



**MINISTÉRIO DA DEFESA  
EXÉRCITO BRASILEIRO**



**INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA  
ESPECIALIZAÇÃO EM TRANSPORTE FERROVIÁRIO DE CARGAS**

**BRUNO FRAGOSO PORTUGAL**

**UTILIZAÇÃO DE ÁRVORE DE FALHAS COMO SUBSÍDIO PARA  
MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE DE LOCOMOTIVAS**

Rio de Janeiro  
2006

# **INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA**

**Bruno Fragoso Portugal**

UTILIZAÇÃO DE ÁRVORE DE FALHAS COMO SUBSÍDIO PARA  
MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE DE LOCOMOTIVAS

Monografia de conclusão da  
Especialização em Transporte  
Ferroviário de Cargas

Orientador: Prof. Msc. Marcelo  
Sucena

Tutor: Filipe de Castro Rodrigues

Rio de Janeiro

2006

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho ao meu Deus e à minha querida família.

## **AGRADECIMENTOS**

Este trabalho não poderia ser terminado sem a ajuda de diversas pessoas às quais prestamos nossa homenagem:

Aos meus pais pelo incentivo em todos os momentos da minha vida.

Ao meu orientador, que me mostrou os caminhos a serem seguidos.

A todos os professores e colegas, que ajudaram de forma direta ou indireta na conclusão deste trabalho.

*Um dos sinais comuns dos homens de gênio é representar  
quase plenamente tudo quanto distingue o século em que vivem.*

## SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	3
AGRADECIMENTOS .....	4
SUMÁRIO .....	6
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	8
LISTA DE TABELAS.....	9
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS .....	10
RESUMO.....	11
ABSTRACT.....	12
Capítulo 1 Introdução .....	13
1.1 Apresentação Institucional .....	13
1.2 Importância da Manutenção de Locomotivas na MRS Logística AS.....	14
1.3 Objetivos .....	17
Capítulo 2 Situação Atual da Manutenção da MRS.....	18
2.1 Filosofia de Manutenção .....	18
2.1.1 Manutenção Preventiva .....	18
2.1.2 Manutenção Preditiva.....	20
2.2 Tipos de Manutenção de Locomotivas .....	20
A) Inspeção de Viagem:.....	20
B) Inspeção Semestral .....	20
2.3 Indicadores de Manutenção.....	21
Capítulo 3 Revisão Bibliográfica – O Sistema Ferroviário de Cargas.....	25
3.1 Sistemas Básicos para Operacionalização da Ferrovia.....	25
3.1.1 Linha Férrea.....	25
3.1.2 Sistema de Sinalização Comunicação e Controle de Tráfego .....	27
3.1.3 Material Rodante.....	30
3.2 A Locomotiva Diesel-Elétrica.....	34
3.2.2. Componentes Elétricos.....	39
3.3 Manutenção Centrada em Confiabilidade.....	41
3.3.1 Introdução.....	41

3.3.2 Objetivos .....	42
3.3.3 Etapas para implementação da Metodologia de Manutenção Centrada em Confiabilidade .....	42
Categoria “A” .....	47
Passo 5: Implementação das Tarefas de Manutenção.....	47
3.4 Árvore de Falhas.....	49
3.4.1 Introdução .....	49
3.4.2 Símbolos e Definições para Construção de Árvore de Falhas.....	51
3.4.3 Construção de Árvore de Falhas .....	52
3.4.4 Análise da Árvore de Falhas.....	52
Capítulo 4 – Aplicação Prática de Árvores de Falhas .....	54
4.1 – Sub-sistema Analisado .....	54
4.2 Árvore de Falhas.....	58
4.3 Análise Qualitativa .....	61
5. Conclusões .....	62
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA .....	65

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 – THP – Aguardar Defeito de Locomotiva. Fonte: Sislog Consultas .....	15
Figura 1.2 – Quantidade de Locomotivas por Oficina. Fonte: Sislog Consultas.....	16
Figura 2.1 – Ciclo de Manutenção .....	18
Figura 2.2 – Curva da Banheira .....	19
Figura 2.3 – Manutenções Preventivas em 2005. Fonte: PCM-Mec .....	22
Figura 2.4 – Custo Total por Tipo de Manutenção. Fonte: Gerência de Orçamento e Custos da MRS.....	22
Figura 2.5 – Defeitos e Reboques em Locomotivas em 2006 – Fonte: BaaN .....	23
Figura 2.6 – MKBF Médio da Frota MRS. Fonte: CLM .....	24
Figura 2.7 – K médio com gravidade da Frota MRS em 2006. Fonte: PCO.....	24
Figura 3.1- Árvore de Decisão (RCM - Eletric Power Research Intitute / EPRI NP-4795) ....	45
MP = Manutenção Preventiva e MPd = Manutenção Preditiva.....	45
Figura 4.1 – Diagrama do Sistema de Locotrol .....	54
Figura 4.2 – Árvore de Falhas para a Falha de Link .....	59
Figura 4.3 – Etapas do Método de Cortes Mínimos.....	61



## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 3.1 – Classes de Criticidade.....	47
Tabela 3.2 – Elementos de Árvore de Falha.....	51

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS**

CCO	Centro de Controle Operacional
CLM	Centro de Logística da Manutenção
EBV	Válvula de Freio Eletrônico
EIPM	Módulo Ampliado do Processador Integrado
EPCU	Unidade de Controle Eletro-Pneumático
FMEA	Análise dos Modos de Falha
LEB	Freio Eletrônico Locotrol
MCC	Manutenção Centrada em Confiabilidade
MKBF	Quilometragem Média entre Falhas
OIM	Módulo de Interface do Operador
PCM-Mec	Planejamento e Controle da Manutenção do Material Rodante
PCO	Planejamento e Controle da Operação
RIM	Módulo de Rádio
TIM	Módulo de Interface da Linha de Comando do Trem
VMA	Velocidade Máxima Autorizada

## **RESUMO**

A MRS Logística SA está com projeções agressivas de crescimento em volume de transporte nos próximos anos. Isto exigirá que todos os processos sejam otimizados para que o crescimento ocorra de maneira estável e com eficiência. As áreas de Manutenção tem papel fundamental neste crescimento pois será responsável pela confiabilidade dos ativos.

A Manutenção Centrada em Confiabilidade será a metodologia que fará com que esse objetivo seja atingido pelas áreas de manutenção. Para que os resultados da sua implementação sejam atingidos, ferramentas de suporte deverão ser utilizadas e uma das principais é a Árvore de Falhas. A árvore de falhas terá como objetivo auxiliar na detecção e solução de falhas visando a manutenção da operação dos sub-sistemas segundo os critérios de projeto.

Este trabalho visa avaliar a utilização da árvore de falhas dentro desse contexto com a utilização de uma aplicação prática no Sistema do Locotrol para validação.

## **ABSTRACT**

The MRS Logística SA has an aggressive growing projection of transportation for de coming year. It will require that all processes work in an optimized way to obtain an stable and efficient growth. The maintenance areas have fundamental importance in this growth because they will be responsible for the resources reliability.

The Reliability Centered Maintenance will be the methodology that will make this objective be accomplished by the maintenance areas. The RCM requires some tools to obtain the predicted results, one of the most important is the Fault Tree Analysis. Its objective will be helping in the fault analysis process with the focus on the operational conditions of the resources.

This study will evaluate the usage of Fault Tree Analysis in this context and the practical application will be in the Locotrol System.

## Capítulo 1 Introdução

### 1.1 Apresentação Institucional

[M1] Comentário:

A MRS Logística é uma concessionária que controla, opera e monitora a Malha Sudeste da Rede Ferroviária Federal (em liquidação). A empresa atua no mercado de transporte ferroviário desde 1996, quando foi constituída, interligando os estados do Rio de Janeiro, Minas Gerais e São Paulo. São 1.674 Km de malha - trilhos que facilitam o processo de transporte e distribuição de cargas numa região que concentra aproximadamente 65% do produto interno bruto do Brasil e onde estão instalados os maiores complexos industriais do país. Pela malha da MRS também é possível alcançar os portos de Sepetiba e de Santos (o mais importante da América Latina).

O foco das atividades da MRS está no transporte ferroviário de cargas gerais, como minérios, produtos siderúrgicos acabados, cimento, bauxita, produtos agrícolas, coque verde e contêineres; e na logística integrada, que implica no planejamento, na multimodalidade e no *transit time* definido. Para desenvolver suas atividades com eficácia, a MRS trabalha com equipamentos modernos de localização via satélite com posicionamento de trens em tempo real (GPS), sinalização defensiva, detecção de problemas nas vias com apoio de raios-X e ultrassom para detectar fraturas ou fissuras nos trilhos.

Criada com metas bem definidas sobre preservação do meio ambiente, a MRS implementa vários programas de cunho ambiental: recuperação de áreas degradadas com emprego de revestimentos vegetais, gerenciamento de resíduos e adoção de medidas preventivas para eliminação de processos poluidores, são alguns exemplos. A responsabilidade social também merece destaque nas ações da MRS. A empresa implanta uma série de medidas sobre procedimentos operacionais, capacitação de recursos humanos, conscientização e emprego de tecnologias, para garantir o transporte eficiente e seguro não só de suas cargas, mas também de seus funcionários.

O objetivo da MRS para os próximos anos é alcançar o topo da eficiência operacional. Diferenciais competitivos, reestruturação de processos existentes para conquista de novos clientes, investimento em pessoal e ampliação da participação no mercado de carga geral, estão em pauta para fazer da MRS a melhor operadora logística ferroviária do país.

## **1.2 Importância da Manutenção de Locomotivas na MRS Logística AS**

Para atingir a meta de transporte de 113 milhões de toneladas em 2006, sendo cerca de 75% *Heavy Haul* e 25% Carga Geral, a MRS conta com um parque de material rodante de 11.895 Vagões e 398 Locomotivas. Esses ativos são responsáveis pelo transporte das mercadorias que geram receita para a empresa, transportam cargas perigosas e atravessam centenas de comunidades. Portanto, são equipamentos que devem estar em plena confiabilidade operacional para cumprir o objetivo de entregar a carga com segurança e dentro do prazo definido para os clientes finais. Além disso, a MRS irá atingir a meta mencionada anteriormente com a aquisição de novos ativos e com a utilização otimizada dos ativos existentes.

Portanto, fica evidente que, cada vez mais, a Gestão de Ativos deverá disponibilizar para a operação Locomotivas e Vagões com elevada confiabilidade e disponibilidade, tornando indispensável a utilização de técnicas de manutenção aprimoradas visando reduzir ao máximo as falhas e o tempo de indisponibilidade dos mesmos.

Atualmente, as falhas inesperadas em Locomotivas geram grandes impactos operacionais culminando no atraso do trem. O Trem Hora Parado (THP) é um indicador que mede o impacto dessas avarias para a circulação do trem. Na figura 1.1, capturada de uma das telas do sistema informatizado de apropriação de ocorrências da MRS denominado Sislog Consultas, apresenta-se o valor de THP devido a falha de locomotivas. Este valor é excessivo tendo em vista os cenários agressivos de transporte.





De:	01/2006	até	07/2006	Família:			
Atividades:	601 - AGUARDAR - DEFEITO DE LOCOMOTIVA						
	<b>Atividade</b>			<b>Tempo Total (HH:MM)</b>			
	▶ 601 - AGUARDAR - DEFEITO DE LOCOMOTIVA			2768h 39m			

Figura 1.1 – THP – Aguardar Defeito de Locomotiva. Fonte: Sislog Consultas

O impacto dessas paradas indevidas do trem torna-se ainda mais expressivo quando converte-se para valores financeiros. O custo de oportunidade médio dos trens da MRS é cerca de R\$ 2.000,00 por hora, portanto, a MRS deixou de faturar em 2006 mais de 5 milhões de reais. Este número é ainda maior quando é somado a esta conta o tempo dos trens parados devido a parada do trem a frente. Computando-se este valor, chega-se a uma perda de faturamento superior a 8 milhões de reais.

Além do custo devido a perda de faturamento e a uma possível realização do transporte, tem-se muitos custos diretos relacionados às falhas de locomotivas, tais como: custo com aquisição e manutenção de locomotivas para suprir esta indisponibilidade, custos Operacionais (Pessoal, Manobras e Cruzamentos) e custos de manutenção (Pessoal, Componentes e Estrutura).

A Figura 1.2 mostra um retrato atual da situação das Oficinas de Locomotivas. São 57 máquinas, ou seja, 14% de imobilização em relação ao total destes ativos. Geralmente, essas máquinas sofrem intervenções pesadas, tanto corretivas como preventivas, que além de serem muito onerosas, imobilizam as locomotivas, em alguns casos, por períodos superiores à 30 dias.

