque de combustível, nos dois casos, está associado somente ao tratamento de limpeza, jateamento e pintura, uma vez que esta peça faz parte do monobloco do carro.

Tabela 6.2 – Custos da recuperação do sistema de alimentação.

	Custo da peça nova	Ação de recuperação	Custo de recuperação
Tanque de combustível	7,61*	Tratamento superficial	7,61
Pescador	0,51	Aquisição de peça nova	0,51
Bóia de Combustível	0,51	Aquisição de peça nova	0,51
Tubulação motor	1,52	Manutenção corretiva	0,76
Tubulação carro	5,08	Manutenção corretiva	2,54
Conexões	2,54	Manutenção corretiva	1,27
Conexão passante	5,08	Manutenção corretiva	1,27
Filtros	1,02	Aquisição de peça nova	1,02
Decantador	4,06	Aquisição de peça nova	4,06
Bomba injetora	50,76	Recuperação	20,30
Bicos injetores	15,23	Aquisição de peça nova	15,23
Elementos de fixação	1,02	Manutenção corretiva	0,25
Protetores	5,08	Manutenção corretiva	1,02

Custo total da recuperação (em U.M.):

56,35

* O custo discriminado refere-se ao processo de tratamento superficial.

6.6.2 Projeto preliminar

6.6.2.1 Aplicação da AV/EV no projeto de recuperação e/ou modernização do sistema de alimentação

Uma descrição mais detalhada do sistema permite a aplicação da metodologia de AV/EV. Nesta fase, é preciso descrever o sistema com um bom detalhamento, de modo a abranger todos os seus componentes ou partes. Desta descrição*, é possível identificar partes e funções, o que é apresentado na tabela 6.3.

Tabela 6.3 – Identificação das partes e funções do sistema de alimentação.

Tanque de combustível	Amazemar combustível Conservar combustível Suprir combustível
Pescador	Captar combustível Conduzir combustível Suprir combustível
Bóia de Combustível	Controlar quantidade do combustível
Tubulação - motor	Conduzir combustível Suprir combustível Ligar componentes
Tubulação carro	Conduzir combustível Suprir combustível Ligar componentes
Conexões	Ligar componentes
Conexão passante	Ligar componentes
Filtros	Filtrar combustível Controlar qualidade de combustível
Decantador	Filtrar combustível Controlar qualidade de combustível
Bomba injetora	Bombear combustível Controlar quantidade do combustível Conduzir combustível Injetar combustível
Bicos injetores	Injetar combustível Controlar quantidade do combustível Conduzir combustível
Elementos de fixação	Fixar componentes Ligar componentes
Protetores	Proteger componentes Proporcionar estética

*vide APÊNDICE A

As funções identificadas na Tabela 6.3 podem ser reestruturadas de forma a eliminar redundâncias e classificadas de acordo com a metodologia proposta na seção 3.3.5, observando as conclusões emanadas da análise de confiabilidade. O resultado pode ser observado na Tabela 6.4.

Tabela 6.4 – Classificação das funções do sistema de alimentação.

Funções	Identificadora	Secundária	Suporte	Estímulo	Relevante	Irrelevante	Indesejável
<i>Suprir combustível</i>	X						
<i>Armazenar combustível</i>		X	X		X		
<i>Conduzir combustível</i>		X	X			X	
<i>Controlar combustível</i>		X		X	X		
<i>Ligar componentes</i>		X	X			X	
<i>Posicionar componentes</i>		X	X			X	
<i>Proteger componentes</i>		X	X			X	
<i>Proporcionar estética</i>		X		X		X	

Para a análise de valor do sistema de alimentação, são consideradas neste trabalho como funções relevantes aquelas que aumentem a confiabilidade, a manutenibilidade e a capacidade do sistema.

São consideradas como de suporte as funções mais básicas para o cumprimento da função identificadora “*suprir combustível*”. As demais funções são classificadas como de estímulo. Desta forma, a aplicação da metodologia de AV/EV permite distinguir as funções classificadas nos seguintes grupos:

- 1) Função identificadora – a função “*suprir combustível*”, segundo a metodologia, deve ser cumprida de forma otimizada, ou seja, sem desperdícios.

2) Funções secundárias de suporte – as funções mais básicas para que o sistema possa suprir combustível são enquadradas nesta classificação. Entretanto, pode-se subdividi-las em dois grupos: as relevantes e as irrelevantes:

a) Funções relevantes – no caso, a função “*armazenar combustível*” é classificada neste grupo devido a constatação da importância da qualidade do diesel para se evitar falhas no sistema, como ficou evidente nos estudos de confiabilidade. Seu desempenho pode ser cumprido em um nível exato.

b) Funções irrelevantes – a forma pela qual são cumpridas não representam fator de interesse em melhoria, em termos de confiabilidade e manutenibilidade. As funções “*conduzir combustível*”, “*ligar componentes*”, “*proteger componentes*” e “*posicionar componentes*” podem sofrer reduções, simplificações ou serem cumpridas por alternativas menos onerosas. Segundo a metodologia, são alvos de possíveis substituições e/ou cortes de custos.

3) Funções secundárias de estímulo – representam um estímulo, um diferencial significativo, segundo a metodologia. Também são subdivididas em dois grupos:

a) Funções relevantes – no caso, a função “*controlar combustível*”, originária das funções de controle de qualidade e quantidade do diesel. Seu desempenho, como foi atestado em análise anterior, está ligado à melhoria da confiabilidade. Segundo a metodologia, seu desempenho pode ser executado da melhor forma.

b) Funções irrelevantes – a forma pela qual são cumpridas não representam fator de interesse em melhoria, em termos de confiabilidade e manutenibilidade, porém representam diferenciais de aceitação, como é o caso da função “*proporcionar estética*”.

Através de uma análise de custos de funções, como proposto no terceiro capítulo, é possível observar a distribuição dos custos das funções secundárias caso seja optado pela recuperação. A Tabela 6.5 apresenta o resultado desta análise.

Tabela 6.5 – Análise de custos da recuperação do sistema de alimentação.

	<i>Armazenar combustível</i>	<i>Conduzir combustível</i>	<i>Controlar combustível</i>	<i>Ligar componentes</i>	<i>Posicionar componentes</i>	<i>Proteger componentes</i>	<i>Proporcionar estética</i>
Tanque de combustível	7,61						
Pescador		0,51					
Bóia de Combustível			0,51				
Tubulação motor		0,38		0,38			
Tubulação carro		1,27		1,27			
Conexões				1,27			
Conexão passante				1,27			
Filtros			1,02				
Decantador			4,06				
Bomba injetora		10,15	10,15				
Bicos injetores		7,62	7,62				
Elementos de fixação					0,13		0,13
Protetores					0,34	0,34	0,34
TOTAL:	7,61	19,93	23,36	4,19	0,47	0,34	0,47

6.6.2.2 Geração de alternativas

O desempenho da função identificadora “*suprir combustível*” é tratado na metodologia AV/EV de forma a ser cumprido de forma otimizada, sem desperdícios. Na construção automobilística, além de dutos rígidos, pode-se conduzir o combustível com o uso de dutos flexíveis, em forma de mangueiras de borracha ou de plástico. No EE-9 CASCAVEL MVII, existem mangueiras emborrachadas para esta finalidade. Entretanto, a adaptação desta configuração requer trabalhos na carcaça, encarecendo por demais esta alternativa. A adoção

de mangueiras de plástico para esta finalidade é a alternativa mais barata, satisfazendo a idéia de redução da função “*conduzir combustível*” a um nível menos oneroso.

A intenção de exercer a função “*armazenar combustível*” em um nível exato, raciocinando com o princípio de geração de alternativas abordado no terceiro capítulo, pode ser desenvolvida considerando os modos de falha relativos ao diesel. Observa-se uma tendência de corrosão ocasionada pela presença da água. Neste sentido enfatizam-se os meios de proteção superficial e os dispositivos que evitem a contaminação externa por corpos estranhos. Assim, poder-se-ia empregar soluções como a implantação de proteções mais efetivas no tanque de combustível como um emborrachamento do mesmo, porém tal alternativa representaria um ônus considerável no custo final da modernização. No cumprimento exato da função, a opção pelo tratamento superficial, que já vem sendo adotado na recuperação do modelo MVII, atende esta finalidade satisfatoriamente.

Sobre a intenção de se otimizar a função “*controlar combustível*”, ressaltam-se os meios de filtragem e de análise do mesmo. Entre as soluções e melhorias propostas, enfatizou-se a importância das operações periódicas de controle da qualidade de combustível, como a decantação de água e a purgação do tanque. Observou-se que a disposição física do decantador desfavorece a operação periódica do mesmo, tendo sido proposto a sua mudança, copiando a disposição apresentada no modelo mais moderno. Esta mudança requer trabalhos de confecção e soldagem de um suporte na carcaça do carro. A opção pelos dutos flexíveis também permite esta alteração no posicionamento do sistema sem maiores ônus.

A redução da importância das funções “*ligar componentes*” e “*posicionar componentes*” pode ser deduzida na intenção de diminuir o número de componentes que executam estas funções, além de simplificar a forma pela qual as funções são satisfeitas. Nos veículos modernos, há um grande uso de abraçadeiras para esta finalidade. Estes elementos forçam as mangueiras contra um duto interno rígido, de forma a garantir a estanqueidade

desta união. A simplicidade e o baixo custo desta união são grandes vantagens contra as atuais conexões roscadas empregadas no EE-9 CASCAVEL MII.

Por sua vez, a função "*proteger componentes*" pode ser eliminada ou reduzida a um valor mínimo. No EE-9 CASCAVEL MII, diferentemente do MVII, há componentes especialmente projetados para esta finalidade. Como alternativas, podem ser usadas outras rotas para a passagem de dutos, de forma que estes fiquem protegidos de cortes acidentais. A eliminação dos protetores também elimina o custo da função "*proporcionar estética*", consolidando o processo de AV/EV.

Em linhas gerais, o projeto resultante da análise de valor pode ser sintetizado nas seguintes especificações:

- 1) Substituição da tubulação rígida por mangueiras flexíveis de plástico, com alteração do percurso de passagem;
- 2) Substituição das conexões roscadas por um acoplamento através de braçadeiras;
- 3) Eliminação das conexões entre o interior do carro e o compartimento do motor com a adoção de uma mangueira como peça única que liga o decantador e a bomba injetora e uma outra mangueira de retorno, também como peça única;
- 4) Eliminação das chapas protetoras;
- 5) Manutenção do decantador original, com mudança da posição para atrás do banco do motorista;
- 6) Limpeza, jateamento e pintura específica do tanque de combustível;
- 7) Confecção de conexões e adaptações pelo próprio Arsenal de Guerra de São Paulo.

A Tabela 6.6 apresenta os valores de custos para a implementação do projeto resultante da análise de valor da configuração original. São valores com base na mesma referência (U.M.) dos valores encontrados para a recuperação do carro. Observa-se uma pequena vantagem no custo da alternativa provinda da metodologia de AV/EV (55,03 U.M. contra 56,35 U.M da recuperação).

Tabela 6.6 – Custos da alternativa proposta para o sistema de alimentação.

	Custo EV/AV
Tanque de combustível	7,61
Pescador	0,51
Bóia de Combustível	0,51
Tubulação motor	0,00
Tubulação carro	1,27
Conexões	1,27
Conexão passante	0,00
Filtros	1,02
Decantador	4,06
Bomba injetora	20,30
Bicos injetores	15,23
Elementos de fixação	0,20
Protetores	0,00
Adaptações	3,05
Custo total:	55,03

Através de uma análise de custos, semelhante à realizada para a recuperação, é possível observar a nova distribuição de custos por funções, o que é apresentado na Tabela 6.7. Nota-se a redução de custos nas funções em geral, com apenas três exceções. A função “armazenar combustível”, que se manteve inalterada, está ligada a um processo comum, escolhido para ambas as alternativas. A função relevante de estímulo “controlar combustível” foi majorada, o que se esperava da metodologia. A função “posicionar componentes” contrariou a metodologia, tendo sido incrementada. Este fato é devido à forma arbitrada da análise de custos por função, que optou por dividir equitativamente o custo da parte pelas funções desempenhadas. Assim, a adaptação de um suporte, que favorece a função “controlar combustível” também executa a função “posicionar componentes”.

Tabela 6.7 – Análise de custos de funções secundárias do sistema de alimentação.

	<i>Armazenar combustível</i>	<i>Conduzir combustível</i>	<i>Controlar combustível</i>	<i>Ligar componentes</i>	<i>Posicionar componentes</i>	<i>Proteger componentes</i>	<i>Proporcionar estética</i>
Tanque de combustível	7,61						
Pescador		0,51					
Bóia de Combustível			0,51				
Tubulação motor							
Tubulação carro		0,64		0,64			
Conexões							
Conexão passante				1,27			
Filtros			1,02				
Decantador			4,06				
Bomba injetora		10,15	10,15				
Bicos injetores		7,62	7,62				
Elementos de fixação					0,20		
Protetores							
Adaptações			1,53		1,53		
TOTAL:	7,61	18,91	24,88	1,91	1,73	0,00	0,00

6.6.2.3 Avaliação das alterações propostas

6.6.2.3.1 Implicações na confiabilidade do sistema de alimentação

Para analisar o impacto das alterações na confiabilidade do sistema e também do carro, pode-se recorrer a uma nova análise de confiabilidade. Nesta análise, são observados os efeitos das alterações propostas, considerando:

- 1) Novos modos de falha – a incorporação de novos materiais pode acrescentar ou eliminar modos de falha. No caso em estudo, as tubulações propostas de plástico apresentam novos modos de falha, particulares ao seu material, como a

degradação, o envelhecimento e o ressecamento. Fica ressaltada no projeto a importância da utilização de materiais que atendem normas específicas e que garantam uma confiabilidade almejada.