Oficina	Loco	Modelo	Oficina
Total 57	9053093	GM-SD40/3	FBK - BARRA PIRAI/OMD
	9032746	GE-U23C	FBX - BARRA PIRAI/PA2D
	9052038	GM-SD40/2	FBX - BARRA PIRAI/PA2D
	9052178	GM-SD40/2	FBX - BARRA PIRAI/PA2D
	9052216	GM-SD40/2	FBX - BARRA PIRAI/PA2D
	9052259	GM-SD40/2	FBX - BARRA PIRAI/PA2D
	9052267	GM-SD40/2	FBX - BARRA PIRAI/PA2D
	9032550	GE-U23C	FCK - CONS. LAFAIETE / OMD
	9032762	GE-U23C	FCK - CONS. LAFAIETE / OMD
	9032878	GE-U23C	FCK - CONS. LAFAIETE / OMD
	9033092	GE-U23C	FCK - CONS. LAFAIETE / OMD
	9033271	GE-U23CE	FCK - CONS. LAFAIETE / OMD
	9033394	GE-U23C	FCK - CONS. LAFAIETE / OMD
	9033432	GE-U23C	FCK - CONS. LAFAIETE / OMD
	9036326	GE-U23CA	FCK - CONS. LAFAIETE / OMD
	9037110	GE-C30-7MP	FCK - CONS. LAFAIETE / OMD
	9037535	GE-C30-8	FCK - CONS. LAFAIETE / OMD
	9038540	GE-C36-E	FCK - CONS. LAFAIETE / OMD
	9038248	GE-C36-7	FEE - ORD-CONTAGEM/GE.PAR/L
	9038272	GE-C36-7	FEE - ORD-CONTAGEM/GE.PAR/L
	9038353	GE-C36-7	FEE - ORD-CONTAGEM/GE.PAR/L
	9038868	GE-C36-ME	FEE - ORD-CONTAGEM/GE.PAR/L
	9038876	GE-C36-ME	FEE - ORD-CONTAGEM/GE.PAR/L
	9033351	GE-U23CE	FHL - ORD-HORTO FLORESTAL/ORD
	9037331	GE-SF30-C	FHL - ORD-HORTO FLORESTAL/ORD

Figura 1.2 – Quantidade de Locomotivas por Oficina. Fonte: Sislog Consultas

Essas intervenções também são refletidas nos custos com manutenção, como pode ser observado na Figura 2.4. Atualmente, a MRS trabalha com manutenção preventiva baseada em intervalo de tempo. Essa técnica, além de substituir desnecessariamente componentes em condições de operação, retorna-se o equipamento à fase de desgaste inicial, fase esta que tem índice de falha elevado. Este assunto será abordado com maior profundidade no Capítulo 2.

Portanto, através da análise deste cenário fica evidente a necessidade da implementação de técnicas de manutenção aprimoradas visando manter as locomotivas desempenhando a sua função principal que é tracionar os trens de carga com confiabilidade dentro dos parâmetros de projeto. A Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) é a técnica que tem como objetivo atingir justamente os anseios mencionados anteriormente, podendo-se utilizar a técnica “Árvore de Falhas” como subsídio para aperfeiçoamento da análise.



### **1.3 Objetivos**

O objetivo principal deste trabalho é avaliar a utilização da Árvore de Falhas em Locomotivas Diesel-Elétricas levando-se em consideração a aplicabilidade na Manutenção Centrada em Confiabilidade.

Como objetivo secundário, pode-se citar:

- Apresentar conceitos, métodos e tarefas de manutenção com ênfase na Manutenção Centrada em Confiabilidade.

|



Essa filosofia de manutenção surgiu após a Segunda Guerra Mundial pois as indústrias necessitavam aumentar a produtividade e reduzir as falhas e, conseqüentemente, a parada da produção. Podem-se citar os seguintes benefícios desta metodologia: simplicidade na execução por ter escopo pré-definido, possibilidade de conciliação da execução da manutenção durante ociosidade do equipamento, garantir a substituição periódica de componentes críticos e controle de aquisição de materiais devido às trocas obrigatórias. Em contrapartida, o custo com esse tipo de manutenção torna-se muito elevado, pois ao adotar um critério de substituição de componentes baseado no tempo, corre-se o risco de trocar componentes ainda em condições de desempenharem a sua função. Já numa situação oposta, corre-se o risco de não substituir componentes já danificados pois ainda estão entre o período de trocas. Isso ocorre porque nesse caso, não se leva em consideração a severidade da solicitação ou algum critério para medição do desempenho. Outra desvantagem desse método está na redução da confiabilidade do equipamento logo após a realização da revisão devido às falhas prematuras, como pode ser evidenciado na figura 2.2. Pode-se observar que durante as primeiras horas de operação do equipamento a taxa de falhas é alta. Com a operação continuada a taxa de falha tende a reduzir até que atinge a faixa de desgaste onde a taxa de falhas volta a subir devido à proximidade do fim da vida útil do equipamento.

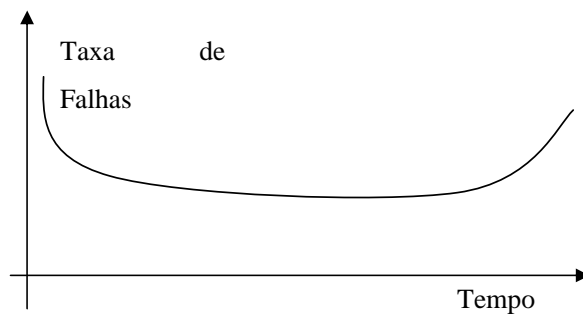


Figura 2.2 – Curva da Banheira

### 2.1.2 Manutenção Preditiva

Durante as manutenções preventivas executam-se algumas atividades voltadas para o monitoramento dos equipamentos e detecção de falhas, caracterizando assim atividades de Manutenção Preditiva. São elas:

- A) Análise de Óleo;
- B) Análise de Vibrações Mecânicas; e
- C) Análise Termográfica.

## 2.2 Tipos de Manutenção de Locomotivas

A seguir serão apresentadas as Rotinas de Manutenção Preventiva das Locomotivas Diesel-Elétricas de Carga da MRS:

### A) Inspeção de Viagem:

A inspeção de viagem é realizada quinzenalmente e tem como objetivo realizar uma verificação dos níveis de óleo e água, verificação de vibração e de ruídos anormais, verificação de folgas, limpeza de filtros, verificação do funcionamento do compressor, verificação de vazamentos, conferência de componentes elétricos e conferência de isolamento.

### B) Inspeção Semestral

Esta inspeção é realizada semestralmente e tem como objetivo realizar uma verificação semelhante à de Viagem acrescida de execução de Teste de Carga, Teste de Transferência, Teste do Painel MTP, Teste de Aceleração, Teste de Dinâmico, Teste de *Rails*, Teste de Patinação, inspeção do motor diesel, entre outros.

#### C) Revisão Anual

A Revisão Anual só difere da Inspeção Semestral pelo fato de substituir as escovas dos motores elétricos dos sistemas auxiliares.

#### D) Revisão de quatro Anos

A Revisão de quatro Anos é caracterizada pela desmontagem e recuperação completa do Motor Diesel e de seus auxiliares.

#### E) Revisão Geral

A Revisão Geral, também chamada de *Over Haul*, é uma revisão em que o equipamento é totalmente desmontado e todos os componentes são enviados para revisão. O objetivo principal desta revisão é de recuperar as características de projeto da Locomotiva para operar por um novo ciclo de 04 anos.

### **2.3 Indicadores de Manutenção**

Neste item serão apresentados alguns indicadores de manutenção apropriados em 2005 e 2006.

As figuras 2.3 e 2.4 mostram a quantidade de manutenção realizadas na Frota de Locomotivas da MRS e o custo total associado. Esses gráficos denotam que, mesmo com a execução de manutenções preventivas com periodicidade reduzida, o índice de ocorrências de tráfego é elevado, conseqüentemente, aumentando muito o custo com manutenção corretiva. Isso é evidenciado analisando-se o gráfico da figura 2.5 onde fica evidente o elevado número de defeitos de tráfego e reboques, na média são 03 reboques diários e cerca de 19 defeitos. Essas ocorrências afetam diretamente o resultado da companhia pois gera parada do trem como mostrado na figura 1.1.

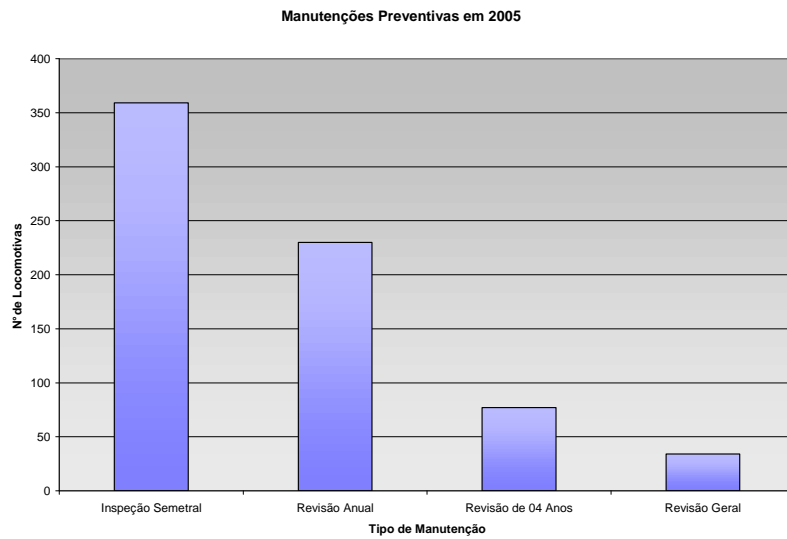


Figura 2.3 – Manutenções Preventivas em 2005. Fonte: PCM-Mec

[M2] Comentário:

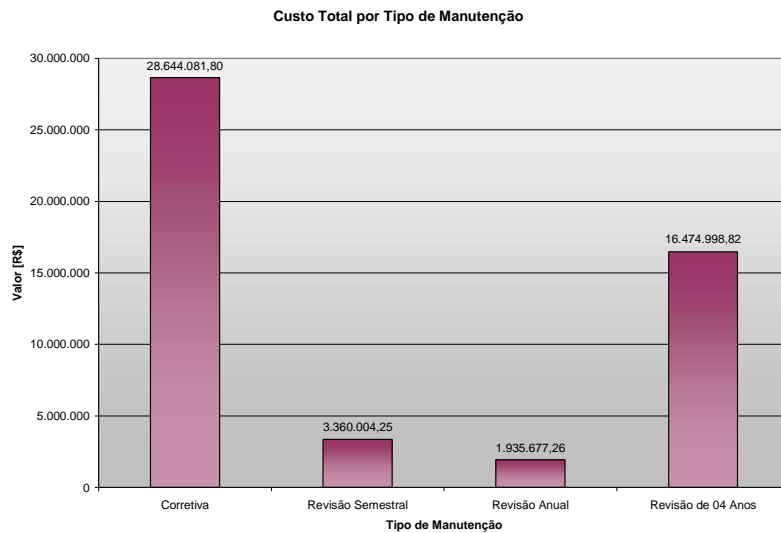


Figura 2.4 – Custo Total por Tipo de Manutenção. Fonte: Gerência de Orçamento e Custos da MRS

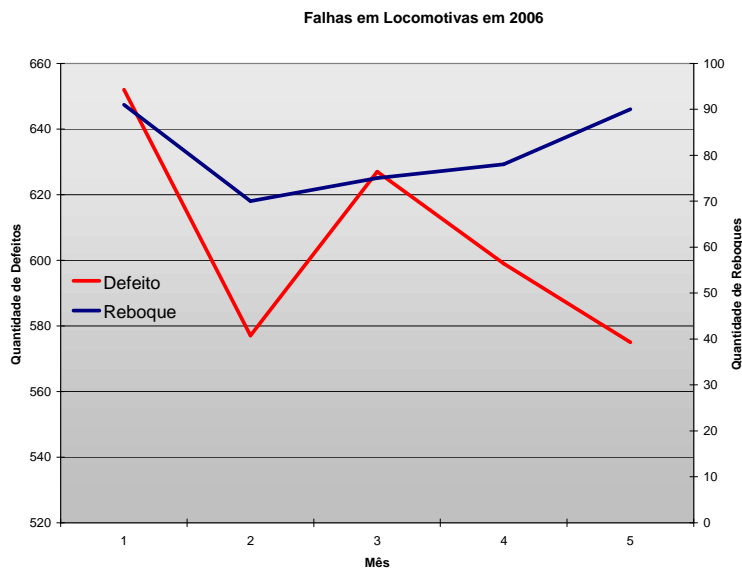


Figura 2.5 – Defeitos e Reboques em Locomotivas em 2006 – Fonte: BaaN

Outra maneira de avaliar a manutenção de locomotivas está na análise da confiabilidade das máquinas. Na MRS, a confiabilidade é medida através de dois indicadores, o MKBF e o Kmédio. O MKBF mede a quilometragem média de operação da locomotiva antes da ocorrência de um reboque. Esse indicador não leva em consideração os defeitos que não geram reboque. Os defeitos, devido ao volume de ocorrências, chegam a ter impacto ainda mais negativo no transporte do que o reboque. O indicador utilizado para gerenciar esse impacto é o K médio. Esse indicador representa a quilometragem média em operação da locomotiva dividido pelo número de ocorrências. Essas ocorrências são computadas da seguinte maneira: a cada quinze minutos de paralisação do trem soma-se um ponto à ocorrência. Portanto este indicador além de avaliar as ocorrências, leva em conta a criticidade das mesmas.

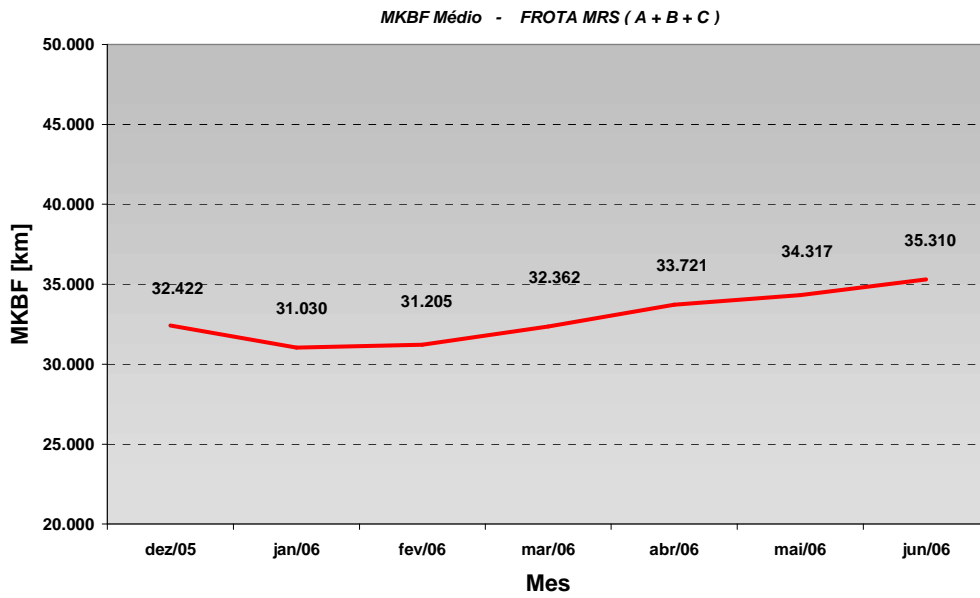


Figura 2.6 – MKBF Médio da Frota MRS. Fonte: CLM

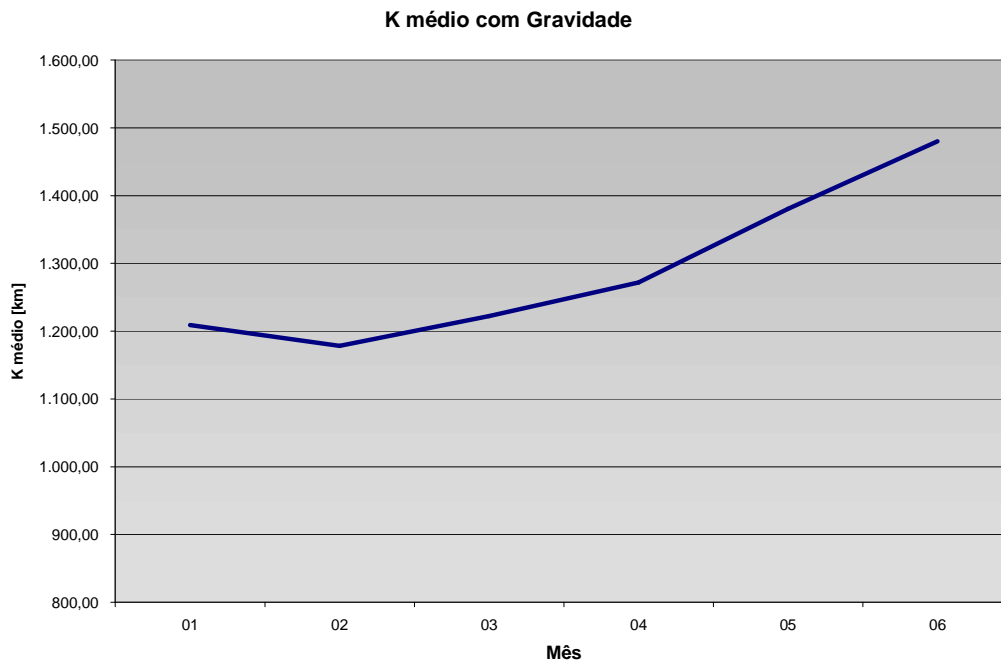


Figura 2.7 – K médio com gravidade da Frota MRS em 2006. Fonte: PCO



## Capítulo 3 Revisão Bibliográfica – O Sistema Ferroviário de Cargas

### 3.1 Sistemas Básicos para Operacionalização da Ferrovia

Tradicionalmente, uma ferrovia consiste de uma linha férrea constituída por dois trilhos de aço paralelos instalados permanentemente sobre um leito, nos quais veículos interligados, formando o trem, se deslocam apoiados e guiados por rodas de aço frisadas internamente.. Porém, a ferrovia vem evoluindo, tanto no Brasil como no mundo, de maneira expressiva sendo obrigada a desenvolver soluções para aumentar a capacidade de transporte e reduzir os custos operacionais. Com isso, fez-se necessário agregar outros equipamentos ao sistema tais com os de controle de tráfego e de suprimento de energia para tração. Portanto, pode-se considerar que a Ferrovia é composta pelos seguintes Subsistemas Básicos:

[s3] Comentário:

#### 3.1.1 Linha Férrea

A Linha Férrea, como conhecemos hoje, segundo Borba (2004) teve origem nas minas de carvão européias do século XVI onde utilizavam-se trilhos de madeira e composições movimentadas por animais. Com a evolução dos sistemas de tração por intermédio da utilização de máquinas a vapor e de vagões de carga, a linha férrea passou a ser solicitada com maior intensidade em termos de capacidade de carga e de velocidade. Assim, a linha férrea passou por constantes evoluções tecnológicas tanto em termos de superestrutura, infraestrutura e obras especiais. A Superestrutura ou Via Permanente tem como componentes básicos os seguintes itens:

- A) Dormente - Responsável pela distribuição das cargas exercidas pelos veículos ferroviários aos elementos da infra-estrutura e pela estruturação da grade ferroviária.

Os dormentes usualmente são de madeira ou de concreto, porém existem dormentes de aço e de plástico sendo testados e comercializados.

B) Trilho - O Trilho é a pista de rolamento dos rodéis do Material Rodante. Ele é manufaturado em aço e tem que resistir a elevados esforços de atrito, fadiga, flexão e torção.

C) Fixações - São os grampos e parafusos que fixam os trilhos às placas de apoio.

D) Aparelhos de Mudança de Via - Trata-se dos responsáveis pela interligação entre duas linhas ferroviárias e em pátios e cruzamentos.

A Via Permanente tem influência direta na dinâmica do trem, sendo essencial para a determinação da Velocidade Máxima Autorizada (VMA). Para a caracterização das condições da Via Permanente, utiliza-se como base as seguintes características dimensionais:

**Alinhamento** - O Alinhamento da Via Permanente é a variação da linha de cento longitudinal do trilho. Em trechos de tangente, esta oscilação deve ser a menor possível.

**Superelevação** - A superelevação é um recurso utilizado em curvas para compensar o efeito da força centrífuga. O trilho externo da curva é levantado (superelevado) de acordo com as características da ferrovia, tais como o tipo de transporte e a velocidade.

**Bitola** - A Bitola é uma medida normalizada que qualifica a distância entre as duas faces internas do boleto do trilho. No Brasil existem três medidas de bitola: 1,000 m, 1,435 m e 1,600 m.

[s4] Comentário:

[s5] Comentário:

### 3.1.2 Sistema de Sinalização Comunicação e Controle de Tráfego

Com o crescimento contínuo do transporte ferroviário, novas técnicas passaram a ser desenvolvidas para controlar o fluxo dos trens que cruzavam as cidades e os campos, em grandes velocidades para a época (em torno de 15 milhas por hora), sem nenhum tipo de proteção para a vida humana e para o patrimônio envolvidos (Venancio, 2006).

Atualmente, as ferrovias de carga mais desenvolvidas utilizam sistemas de automação metroferroviário, baseados em dispositivos microprocessados, que possibilitam o controle totalmente automático à distância.

Esses modernos sistemas de sinalização, comunicação e controle de tráfego possibilitaram o aumento da segurança, relacionada à vidas humanas e a bens patrimoniais, bem como da eficiência operacional, possibilitando com isso o transporte de maiores volumes de carga na mesma linha. Nos itens a seguir serão descritos estes sistemas.

#### ***Recursos de Sinalização para Operação e Controle de Tráfego:***

A ferrovia é um modo de transporte com a peculiaridade de ter um grau de liberdade, o que significa que os veículos ferroviários podem deslocar-se para frente ou para trás. Devido a esta restrição de movimento e a necessidade de manter-se alto nível de segurança com elevada capacidade de transporte, faz-se necessário um sistema de controle que mantenha os veículos adequadamente relacionados uns com outros. Devido as dificuldades em parar um trem em curtas distâncias, o controle de tráfego deverá assegurar que a via esteja livre para o tráfego.

Diversos recursos são utilizados para evitar que dois trens circulem em direções opostas ou conflitantes em uma mesma via férrea. Os dispositivos envolvidos são: sistema de controle de bordo, sistema de processamento de rota, máquinas de chave, circuitos de via e sinais.

Para efetuar a localização dos veículos ferroviários, deve-se definir as Seções de Bloqueio na via. A Seção de Bloqueio é uma parte da via onde poderá haver a presença de um veículo ferroviário por vez. A entrada em cada seção de bloqueio é controlada por alguma sinalização, podendo ser por sinais luminosos localizados na via ou na própria cabine da locomotiva. Os sistemas microprocessados a bordo da locomotiva são utilizados para executar basicamente as seguintes funções (Venancio, 2006):

- Proteção automática da composição;
- Controle automático de velocidade;
- Proteção contra sobrevelocidade;

- Detecção de linha sinalizada/não sinalizada por intermédio da identificação de loops do tipo Cut in /Cut out ou antenas marcadoras / delimitadoras de zonas sinalizadas;
- Geração de sinais de cabine do tipo: rotas alinhadas, rotas canceladas, perfil de velocidade à frente do trem e condições da via permanente no trecho liberado à frente do trem;
- Acionamento de potência para corte de tração e aplicação de freio;
- Comunicação entre subsistemas de bordo;
- Diagnósticos dos processadores e dos periféricos;
- Controle de comunicação com o sistema de sinalização e controle de tráfego.

Outras funcionalidades do sistema microprocessado são o registro de eventos de dados operacionais, sobre a condução e o desempenho das locomotivas.

Para a realização das funções de controle de tráfego, gerenciamento e supervisão da ferrovia é necessário um Centro de Controle Operacional (CCO) que tem as seguintes funções básicas:

- Gerenciamento das funções operacionais da ferrovia;
- Sistema centralizado de bloqueio de rotas;
- Monitoramento de dispositivos da via a partir do CCO;
- Recursos para aquisição e controle de diagnósticos de todos os dispositivos controlados pelo CCO;
- Recurso para rastreamento de trens e veículos auxiliares, via canal de voz e de dados.