2) Alterações nos níveis de falha – a nova disposição de componentes também pode gerar alterações na propagação de falhas, devendo ser em revistos, por exemplo, os efeitos de uma determinada falha no decantador reposicionado.

3) Alterações na severidade das falhas – em decorrência da alteração do decantador, um possível vazamento neste componente não se traduz apenas em perda de combustível, mas em incômodos ou riscos ao motorista, o que causa uma alteração no conceito de severidade da falha.

4) Alterações na ocorrência das falhas – com a nova posição do decantador, torna-se mais fácil a operação deste componente, reduzindo a probabilidade de falha por má operação.

5) Alterações na detecção de falhas – a alteração no posicionamento do decantador também proporciona uma melhor detecção de falhas.

Levando em conta tais considerações, é possível utilizar o FMECA ou o Número de Prioridade de Risco (NPR) para avaliar o impacto de uma alteração. No caso do posicionamento do decantador, considerando-se apenas o modo de falha por vazamento, através do julgamento do projetista, têm-se um valor de $NPR = 80$ para este tipo de falha na configuração antiga, pois são usados valores de Severidade = 8 (perda de função do item), Ocorrência = 2 (considerando uma baixa probabilidade) e Detecção = 5 (chance moderada de detecção). Na configuração proposta, tem-se Severidade = 9 (perigoso com aviso) e Detecção = 2 (chance elevada de detecção), com o mesmo valor de Ocorrência, o que totalizaria um $NPR = 36$.

Uma consideração importante a ser observada na proposta de utilização de dutos flexíveis em lugar de canos rígidos abrigados é a significativa diminuição do tempo de identificação e correção de uma falha na tubulação. Com os dutos abrigados por chapas protetoras, eleva-se o tempo entre a detecção da falha pelo motorista e a sua localização e correção. Isto pode significar uma parada da viatura por mais de uma hora, o que já foi atestado em casos semelhantes com a viatura EE-11 URUTU, que emprega dutos rígidos em parte de seu sistema de alimentação. Assim, espera-se uma redução significativa da probabilidade de falha do carro, uma vez que o Exército Brasileiro define falha como a parada da viatura por mais de uma hora. Outra vantagem da utilização de mangueiras é o fato de as mesmas serem componentes encontrados no comércio, ao contrário dos canos rígidos que requerem estoque.

6.6.2.3.2 Implicações na operação e manutenção do sistema de alimentação

Em geral, as atividades de manutenção do sistema de alimentação são compostas de ações preventivas definidas pelo manual do carro. Estas ações são executadas em componentes comuns à configuração original e à configuração proposta após a aplicação da metodologia. É previsto um teste da bomba injetora e dos bicos injetores a cada 50.000 km ou a cada quatro anos de utilização. Este teste é feito em bancada própria, o que requer a retirada destes componentes e a sua posterior instalação no carro. Sobre os filtros do sistema, o manual de operação e manutenção prevê a manutenção a cada 5.000 km ou, se não for alcançada tal quilometragem, pelo menos uma vez por ano.

O diferencial que existe entre os custos de manutenção das duas alternativas está na necessidade de se manter em estoque as peças que possam falhar durante a vida prevista da viatura. Como política do Programa de Recuperação de Viaturas Blindadas, está previsto um estoque de peças para reposição. Este estoque é composto por peças não-comerciais, internamente denominadas como “peças ENGESA”. A quantidade de peças deste estoque varia conforme a mortalidade do item, sendo adotado uma quantidade mínima de cinco por cento do total adquirido. Como as tubulações rígidas originais, bem como as conexões do sistema são “peças ENGESA”, é necessário manter em estoque parte do sistema de alimentação. As peças comerciais não teriam esta necessidade, podendo ser encontradas em lojas e oficinas especializadas.

6.6.3 Seleção da melhor alternativa

O processo de seleção da melhor alternativa baseia-se em um modelo de tomada de decisão de acordo com o que foi dissertado no quinto capítulo desta obra. Como visto anteriormente, não existe um modelo preciso e universal para esta decisão, podendo esta variar de uma simples escolha por afinidade até uma seleção baseada em um complexo modelo matemático.

6.6.3.1 Modelo de decisão monocritério – custo do ciclo de vida

Em um primeiro modelo de decisão para o sistema de alimentação, é considerado apenas o custo para o Exército em recuperar e/ou modernizar uma frota de cem EE-9 CASCAVEL MII e mantê-la por dez anos. Para simplificação deste modelo, não é levado em conta o custo do dinheiro, ou seja, a incidência de juros. Mais uma vez, os valores trabalhados encontram-se referenciados em U.M. Também é estudado no modelo o custo de uma mobilização do carro por um ano.

Tabela 6.8 – Estimativas de custos para decisão para o sistema de alimentação.

a) Custos para situação de paz - previsão de dez anos				
	Custo de aplicação	Custo do estoque	Custo de manutenção	Valor total
Recuperação	5634,52	101,52	4568,50	10304,54
Modernização - EV/AV	5502,54	5,08	4568,50	10076,11

b) Custos para mobilização de um ano			
	Custo do estoque	Custo de manutenção	Valor total
Recuperação	456,85	8984,76	9441,61
Modernização - EV/AV	196,45	8984,76	9181,20

A Tabela 6.8 apresenta as estimativas de custos de aplicação da alternativa e os custos conseqüentes de manutenção e de estoque mínimo. Em tempos de paz, o estoque previsto refere-se às peças denominadas como “peças ENGESA”, ou seja, itens não-comerciais. Em uma situação de mobilização, este estoque é estendido a outros componentes críticos, como os bicos injetores. O valor correspondente às operações de manutenção é composto de custos de testes em oficinas e nas peças de reposição.

Observa-se uma vantagem da alternativa provinda da aplicação da metodologia, em virtude da menor quantidade de peças não-comerciais, o que requer menos custo de estocagem. Esta vantagem é encontrada tanto no ambiente operacional em tempo de paz quanto em um ambiente de mobilização, o que simplifica o modelo de decisão.

6.6.3.2 Outros modelos de decisão

Na recuperação e/ou modernização do sistema de alimentação proposta neste trabalho, os benefícios do projeto de modernização foram limitados a melhoramentos na confiabilidade e na manutenibilidade do carro, o que acabou resultando em economia nos custos de propriedade do carro. Desta forma, o critério custo apontou para a adoção da alternativa de modernização.

Poderia ocorrer que estes melhoramentos significassem um aumento de custos suficiente para preterir a modernização, se levado em conta este critério. Todavia, os melhoramentos na capacidade, na confiabilidade e na manutenibilidade podem ser suficientemente interessantes para não serem desprezados em uma análise de decisão. Para isto, poder-se-ia recorrer a um outro modelo de decisão, como o emprego de matrizes de decisão que atribuíssem pesos aos atributos de custos, confiabilidade, manutenibilidade e demais critérios julgados importantes. Como exemplo, a Tabela 6.9, que apresenta as vantagens e desvantagens de cada configuração, e que pode ser considerada um auxílio à decisão.

Tabela 6.9 – Vantagens e desvantagens das configurações do sistema de alimentação.

	Configuração original	Configuração proposta
Vantagens	<ul style="list-style-type: none"> • Manutenção do projeto original, ou seja, manutenção dos catálogos de peças e manuais de instrução; • Configuração em uso pela tropa, não requer mudanças na operação e manutenção. 	<ul style="list-style-type: none"> • Operação diária facilitada; • Facilidade de exame nas mangueiras; • Facilidade de aquisição de peças de reposição – mangueiras e conectores; • Menor custo;
Desvantagens	<ul style="list-style-type: none"> • Maior dificuldade para operação diária; • Maior dificuldade de acesso para exame dos dutos rígidos; • Maior tempo para deparar possível problemas nas tubulações; • Dutos rígidos e chapas protetoras não constituem peças de reposição de primeiro escalão; • Necessidade de se manter dutos e chapas protetoras na cadeia logística. 	<ul style="list-style-type: none"> • Necessidade de aprovação das alterações; • Necessidade de alteração dos manuais técnicos; • Necessidade de alteração da cadeia logística; • Possível impressão de “fragilidade” causada pelo uso de mangueiras e pela ausência de protetores; • Problemas de sujeira e odores causados pela posição do decantador no interior do carro.

Como SHIMIZU, [43], não se limita a um modelo matemático de decisão. um bom modelo poderia adotar a implementação de protótipos para avaliação das alternativas, o que permitiria a comparação de atributos medidos em campo. Particularmente a esta obra, esta linha de ação não pode ser implementada devido a restrições do seu cronograma.

6.7 Projeto do sistema elétrico

O sistema elétrico do EE-9 CASCAVEL MII é estruturado em dois circuitos. Um circuito tem voltagem de 12 volts e atende ao chassi. O segundo circuito, de 24 volts, atende à torre e ao sistema de radiocomunicações. Há diversos dispositivos elétricos no carro que garantem a iluminação, a comunicação e parte da monitoração dos sistemas de carro. O

sistema elétrico também é responsável pela partida do motor. Outra importante participação do sistema elétrico é o disparo do canhão.

6.7.1 Estudo de viabilidade

Apesar da diferença entre os sistemas elétricos dos dois modelos, estes apresentam os mesmos tipos de componentes, de forma que é possível explorar esta similaridade para desenvolver o estudo de viabilidade. Este estudo começa com o estabelecimento da necessidade na recuperação e/ou modernização, uma vez que o carro nunca sofreu este tipo de manutenção. Considerando esta similaridade entre modelos, conclui-se pela necessidade da recuperação e/ou modernização do sistema.

6.7.1.1 Análise de confiabilidade inicial

A análise de confiabilidade do sistema elétrico é iniciada a partir do entendimento das funções desempenhadas por este. O sistema elétrico é capaz de gerar eletricidade, armazená-la e distribuí-la para os consumidores, entre eles o sistema de radiocomunicações e o sistema de disparo do canhão.

Diferente de um motor a gasolina, o motor diesel não necessita de eletricidade para provocar a combustão, uma vez que sua ignição é causada por compressão. Assim a

contribuição do sistema elétrico para o cumprimento da função do carro “*prover mobilidade*” resume-se na partida do motor.

Estas funções do sistema elétrico constituem base para as análises de confiabilidade. A análise de confiabilidade pode ser iniciada a partir das informações colhidas em catálogos e manuais técnicos de fabricantes.

6.7.1.1.1 Geração e armazenamento de energia elétrica

Devido à reconhecida importância dos componentes a serem analisados no sistema elétrico, o próprio fabricante apresenta uma tabela, conhecida como “*troubleshooting*” que é uma análise de possíveis defeitos, correlacionando-os com prováveis causas e providências a serem tomadas. O uso desta tabela permitirá identificar os principais modos de falha e os procedimentos de manutenção corretiva, como os apresentados na Tabela 6.10.

Tabela 6.10 – “*Troubleshooting*” da geração e armazenamento de energia, [54].

Defeito	Causas	Providências
Bateria não é carregada	Condutor entre a bateria e a massa do carro solto ou danificado	Melhorar o contato ou substituir o condutor
	Bateria defeituosa	Substituir a bateria
	Retificadores danificados. anéis coletores sujos	Consertar o alternador
	Regulador defeituoso	Substituir o regulador
	Correia em “V” com folga	Esticar a correia
Lâmpada indicadora de carga não acende com o motor parado e a chave de partida ligada	Lâmpada queimada	Substituir lâmpada
	Bateria descarregada	Carregar a bateria
	Bateria defeituosa	Substituir a bateria
	Condutores soltos ou danificados	Consertar os condutores
	Regulador defeituoso	Substituir o regulador
	Curto-circuito no alternador	Consertar o alternador
	Escovas gastas	Substituir as escovas
Lâmpada indicadora de carga não apaga quando o motor está em funcionamento	Alternador com escovas sujas ou enrolamento do rotor interrompido	Consertar o alternador
	Regulador defeituoso	Substituir o regulador
	Alternador danificado	Consertar o alternador
	Resistência de transmissão no circuito da corrente de carga	Substituir ou melhorar o contato
Lâmpada indicadora de carga emite luz trêmula	Correia em “V” com folga	Esticar a correia
	Ajuste incorreto do regulador de contato	Substituir o regulador

A manutenção do alternador recomendada pelo fabricante limita-se a manutenção corretiva e a uma manutenção preventiva dos itens de maior desgaste (rolamentos, anéis coletores e escovas) a cada 100.000 km. Estes procedimentos de manutenção são considerados como de segundo escalão, o que requer o envio do alternador para uma oficina especializada fora da unidade detentora do carro.