### ***Sistemas de Comunicação***

Como foi mencionado anteriormente, o CCO é responsável pela definição da rota e autorização para acesso de todos os veículos ferroviários na via. Portanto, faz-se necessário um sistema de comunicação eficaz e confiável para que as informações sejam transmitidas com segurança. Atualmente a comunicação para controle de tráfego é feita por intermédio de dados, sinais e voz. Um sistema eficiente de comunicação utiliza uma série de equipamentos, mídias, topologia e protocolos que devem interagir para efetuar a comunicação. Essa interação conduziu a elaboração de uma série de normas e padronizações realizadas pelos seguintes organismos:

- IEEE (*Institute of Electrical and Electronic Engineers*);
- ANSI (*American National Standards Organization*);
- ISO (*International Institute for Standardization*);

- ITU-T (*International Telecommunication Union – Telecommunication*);
- EIA (*Electronic Industries Association*);
- TIA (*Telecommunications Industry Association*);

Devido à diversidade de padronizações elaboradas, fez-se necessária a criação de um modelo de referência que ficou conhecido como OSI (*Open Systems Interconnection*). Ele estabelece um conjunto de sete camadas com o objetivo de fornecer serviços para a camada imediatamente superior, esconder da camada superior os detalhes de implementação dos serviços e estabelecer a comunicação com as camadas adjacentes de um computador ou equipamento. São elas:

- Camada Física - A Camada Física compreende as especificações de hardware utilizado na rede, compreendendo os aspectos mecânicos, elétricos e topológicos);
- Camada de Enlace - Gerencia o enlace de dados. Responsável pelo acesso lógico ao ambiente físico da rede, como transmissão e reconhecimento de erros;
- Camada de Rede - Estabelece uma conexão lógica entre dois pontos, cuidando do tráfego e roteamento dos dados da rede;
- Camada de Transporte - Controla a transferência de dados e transmissões. São utilizados protocolos de transporte (TCP) nesta camada;
- Camada de Sessão - Reconhece os nós da rede local (LAN) e configura a tabela de endereçamentos entre fonte e destino. Isto é, estabelece as sessões, no qual o usuário poderá acessar outras máquinas da rede.
- Camada de Apresentação - Transfere as informações de um software de aplicação da camada de sessão para o sistema operacional. Criptografia, conversão de códigos, compressão e descompressão de dados são algumas das funções desta camada;
- Camada de Aplicação - É representada pelo usuário final no modelo OSI, selecionando serviços a serem fornecidos pelas camadas inferiores.

### 3.1.3 Material Rodante

O Material Rodante, numa ferrovia de carga, consiste nos equipamentos que efetuam o transporte da carga entre a origem e o destino, ou seja, as Locomotivas e os Vagões.

Nesta parte, será feita uma abordagem breve sobre os tipos de vagões e locomotivas. No item 3.2 será tratado com maior profundidade as Locomotivas Diesel-Elétricas, objeto de estudo desta monografia.

#### ***Locomotivas***

As Locomotivas são os equipamentos que tracionam o trem e consecutivamente a carga a ser transportada. Elas podem variar de potência, tipo de combustível, sistema de comando, entre outras características, dependendo da estrutura da Operação. Portanto, a função da locomotiva é de desenvolver o esforço trator para movimentar o trem.

As Locomotivas com tração elétrica obtém o esforço mecânico necessário ao deslocamento dos trens, por intermédio de motores elétricos acoplados aos eixos que recebem a energia de fontes externas. Este sistema é amplamente utilizado para trens de subúrbio com algumas aplicações específicas na ferrovia de carga.

Um configuração básica para suprimento da energia para a tração elétrica possui os seguintes componentes:

- Linha de transmissão - Leva a energia elétrica da subestação que interfaceia com a concessionária local, por intermédio de uma linha de alta tensão, até um ponto conveniente da faixa da ferrovia, onde a mesma é recebida por uma subestação que efetuará a modificação do nível de tensão elétrica.
- Subestação - Tem por função básica, tratar a energia elétrica recebida da concessionária ou pela linha de transmissão, lançando-a em uma linha de distribuição interna, ou seja, administrada pela empresa ferroviária.
- Linha de distribuição - Segue paralelamente à via férrea. Serve para alimentar os equipamentos ao longo da linha de rolagem e para interligar as subestações de tração e de distribuição.
- Subestações de tração - São subestações transformadoras e/ou retificadoras que estão espaçadas ao longo da linha, conforme a tensão utilizada, já que, para maiores tensões, as

quedas de tensão são menores. A absorção de corrente pelos trens deve ser tal que não provoque uma queda de tensão na linha superior a 10%.

- Linha de contato - Transporta a energia necessária para a locomotiva, caso o insumo principal desta seja a energia elétrica. Constitui-se de uma linha especial sobre a via férrea, chamada “linha de contato”, que é alimentada eletricamente pelas subestações de tração. Sendo a forma de equilíbrio de um fio pesado aproximadamente a da uma catenária, há necessidade de compor a linha de contato com um cabo em suspensão, ou mensageiro, que assume a forma da catenária. O fio de contato pode ser mantido suspenso pela fixação em acessórios denominados “suspensórios”, ligados ao mensageiro, situados a pequenas distâncias, mantendo-o paralelo ao eixo da via.

[s6] Comentário:

- Controle de tração - O controle de tração atua como elo de ligação entre a catenária e o motor de tração, regulando o consumo da demanda de potência requerida por intermédio dos conversores de energia.

- Motor de tração - O tipo do motor de tração vai depender do sistema de tração adotado pela empresa ferroviária. Nos sistemas de tração elétrica em corrente contínua, o motor usado pode ser do tipo série que, pelas suas características, constitui o melhor tipo para a tração ferroviária (Borba,2004).

[s7] Comentário:

Nos sistemas monofásicos usa-se também o motor série de corrente contínua, fazendo-se a retificação na própria locomotiva. Entretanto, nesses sistemas pode-se usar o motor direto, monofásico, de frequência especial ou industrial, embora que, no estágio atual, as locomotivas a retificador estejam mostrando-se superiores às de motor direto.

Pode-se classificar os sistemas de tração elétrica segundo o tipo de corrente utilizada na catenária em duas classes principais que, por sua vez, podem ser subdivididos de acordo com as características próprias das correntes. Quais sejam:

- Corrente Contínua - A linha de contato pode ser alimentada em Baixa Tensão - até 1.500 V – e Alta Tensão - de 1.500 V a 4.000 V.

- Corrente Alternada - A linha de contato é monofásica e pode ser alimentada com tensões elétricas de 20 kV a 50 kV, em frequência industrial (50 ou 60 Hz ) ou até 16 kV a frequência especial ( 16 Hz ou 25 Hz ).

A Locomotiva diesel-elétrica, ao contrário da elétrica, contém sua própria fonte de energia motora. Pode-se comparar a Locomotiva Diesel-Elétrica a uma usina termoelétrica, onde converte-se a energia química do combustível em energia mecânica por intermédio do motor diesel. A energia mecânica é convertida em energia elétrica utilizando-se um alternador que é acoplado ao motor diesel. Esse tipo de locomotiva pode ser dividido nos seguintes subsistemas:

- Subsistema Mecânico: composto pelo motor diesel, turbo alimentador, sistemas de lubrificação, sistema de arrefecimento, bomba de combustível, compressor de ar, areeiro, filtros, truques e rodeiros;
- Subsistema Elétrico: composto pelo gerador de tração, motores de tração, sistemas de controle de aderência, alimentação dos comandos da cabine, entre outros.
- Subsistema Pneumático: composto pelas válvulas de freio para frenagem da composição e da própria locomotiva.

### ***Vagões de Carga***

Os Vagões são os responsáveis exclusivos pela movimentação de cargas na ferrovia. Inicialmente, eles são projetados para acomodar e proteger adequadamente as cargas a serem transportadas mantendo-se íntegros na linha tanto como veículos individuais como partes de trens longos.

Existem diferentes tipos de vagões os quais são apropriados para os diferentes tipos de serviço que executam. São seis tipos básicos de vagões, cada um deles com sub-tipos direcionados às próprias características operacionais, como segue:

- Vagões Fechados: São vagões que transportam qualquer tipo de produto que tenha que ser protegido das intempéries. Atualmente, este tipo de vagão é bastante flexível por contar com escotilhas de carga, dispositivos internos de amarração e proteção da carga, abertura de descarga nos assoalhos e portas laterais.
- Vagões Gôndola: São vagões que não possuem cobertura, sendo, portanto adequados para transporte de granéis sólidos como minérios, carvão, produtos siderúrgicos e outros



produtos que não necessitem de proteção contra os efeitos do tempo. Estes vagões também são dotados de dispositivos de descarga pelo assoalho ou pelas laterais.

- Vagões Plataforma: Estes tipos de vagões transportam cargas que não são acondicionadas adequadamente em vagões fechados e gôndolas como Containeres. Estes vagões mostraram-se bastante adequados para o transporte de bobinas, chapas de aço cantoneiras e toras de madeira.
- Vagões Hopper: São vagões que possuem o fundo em forma afunilada. Têm aplicação semelhante aos vagões gôndola, com maior aplicabilidade para transporte de grãos, fertilizantes, minério de ferro e bauxita. Eles podem ser abertos ou fechados.
- Vagões Tanque: Estes vagões são desenvolvidos para o transporte de granéis líquidos. Dentre esses granéis podem-se citar: combustíveis fósseis oriundos do refino do petróleo e o álcool.
- Vagões Especiais: São vagões que são desenvolvidos para fluxos específicos de cargas. Podem ser utilizados para transportar cargas em trens convencionais ou operarem dentro de plantas industriais. Para o primeiro caso, podem-se citar os vagões para transporte de automóveis, vagões para transporte de containeres no formato *double-stack*. No segundo caso, destaca-se o carro torpedo que opera em usinas siderúrgicas.

### 3.2 A Locomotiva Diesel-Elétrica

A Locomotiva Diesel-Elétrica é o principal veículo trator utilizado atualmente nas ferrovias de carga brasileiras. Mundialmente, existem poucos fabricantes deste tipo de equipamento e os que dominam o mercado nacional são GE e GM. Pode-se descrever o funcionamento da Locomotiva Diesel-Elétrica como segue (Kitamura, 2004):

- 1) A bomba de combustível é acionada por um motor elétrico, utilizando corrente da bateria. A bomba transfere combustível do tanque para as bombas ou injetores do motor diesel.
- 2) A partida do motor diesel é feita pelo gerador que a ele é diretamente acoplado e que é momentaneamente utilizado como motor de arranque. A bateria fornece corrente necessária para girar o gerador principal e dar partida no motor diesel. Algumas locomotivas utilizam outros sistemas para a partida como: motor de arranque, gerador auxiliar ou excitatriz.
- 3) Quando o motor diesel está funcionando, fornece energia mecânica através de eixos e acoplamentos para acionar diretamente geradores elétricos e o compressor de ar.
- 4) O gerador auxiliar, carrega as baterias e fornece corrente contínua em baixa voltagem para os circuitos de controle, de iluminação e de excitação do gerador principal. Vale destacar que alguns tipos de locomotivas utilizam outros sistemas para excitar o gerador principal como excitatriz ou alternador companheiro. O gerador principal fornece corrente em alta voltagem aos motores de tração para tração da locomotiva.
- 5) Por meio dos comandos da cabine, diversos circuitos de baixa voltagem são estabelecidos para acionar o governador do motor diesel, assim como vários contadores, chaves e relés do armário de controle. Estes equipamentos elétricos, ao funcionarem, completam outros circuitos ou produzem os efeitos desejados para a operação da locomotiva.
- 6) Os seis motores de tração engrenam diretamente um eixo que está montado nas rodas tratoras.

- 7) A alavanca de aceleração comanda eletricamente um governador, que controla a velocidade e a potência do motor diesel. O gerador principal converte a energia mecânica do motor diesel em energia elétrica. Esta é distribuída aos motores de tração por meio de circuitos estabelecidos por diversos conatores localizados no armário de controle.
- 8) Nas locomotivas cuja rotação do motor diesel é controlada por governador, um regulador de carga evita que o motor diesel seja sobrecarregado ou subcarregado, regulando a carga elétrica sobre o motor diesel em todas as posições da alavanca de aceleração. Nas locomotivas mais modernas, o microprocessador executa esta função.
- 9) O compressor de ar fornece ar comprimido aos reservatórios. Esse ar é utilizado no sistema de freio das locomotivas e vagões.
- 10) Com exceção dos comandos manuais, a operação da cabine é inteiramente automática. Vários dispositivos de alarme e de segurança alertarão o maquinista sobre qualquer dificuldade que ocorrer.

A Locomotiva Diesel-Elétrica é um equipamento muito complexo. Nela, são realizadas várias operações, tais como: conversão de energia mecânica em energia elétrica, retificação de corrente, controle de excitação de geradores e motores elétricos, entre outras. Essas operações exigem uma instrumentação, tanto em alta como em baixa tensão, muito apurada e que suportem os níveis de corrente, tensão e vibração impostos.

Os componentes da Locomotiva Diesel-Elétrica podem ser divididos em: Componentes Mecânicos e Componentes Elétricos e serão abordados a seguir.

### 3.2.1 Componentes Mecânicos

#### 3.2.1.1. Plataforma ou estrutura

A Plataforma consiste no principal elemento estrutural da Locomotiva. Ela tem as seguintes funções:

- suportar o peso e os esforços mecânicos de todos os componentes montados na locomotiva;
- suportar as cabines;
- transmitir o peso das cabines e equipamentos ao truque;
- receber as forças de tração dos truques e transmitir para os vagões;

- servir como duto de ar para os equipamentos que necessitam ventilação;
- receber os esforços de impacto;
- proteger o operador através dos postes de colisão nela soldados;
- permitir o içamento da locomotiva através dos ganchos de içamento nela soldados.

Para realizar estas funções, ela consta com os seguintes elementos estruturais: Vigas Principais Longitudinais (Vigas I), Vigas Laterais Longitudinais (Vigas U), Vigas Transversais, Chapas de fundo, Chapas de piso, Pinos Centrais e Piões.

#### 3.2.1.2. Cabines

As cabines da locomotiva são todas leves e com função apenas de proteção. Todas elas são feitas de chapas e perfis de sustentação de aço de baixo-carbono. A cabine principal, que concentra a maioria dos controles acessíveis ao operador, é soldada à plataforma. Tudo o que há dentro dela pode ser retirado para trabalhos de manutenção através das portas ou janelas.

Já as cabines do motor diesel e do radiador podem ser destacadas da plataforma, para facilitar o acesso aos equipamentos nelas contidas.

#### 3.2.1.3. Truques

O truque tem como funções suportar a locomotiva e transmitir, de forma uniforme, seu peso para a via permanente através dos rodeiros. Eles devem ser capazes de absorver parte dos impactos, os esforços de tração, de frenagem e laterais (em curvas).

Suas principais partes são:

- estrutura;
- timoneria de freio;
- suspensão (molas);
- amortecedores;
- prato-pião;
- ampara-balanços;
- rodeiros;
- motores de tração.

#### 3.2.1.4. Rodeiros

Os rodeiros são responsáveis pela transferência dos esforços de aceleração e frenagem para a via permanente, guiar a locomotiva pela linha e distribuir o seu peso. O rodeiro é um componente muito estudado na ferrovia devido a sua importância para operação e principalmente pelos aspectos de segurança.

Os rodeiros de locomotivas são formados de duas rodas, um eixo, dois rolamentos e uma engrenagem.

#### 3.2.1.5. Motor Diesel

As Locomotivas Diesel-Elétricas utilizam motores de combustão interna movidos a óleo diesel. São considerados motores de grande porte, podendo chegar até a 6.000 hp, e de média velocidade, com rotação máxima por volta de 1.200 rpm. Para as locomotivas de maior porte, os motores são em “V” podendo chegar a ter até 20 cilindros. A frota da MRS conta com locomotivas equipadas tanto com motores com ciclo de 4 tempos como com ciclo de 2 tempos. Pode-se citar como exemplos de locomotivas de 4 tempos as GE C30-7 e as de 2 tempos as GM SD40-2.

Devido à necessidade em melhorar a eficiência dos motores, utiliza-se uma série de componentes com a finalidade de aproveitar a energia dos gases de escape e aumentar a massa de ar e combustível injetada na câmara de combustão. Os superalimentadores, o intercooler e o aftercooler são exemplos desses componentes mecânicos.

Suas principais partes mecânicas são:

- Bloco: Constitui, junto com o cabeçote, a parte predominantemente fixa do motor, servindo de suporte para as partes móveis.
- Cabeçote: É a parte do motor contra a qual o êmbolo comprime a carga. Nele são instalados os injetores de combustível.
- Carter: É fixo à parte inferior do bloco por meio de junta e parafusos. É onde fica depositado o óleo lubrificante.
- Árvore de manivelas: Trata-se do eixo motor. Fica na parte inferior do bloco e recebe impulso da combustão de cada cilindro, via biela, imprimindo-lhe o movimento rotativo.
- Eixo de comando de válvulas: Este eixo é composto de ressaltos calibrados e dispostos de maneira a movimentar as válvulas de admissão e de escape no momento certo.

– Conjunto de força: O conjunto de força é formado pela Biela, Pistão, camisa e cabeçote. Ele tem como função proporcionar a ignição da mistura de ar e combustível e de transferir esta energia resultante para a Árvore de Máquinas.

Para que o motor diesel opere adequadamente nas mais severas condições de uso, este deve ter uma série de sistemas acessórios que irá fornecer combustível, ar para refrigeração e combustão, lubrificar os mancais, engrenagens e eixos e mantê-lo dentro da temperatura de operação,

### ***Equipamentos de proteção e controle do Motor Diesel***

Para que um motor diesel não sofra danos maiores no caso de ocorrência de qualquer problema relacionado ao seu funcionamento, existem alguns parâmetros que são constantemente acompanhados por sensores e subsistemas, tais como:

- Pressão positiva no cárter;
- Elevada aspiração na bomba de pressão;
- Excesso de rotação no motor diesel;
- Baixa pressão de óleo (Sistema de Lubrificação);
- Baixa pressão de água (Sistema de Arrefecimento).

#### **3.2.1.6. Sistema pneumático**

O sistema pneumático de uma locomotiva é composto por dois subsistemas:

- de freio;
- dos equipamentos auxiliares, que são os areeiros, buzinas, campainhas, limpador de pára-brisa, entre outros.

O ar comprimido utilizado no sistema pneumático é proveniente de um compressor de ar montado na cabine do radiador. Além do compressor, o sistema de freio é formado de tubulações, válvulas, pressostatos, manipuladores, chaves, cilindros, manômetros, alavancas, punhos etc..

Por ser o subsistema mais importante, o sistema de freio é a maior fonte consumidora de ar comprimido. Esse ar abastece as linhas do encanamento geral, as linhas do encanamento auxiliar do reservatório principal, as tubulações de equalização do freio independente e as tubulações de equalização dos reservatórios principais.

## 3.2.2. Componentes Elétricos

### 3.2.2.1. Gerador de tração

O Gerador de Tração pode ser de Corrente Contínua ou de Corrente Alternada. Sua função é transformar a energia mecânica em energia elétrica que vai movimentar os motores de tração e o campo de excitação destes durante a operação em frenagem dinâmica. Dependendo do tipo de Gerador de Tração, será necessária a utilização de equipamentos auxiliares para executar as funções citadas.

No caso do Gerador de Tração de Corrente Contínua, utiliza-se uma Excitatriz para aumentar um pequeno sinal de controle combinado com a velocidade do motor diesel para produzir um sinal maior que é amplificado ainda mais pelo gerador de corrente contínua. Assim, um sinal de controle de uma fração de um ampère, é amplificado vários milhares de vezes por meio de circuitos muito simples e, ainda assim, permanece estável.

A excitatriz controla as características de saída do gerador de corrente contínua para toda a demanda dos motores de tração, desde alta corrente/baixa tensão para partida e aceleração do trem até baixa corrente/alta tensão para operação do trem em altas velocidades.

O Gerador de Tração de Corrente Alternada necessita de um Painel Retificador de onda completa que tem como finalidade converter a corrente alternada em corrente contínua para alimentar os motores de tração.

### 3.2.2.2. Motores elétricos de tração

Os motores de tração têm como finalidade converter a energia elétrica fornecida pelo Gerador de Tração em Esforço Trator através do acionamento mecânico do eixo do rodeiro. São motores com ligação do tipo série para proporcionar as seguintes características:

- Velocidade variável de acordo com a carga aplicada;
- Maior torque durante a partida;
- Rápida aceleração.
- Operar como gerador elétrico durante frenagem dinâmica

Atualmente nas ferrovias de carga brasileiras, utilizam-se motores de tração de corrente contínua. Porém, as locomotivas de última geração já utilizam motores de tração de corrente alternada. Assim, obtêm-se ganhos em eficiência, esforço trator, aderência, manutenção entre outros.

### 3.2.2.3. Regulador de Carga

O regulador de carga é provido de um reostato que funciona automaticamente, controlado pelo governador. Sua função é proteger o motor diesel tanto de sobrecarregamento como de subcarregamento. Ele atua controlando a corrente elétrica que alimenta o campo de excitação do Gerador Principal.

### 3.2.2.4. Sistemas de Controle

Os sistemas de controle são utilizados para propiciar o melhor aproveitamento e melhorar a eficiência dos mecanismos elétricos, mecânicos e pneumáticos mencionados anteriormente. O sistema de controle de tração tem como função principal otimizar a potência disponibilizada pela máquina frente à demanda necessária, entre outras, como segue:

- Controle da excitação do Gerador Principal em tração convencional;
- Controle da excitação do Gerador Principal em frenagem dinâmica;
- Controle de injeção de combustível no motor diesel;
- Controle de Patinação de Rodas;
- Mudança de ligações elétricas entre o Gerador Principal e os Motores de Tração;

As locomotivas convencionais utilizam relés e contatores para executar essas tarefas. Neste caso, a habilidade do maquinista será determinante para a eficácia do controle.



Atualmente as locomotivas utilizam microprocessadores que, com auxílio de sensores, atuam automaticamente com maior precisão e eficiência.

### **3.3 Manutenção Centrada em Confiabilidade**

#### **3.3.1 Introdução**

“Equipamentos mais eficientes e com o menor custo de fabricação.” Esta é a realidade atual dos fabricantes industriais que, que por intermédio do desenvolvimento de novos materiais e de automatização, são capazes de produzir componentes cada vez mais eficientes e produtivos. Para que isso seja possível, os componentes têm que trabalhar muito próximos dos limites de resistência dos materiais, ficando sujeitos a danos irreparáveis na presença de anormalidades ou quando operando fora das especificações. Além disso, os processos de fabricação exigem dos equipamentos, valores de disponibilidade e de confiabilidade elevados. Portanto, fica evidente a importância da função manutenção para garantir a operação desses componentes dentro dos padrões especificados.

Este cenário exige que a Manutenção seja cada vez mais ágil e eficaz com a finalidade de manter os equipamentos, desenvolvendo a sua atividade fim. Isso implicará em diversas técnicas e metodologias que indiquem exatamente como e quando intervir num equipamento através de ferramentas analíticas visando estimar a confiabilidade de componentes de sistemas mecânicos e elétricos.

A Manutenção Centrada em Confiabilidade é a ferramenta adequada para atender a esta necessidade. Trata-se de uma metodologia criada ao final da década de 70 por Stanley Nowlan e Howard Heap que publicaram um relatório chamado *Reliability Centered Maintenance* – RCM. Ela busca estabelecer definições precisas dos objetivos da manutenção buscando sempre a preservação da função do sistema. Portanto, a MCC busca evitar que ocorram falhas que impossibilitem a operação do sistema.

### 3.3.2 Objetivos

Segundo Siqueira (2005), a MCC tem os objetivos a seguir:

- Preservar as funções dos equipamentos , com a segurança requerida;
- Restaurar sua confiabilidade e segurança projetada, após a deterioração;
- Otimizar disponibilidade;
- Minimizar o custo do ciclo de vida (LCC – *Life Cycle Cost*);
- Atuar conforme os modos de falha;
- Realizar apenas as atividades que precisam ser feitas;
- Agir em função dos efeitos e conseqüências da falha;
- Documentaras razões para escolha das atividades.

### 3.3.3 Etapas para implementação da Metodologia de Manutenção Centrada em Confiabilidade

O método “RCM” consiste em se tomar um grande sistema, subdividi-lo em partes menores, independentes e mais simples, chamados de “subsistemas” e determinar a função de cada subsistema e o que pode conduzir a falha de cada função. Este processo é chamado de “Decomposição da Função do Sistema” (Passo 1 a 3).

No passo 4, as falhas são categorizadas de acordo com a sua “criticidade” ou “importância”.

No passo 5, são definidas as tarefas de manutenção e os programas necessários para reduzir ou eliminar o efeito das falhas.

#### ***Passo 1 – Definição das Fronteiras “Sistema x Subsistema”***

Os sistemas são selecionados levando-se em conta a sua significância para a segurança, disponibilidade e economia do processo. Os métodos de seleção podem utilizar critérios qualitativos e quantitativos, porém é de fundamental importância manter documentados os critérios utilizados.

O sistema é subdividido em subsistemas mutuamente exclusivos e com fronteiras separadas e não sobrepostas. Tudo aquilo que atravessa essas interfaces (fronteiras) deve ser identificado.

Cada subsistema tem “interfaces que entram” indicando o que está entrando no subsistema e “interfaces que saem” indicando o que sai do subsistema. Tudo aquilo que entra ou sai do subsistema deve ser identificado, quer seja um produto, vapor sob pressão, corrente ou tensão elétrica, sinal de controle ou qualquer outra coisa.

As fronteiras artificiais ajudam a assegurar que todos os equipamentos importantes e necessários para a função do sistema, sejam incluídos nas análises.

As fronteiras dos subsistemas não devem se sobrepor. Isto pode trazer grande dificuldade quando da definição das interfaces. O conceito da “interface” é fundamental para o método.

Em sistemas fisicamente pequenos, tal como uma aeronave, a definição dos subsistemas é mais fácil pois os itens estão fisicamente próximos uns dos outros. No caso de aplicações industriais, os subsistemas podem cobrir muitos quilômetros.