A BOSCH, fabricante do alternador do EE-9 CASCAVEL, vem trabalhando com um programa de recuperação de alternadores. A Figura 6.4, que foi extraída de um catálogo de remanufaturados da BOSCH, permite observar os procedimentos a serem executados quando de sua recuperação. Itens que sofrem maiores desgastes, como componentes mecânicos e eletromecânicos (rolamentos, escovas e molas) são completamente trocados. Componentes

elétricos são testados e os demais componentes sofrem algum tipo de tratamento superficial, após a sua inspeção, [60].

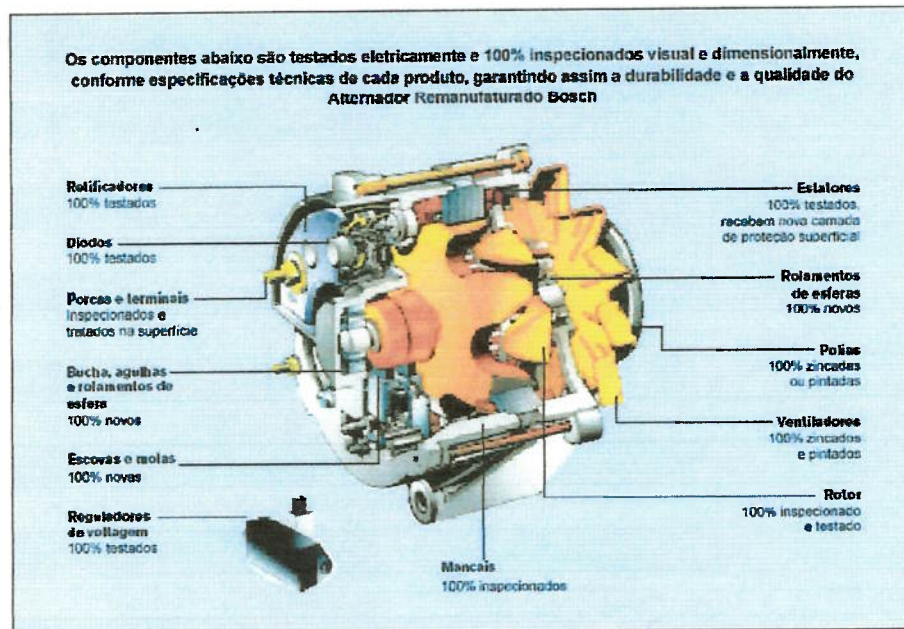


Figura 6.4 – Alternador remanufaturado BOSCH, [60].

A BOSCH apresenta como uma das vantagens do emprego de remanufaturados o baixo custo (até 50% do custo de um alternador novo). A aquisição é feita à base de troca, ou seja, o comprador entrega o alternador usado. Interessante apontar que a BOSCH não aceita alternadores que estejam oxidados ou que não estavam em uso, o que pode ser comum em veículos há muito tempo indisponíveis, caso observado no EE-9 CASCAVEL MII. Estes modos de falha são visualizados em uma análise de FMEA do alternador em virtude da tendência do CASCAVEL em desenvolver baixas quilometragens e permanecer parado por grandes intervalos de tempo. Segundo dados observados na recuperação do modelo mais moderno, [61], a ocorrência destes modos de falha ainda é baixa (por volta de 10%), porém na recuperação de um veículo mais antigo, frequência pode ser mais elevada.

6.7.1.1.2 Partida do motor

Analisando a Tabela 6.11, que trata do “*troubleshooting*” do motor de partida, percebe-se que a sua manutenção corretiva é recomendada pelo fabricante a ser realizada em oficinas especializadas. De fato, semelhante ao alternador, estes procedimentos de manutenção não são enquadrados como de primeiro escalão.

Tabela 6.11 – “*Troubleshooting*” do motor de partida, [54].

Defeito	Causas	Providências
Ao ligar o motor de partida seu eixo não gira ou gira lentamente	Bateria descarregada	Carregar a bateria
	Bateria danificada	Verificar a bateria
	Bornes da bateria soltos ou com mau contato	Limpar os bornes e apertá-los
	Bornes ou escovas do motor de partida em curto	Eliminar o curto-circuito
	Escovas do motor de partida sujas, soltas ou gastas	Limpar ou substituir as escovas
	Relés do motor de partida danificados	Consertar o motor de partida
	Cabos danificados, terminais soltos ou oxidados	Inspeccionar os cabos do circuito de partida, especialmente as conexões
O induzido gira, mas o pinhão não engrena	Eixo do pinhão empastado	Limpar e lubrificar
	Pinhão ou cremalheira com dentes danificados	Consertar em oficina especializada
Ao ligar o motor, o induzido gira, o pinhão engrena mas o volante não é girado	Bateria descarregada	Carregar a bateria
	Pouca pressão das escovas	Verificar, limpar ou substituir as escovas
	Chave magnética do motor ou relés danificados	Enviar para reparos em oficinas especializadas
	Demasiada queda de tensão no circuito	Inspeccionar cabos e conexões
	Roda-livre patinando	Enviar para reparos em oficinas especializadas
Motor de partida continua girando após desligar a chave de partida	Chave de partida não desliga, relés danificados	Desligar imediatamente o cabo massa da bateria
Pinhão não desengrena após a partida	Mola de retrocesso sem pressão ou quebrada	Enviar para reparos em oficinas especializadas

A recuperação do modelo mais moderno, o EE-9 CASCAVEL MVII, vem trabalhando com o condicionamento do motor de partida, tendo sido observado que todos os motores de partida até então tiveram condições de recuperação, [61]. Nesta recuperação são trocados os

itens que sofrem maior desgaste como pinhão, buchas, escovas e a chave magnética. Os itens de menor desgaste, como os mancais e elementos de fixação são analisados e trocados se for necessário. A troca do induzido e bobina também é realizada somente após uma análise de necessidade. Uma análise de FMEA pode atentar para o emprego intermitente do motor de partida (usado apenas na partida do motor) e também para a alta amperagem desenvolvida no seu acionamento. O uso não continuado do motor de partida, com eventuais impactos quando no engrenamento com os dentes da cremalheira do volante do motor podem causar fraturas nos dentes do pinhão. A Figura 6.5, também extraída de catálogo da BOSCH permite visualizar o motor de partida e os procedimentos de sua recuperação.

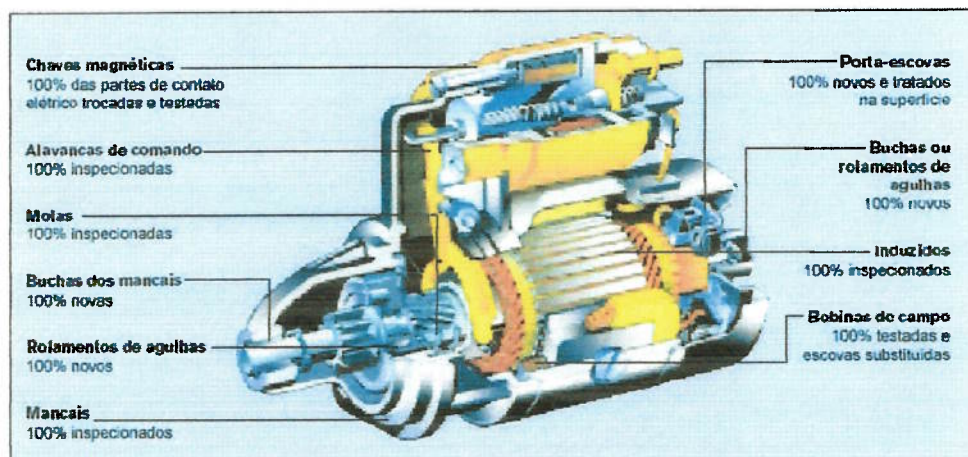


Figura 6.5 – Motor de partida com procedimentos de recuperação, [60].

6.7.1.1.3 FMEA do sistema elétrico

Para determinar as ações necessárias à recuperação do sistema elétrico, foi realizado um FMEA*, de forma a estudar os modos de falha de cada tipo de componente. Alguns componentes, como lâmpadas e fusíveis, são itens de troca de primeiro escalão. A fim de entregar para a tropa uma viatura “tão boa quanto nova”, arbitrou-se a troca obrigatória destes elementos, de forma que maiores análises foram utilizadas apenas para componentes mais complexos, como alternadores, motores de partida, entre outros. Outro importante fato é a padronização das baterias para um modelo de baixa manutenção, como as baterias seladas, que são utilizadas no modelo MVII recuperado.

Semelhante ao sistema de alimentação, não são previstas alterações na definição de falha e no regime de funcionamento e ambiente operacional, tendo em vista o retorno do carro à mesma tropa que o vinha utilizando. Mais uma vez o prolongamento do tempo para dez anos adicionais leva à necessidade de configurar o sistema a um nível “tão bom quanto novo”. Desta forma, a Tabela 6.12 apresenta uma estimativa de custos da recuperação do sistema, comparativa aos custos de instalação de peças novas. Nos itens alternadores e baterias, levou-se em consideração o custo das peças ligadas à instalação destes componentes como suportes e correias.

*vide APÊNDICE D

Tabela 6.12 – Estimativa de custos da recuperação do sistema elétrico.

	Custo da peça nova	Ação de recuperação	Custo de recuperação
Alternador 12v	5,42	Recuperação	2,71
Alternador 24 v	5,93	Recuperação	2,88
Motor de partida	6,78	Recuperação	5,08
Baterias e suporte	3,39	Aquisição de baterias	2,71
Instrumentos de painel	10,17	Aquisição de peça nova	10,17
Lâmpadas	0,85	Aquisição de peça nova	0,85
Faróis e lanternas	16,95	Manutenção corretiva	13,56
Ventiladores	6,78	Recuperação	5,08
Cabos e chicotes	16,95	Manutenção corretiva	8,47
Conectores	3,39	Manutenção corretiva	2,54
Elementos de fixação	2,54	Manutenção corretiva	1,69
Sirene	1,36	Aquisição de peça nova	1,36
Coletor da torre	8,47	Recuperação	5,08
Sistema elétrico da torre	10,17	Manutenção corretiva	6,78
Preparação para radiocomunicações	0,85	Aquisição de peça nova	0,85

Custo total da recuperação (em U.M.) : 69,83

6.7.2 Projeto preliminar

6.7.2.1 Aplicação de AV/EV no projeto de recuperação e/ou modernização do sistema elétrico

Após a descrição* do sistema, realiza-se a identificação das partes e funções que cada parte executa. Devido ao grande número de componentes, estes podem ser agrupados em famílias. A Tabela 6.13 apresenta a identificação das partes, já agrupadas nas suas famílias.

*vide APÊNDICE C

Tabela 6.13 – Identificação das partes e funções do sistema elétrico.

Partes	Funções
Alternador 12v	Gerar eletricidade
	Fornecer eletricidade
Alternador 24 v	Gerar eletricidade
	Fornecer eletricidade
Motor de partida	Ligar motor
	Consumir eletricidade
Bateria	Armazenar eletricidade
	Fornecer eletricidade
Instrumentos de painel	Prover informação
	Consumir eletricidade
Lâmpadas	Prover iluminação
	Consumir eletricidade
Faróis e lanternas	Proteger componentes
	Prover estética
Ventiladores	Prover conforto
	Consumir eletricidade
Cabos e chicotes	Ligar componentes
	Conduzir eletricidade
	Consumir eletricidade
Conectores	Ligar componentes
	Conduzir eletricidade
	Consumir eletricidade
Elementos de fixação	Fixar componentes
	Ligar componentes
Sirene	Gerar alerta
	Consumir eletricidade
Coletor da torre	Ligar componentes
	Conduzir eletricidade
	Consumir eletricidade
Sistema elétrico da Torre	Disparar canhão
	Consumir eletricidade
Preparação para radiocomunicações	Ligar componentes
	Conduzir eletricidade
	Consumir eletricidade
	Proporcionar uso do rádio

Como o sistema elétrico do CASCAVEL segue um padrão universalmente empregado nos automóveis, não houve a necessidade de se repensar o conceito empregado no seu projeto, principalmente na geração e armazenamento de energia elétrica. As funções constantes na Tabela 6.13 podem ser classificadas a partir das conclusões da análise de confiabilidade. O resultado pode ser observado na Tabela 6.14.

Tabela 6.14 – Classificação das funções do sistema elétrico.

Funções	Identificadora	Secundária	Suporte	Estímulo	Relevante	Irrelevante	Indesejável
<i>Prover eletricidade</i>	X						
<i>Gerar eletricidade</i>		X	X		X		
<i>Armazenar eletricidade</i>		X	X		X		
<i>Conduzir eletricidade</i>		X	X			X	
<i>Prover informação</i>		X		X	X		
<i>Prover iluminação</i>		X		X		X	
<i>Prover conforto</i>		X		X		X	
<i>Prover estética</i>		X		X		X	
<i>Posicionar componentes</i>		X	X			X	
<i>Acionar componentes</i>		X	X		X		
<i>Consumir eletricidade</i>		X	X				X

Para o sistema elétrico são consideradas neste trabalho como funções relevantes aquelas que aumentem a confiabilidade, a manutenibilidade e a capacidade do sistema. São consideradas como de suporte as funções mais básicas para o cumprimento da função identificadora “*gerar eletricidade*”. As demais funções são classificadas como de estímulo. Desta forma, a aplicação da metodologia de AV/EV permite distinguir as funções classificadas nos seguintes grupos:

- 1) Função identificadora – a função “*gerar eletricidade*”, segundo a metodologia, deve ser cumprida de forma otimizada, ou seja, sem desperdícios.
- 2) Funções secundárias de suporte – as funções mais básicas para o cumprimento da função identificadora são enquadradas nesta classificação. Estas funções podem ser listadas em três subdivisões:
 - a) Funções relevantes – seu desempenho pode ser cumprido em um nível exato. As funções “*gerar eletricidade*”, “*armazenar eletricidade*” e “*acionar componentes*” bem se enquadram neste requisito. Em termos de

confiabilidade, são funções primordiais do sistema, como se atesta em um diagrama de blocos.

b) Funções irrelevantes – a forma pela qual são cumpridas não representam fator de interesse em melhoria, em termos de confiabilidade e manutenibilidade. Segundo a metodologia, são alvos de possíveis substituições e/ou cortes de custos. As funções “*conduzir eletricidade*” e “*posicionar componentes*” podem ser cumpridas por formas alternativas ou com redução de componentes.

c) Funções indesejadas – o consumo de eletricidade é necessário para o funcionamento dos diversos componentes. Entretanto, pode haver mais consumo do que o desejado, particularmente em função do efeito Joule sofrido pela resistência dos condutores. Nesta classificação está a função “*consumir eletricidade*”.