A documentação necessária para definição das fronteiras são: Formulário de Documentação, Descrição Textual, Diagrama Esquemático, Diagrama de Blocos, Diagrama Organizacional, Diagrama Funcional, Diagrama Lógico Funcional e Descrição de Fronteiras.

## ***Passo 2 – Definição das interfaces dos subsistemas, funções e falhas funcionais***

As interfaces dos subsistemas ocorrem nos pontos chamados de fronteira. Tratam-se dos locais de cada subsistema onde ocorre a comunicação com o meio ambiente ou com os demais subsistemas da instalação. Elas são caracterizadas pelos quatro aspectos principais: direção, localização, descrição e destino.

As funções do sistema são responsáveis pela conversão das entradas nas saídas identificadas, ou seja, trata-se do processamento interno das entradas. No ponto de vista do usuário, funções são os resultados que o mesmo deseja dentro de padrões de performance especificados.

Essas funções e como elas podem falhar são enumeradas neste passo. As falhas funcionais descrevem os diferentes modos que um subsistema pode falhar ao desempenhar suas funções e não necessariamente identificam equipamentos ou componentes. A análise de falhas funcionais (FFA - *Failure Functional Analysis*) identifica o modo específico das “interfaces que saem” que não podem ser produzidas e as falhas funcionais que são internas ao subsistema.

### ***Passo 3 – Definição dos modos de falhas para cada falha funcional***

Para a realização desta etapa, devem-se levantar todas as formas que os sistemas podem falhar. Utiliza-se o FMEA (Análise de Modos de Falha e Efeitos) para classificar, identificar e documentar as falhas associando-as às funções do sistema. A Árvore de Falha é utilizada para realizar uma análise de cima para baixo (*top-down*), que tem, em seu ápice, um evento indesejável chamado de evento raiz, prosseguindo com todas as maneiras possíveis dela ocorrer até o fim da análise. Com isso, identificam-se os modos de falha, que consiste no fenômeno físico que provoca a transição do estado normal ao estado anormal, visando descrever *o que* está errado na funcionalidade do item.

### ***Passo 4 – Categorização das atividades de manutenção***

As atividades de manutenção deverão ser aplicadas aos modos de falha visando assegurar um conjunto de requisitos de natureza técnica e de ordem prática. Essas atividades serão determinadas respondendo-se a um questionário objetivo, do tipo “sim” ou “não”, para os diferentes modos de falha. Essas atividades terão as seguintes funções: prevenir modos de falha, reduzir a taxa de deterioração, detectar a evolução de falhas ocultas, suprir necessidades e consumíveis do processo e reparar o item após a falha.

Em seguida, o nível de consequência é estabelecido para cada modo de falha. O conjunto de perguntas é o mesmo para todos os modos de falha, indiferente da sua falha funcional e da localização do subsistema. Este procedimento aplica um padrão uniforme para classificação de tarefas, o que nos ajuda a assegurar um tratamento adequado de todos os modos de falha, indiferente de quem esta desempenhando a categorização. Os níveis de consequência são rotulados como “classes de criticidade” e são uma função daqueles caminhos seguidos na seqüência de respostas.

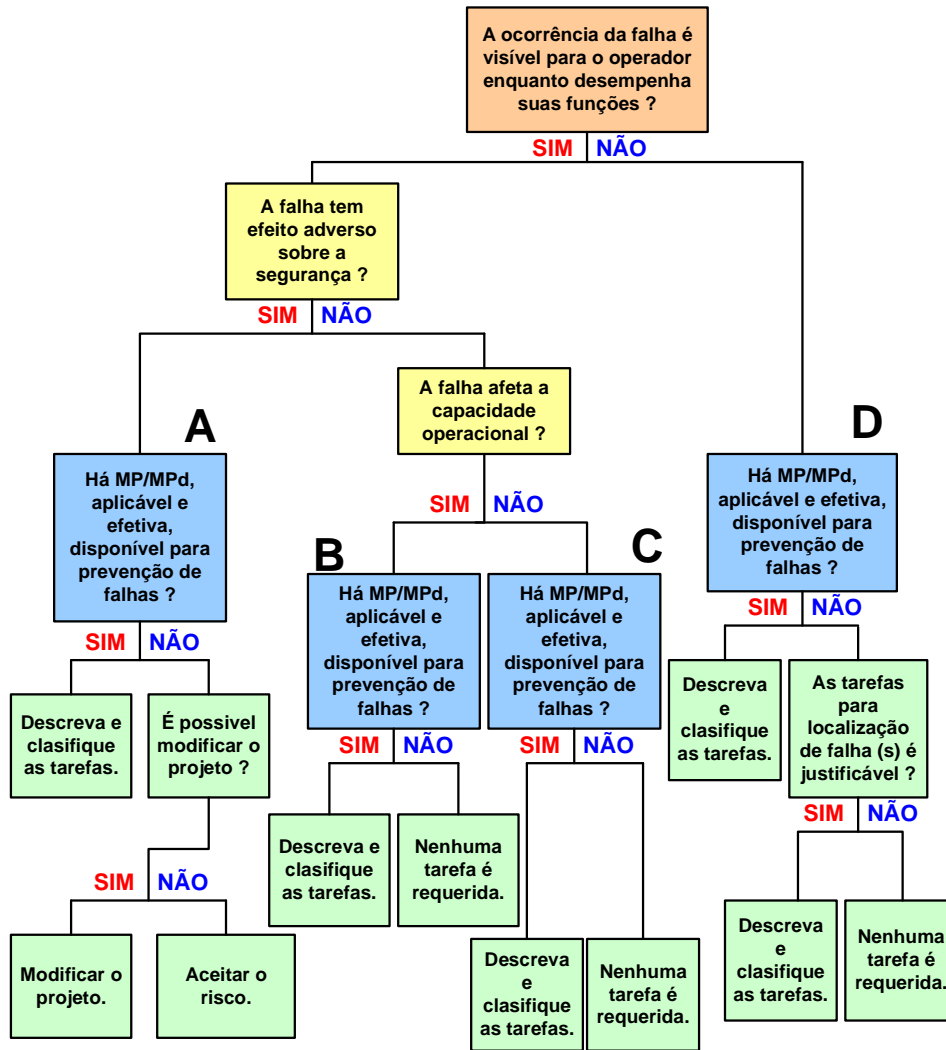


Figura 3.1- Árvore de Decisão (RCM - Eletric Power Research Intitute / EPRI NP-4795)

MP = Manutenção Preventiva e MPd = Manutenção Preditiva

As perguntas a seguir auxiliam na tomada de decisão em relação às atividades de manutenção a serem executadas para os modos de falha (Zaions, 2003):

- 1) Há alguma tarefa de rotina aplicável para evitar ou avaliar a degradação?

2) A relação entre idade e confiabilidade para esta falha é conhecida?

3) Há alguma tarefa de restauração ou descarte baseada no tempo aplicável? Esta pergunta será respondida através do levantamento de histórico de operação do equipamento, idade e confiabilidade.

4) Há alguma tarefa de monitoramento baseada nas condições aplicável? Mesmo que alguma tarefa de restauração ou descarte baseada no tempo tenha sido selecionada, pode-se definir alguma tarefa de monitoramento, baseada nas condições, objetivando medir algum parâmetro indicativo da falha ao longo do tempo, podendo esta ser ainda a melhor opção. Se a resposta à questão 2 for “não”, pode-se encontrar uma tarefa de monitoramento baseado nas condições, porém, há modos de falha que não respondem adequadamente a tarefas de restauração ou descarte buscadas no tempo e nem a tarefas de monitoramento buscadas nas condições;

5) O modo de falha está associado com a categoria de falha oculta?

6) Há alguma tarefa de verificação funcional aplicável? Se a falha for oculta, pode-se especificar uma tarefa de verificação funcional. É raro não encontrar alguma tarefa de verificação funcional para teste ou inspeção. Quando uma tarefa de verificação funcional é selecionada, deve-se definir sua periodicidade de modo a eliminar ou minimizar qualquer tempo de parada da planta, necessário para corrigir a falha.

A tarefa selecionada é eficaz? O objetivo dessa questão é examinar os custos associados com cada possível tarefa selecionada, incluindo até mesmo a opção de operar até a falha. Nessa etapa, deve-se selecionar a tarefa que apresente o melhor custo associado.

7) O modo de falha está associado à categoria “C” ou “D” (não afetam nem a segurança nem a operação)? Nesse caso, opta-se por operar o equipamento até a falha.

8) O reprojeto pode eliminar o modo de falha ou seus efeitos? O reprojeto visa implementar melhorias no equipamento. No caso onde se tem impactos ambientais, essa opção deverá ser priorizada.

**[M8] Comentário:** Risco de Vida também é uma possibilidade de Impacto Ambiental.

O tipo e frequência das tarefas são variáveis que são definidas por pessoas envolvidas com a análise. Não há equações, fórmulas especiais ou programas de computadores para este processo. A construção para a “RCM” fornece uma estrutura de trabalho para decidir essas coisas, mas a decisão final está baseada no julgamento e experiência da engenharia.

A força da metodologia “RCM” para a engenharia é que esta fornece uma justificativa para desempenhar, ou não, a manutenção preventiva ou preditiva baseada na função de cada sistema ou subsistema e nos possíveis modos de falha. Muitas vezes, manutenção excessiva pode reduzir a confiabilidade de um sistema. Alocar os recursos de manutenção é algo essencial para o sucesso de um projeto de manutenção.

Na tabela 3.1 a seguir, as letras em negrito denotam as “classes de criticidade” a qual cada modo de falha é atribuído em cada uma das categorias.

Tabela 3.1 – Classes de Criticidade

<b>Categoria “A”</b>	Modos de Falha que afetam a segurança
<b>Categoria “B”</b>	Modos de Falha que não afetam a segurança, mas afetam a operação
<b>Categoria “C”</b>	Modos de Falha que não afetam a segurança e nem a operação, mas potencialmente podem ser evitadas pela manutenção e, portanto, podem conduzir a redução de custos.
<b>Categoria “D”</b>	Modos de Falha apropriados para atividade do tipo “Descobrir Falhas” - Teste do Sistema

#### ***Passo 5: Implementação das Tarefas de Manutenção***

O sucesso da implementação das tarefas de manutenção será definido pela eficácia na execução dos passos citados anteriormente. Os fatores que garantirão essa eficácia serão o envolvimento, em todos os níveis hierárquicos, da corporação e a captação adequada dos conhecimentos individuais dos especialistas.

Esta etapa consiste em agrupar as tarefas e combiná-las com os recursos disponíveis de trabalho. Este processo indica o tamanho da força de trabalho requerida e fornece as informações acerca das habilidades necessárias para a manutenção programada.

Se os requisitos necessários não podem ser efetivamente combinados com as tarefas de manutenção, então as penalidades de custo podem ser estimadas ou uma reavaliação das tarefas de manutenção requeridas podem ser desempenhadas.

Se os disponíveis excedem os requisitos necessários, então os recursos excedentes podem ser desdobrados.

Se o número disponível de pessoas é menor que o número requerido para as tarefas de manutenção, os custos de reparo e de perda de produção resultantes podem ser expressivos, devido ao alto número de modos de falha para o qual nenhuma manutenção preventiva ou preditiva é desempenhada.

O propósito desta parte é muito mais do que um simples problema de atribuição de trabalho. É um procedimento muito poderoso que mede a eficiência de um programa de manutenção. Este tipo de medida não é uma computação de fórmula, mas um sofisticado processo compreensivo que considera o projeto inerente de um sistema, a tecnologia de manutenção disponível e os recursos de mão-de-obra disponível no contexto do custo global de operação.



## 3.4 Árvore de Falhas

### 3.4.1 Introdução

A Árvore de Falha trata-se de uma metodologia que visa identificar e encadear, de forma lógica, os diversos eventos que podem acontecer, separadamente ou em conjunto, que conduzirão a um determinado modo de falha. Ela é representada em forma de diagrama e utiliza operadores lógicos simples, tais como *and* e *or*, para encadear essas relações.

Usualmente, a Árvore de Falhas é utilizada para avaliar a confiabilidade e a segurança de sistemas complexos. Nesses casos, é necessário ter um profundo conhecimento do funcionamento do sistema e de como as falhas ocorrem. Para isso, utilizam-se diagramas de funções do sistema para decidir o modo pelo qual os sinais são transmitidos entre os componentes que fazem parte do mesmo, e o “FMEA” para entendimento dos modos de falha.

A elaboração da Árvores de Falhas para os diversos sistemas também trazem outros benefícios além da simplificação das análises das falhas. Pode-se citar o aumento do domínio das características técnicas dos equipamentos e a integração entre equipes de projeto, operação e manutenção, pois para a sua elaboração, os especialistas devem se aprofundar em todas as interfaces e interações de todos os componentes, destacando-se o impacto no cumprimento da missão do sistema. Outro benefício é na fase de novos projetos, pois com este encadeamento bem entendido, várias melhorias podem ser implementadas.

Na construção de uma Árvore de Falhas, o evento “Falha do Sistema” que está para ser estudado é chamado de “Evento Topo” ou “Evento Superior”. Eventos Falha que podem contribuir para a ocorrência do Evento Topo são identificados e ligados ao Evento Topo por funções conectivas lógicas, até que a estrutura da Árvore de Falhas seja criada. A árvore de falhas é construída utilizando-se símbolos lógicos que também podem ser chamados de *Gates*, o que significa que os mesmos possuem entradas e saídas. Esse desdobramento ocorre até o momento em que o Evento Falha não pode ser mais dividido ou quando se decide limitar a análise de um subsistema, chegando-se então ao Evento Básico. Esses eventos são considerados “Estatisticamente Independentes”.

Os Eventos Básicos que não são considerados “Estatisticamente Independentes” são classificados como “Falhas com Causa Comum”. São falhas ocorrem devido a incidentes que não podem ser previstos.

A análise pode ser realizada de duas maneiras distintas: Análise Qualitativa, onde são determinadas as falhas básicas e a Análise Quantitativa, onde se calcula a probabilidade de ocorrência de cada evento.

### 3.4.2 Símbolos e Definições para Construção de Árvore de Falhas

Conforme mencionado anteriormente, a árvore de falhas é construída utilizando conectores lógicos. A tabela 3.2 a seguir irá apresentar e definir esses conectores.

Tabela 3.2 – Elementos de Árvore de Falha

Símbolo	Nome	Descrição
	Retângulo	Eventos de Saída de Portas Lógicas
	Círculo	Eventos associados a falhas básicas
	Diamante	Eventos não realizados (omitidos)
	Casa	Parâmetro associado a um evento que deve ser monitorado
	Oval	Evento Condicional usado em conectores de inibição
	Triângulo	Conexão com outro símbolo ou evento, possivelmente em outra página
	E	Evento de saída que só ocorre se todos os eventos de entrada ocorrerem
	Ou	Evento de saída que ocorre se pelo menos um dos eventos de entrada ocorrer
	Inibição	Evento de entrada só é transmitido ao evento de saída se o evento condicional ocorrer
	E Prioridade	Evento de Saída ocorre de os eventos de entrada correrem na ordem da esquerda para a direita
	Ou Exclusiva	Evento de saída ocorre se um, mas não ambos, dos eventos de entrada ocorrer
	M em N	Evento de saída ocorre se M em N dos eventos de entrada ocorrerem

### 3.4.3 Construção de Árvore de Falhas

A árvore de falha é construída tendo-se como base o Evento Superior, que será o objeto principal da análise. Em seguida, determina-se os eventos intermediários, que são fatores que contribuíram para a falha maior, e seus eventos básicos. Neste caso, trata-se de um modo decrescente de construção.

Cabe esclarecer que o evento intermediário representa a causa para o evento-topo e, para o evento básico, a sua conseqüência. Isso significa que o evento intermediário representa ao mesmo tempo causa e conseqüência, dependendo de como é observado. Os eventos básicos se situam na extremidade inferior dos ramos da árvore. A partir deles não há necessidade de nenhuma explicação de causa. Outros eventos que podem ficar na extremidade são os do tipo “não”. São eventos intermediários que possuem eventos básicos, mas, por falta de dados, ou outros motivos, não serão desenvolvidos.

### 3.4.4 Análise da Árvore de Falhas

Após a construção da Árvore de Falhas, pode-se realizar as análises quantitativas e qualitativas da mesma.

#### 3.4.4.1 Análise Qualitativa

Para realização desta análise pode-se utilizar o Algoritmo de determinação dos Conjuntos de Corte Mínimo. Trata-se de uma metodologia desenvolvida por Jerry Fussel e Willian Vesely e é utilizado para eventos não repetidos.

Definições:

**Conjuntos de Corte (Cut Set):** Trata-se de um grupo de Eventos Básicos presentes no sistema, os quais causa a ocorrência do Evento Topo.

**Conjuntos de Corte Mínimo (Minimal Cut Sets):** Um conjunto de corte é dito mínimo, caso ele não possa mais ser reduzido, e mesmo assim assegura a ocorrência do Evento Topo. Os conjuntos de corte mínimo são também chamados de “Modos de Falha Mínimo” de um sistema.

Este algoritmo é baseado em dois fatos simples:

- Uma porta “E” sempre aumenta o tamanho de um corte mínimo.
- Uma porta “OU” sempre aumenta o número de cortes mínimos.

A regra para desenvolvermos este algorítmico, está simplesmente baseada na substituição de cada porta por suas entradas. Observando, que: Porta “OU” (Entradas na Coluna) e Porta “E” (Entradas na Linha).

O resultado final é uma matriz, onde cada linha é um corte, pois não há mais portas a serem substituídas por suas entradas. O número de linhas desta matriz representa a quantidade de cortes, enquanto as colunas indicam a ordem do corte.

Finalmente, se não há eventos repetidos na matriz, então os conjuntos de cortes gerados por este método serão os conjuntos de cortes mínimos, isto é, aqueles que contém outros conjuntos de menor ordem da matriz final.

Agora, basta partirmos para a análise quantitativa para obtermos os valores de ocorrência do evento superior.

Quanto maior a ordem do corte mínimo, relativamente menor é a criticidade para o sistema.

#### 3.4.4.2 Análise Quantitativa

A Análise Quantitativa da Árvore de Falhas é direcionada para o cálculo da probabilidade de ocorrência do Evento Superior, desde que se tenha a construção da árvore e as probabilidades de ocorrência dos eventos básicos.

Há duas abordagens que podem ser seguidas para o cálculo da probabilidade, dependendo do tamanho da árvore e da informação desejada.

1ª- Se os conjuntos de corte mínimo são conhecidos, e as probabilidades podem ser expressas em termos da probabilidade de cada evento básico.

2ª- A aproximação para eventos raros é válida e consiste de executar os cálculos de baixo para cima.

## Capítulo 4 – Aplicação Prática de Árvores de Falhas

### 4.1 – Sub-sistema Analisado

Para a aplicação prática da Árvore de Falhas em Locomotivas Diesel-Elétricas foi escolhida a Falha “Falha de Link” do Locotrol. O Locotrol é um equipamento importantíssimo para a otimização da operação ferroviária. Com ele, é possível realizar tração múltipla, de até quatro grupos de locomotivas, através do comando via rádio apenas da Locomotiva Comandante. Portanto, esta operação torna-se extremamente segura, totalmente sincronizada atingindo-se o benefício de maximizar a utilização dos recursos materiais e humanos.

Basicamente, o sistema pode ser apresentado conforme o esquema abaixo:

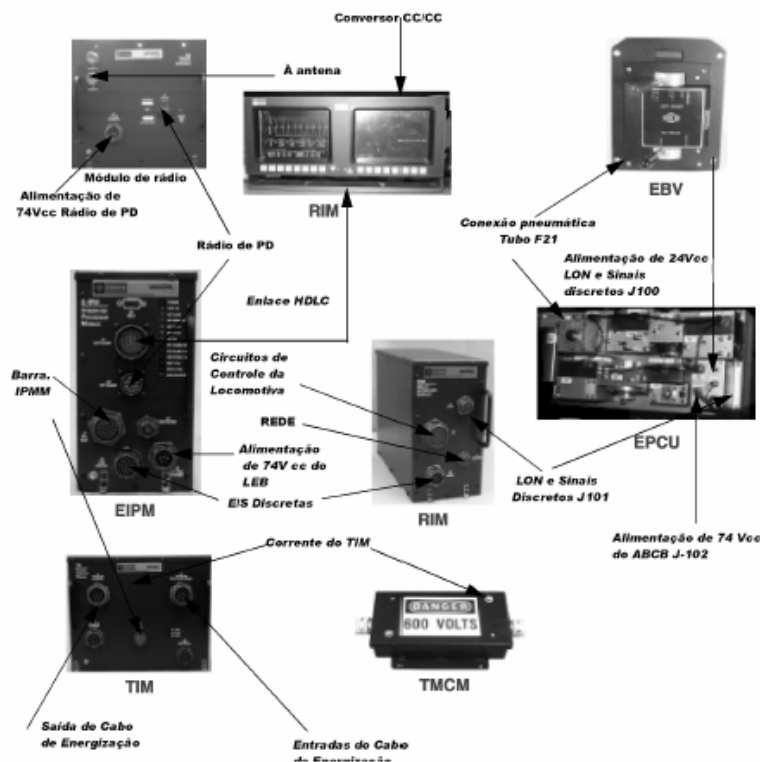


Figura 4.1 – Diagrama do Sistema de Locotrol

### **Módulo Ampliado do Processador Integrado (EIPM)**

O Módulo Ampliado do Processador Integrado do LOCOTROL (EIPM) contém os componentes eletrônicos e software que executam as funções necessárias para o controle da operação global do sistema. O mesmo é o computador principal do sistema do freio e do sistema de Potência Distribuída. Ele gerencia todas as tarefas do operador com o OIM e transmite comandos de freio ao EPCU do Freio Pneumático via LON. Quando se opera no modo de Potência Distribuída, o EIPM também gerencia todas as tarefas de interface com o Módulo de Rádio em Potência Distribuída através da conexão DP Radio para transmissão e recepção de mensagens de comando e resposta entre as locomotivas controladoras Líder e Remota.

Como uma Unidade Líder em Potência Distribuída, o EIPM recebe sinais do TIM e os envia à Unidade Remota via rádio. Como uma unidade Remota em Potência Distribuída, os comandos de rádio do controle do Cabo de Energização da Unidade Líder são enviados pelo EIPM para o Módulo de Interface do Cabo de Energização para energizar os cabos de controle da locomotiva referentes ao conjunto Remoto. O EIPM também processa entradas e saídas discretas provenientes do sistema do Freio a Ar e sistemas de sinais controle e do ATC através da sua conexão de Freio Pneumático com o RIM.

### **Módulo de Rádio**

Há dois rádios (A e B) no módulo, cada um com a sua própria antena; no entanto, apenas um rádio tem permissão para transmitir e receber num determinado momento. Os rádios são comutados através de software para a eventualidade de falha de um dos rádios. Os rádios operam na frequência de 464,025 MHz. Uma chave de teste é disponível para teste do watímetro do circuito rádio/antena. Segurando a chave na posição “Radio A” ou “Radio B”, irá ativar o rádio continuamente.

### **Módulo de Interface de Relés (RIM)**

O Módulo de Interface de Relés (Figura 1-4) contém condutores passantes e relés de saída da interface, que permitem ao EIPM receber sinais de entrada e saída dos sistemas da locomotiva e do Freio Pneumático. A configuração do sistema da locomotiva determina quais entradas e saídas são ativadas, bem assim os tempos ou limiares de pressão.

### **Módulo de Interface do Cabo de Energização (TIM)**

O Módulo de Interface do Cabo de energização (TIM) contém circuitos de detecção de entradas, que lêem sinais do condutor de controle do Cabo de energização de locomotiva, que a locomotiva Líder gera a partir dos controles de acelerador, direção e freio dinâmico do conjunto de locomotivas e envia os sinais para o EIPM, para desenvolvimento dos comandos transmitidos via rádio para as locomotivas Remotas. O TIM da locomotiva Remota de controle recebe os comandos de sinal do Cabo de energização de seu EIPM e excita os fios de controle do Cabo de energização do conjunto de locomotivas Remotas através de seus Drivers de Saída. Os Drivers de saída recebem alimentação de 74V cc para energizar os circuitos de controle do cabo de energização a partir do Disjuntor do cabo de energização no conector de Entrada de Força. Lâmpadas indicadoras confirmam a presença de +5V e +/-12V de alimentação interna fornecida pelo EIPM; não há lâmpadas indicadoras para confirmar a presença de 75V cc do Disjuntor do cabo de energização. O TIM contém o Relé de Intertravamento de Potência (PIR), que permite que os *drivers* do controle de aceleração da locomotiva sejam energizados se o EIPM tiver determinado que o controle de potencia de uma locomotiva Remota não deve ser interrompido.