3) Funções secundárias de estímulo – representam um estímulo, um diferencial significativo, segundo a metodologia. Também são subdivididas em dois grupos:

a) Funções relevantes – no caso, a função “*prover informação*”. Segundo a metodologia, seu desempenho pode ser executado da melhor forma.

b) Funções irrelevantes – a forma pela qual são cumpridas não representam fator de interesse em melhoria, em termos de confiabilidade e manutenibilidade, porém representam diferenciais de aceitação, como é o caso das funções “*prover estética*”, “*prover conforto*” e “*prover iluminação*”.

6.7.2.2 Geração de alternativas

A otimização das funções relevantes e de suporte como “*gerar eletricidade*”, “*armazenar eletricidade*” e “*acionar componentes*” passa pela discussão sobre a configuração do sistema em dois circuitos. Em termos de confiabilidade, estes dois circuitos não representam uma redundância, sendo totalmente distintos entre si. Representam na verdade dois sistemas, o sistema elétrico automotivo e o sistema elétrico da torre, sendo que a falha de um não interfere no outro.

Em termos de manutenção, a existência de dois circuitos representa uma duplicidade de operações e de componentes. Outro aspecto ligado à manutenção está na impossibilidade de intercâmbio de componentes entre os dois circuitos, além do perigo de falha causada por troca acidental destes durante a manutenção.

O EE-9 CASCAVEL MVII utiliza um sistema para a utilização das baterias, denominado caixa de alimentação. Esta configuração utiliza quatro baterias, sendo que um conjunto de duas baterias permanece em “*stand-by*”. A implantação de uma configuração semelhante é custosa devido ao número de baterias e pelo custo da caixa de alimentação. Uma alternativa, em uso na viatura blindada de transporte de pessoal M-113, é a utilização de apenas duas baterias, de maior carga, em série. Trata-se de uma configuração mais simplificada que é aceita pelo próprio Exército Brasileiro em um carro similar.

A função de estímulo relevante “*prover informação*” teve, ao longo do tempo entre o projeto da viatura e o presente, considerável desenvolvimento aliado aos meios de informática. Neste sentido, considerando a metodologia, um melhoramento desta função constituir-se-ia em um diferencial considerável. A utilização de um computador de bordo para o gerenciamento das informações vitais da viatura, como o monitoramento do motor,

facilitaria, sobretudo, a correta operação do carro. Por outro lado, haveria a inclusão de componentes eletrônicos sensíveis ao ambiente de operação da viatura. Como a orientação recebida pelo Arsenal de Guerra de São Paulo determina a simplicidade do projeto de recuperação e/ou modernização, uma alternativa mais viável é um reprojeto do painel de instrumentos, de forma que estes fiquem mais visíveis, além do possível emprego de dispositivos de alarme, como sinais sonoros de alarme. Como as experiências vividas na avaliação técnica, [55], demonstram a existência de falhas decorridas da falta de observação de instrumentos, é de se esperar um ganho de confiabilidade na adoção destas medidas.

A função *“conduzir eletricidade”*, classificada como de suporte e irrelevante, é desempenhada através de fios condutores. Como o carro tem dois circuitos de voltagem diferente, não se pode utilizar a massa do veículo (monobloco) como condutor, o que traz a necessidade de maior fiação elétrica. A redução desta função mais uma vez leva à discussão da necessidade em se manter os dois circuitos elétricos. O mesmo se aplica à função *“posicionar componentes”*, cuja duplicidade de circuitos elétricos obriga a existência de mais dispositivos que atendam esta função.

As funções *“prover estética”*, *“prover conforto”* e *“prover iluminação”*, apesar de serem diferenciais de projeto (são funções de estímulo), são classificadas como irrelevantes de forma que não podem constituir um grande fator de custo. Neste sentido, poder-se ia aproveitar ao máximo a configuração original, mantendo-se os componentes e sistemas que atendem às funções, ou seja, optando-se pela recuperação dos mesmos, sem a necessidade de modernização.

Classificada como indesejável, a função *“consumir eletricidade”* é inerente a todos os componentes elétricos. Para proporcionar a mesma potência, os dispositivos de 24 volts precisam da metade da corrente elétrica do que seus similares de 12 volts. Em termos de dimensionamento do circuito, este fato interfere na capacidade da bateria, que é medida em

ampères-hora. Em termos de capacidade de condutores, há um “*derating*” (utilização abaixo da capacidade nominal do item), o que favorece a confiabilidade do sistema, segundo BRALLA, [39].

Em linhas gerais, o projeto resultante da análise de valor pode ser sintetizado nas seguintes especificações:

- 1) Adoção de um circuito elétrico de 24 volts para todo o carro;
- 2) Substituição dos dois alternadores pelo alternador de 28 volts em uso no EE-9 CASCAVEL MVII;
- 3) Substituição do motor de partida pelo motor de partida do EE-9 CASCAVEL MVII – motor de partida de 24 volts;
- 4) Adoção de uma combinação de duas baterias de 12 volts em série (resultando em 24 volts);
- 5) Utilização do mesmo chicote elétrico, observando as pequenas alterações;
- 6) Projeto do novo painel, a ser desenvolvido durante a faz de projeto detalhado (em conjunto com a elaboração do esquema elétrico do carro);
- 7) Substituição dos ventiladores e da sirene pelos seus similares de 24 volts em uso no EE-9 CASCAVEL MVII;
- 8) Substituição dos consumidores por similares de 24 volts em uso no EE-9 CASCAVEL MVII;
- 9) Recuperação dos demais componentes similares entre as duas configurações (disposição para radiocomunicação, coletor da torre, mecanismo de disparo, etc).

Tabela 6.15 - Custo da aplicação da metodologia proposta para o sistema elétrico.

	Custo EV/AV
Alternador 24 v	5,93
Motor de partida	6,78
Baterias	2,71
Instrumentos de painel	10,17
Lâmpadas	0,85
Faróis e lanternas	13,56
Ventiladores	6,78
Cabos e chicotes	6,78
Conectores	2,03
Elementos de fixação	1,36
Sirene	1,36
Coletor da torre	5,08
Sistema elétrico da Torre	6,78
Preparação para radiocomunicações	0,85

Custo total da modernização (em U.M.) : 71,02

Os custos das alterações propostas podem ser visualizados na Tabela 6.15. Nota-se uma pequena desvantagem de custo em relação à recuperação, o que pode ser explicado pelo maior número de substituições por peças novas. As Tabela 6.16 e 6.17 apresentam as análises comparativa de custos das funções secundárias antes e após a aplicação da metodologia, respectivamente.

Tabela 6.16 – Análise de custos de funções secundárias para a recuperação do sistema elétrico.

	<i>Gerar eletricidade</i>	<i>Armazenar eletricidade</i>	<i>Conduzir eletricidade</i>	<i>Prover informação</i>	<i>Prover iluminação</i>	<i>Prover conforto</i>	<i>Prover estética</i>	<i>Posicionar componentes</i>	<i>Acionar componentes</i>
Alternador 12v	2,71								
Alternador 24 v	2,88								
Motor de partida									5,08
Baterias		2,71							
Instrumentos de painel				10,17					
Lâmpadas					0,85				
Faróis e lanternas							6,78	6,78	
Ventiladores						5,08			
Cabos e chicotes			8,47						
Conectores			1,27					1,27	
Elementos de fixação								1,69	
Sirene									1,36
Coletor da torre			5,08						
Sistema elétrico da Torre									6,78
Preparação para radiocomunicações									0,85
TOTAL:	5,59	2,71	14,82	10,17	0,85	5,08	6,78	9,74	14,07

Tabela 6.17 – Análise de custos de funções secundárias do sistema elétrico, após a aplicação da metodologia.

	<i>Gerar eletricidade</i>	<i>Armazenar eletricidade</i>	<i>Conduzir eletricidade</i>	<i>Prover informação</i>	<i>Prover iluminação</i>	<i>Prover conforto</i>	<i>Prover estética</i>	<i>Posicionar componentes</i>	<i>Accionar componentes</i>
Alternador 24 v	5,93								
Motor de partida									6,78
Baterias		2,71							
Instrumentos de painel				10,17					
Lâmpadas					0,85				
Faróis e lanternas							6,78	6,78	
Ventiladores						6,78			
Cabos e chicotes			6,78						
Conectores			1,015					1,015	
Elementos de fixação								1,69	
Sirene									1,36
Coletor da torre			5,08						
Sistema elétrico da Torre									6,78
Preparação para radiocomunicações									0,85
TOTAL:	5,93	2,71	12,875	10,17	0,85	6,78	6,78	9,485	15,77

6.7.2.3 Avaliação das alterações propostas

6.7.2.3.1 Implicações na confiabilidade do sistema elétrico

O sistema elétrico da viatura é composto por componentes elétricos e eletromecânicos, sendo que a bateria é um acumulador eletroquímico. As alterações propostas são mais evidentes na disposição dos componentes eletromecânicos e das baterias. Em outras palavras, reduzir a um circuito implica na utilização de apenas um alternador e de um conjunto de baterias. A antiga disposição não constitui uma redundância ou uma vantagem evidente sobre a configuração simples. Pelo contrário, relatos colhidos com pessoal especializado em material ENGESA, [61], apontam para a ocorrência de falhas no circuito de 24 volts devido a

sobrecarga no alternador e a erros de manutenção. Com a utilização de um sistema elétrico de voltagem única, espera-se eliminar estas falhas.

De certa forma, o estudo do impacto das alterações propostas na confiabilidade do sistema elétrico é voltado para a garantia de um padrão aceitável de confiabilidade, especificado por um documento como o RTB. Como ferramenta de análise, pode-se recorrer ao estudo de carros similares, que é o caso da viatura blindada de transporte de pessoal M-113, que utiliza a mesma configuração para o sistema elétrico.

Prosseguindo na intenção de garantia de confiabilidade, analisando a falha mais crítica do sistema elétrico, que é a descarga das baterias quando a viatura estacionada utiliza seus rádios, é possível propor meios de detecção e prevenção desta falha, como a incorporação de um indicador de carga da bateria.

6.7.2.3.2 Implicações na operação e manutenção do sistema elétrico

A diminuição do número de componentes de manutenção onerosa confere uma redução nos custos de manutenção da viatura durante a sua vida operacional. Por sua vez, a adoção de uma voltagem padronizada nos carros operacionais do Exército Brasileiro implica na redução da quantidade e da diversidade de peças em estoque. Também podem ser levadas em conta as simplificações de procedimentos e uma certa diminuição da lista de cuidados a serem tomados durante a manutenção.

Para quantificar os custos de manutenção do sistema elétrico da viatura, pode-se recorrer aos manuais de manutenção de cada componente. O manual de operação e manutenção do EE-9 CASCAVEL prescreve operações de manutenção preventiva de acordo

com a quilometragem da viatura. Estes procedimentos abrangem principalmente os componentes principais: o alternador e o motor de partida. É prevista uma inspeção a cada 25.000 km ou dois anos de utilização, para verificação do estado das escovas do alternador e do motor de partida. Ao atingir 100.000 km, é necessário recuperar o alternador e o motor de partida. Para fins de cálculo, pode ser adotada uma frequência de oito anos para esta manutenção. De acordo com informações do fabricante, [59], para a estimativa de custos de manutenção das baterias, pode-se adotar um tempo médio de vida útil de quatro anos. O manual de manutenção também prescreve um reaperto dos cabos de bateria a cada 5.000 km.

6.7.3 Seleção da melhor alternativa

A Tabela 6.18 apresenta as estimativas de custos para a utilização em dez anos e para uma possível mobilização mais severa. A alternativa resultada da aplicação da metodologia, apesar do custo de implantação maior, resulta em menor custo para o seu ciclo de vida, decorrente da redução de componentes, com o conseqüente decréscimo do custo de manutenção.

Tabela 6.18 – Análise de custos para a decisão do sistema elétrico.

a) Custos para situação de paz - previsão de dez anos				
	Custo de aplicação	Custo do estoque	Custo de manutenção	Valor total
Recuperação	6983,14	324,58	1618,29	8926,00
Modernização - EV/AV	7101,69	114,41	1220,10	8436,20

b) Custos para mobilização de um ano			
	Custo do estoque	Custo de manutenção	Valor total
Recuperação	388,14	1247,79	1635,93
Modernização - EV/AV	172,03	923,61	1095,64

CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

As técnicas de análise de confiabilidade possibilitam um exame crítico de modos de falha decorrentes de muitos fatores correlacionados com o projeto original da máquina e seu passado de utilização. Esta abordagem crítica permite ao projetista de recuperação e/ou modernização da máquina consolidar um banco de informações que será utilizado na determinação dos procedimentos de recuperação e na geração de alternativas de modernização. Com os mesmos métodos de confiabilidade, o projetista também pode examinar a possibilidade de ocorrência de novos modos de falha decorrentes das alterações incluídas no projeto de modernização e alterar o projeto a fim de minimizar os efeitos associados com a ocorrência das mesmas. Sendo a própria definição de confiabilidade ligada a conceitos de ambiente de operação, regime de funcionamento, funções solicitadas e tempo, estes fatores incorporam-se a esta análise.

Verifica-se que a aplicação dos conceitos e técnicas de análise de confiabilidade, principalmente a Análise de Modos e Efeitos de Falha (FMEA), auxilia as atividades associadas com as primeiras fases do projeto, que são o estudo de viabilidade e o projeto preliminar. Isto se deve porque esta análise permite avaliar o efeito de falhas do componente sobre o desempenho operacional do sistema. A partir de uma classificação de criticidade destes efeitos, o projetista pode alterar o projeto ainda nas fases iniciais, quando o custo associado a qualquer modificação ainda pode ser reduzido. Assim, nas demais fases do projeto, iniciado pelo projeto detalhado, a confiabilidade passa a ser tratada como uma especificação do sistema a ser desenvolvido.

No desenvolvimento dos estudos de casos, as técnicas de análise de confiabilidade empregadas no desenvolvimento do projeto de recuperação e/ou modernização dos sistemas escolhidos foram limitadas aos métodos para prevenção de falhas. A inexistência de um banco de dados confiáveis sobre o histórico dos carros, aliada a aspectos muito particulares de operação do EE-9 CASCAVEL inibiu um tratamento mais matemático da análise de confiabilidade, ou seja, a utilização de métodos de medição e previsão de falhas. Entretanto, neste caso, a utilização racional das análises possíveis de confiabilidade possibilitou ao projetista uma visão que permite apontar para a diminuição de efeitos de falhas ou até mesmo a diminuição ou eliminação de um modo de falha. Da mesma forma, a análise crítica da manutenibilidade do carro também conferiu uma oportunidade de correções e melhoramentos do projeto inicial. Como se pode observar na avaliação do custo final do ciclo de vida dos sistemas recuperados, as alterações de projeto propostas representaram um valor menor do que a recuperação dos mesmos. Este fenômeno é devido aos seguintes fatores: emprego de novos materiais, maior uso de componentes comerciais, diminuição no número total de componentes, maior padronização com a cadeia logística, simplificação de processos de manutenção e maior adequação aos conceitos de confiabilidade requerida.

A metodologia de AV/EV encontra um campo fértil para a sua aplicação na modernização de máquinas, fato que se deve a constante evolução de tecnologias, metodologias e materiais. Uma outra razão vem da diferença entre fabricar uma máquina e modernizar uma máquina: as soluções empregadas não precisam ser as mesmas. Como o método da AV/EV enfoca as funções desempenhadas e não precisamente as partes constituintes do sistema, cria-se uma situação permeável a inovações e quebras de paradigmas. Entretanto, deve-se ter cautela no emprego da técnica a fim de não suprimir ou reduzir excessivamente partes e/ou funções consideradas irrelevantes, mas que possuem uma importância que foi desprezada pelo projetista.

No desenvolvimento dos estudos de casos, a aplicação de AV/EV enquadra-se mais como uma análise de valor, em virtude de que não se procurava um novo sistema que cumprisse as funções do original, mas a modernização do mesmo. Esta análise possibilitou a identificação, a classificação e a avaliação das funções de cada sistema, resultando na manipulação destas funções de forma a otimizar todo o sistema para a nova concepção de operação, confiabilidade e manutenibilidade.

Com a modernização de um sistema, cria-se também a chance de aplicação de metodologias de projeto DFX. A metodologia proposta neste trabalho, por considerar a confiabilidade como ferramenta fundamental, adequa-se ao conceito de “*Design for Reliability*”, o que pode ser observado no desenvolvimento do caso exemplo. Desde a concepção do projeto até a preparação para a produção/implantação, pode-se observar a utilização das atividades chaves desta filosofia de projeto, culminando com a incorporação de regras de projeto de “*Design for Reliability*” e “*Design for Maintainability*”.

Durante a pesquisa bibliográfica notou-se a carência de trabalhos científicos publicados que abordam a confiabilidade de sistemas mecânicos em termos mais genéricos. Em geral, são apresentados estudos muito específicos, o que dificultou a utilização destas publicações na composição desta obra. Da mesma forma, existe uma carência de normas técnicas a respeito de confiabilidade de sistemas mecânicos em contraste com as normas militares norte-americanas que abordam os sistemas eletrônicos.

Como sugestão de trabalho futuro, a metodologia desenvolvida nesta obra poderia ser aplicada e avaliada na recuperação de máquinas que trabalham em condições de operação e manutenção mais constantes. Uma máquina ferramenta se enquadra neste perfil. Como outra sugestão de trabalho futuro, poder-se-ia focar o projeto de recuperação e/ou modernização de máquinas na visão de análise de risco, que por si só constitui uma matéria de pós-graduação.

CAPÍTULO 8

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. MOUBRAY, J. **Reliability-centered maintenance**. New York: Industrial Press, 1997. 440p.
2. SIEMENS. São Paulo. **Apresenta propostas de retrofitting de máquinas**. Disponível em <<http://www.siemens.com.br>>. Acesso em 10 de abril de 2004.
3. MAWAKDIYE, A. **Retrofitting: espaço conquistado**. IPESI Metal Mecânica, São Paulo, n.393, p.8-17, dezembro 2003/janeiro 2004.
4. LEWIS, E. E., **Introduction to reliability engineering**. New York: John Wiley & Sons, 1987. 435p.
5. BASTOS, E. **Desenvolvimento de blindados sobre rodas no Brasil I – do repotenciamento do M-8 Greyhound ao Cascavel**. Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora. . Disponível em <<http://www.ufjf.edu.br/defesa>>. Acesso em 10 de agosto de 2004.
6. ESTADOS UNIDOS. DEPARTMENT OF DEFENSE - DOD, **MIL-STD-721C: Definition of terms for reliability and maintainability**. Washington D. C., DoD, 1970.
7. MODARRES, M., **What every engineer should know about reliability and risk analysis**. New York: Marcel Drekker, 1993. 350p.
8. LAFRAIA, J. R. B. **Manual de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobrás, 2001. 388p.

9. PINTO, A. K.; XAVIER, J. A. N. **Manutenção função estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark Petrobrás, 2001. 341p.
10. SOUZA, G. F. M. **PMR-5201 Análise de confiabilidade aplicada ao projeto de sistemas mecânicos**. São Paulo, 2003. (Apostila)
11. ESTADOS UNIDOS. DEPARTMENT OF DEFENSE - DOD, **MIL-HDBK-217: Reliability prediction of electronic equipment**. Washington D. C., DoD, 1991.
12. ESTADOS UNIDOS. DEPARTMENT OF DEFENSE - DOD, **MIL-HDBK-338B: Electronic Reliability Design Handbook**. Washington D. C., DoD, 1998
13. DOYLE, R. L. Mechanical Reliability. In IRESON, W. G.; COOMBS, Jr, C.F.; MOSRO, R.Y. **Handbook of Reliability Engineering and Management**. New York: McGraw Hill, 1996. p 19.1-19.27
14. SHIGLEY, J. E. **Mechanical engineering design**. Boston: McGraw Hill, 2001. 1248 p.
15. RELIABILITY ANALYSIS CENTER, **NPRD-95: Nonelectronic Part Reliability Data**. Rome, 1995. Disponível em <<http://www.rac.alionscience.com>>. Acesso em 9 de agosto de 2004.
16. YAÑEZ, M.; JOGLAR, F.; MODARRES, M. **Generalized renewal process for analysis of repairable systems with limited failure experience**. Reliability Engineering & System Safety. v.77,p167-180, 2002.
17. DIAS, A. **Projeto para confiabilidade aplicado ao processo de implantação de uma rede de gás**. Product Management & Development: Revista Brasileira de Gestão de Desenvolvimento de Produtos, n.2, 2003.
18. ESTADOS UNIDOS. DEPARTMENT OF DEFENSE - DOD, **MIL-STD-1629A: Procedures for performing a failure modes, effects and criticality analysis**. Washington D. C., DoD, 1980.
19. ENGESA. **Manual de manutenção do canhão EC-90**. São José dos Campos, 1980.

20. CARDOSO, I. A. P., **Elaboração de políticas de manutenção: uma abordagem voltada à análise de confiabilidade**. 2000.189p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.
21. LAZOR, J.D. **Failure mode and effects analysis (FMEA) and Fault Tree Analysis (FTA)**. In IRESON, W. G.; COOMBS, Jr, C.F.; MOSRO, R.Y. **Handbook of Reliability Engineering and Management**. New York: McGraw Hill, 1996. p.6.1-6.46.
22. ESTADOS UNIDOS. DEPARTMENT OF DEFENSE - DOD, **MIL-HDBK-470A: Designing and developing maintainable products and systems**. Washington D. C., DoD, 1997.
23. DIETER, G. E., **Engineering design: a materials and processing approach**. New York: McGraw Hill, 1983. 592p.
24. LIMA, J. G. **Custos (cálculos, sistemas e análises)**. São Paulo: Atlas, 1969.
25. HERRMAN, F. **Custos industriais (organização administrativa contábil das empresas industriais)**. 7^a ed. São Paulo: Atlas, 1974. p.218-248.
26. DHILLON, B. S. **Reliability engineering in systems design and operation**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1983. 319p.
27. BARRINGER, H. P. **Life cycle cost tutorial**. In: FIFTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON PROCESS PLANT RELIABILITY, Houston, 1996.
28. WOODHOUSE, J. **Managing industrial risk**. London: Chapman & Hall, 1993. 307p.
29. ERTAS, A.; JONES, J. C. **The engineering design process**. New York: John Wiley & Sons, 1996. 614p.
30. ASIMOW, M. **Introdução ao projeto**. São Paulo: Mestre Jou, 1968.
31. NORTON, R. L. **Machine Design an integrated approach**. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2000. 1077p.

32. INGLE, K. A. **Reverse engineering**. New York: McGraw Hill, 1994. 240p.
33. FERNEDA, A. B. **Integração metrologia, CAD e CAM: uma contribuição ao estudo de engenharia reversa**. 1999. 102p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, 1999.
34. CSILLAG, J. M. **Análise do valor**. São Paulo: Atlas, 1995. 370p.
35. ESTADOS UNIDOS. DEPARTMENT OF DEFENSE – DOD, **DOD-4245.8-H Value engineering**. Washington D. C., DoD, 1986.
36. MILES, L. D. **Techniques of value analysis and engineering**. 2^a ed. New York: McGraw Hill, 1972. 366p.
37. MASSARANI, M. **Análise do valor/ (AV) engenharia do valor (EV)**. Universidade de São Paulo, Jul. e Ago de 2003. /Notas de aula da matéria PME – 5209 – Engenharia do valor em projeto mecânico./
38. ANDRÉ, H. A. **Curso de redação**. 3^a ed. Moderna: São Paulo. 1988.
39. BRALLA, J. G. **Design for excellence**. New York: McGraw Hill, 1996. p.163-194.
40. MOSS, R. **Design for reliability**. In IRESO, W. G.; COOMBS, Jr, C.F.; MOSRO, R.Y. **Handbook of Reliability Engineering and Management**. New York: McGraw Hill, 1996. p.5.1-5.16.
41. KOWALSKI, R.. **Maintainability and reliability**. In IRESO, W. G.; COOMBS, Jr, C.F.; MOSRO, R.Y. **Handbook of Reliability Engineering and Management**. New York: McGraw Hill, 1996. p.5.1-5.16.
42. BRASIL. EXÉRCITO BRASILEIRO - ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS. **Técnicas de apoio à decisão**. Rio de Janeiro, 2002. 55p.
43. SHIMIZU, T. **Decisão nas organizações**. São Paulo: Atlas, 2001. p. 39.
44. MELLO et alli. **Conceitos básicos do apoio multicritério à decisão e sua aplicação no projeto Aerodesign**. Engevista, v. 5, n. 8, p. 22-35, 2003.