#### **Válvula do Freio Eletrônico (EBV)**

A interface homem-máquina para o sistema do freio CCB II é a Válvula do Freio Eletrônico (EBV). A EBV contém punhos para operação dos freios automático e independente. Ela também contém um mecanismo para ativar o *Bail-Off* ou pressurizar o tubo de Atuação de Trem Unidade (ou seja, rápida liberação da aplicação do Freio Automático da locomotiva). A função *bail-off* é ativada, empurrando-se o punho independente para baixo. O punho descerá até um ângulo de sete (7) graus e retornará para a posição normal através de uma mola. Se ocorrer uma falta de potência, a função “*bail-off*” não poderá ser ativada. A EBV é conectada ao LON do Freio Pneumático e comunica com cinco módulos inteligentes da EPCU em tempo real. Os comandos da EBV não são processados através da EIPM. A EBC também contém uma válvula pneumática atuada por um excêntrico, que inicia uma aplicação de emergência comandada pneumaticamente (independente da presença de potência da locomotiva ou EPCU) quando o punho do Freio Automático é colocado na posição de Emergência. A válvula pneumática libera a pressão da linha 21, proveniente da parte da Linha do Freio da EPCU, abrindo a válvula de respiro de Emergência da Linha do Freio. A EBV é equipada com um display objetivo, que indica o comando de pressão para o controle do Reservatório Equilibrante em relação à posição do punho do Freio Automático.



### **Unidade de Controle Eletro-Pneumático (EPCU)**

A Unidade de Controle Eletro-Pneumático (EPCU) contém os componentes de válvulas pneumáticas que controlam a pressão pneumática na Linha do freio do trem e nos cabos de energização de controle do trem unidade. A EPCU contém filtros para a alimentação do Reservatório Principal, dos tubos do trem unidade de Aplicação Independente e Liberação e Atuação, além do filtro da Linha do freio, que é um elemento de tela. Adicionalmente, a EPCU contém o Regulador Motor Morto (na ER LRU), que permite o carregamento limitado do Reservatório Principal a partir da pressão da Linha do Freio em uma locomotiva com o motor parado. Quando energizada a partir da alimentação de 74 Vcc da locomotiva, fornecidos através do Disjuntor do Circuito do Freio Pneumático (ABCB), a EPCU responderá a todos os comandos

EBV conforme enviados por meio da manipulação dos punhos do controlador como a locomotiva Líder, ou responderá a todos os comandos de controle de freio conforme enviados a partir do EIPM, como a locomotiva Remota controladora em Potência Distribuída. Quando a alimentação de 74Vcc da locomotiva não é disponível, a EPCU irá assumir a função de uma locomotiva comandada, independentemente de sua configuração antes da falta de força.

### **Módulo de Interface do Operador (OIM)**

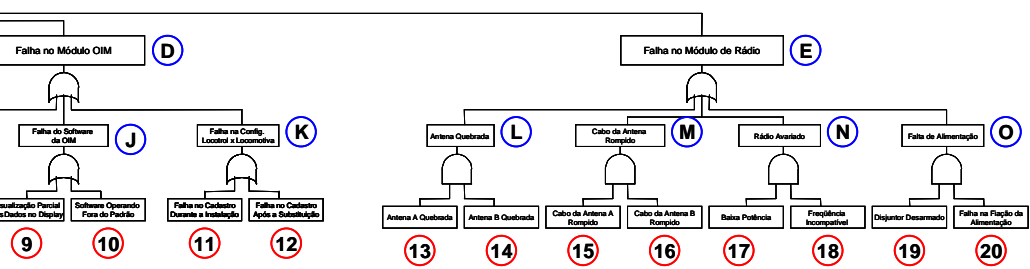
O dispositivo de interface homem-máquina primário para o sistema LEB é o Módulo de Interface do Operador (OIM). Ele contém duas telas em painel plano monocromático eletroluminescente, de cor âmbar, que exibem informação a respeito dos sistemas de potência distribuída e EAB. O sistema LEB é controlado através de dois grupos de oito chaves tipo botoeira iluminadas, situadas no painel frontal, abaixo de cada tela. Botões de função de seta acima e seta abaixo situadas entre grupos de botões funcionais são usados para controlar o brilho das duas telas, além de uma chave de força “On/Off”, que é localizada no painel posterior.

O OIM recebe sinais de satélites de GPS (Global Positioning System) e exibe a posição corrente da locomotiva.

## 4.2 Árvore de Falhas

A árvore de falhas elaborada teve como evento topo a ***Falha de Link***. Esta falha ocorre quando não se consegue estabelecer o “enlace” entre os equipamentos instalados nas locomotivas. Esta é uma falha que gera atraso durante a formação do trem. Geralmente, esse enlace é realizado pelos próprios maquinistas e quando essa falha ocorre, um técnico ou eletricista vai a campo para fazer uma avaliação das possíveis causas da falha. Portanto, a árvore de falha a seguir foi elaborada visando auxiliar os técnicos e eletricistas a detectarem o componente do Locotrol que apresentou falha. Ao detecta-lo, o mesmo pode ser reparado pelos próprios eletricistas ou ser encaminhado para o Laboratório de Eletrônica.

A seguir, será apresentada a árvore de falhas para a Falha de Link.



Falhas para a Falha de Link



### 4.3 Análise Qualitativa

Para a árvore de falhas apresentada, obteve-se os seguintes resultados utilizando o Algoritmo de Cortes Mínimos:

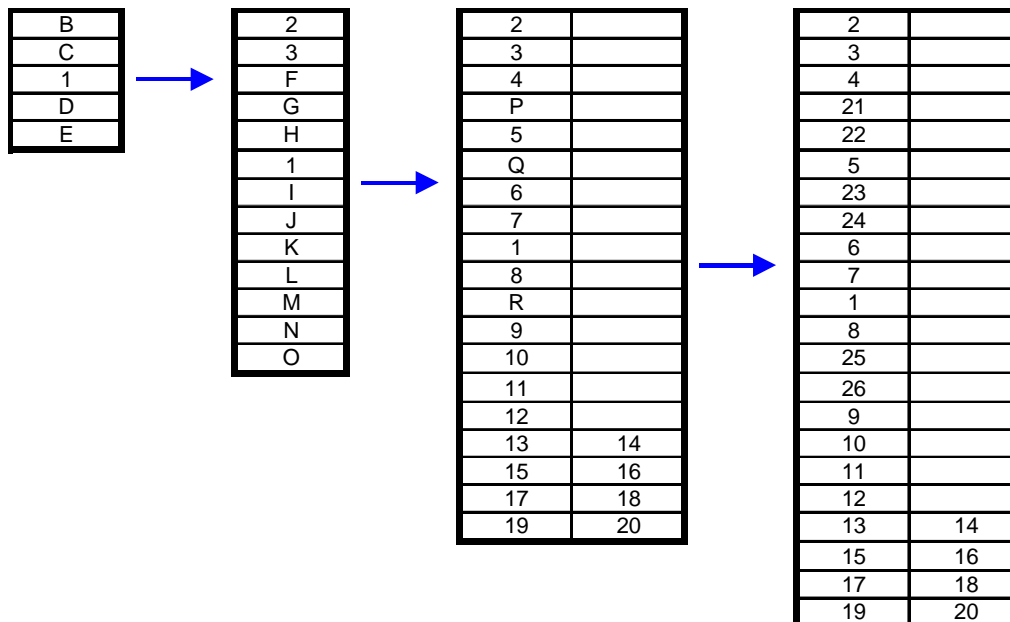


Figura 4.3 – Etapas do Método de Cortes Mínimos

Conforme a figura 4.2, a Árvore de Falha para “Falha de Link” apresentou 18 cortes de Primeira Ordem e 04 cortes de Segunda Ordem. Isto mostra que, para essa falha específica, o sistema está muito vulnerável, ou seja, muito dependente da confiabilidade dos componentes individualmente.

Porém, para garantir confiabilidade, o sistema apresenta redundância nas antenas de rádio. Esses componentes estão sujeitos a fatores que fogem ao controle da manutenção e da operação como: vandalismo e choques objetos que invadam a faixa de domínio. Para os demais componentes, obtêm-se confiabilidade cumprindo-se o programa de manutenção e operando o equipamento adequadamente.

## 5. Conclusões

Neste capítulo, faz-se um resumo dos assuntos abordados na dissertação, apresentado os resultados com a aplicação da Árvore de Falhas como subsídio para Manutenção Centrada em Confiabilidade de Locomotivas. São apresentadas as observações feitas com a realização do estudo de caso, melhorias e restrições observadas com a aplicação do método.

A Locomotiva Diesel-Elétrica é um equipamento com elevado grau de complexidade pela potência que é gerada e pelos controles necessários para viabilizar e otimizar sua operação. Além disso, é de fundamental importância para a função fim da MRS que é o transporte de cargas. Este cenário mostra-se perfeitamente adequado para a implementação da Manutenção Centrada em Confiabilidade com ganhos reais a médio prazo.

No que diz respeito a Árvore de Falhas, o estudo teórico comprovou que sua aplicação como suporte para implementação da MCC é viável e está alinhada com seus objetivos pelos seguintes fatores:

- **Levantamento de informações dos sub-sistemas:** A elaboração de árvore de falhas exige um estudo aprofundado sobre o funcionamento do sistema, dos modos de falha e suas conseqüências. Este estudo faz com que os especialistas e técnicos busquem cada vez mais aumentar o conhecimento do sistema, contribuindo assim para capacitação especializada.
- **Foco na Operação do Sistema:** Os eventos topo são selecionados de maneira a identificar as falhas que prejudicam no cumprimento da missão do sub-sistema analisado. O processo de detecção e solução da falha visa utilizar um encadeamento lógico para atuar exatamente na falha. Assim, ganha-se em produtividade e disponibilidade do ativo.
- **Documentação Técnica:** A aplicação desse método gera uma documentação técnica muito completa e detalhada sobre o funcionamento dos sub-sistemas. Isto é possível, pois

alia-se os conhecimentos práticos de anos de experiência dos técnicos e especialistas com a metodologia de elaboração. Assim, retêm e formaliza-se o conhecimento da empresa.

Do ponto de vista prático, a aplicação da árvore de falhas comprovou a eficácia dos fatores levantados no estudo teórico. A aplicação na “*Falha de Link*” do Locotrol resultou numa árvore de falhas que mostra o encadeamento e as interfaces entre os módulos e unidades de controle. Assim, consegue-se diagnosticar a falha de maneira precisa, padronizada e em tempo reduzido. Este equipamento possui tecnologia embarcada complexa, e atualmente, há um grupo restrito de técnicos da MRS capazes de diagnosticar e solucionar as falhas mais complexas. Com a utilização e a capacitação em árvore de falhas, técnicos e mantenedores serão capazes de diagnosticar a falha e solucioná-la com eficácia e eficiência.

Por ser uma metodologia recentemente introduzida nas áreas de manutenção, os conceitos e definições da Árvore de Falhas, não são perfeitamente compreendidos por todos, o que torna a implementação mais demorada. Assim, para conseguir os resultados desejados, a implementação deverá ser realizada em etapas envolvendo também treinamento e conscientização. As árvores de falha deverão ser elaboradas baseada em uma lista de prioridades. E, após a conclusão de cada árvore, a mesma deverá ser amplamente difundida. É essencial o monitoramento da utilização para avaliar a capacitação dos funcionários, avaliar a aplicabilidade prática e validar os resultados obtidos.

Considerando a exposição acima e o desenvolvimento do trabalho apresentado nos capítulos anteriores, pode-se afirmar que o objetivo geral foi atingido, qual seja: avaliar a utilização da Árvore de Falhas em Locomotivas Diesel-Elétricas levando-se em consideração a aplicabilidade na Manutenção Centrada em Confiabilidade.

Como sugestões de trabalhos futuros, propõe-se:

- a) Utilização de software específico para construção de Árvores de Falhas já interligado a um aplicativo de MCC;
- b) Realização de estudo de vida útil e taxa de falha de componentes para realização da Análise Quantitativa;
- c) Realizar a integração da Árvore de Falhas dos Sub-sistemas ao FMEA / FMECA durante análise de falhas dos componentes.



## **REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

**GE HARRIS, Distributed Power and Air Brake Systems – Field Service Setup, Troubleshooting and Maintenance Guide.**

**NEW YORK AIR BRAKE CORPORATION, CCB II Computer Controlled Brake Generation II, 2000.**

**ARATO, A. J, Manutenção Preditiva Usando Análise de Vibrações, Manole, São Paulo 2004.**

**SIQUEIRA, I. P, Manutenção Centrada na Confiabilidade – Manual de Implementação, Qualitymark Editora, 2005.**

**SUCENA, M, Engenharia de Manutenção – Apostila curso de Especialização em Transporte Ferroviário de Cargas, 2006.**

**BRANCO, J.E.S.C, FERREIRA, R, Tratado de Estradas de Ferro Vol II – Prevenção e Investigação de Acidentes, Rio de Janeiro, 2002.**

**KITAMURA, F, Mecânica de Locomotivas - Apostila curso de Especialização em Transporte Ferroviário de Cargas, 2006.**

**BORBA, J. L, Material de Tração – Pós-Graduação em Engenharia Ferroviária Pontifícia Universidade Católica, 2004.**

**SEIXAS, E. S, Manutenção Centrada na Confiabilidade, Qualytek, Rio de Janeiro 2002.**