45. BRASIL. EXÉRCITO BRASILEIRO. **Manual de Campanha C 100-10: logística militar terrestre**. Brasília, 2004.
46. BRASIL. EXÉRCITO BRASILEIRO. ARSENAL DE GUERRA DE SÃO PAULO. **Palestra de apresentação do Arsenal de Guerra de São Paulo**. Barueri, AGSP, 11 de outubro de 2000./ Palestra proferida na XVI Reunião dos Diretores de Arsenais – REDAG, Barueri, 2000/
47. OLIVEIRA, A. J. **A otimização do pessoal visando a maximização da manutenção das viaturas URUTU e CASCAVEL em 5º escalão**. 2002. 25p. Monografia de conclusão do curso de aperfeiçoamento de oficiais – Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais. Rio de Janeiro: 2002.
48. BRASIL. EXÉRCITO BRASILEIRO. ARSENAL DE GUERRA DE SÃO PAULO. **Apresentação do Programa de Revitalização das Viaturas Blindadas URUTU e CASCAVEL**. Barueri, 2002. (Prospecto).
49. ENGESA. **Catálogo de peças do EE-9 CASCAVEL MII**. São José dos Campos. 1978.
50. ENGESA. **Catálogo de peças do EE-9 CASCAVEL MVII**. São José dos Campos. 1986.
51. RACHE, M. **Mecânica diesel**. São Paulo: Hemus, 2004.
52. SILVA, F. L. R.; CAVALCA, K. L. ; DEDINI, F. G. **Combined application of QFD and VA tools in the product design process**. International Journal of Quality & Reliability Management. v.21, n 2, p 231-252, 2004.
53. BRASIL. EXÉRCITO BRASILEIRO. **NARMNT - Normas Administrativas Relativas a Manutenção**. Brasília, 2005.
54. ENGESA. **Manual de manutenção do EE-9 CASCAVEL MVII**. São José dos Campos. 1978.

55. BRASIL. EXÉRCITO BRASILEIRO. ARSENAL DE GUERRA DE SÃO PAULO.
Relatório sobre o Programa de Revitalização das Viaturas Blindadas URUTU e CASCAVEL. Barueri, 2003.
56. LIMA, M. A.; SILVA, P. A. L. **Modelo para desativação de veículos: aplicação ao Exército Brasileiro.** Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2000. (Relatório Técnico no 053/DE9/00)
57. BRASIL. EXÉRCITO BRASILEIRO. SECRETARIA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA.
Requisitos Técnicos Básicos (RTB) – Viatura blindada de reconhecimento leve, de rodas. Rio de Janeiro, 27 de setembro de 2001.
58. BRASIL. EXÉRCITO BRASILEIRO. ARSENAL DE GUERRA DE SÃO PAULO.
Reunião de projeto do sistema de alimentação. Barueri, 8 de setembro de 2004./
Reunião da equipe de projeto./
59. BATERIAS MOURA. **Apresenta dados técnicos sobre seus produtos.** Disponível em
<www.moura.com.br> . Acesso em 10 de setembro de 2004.
60. ROBERT BOSCH LTDA. **Alternadores e motores de partida remanufaturados.**
Campinas, 2002.
61. BRASIL. EXÉRCITO BRASILEIRO. ARSENAL DE GUERRA DE SÃO PAULO.
Reunião de projeto do sistema elétrico. Barueri, 9 de setembro de 2004./ Reunião da
equipe de projeto./

APÊNDICE A

ANÁLISE DO SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO

A.1 Descrição

O sistema de alimentação de um veículo diesel tem por finalidade injetar de uma maneira controlada o combustível na câmara de combustão. A Figura A.1 apresenta o sistema de alimentação do EE-9 CASCAVEL MII.

O combustível da viatura, que é óleo diesel, fica armazenado no tanque de combustível. O tanque de combustível é construído na carcaça do carro por meio de chapas de aço soldadas. Dentro do tanque estão montados dispositivos denominados de quebra-ondas com a finalidade de diminuir o movimento do combustível dentro do tanque. O nível de combustível é verificado através de um dispositivo denominado de “marcador de combustível”, que é um componente do sistema elétrico.

O combustível é aspirado por meio da bomba de alimentação, que é acionada pelo movimento do motor. O ponto de captação no tanque é conhecido como “pescador”. A linha de aspiração do sistema de alimentação é constituída de duas partes: a primeira parte é montada no interior da viatura enquanto que a segunda está montada no compartimento do motor. No EE-9 CASCAVEL MII as duas partes da linha de aspiração são constituídas de tubulações rígidas de cobre. Montada na carcaça, está disposta uma conexão que serve como

ligação entre estas duas partes. Na segunda parte da linha de aspiração, portanto no compartimento do motor, está montado um dispositivo de separação de água do diesel, denominado de decantador. Sobre algumas partes da tubulação, estão montadas peças de proteção, como se pode observar na Figura A.1.

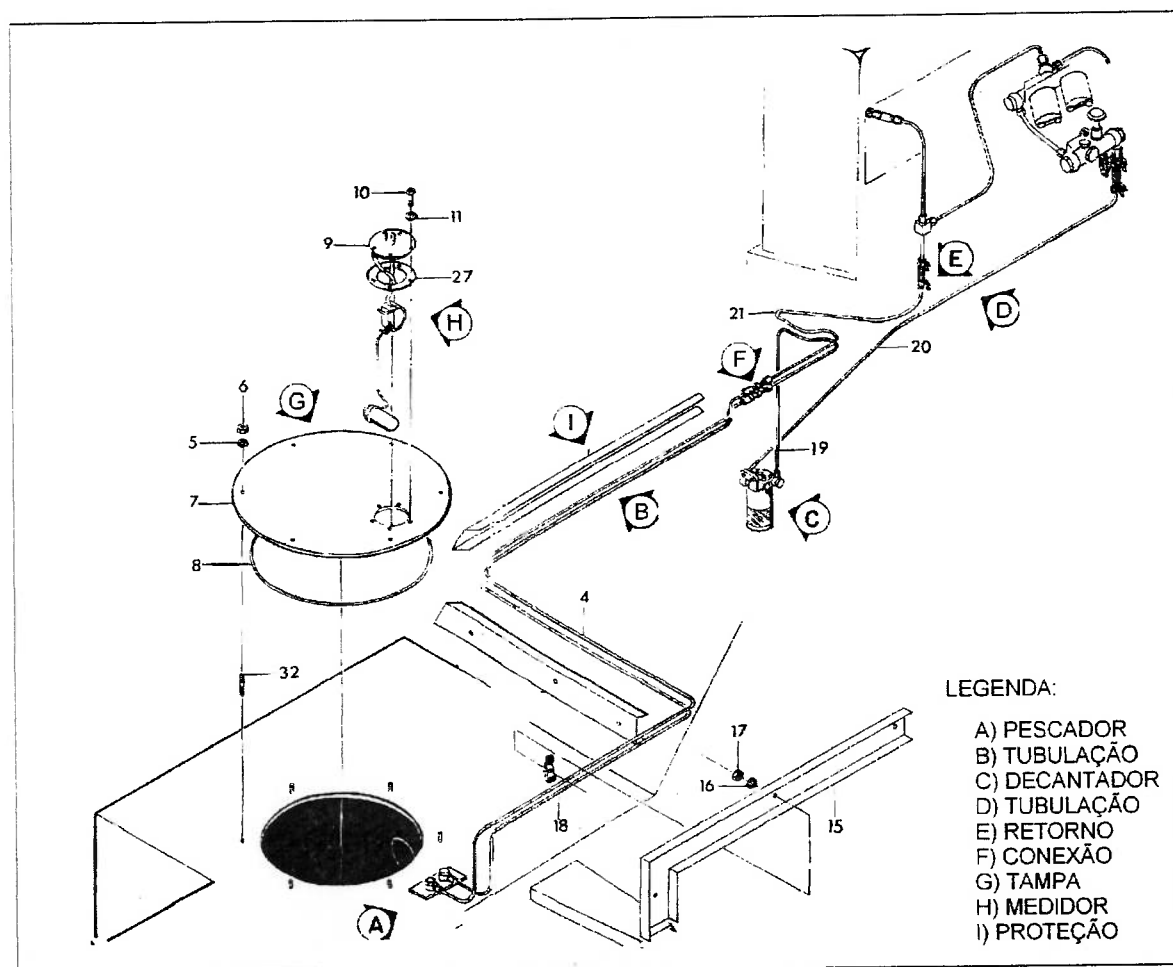


Figura A.1 – Sistema de alimentação do EE-9 CASCAVEL MII.

Na verdade, a bomba de alimentação está incorporada a um outro dispositivo mecânico de importância capital para o sistema. Devido às altas pressões envolvidas dentro do cilindro, é necessário um mecanismo de injeção de combustível, chamado bomba injetora. A bomba injetora de elementos lineares (sistema BOSCH) é o tipo utilizado no motor OM 352 A. A bomba injetora é um dispositivo comercial complexo, não cabendo a este trabalho

analisar o seu funcionamento para possíveis adaptações, entretanto é oportuno salientar que a bomba injetora é composta de elementos de precisão, com superfície espelhada e ajustagens precisas. Este fato torna necessária uma rigorosa filtragem do óleo diesel de modo a evitar partículas sólidas ou até mesmo a água, o que pode danificar a bomba injetora. No circuito do combustível, entre a bomba de alimentação e a bomba injetora está disposto um filtro duplo de combustível.

O processo de injeção de diesel não aproveita todo o combustível aspirado, sendo necessário retornar parte do óleo diesel para o tanque. Isto é realizado pela linha de retorno. De maneira semelhante à linha de aspiração, a linha de retorno também é composta de duas partes de tubulação rígida, com a sua respectiva conexão.

A.2 Comparação entre modelos

Uma vez que os motores dos dois modelos apresentam diferenças de potência e de construção, estas diferenças refletem-se no sistema de alimentação. Primeiro, as bombas injetoras são de modelos diferentes, conforme o catálogo do fabricante. Estas diferenças são especificações de fabricante em função do motor empregado.

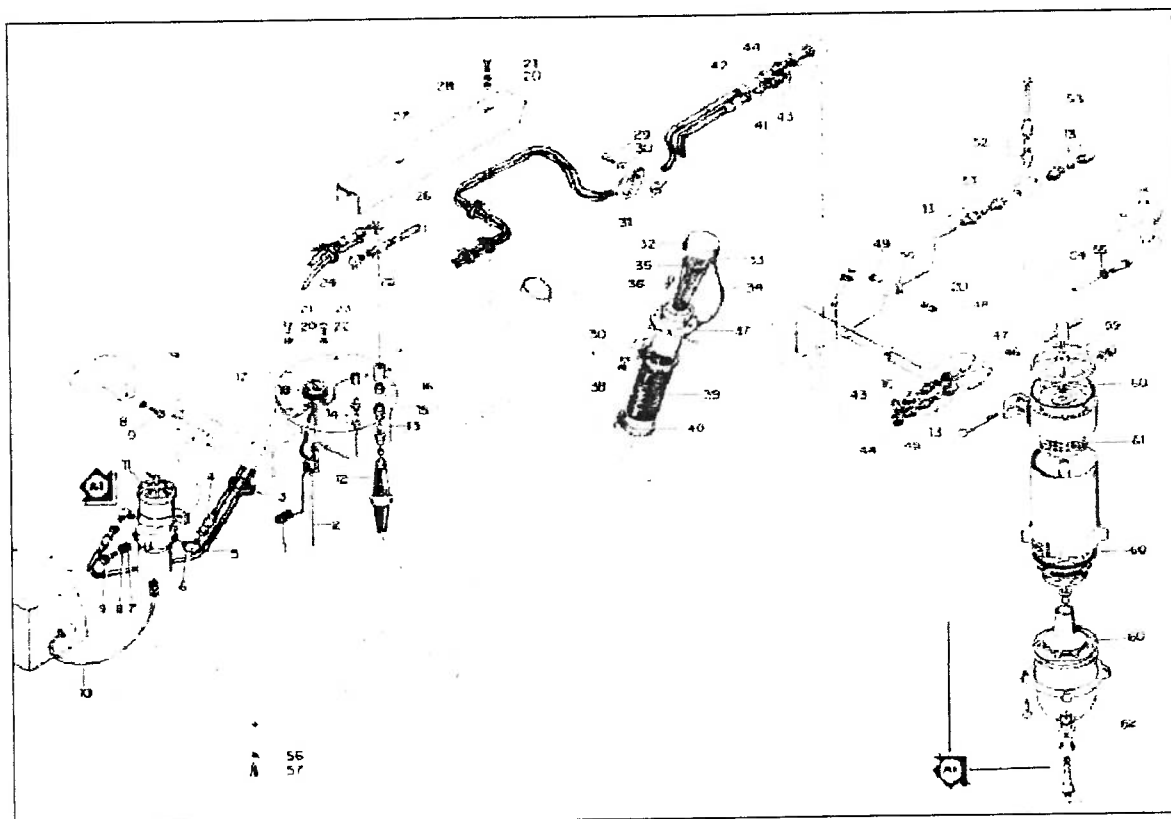


Figura A.2 – Sistema de alimentação empregado no modelo MVII, [50].

As linhas de aspiração e de retorno do combustível apresentam uma diferença significativa na parte localizada dentro do interior do veículo. Estas linhas são compostas por dutos rígidos de cobre no modelo antigo, enquanto que são compostas por dutos flexíveis (mangueiras) no modelo mais recente. Uma das razões desta montagem diferente é que no EE-9 CASCAVEL MVII, existe um dispositivo filtro-decantador junto ao assento do motorista. Este dispositivo é um filtro Racor modelo R90-30M M14, que pode ser verificado em destaque na Figura A.2.

APÊNDICE B

ANÁLISE DE MODOS E EFEITOS DE FALHA

PARA

O SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO

DO

EE-9 CASCAVEL MII

ITEM / TIPO DE ITEM	FUNÇÃO	MODOS DE FALHA	CAUSAS MAIS PROVÁVEIS	EFEITOS DA FALHA			DETECÇÃO DA FALHA	AÇÃO DE RECUPERAÇÃO
				LOCAL	PRÓXIMO NÍVEL	FINAL		
TAMPA DE COMBUSTÍVEL	Permitir entrada de diesel	Travamento	Oxidação, amassamentos	Perda do componente	X	X	Inspecção ao reabastecer.	Manutenção corretiva
	Vedar entrada do tanque	Infiltração	Trincas, furos, amassamentos	Perda do componente	Contaminação do diesel	Mau funcionamento do motor	Inspecção	
TELA PRÉ-FILTRO	Filtrar diesel	Rompimento da tela	Oxidação, mau uso, danos acidentais	Perda do componente	Contaminação do diesel	Mau funcionamento do motor	Inspecção	Troca de 100% dos componentes devido a ação do tempo sobre o material
		Oxidação	Ação do tempo associada a umidade	Perda de parte da tela	Contaminação do diesel	Mau funcionamento do motor		
MANGUEIRA DE ENTRADA	Conduzir diesel	Rompimento	Deformação, desgaste, envelhecimento do material	Vazamentos	Contaminação do diesel	Mau funcionamento do motor	Inspecção	Troca de 100% dos componentes devido a ação do tempo sobre o material
	Vedar entrada do tanque				Vazamento de diesel para o interior do carro			
TANQUE	Comportar diesel	Falha na pintura interna	Corrosão, ataque químico	Falha que tende a aumentar sua área	Contaminação do diesel	Mau funcionamento do motor	Inspecção do interior do tanque	Limpeza, jateamento, pintura e ensaio de estanqueidade
		Vazamento	Trincas, furos,	vazamentos	Perda de diesel	Risco de incêndio		
TAMPA ACESSO TANQUE	Permitir acesso ao tanque	Infiltração	Envelhecimento da junta de vedação	Entrada de água no tanque	Contaminação do diesel	Mau funcionamento do motor	A junta é perdida quando a tampa é aberta	Troca de 100% dos componentes devido a ação do tempo sobre o material
				Furo ou trincas	Envelhecimento do material	Erro de avaliação da autonomia		
BÓIA DE COMBUSTÍVEL	Marcar nível de diesel	Engripamento	Corrosão	Marcação incorreta	Impossível avaliar autonomia	Parada por falta de diesel	Inspecção simples	Troca de 100% dos componentes devido a ação do tempo sobre o material
		Falha elétrica	Mau contato	Não marcação	Bomba trabalha forçada			
PESCADOR	Captar diesel	Entupimento	Corpos estranhos no diesel	Perda de função	Entrada de ar no sistema	Parada da viatura	Inspecção, sendo necessário abrir a tampa do tanque	Troca de 100% dos componentes devido a ação do tempo sobre o material
		Corrosão	Vapor d'água	Furo				

ITEM / TIPO DE ITEM	FUNÇÃO	MODOS DE FALHA	CAUSAS MAIS PROVÁVEIS	EFEITOS DA FALHA			DETECÇÃO DA FALHA	AÇÃO DE RECUPERAÇÃO
				LOCAL	PROXIMO NÍVEL	FINAL		
DUTO DE COBRE	Suprir diesel	Empupamento	Acumulação de sujeira, incrustação, corpos estranhos	Perda de função	Bomba trabalha forçada	Parada da viatura	É feita por ensaio do tubo.	Manutenção corretiva
		Furo ou trincas	Quebra acidental ou fadiga do material	Entrada de ar no sistema	Falha na aspiração da bomba	Risco de incêndio		
		Travamento	Oxidação, amassamento	Vazamentos	Vazamento de diesel para o interior do carro	X		
CONEXÕES ROSCADAS	Ligar dutos	Vedação ineficaz	Trincas, amassamento	Perda do componente	Entrada de ar	Parada da viatura	Inspeção rigorosa	Manutenção corretiva
		Quebra	Manuseio	Perda do aperto devido na conexão	Vazamento	Risco de incêndio		
ABRACAÇADEIRAS	Prender componentes	Engripamento	Oxidação, ação do tempo		Elementos soltos	Vazamentos	Inspeção	Troca de 100% dos componentes
		Anassamentos	Acidentés	Afeta estética	X	X		
CHAPAS PROTETORAS	Proteger componentes Garantir estética	Saturação	Excesso de impurezas	Restrição a passagem de diesel	Bomba trabalha forçada	Parada da viatura	Troca preventiva	Troca de 100% dos componentes por serem itens de primeiro escalão
				Não filtragem	Impurezas em componentes mais sensíveis	Quebra de componentes como bomba injetora ou o motor		
				Ruptura do elemento				
FILTROS	Filtrar diesel	Saturação	Falta do dreno diário	Perda da função	Água no sistema	Quebra de componentes, dentro deles o motor	Inspeção	Troca de 100% dos componentes
		Corrosão	Contato com água	Contaminação do diesel	Impurezas no sistema			
DECANTADOR	Separar água							

ITEM / TIPO DE ITEM	FUNÇÃO	MODOS DE FALHA	CAUSAS MAIS PROVÁVEIS	EFEITOS DA FALHA			DETECÇÃO DA FALHA	ACÇÃO DE RECUPERAÇÃO
				LOCAL	PRÓXIMO NÍVEL	FINAL		
BOMBA ALIMENTAÇÃO	Bombear diesel	Perda de eficiência	Desgaste de componentes	Queda de rendimento	Falha no fornecimento de diesel	Perda de potência do motor	Inspeção e aferição das ajustagens	Componente possui manutenção especificada pelo fabricante, necessária para estado "tão bom quanto novo"
		Parada	Quebra do eixo comando	Quebra do componente	Interrupção do fornecimento de diesel	Parada da viatura		
BOMBA INJETORA	Controlar a injeção de diesel	Atraso do ponto de injeção	Falta de sincronia	Funcionamento indevido	Perda de potência	Elevado consumo de diesel	Excesso de fumaça	Devido a alta incidência de desregulações, é previsto a regulagem de bomba em bancada, com inspeção de seus componentes.
		Avanço do ponto de injeção	Falta de sincronia	Funcionamento indevido	Pressão elevada na câmara	Funcionamento ruidoso	Ruidos	
		Elemento desregulado	Uso, desgaste	Mau funcionamento	Alterações na partida ou na rotação do motor	Mau funcionamento do motor	Fumaça irregular	
		Folga excessiva no elemento injetor	Desgaste, abrasão por contaminação do diesel	Inutilização do elemento	Desregulagem na injeção	Consumo excessivo	Inspeção do componente	
		Quebra da mola do elemento	Fadiga	Quebra do elemento	Falha na injeção	Funcionamento anormal do motor	Inspeção do componente	
		Desgaste do regulador centrífugo	Desgaste de componentes móveis	Mau funcionamento	Alteração na rotação do motor	Perigo de rotação excessiva	Inspeção do componente	
		Pressão de abertura maior que normal	Regulagem, engripamento do bico, sujeira	Atraso na ignição	Queima irregular	Perda de potência, "batida" do cilindro	Observar comportamento do motor, especialmente a fumaça, se necessário, retirar o bico e ensaiar em bancada	
BICOS INJETORES	Injetar diesel na câmara de combustão	Pressão de abertura menor que normal	Desregulagem, mola quebrada	Excesso de combustível, abertura antecipada	Queima irregular	Perda de potência, "batida" do cilindro	Observar comportamento do motor, especialmente a fumaça, se necessário, retirar o bico e ensaiar em bancada	Componente possui manutenção especificada pelo fabricante, necessária para estado "tão bom quanto novo"
		Gotejamento do bico	Acúmulo de carvão	Excesso de diesel, jato irregular	Queima irregular	Perda de potência, fumaça preta		
		Excesso de combustível saindo do bico	Regulagem, sujeira					

APÊNDICE C

ANÁLISE DO SISTEMA ELÉTRICO

C.1 Descrição

O sistema elétrico do EE-9 CASCAVEL MII dispõe de dois circuitos elétricos: um circuito de 12 volts para alimentação do chassi e um sistema de 24 volts para alimentação da torre e do sistema de comunicações. Cada circuito tem seu próprio alternador e seu próprio conjunto de baterias. A Figura C.1 foi extraída do catálogo de peças do modelo, e apresenta o sistema elétrico do carro.

Em linhas gerais, o sistema elétrico do CASCAVEL não difere muito de um sistema elétrico adotado em veículos civis. Particularmente as diferenças residem na necessidade do uso de radiocomunicação e em uma disciplina de luzes a ser adotada para não denunciar a sua posição em algumas missões noturnas.

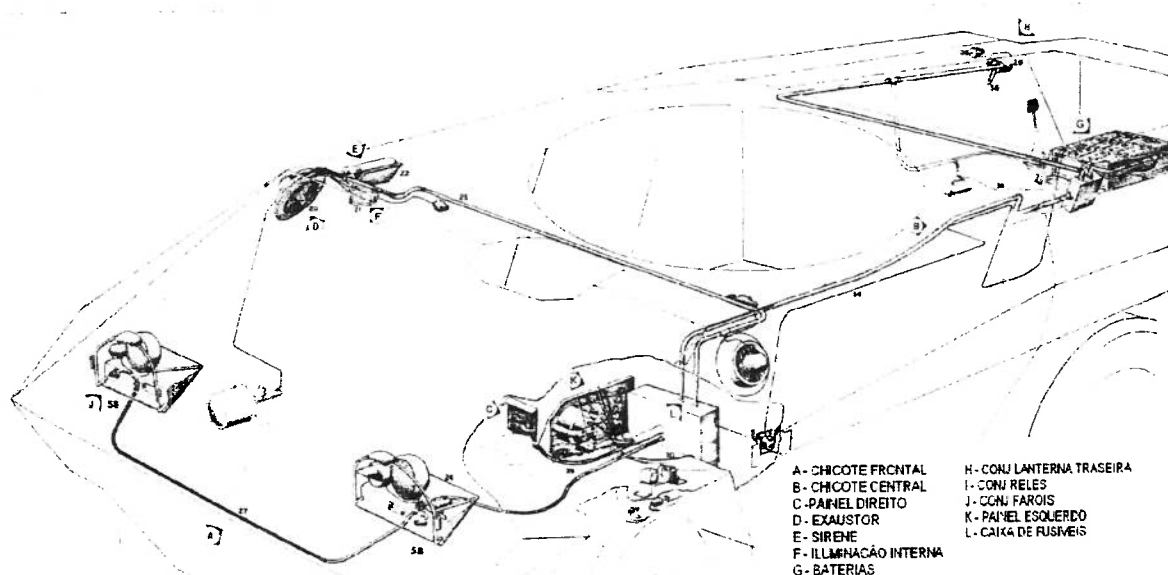


Figura C.1 – Sistema elétrico do EE-9 CASCAVEL MIL.

A descrição de um circuito elétrico de uma viatura pode ser iniciada a partir da geração de energia elétrica pelo alternador, que está conectado a uma polia. Através de uma correia, o movimento do motor faz girar a polia do alternador. O alternador ao girar produz energia elétrica. Como o seu nome diz, o alternador produz corrente alternada, que é retificada para poder ser empregada no circuito, que utiliza corrente contínua. O circuito é protegido por um regulador de voltagem.

O armazenamento de energia elétrica é realizado pelas baterias, que são pilhas eletrolíticas com uma capacidade de armazenamento (carga). O fornecimento de energia elétrica para o sistema é feito tanto pela bateria quanto pelo alternador. Quando o motor está funcionando, o alternador fornece energia elétrica ao sistema. Quando o motor não estiver funcionando, o ônus de fornecer energia passa a ser da bateria. Esta situação é encontrada no momento da partida do veículo.

O circuito elétrico é completado pelos seus consumidores. Devido à alta amperagem solicitada, o consumidor mais crítico em um sistema elétrico de uma viatura é o motor de arranque, também chamado de motor de partida. A sua função é vencer a inércia do motor,

fazendo-o girar e assim iniciar a partida. Os demais consumidores são lâmpadas, sensores, sirene, limpador do pára-brisas e o sistema de comunicação.

C.2 Comparação entre modelos

A configuração do sistema elétrico do chassi do modelo antigo em 12 volts o faz totalmente diferente do modelo mais moderno. Desta forma os alternadores, baterias, motores de partida e demais consumidores serão incompatíveis entre os dois modelos. Uma padronização do modelo antigo que adote a voltagem do modelo mais moderno significaria a troca da grande maioria dos componentes do sistema.

Um importante objetivo deste ponto de análise é também verificar as diferenças quanto à disposição e ao emprego dos dois circuitos, estabelecendo critérios de diferenciação em termos de confiabilidade, manutenibilidade e capacidade que auxiliem na decisão de se recuperar o sistema antigo ou em modernizar para o sistema mais atual.

O EE-9 CASCAVEL MII emprega dois alternadores, um para cada voltagem. Desta forma é utilizado um alternador de 14 volts e 55 Ah para o circuito do chassi e um alternador de 28 volts e 35 Ah para alimentar a torre. Quanto ao carro mais moderno, é importante ressaltar que a recuperação deste modelo estabeleceu pequenas alterações na configuração original do sistema elétrico. Nesta ocasião, o alternador original de 28 volts e de 55 Ah foi trocado por um modelo de 75Ah, em virtude de inexistência do alternador original no mercado.

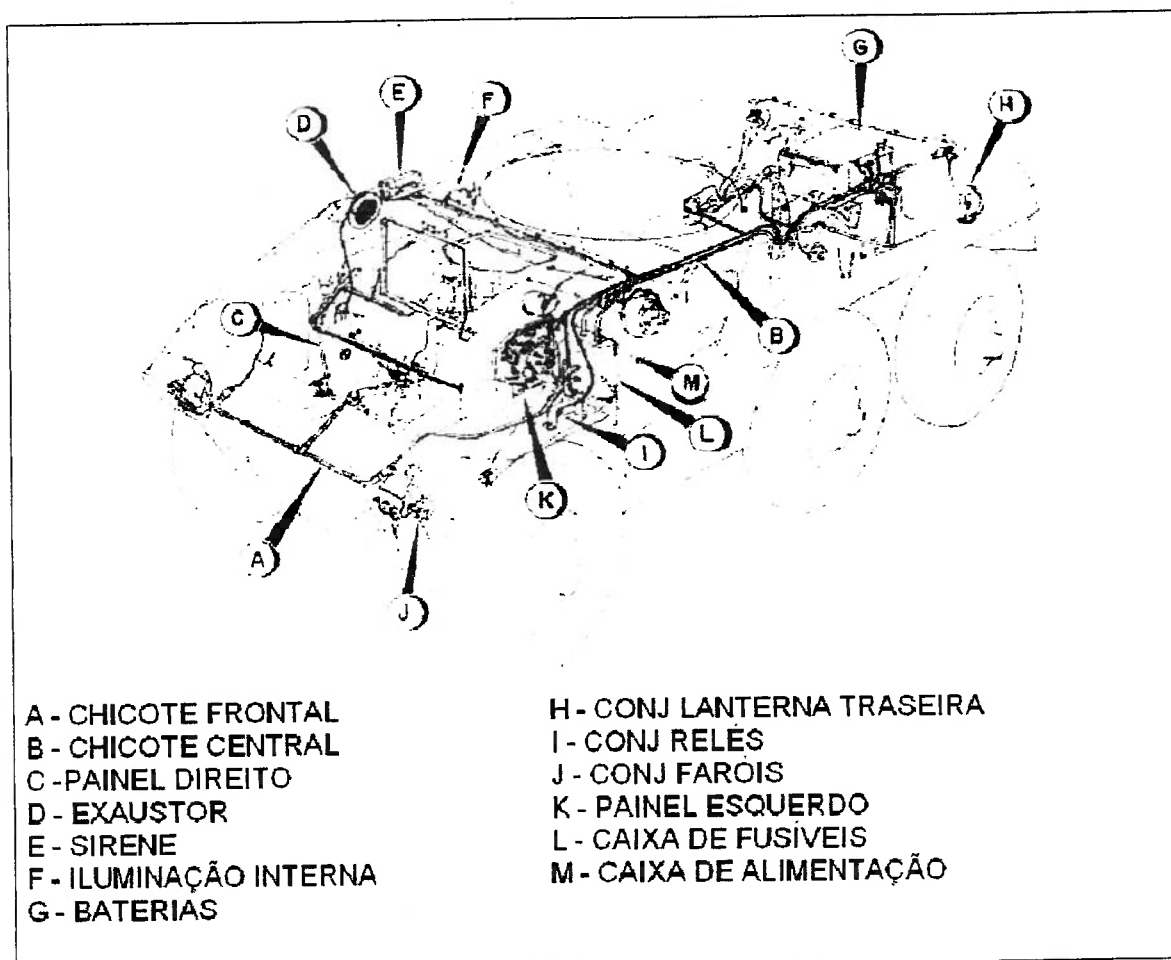


Figura C.2 – Sistema elétrico do EE-9 CASCAVEL MVII.

As baterias originalmente empregadas no EE-9 CASCAVEL MII são de concepção antiga, o que requer a verificação e complementação do nível de eletrólito. São dois conjuntos de baterias. O primeiro conjunto é formado por apenas uma bateria de 12 V e 135 Ah. O segundo conjunto, que trabalha a 24 volts, é formado por duas baterias de 12 volts e 54 Ah. Existem duas chaves gerais para cada voltagem e a partida do motor é realizada através de um botão de ignição. No carro mais moderno, como modificação conseqüente de aperfeiçoamento tecnológico das baterias, houve a implantação do uso de baterias seladas, de baixa manutenção, que não requerem alguns procedimentos rotineiros de manutenção preventiva e possuem indicadores de carga.

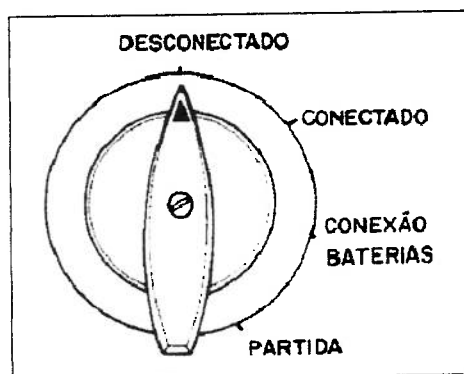


Figura C.3 – Chave de partida do EE-9 CASCAVEL MVII.

O modelo mais moderno, o EE-9 CASCAVEL MVII, emprega quatro baterias de 12 volts. A Figura C.2 apresenta o sistema elétrico deste modelo. Para atingir a voltagem de serviço de 24 volts é preciso dispô-las duas a duas em série, o que resulta em dois conjuntos em paralelo. Através da chave de partida é possível otimizar a utilização das baterias. A chave de partida do EE-9 CASCAVEL MVII pode ser observada na Figura C.3. Na posição “DESCONECTADO”, o sistema elétrico estará desligado. Para ligar o sistema, o motorista girará a chave para a posição “CONECTADO”. Nesta situação, ocorrerá a utilização de apenas um conjunto de baterias. Na posição “CONEXÃO BATERIAS”, haverá o emprego de dois conjuntos. Um componente denominado caixa de alimentação permite equacionar o uso dos dois conjuntos de baterias, principalmente na partida da viatura, quando a caixa seleciona o conjunto de maior carga para ser empregado no motor de arranque. A partida da viatura, que é um momento crítico quando em operação, é feita pelo motorista ao girar a chave até a posição de “PARTIDA”, retornando à posição anterior após o início de funcionamento do motor. Desta forma, o carro trafegará com o emprego de dois conjuntos de baterias. Quando estacionado, o motorista deve retornar a chave de partida até a posição “CONECTADO”, pois nesta situação pode até acontecer a completa descarga de um conjunto de baterias que, graças a caixa de alimentação, a partida será garantida pelo conjunto que permanece na reserva.

APÊNDICE D

ANÁLISE DE MODOS E EFEITOS DE FALHA

PARA

O SISTEMA ELÉTRICO

DO

EE-9 CASCAVEL MII

ITEM / TIPO DE ITEM	FUNÇÃO	MODOS DE FALHA	CAUSAS MAIS PROVÁVEIS	EFEITOS DA FALHA			DETECÇÃO DA FALHA	ACÇÃO DE RECUPERAÇÃO
				LOCAL	PRÓXIMO NÍVEL	FINAL		
Alternador	Gerar electricidade	Falta de geração de electricidade	Desgaste nas escovas	Perda da função	Descarga das baterias	Falta de electricidade	Alerta no painel	Substituição dos elementos de desgaste (anéis, escovas, etc)
		Travamento do alternador	Quebra de componentes móveis	Perda da função	Descarga das baterias	Falta de electricidade	Alerta no painel	Manutenção dos componentes móveis do alternador
		Curto-circuito	Contato entre componentes, falha no isolamento	Perda da função	Descarga das baterias	Falta de electricidade	Alerta no painel	Manutenção do enrolamento e demais componentes do alternador
Correia do alternador	Girar alternador (movimento do motor)	Voltagem inadequada	Falha no regulador de voltagem	Perda da função	Tensão inadequada	Queima de componentes ou descarga das baterias	Alerta no painel	Manutenção do regulador de voltagem
		Queima do alternador	Alternador trabalhando em vazio	Perda do componente	Descarga das baterias	Falta de electricidade	Alerta no painel	Este tipo de falha é comum no alternador de 24 volts
		Rompimento	Tempo de uso, instalação	Perda do componente	Parada do alternador e descarga das baterias	Falta de electricidade	Alerta no painel	Item de troca de primeiro escalão Troca 100%
Bateria	Armazenar e fornecer electricidade	Folga excessiva	Falta de aperto do elemento tensor	Não acionamento da polia do alternador	Parada do alternador e descarga das baterias	Falta de electricidade	Alerta no painel	Item de troca de primeiro escalão Troca 100%
		Não carregamento	Mau contato nos bornes	Perda da função	Falta de electricidade quando a viatura está parada	Imobilização da viatura	Verificação de pouca ou nenhuma carga quando na partida. Verificação da causa da falha por inspeção	Item de troca de primeiro escalão Troca 100%
			Saturação do eletrólito	Perda da função	Descarga da bateria, falta de electricidade	Imobilização da viatura	Inspeção visual	Manutenção correctiva
Cabo de bateria	Conduzir electricidade	Interrupção do circuito	Deterioração do cabo	Perda da função	Inflamação	Risco de incêndio		
		Curto-circuito	Contato indevido	Perda de carga, aquecimento				

ITEM / TIPO DE ITEM	FUNÇÃO	MODOS DE FALHA	CAUSAS MAIS PROVÁVEIS	EFEITOS DA FALHA			DETECÇÃO DA FALHA	AÇÃO DE RECUPERAÇÃO
				LOCAL	PRÓXIMO NÍVEL	FINAL		
Chicote	Conduzir electricidade	Interrupção do circuito Curto-circuito	Deterioração do cabo Contato indevido	Perda da função Perda de carga, aquecimento	falta de electricidade Inflamação	Perda de componentes Risco de incêndio	Inspeção por instrumentação	Manutenção corretiva
Caixa de fusíveis	Proteger componentes							Elementos de primeiro escalão Troca 100%
Motor de partida	Acionar motor	Não acionamento ou acionamento fraco	Escovas sujas ou soltas Relés danificados Dentes do pinhão danificados	Perda de função	Motor não é iniciado	Inobilização da viatura	Observação da falha na partida. Necessário realizar maiores inspeções para depanagem do problema.	Troca ou manutenção dos componentes do motor de partida
		engrenamento contínuo após a partida	Relés danificados	Possibilidade de quebra do componente	Desperdício de electricidade	Parada da viatura para não quebrar componente		
		Não desengrenamento após a partida	Mola de retrocesso quebrada	Quebra do componente	Dano ao volante do motor	Parada da viatura		
Instrumentos de painel	Prover informações	Sem indicação	Quebra de componentes	Perda da função	Impossível controlar componente	Possibilidade de falha do componente controlado	Após a falha Somente com aferição	Troca 100% (Item de responsabilidade)
		Indicação falsa	Má calibração	Indicação enganosa	Controle falso			
lâmpadas	Prover iluminação	Queima	Tempo de vida útil esgotada, sobrevoltagem	Perda do componente	Depende da localização da lâmpada	Visual após a falha	Ação corretiva de primeiro escalão	Elementos de primeiro escalão Troca 100%
Lanternas e faróis (carraça e vidros)	Proteger lâmpadas	Deformações e/ou quebras	Acidentes	Perda do componente	Exposição da lâmpada a eventuais acidentes	Prejudica a estética	Inspeção	Manutenção corretiva
Sirene	Prover alarme sonoro	Travamento Queima Não funcionamento	Quebra ou danos em componentes móveis Curto-circuito entre componentes Mau contato elétrico	Perda do componente	Perda da sirene	Afeta a segurança	Inspeção e teste	Troca 100% (Item de grande desgaste)

ITEM / TIPO DE ITEM	FUNÇÃO	MODOS DE FALHA	CAUSAS MAIS PROVÁVEIS	EFEITOS DA FALHA			DETECÇÃO DA FALHA	ACÇÃO DE RECUPERAÇÃO
				LOCAL	PRÓXIMO NÍVEL	FINAL		
Exaustores / ventiladores	Prover ventilação	Travamento	Quebra ou danos em componentes móveis	Perda do componente	Prejuízo na ventilação do carro (especialmente quando no tiro)	Aficia o conforto	Inspeção e teste	Troca 100% (item de grande desgaste)
		Queima	Curto-circuito entre componentes					
		Não funcionamento	Mau contato elétrico					
Interruptores	Fechar e abrir contato elétrico	Mau contato	Desgaste	Perda do componente	Circuito de controle fica aberto ou fechado	Não acionamento	Inspeção e teste	Manutenção corretiva
		Curto-circuito	Contato indevido					
Conectores	Fechar e abrir contato elétrico	Mau contato	Desgaste	Perda do componente	Circuito fica aberto ou fechado	Não acionamento	Inspeção e teste	Manutenção corretiva
		Curto-circuito	Contato indevido					
Coletor da torre	Conduzir electricidade para torre, possibilitando giro livre da mesma	Mau contato	Desgaste	Perda do componente	Falha no fornecimento de electricidade	Não operação de componentes	Inspeção e teste	Manutenção corretiva
		Curto-circuito entre placas	Contato indevido					