

**INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM TRANSPORTE FERROVIÁRIO  
DE CARGA  
MRS LOGÍSTICA S.A.**

**DANILO BRINATI VIEIRA**

**ANÁLISE DE CAUSAS DE FALHAS EM LOCOMOTIVAS COM  
SUBSÍDIO DA ÁRVORE DE FALHAS**

RIO DE JANEIRO

2012

**INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM TRANSPORTE FERROVIÁRIO  
DE CARGA  
MRS LOGÍSTICA S.A.**

**DANILO BRINATI VIEIRA**

**ANÁLISE DE CAUSAS DE FALHAS EM LOCOMOTIVAS COM  
SUBSÍDIO DA ÁRVORE DE FALHAS**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Transporte Ferroviário de Cargas do Instituto Militar de Engenharia como requisito de diplomação.

Orientador: Prof. Marcelo P. Sucena - D. C.

Tutor: Mário Eiras Filho

**INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA**

**DANILO BRINATI VIEIRA**

**ANÁLISE DE CAUSAS DE FALHAS EM LOCOMOTIVAS COM  
SUBSÍDIO DA ÁRVORE DE FALHAS**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Transporte Ferroviário de Cargas do Instituto Militar de Engenharia como requisito de diplomação.

Orientador: Prof. Marcelo Prado Sucena - D. C.

Tutor: Mário Eiras Filho

Aprovada em 29 de Junho de 2012 pela seguinte Banca Examinadora:

---

Luiz Antônio Silveira Lopes

---

Glaudson Bastos

---

Marcelo Prado Sucena

RIO DE JANEIRO.

2012

À MRS Logística,  
à minha família  
e aos colegas de trabalho.

# Agradecimentos

À MRS Logística pela oportunidade de realização do curso.

À minha família, pelo apoio e carinho dedicados ao longo do curso.

A todos os meus amigos de trabalho e de curso, pelo companheirismo, paciência, incentivo e grande amizade desenvolvida durante todo o curso.

Ao meu orientador Marcelo Sucena, pela ajuda na escolha deste tema com grande aplicação e orientação durante o trabalho.

Ao meu tutor Mário Eiras, pelas dicas e informações compartilhadas.

## RESUMO

Com a crescente demanda de carga no modal ferroviário brasileiro, torna-se cada vez mais importante a disponibilidade e confiabilidade do material rodante, composto por locomotivas e vagões. Para atender a esta demanda é preciso que as empresas do ramo ferroviário estejam preparadas em relação à forma na qual gerenciam seus ativos.

A qualidade da manutenção está diretamente ligada ao resultado desse gerenciamento adequado, onde as metas de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade são orientações para o processo decisório.

Neste sentido, a Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) pode ser aplicada a qualquer sistema para se obter a qualidade desejada do material rodante, independente de sua tecnologia, devido à sua generalidade de conceitos. Neste tipo de manutenção os objetivos são traçados de acordo com a função e os padrões de desempenho de cada equipamento, sendo aplicada de forma contínua e reavaliada a cada etapa concluída.

Entre as ferramentas de auxílio à Engenharia de Manutenção destaca-se a Árvore de Falhas, que será utilizada neste trabalho como subsídio à análise de falhas em locomotivas pertencentes à MRS Logística, permitindo a visão geral do processo e indicando novos pontos de atuação da manutenção.

---

# Sumário

<b>Lista de Figuras</b> .....	<b>ix</b>
<b>Lista de Tabelas</b> .....	<b>x</b>
<b>Capítulo I Introdução</b> .....	<b>1</b>
<b>I.1 Considerações Iniciais</b> .....	<b>1</b>
<b>I.2 Objetivo</b> .....	<b>2</b>
<b>I.3 Justificativa</b> .....	<b>2</b>
<b>I.4 Metodologia</b> .....	<b>3</b>
<b>Capítulo II Sistemas Ferroviários</b> .....	<b>4</b>
<b>II.1 Introdução</b> .....	<b>4</b>
<b>II.2 Via Permanente e Sinalização</b> .....	<b>4</b>
II.2.1 Infraestrutura .....	4
II.2.2 Superestrutura.....	5
<b>II.3 Veículos Ferroviários</b> .....	<b>7</b>
II.3.1 Material Rodante Rebocado.....	7
II.3.1.1 Vagões.....	7
II.3.1.2 Carros de Passageiros.....	9
II.3.2 Material Rodante de Tração.....	9
II.3.2.1 Locomotivas Elétricas.....	9
II.3.2.2 Locomotivas Diesel-Elétricas .....	11
<b>Capítulo III Manutenção</b> .....	<b>17</b>
<b>III.1 Introdução</b> .....	<b>17</b>
<b>III.2 Tipos de Manutenção</b> .....	<b>17</b>
III.2.1 Manutenção Corretiva.....	17
III.2.2 Manutenção Preventiva .....	18
III.2.3 Manutenção Preditiva.....	19
III.2.4 Manutenção Produtiva Total .....	19
III.2.5 Manutenção Centrada em Confiabilidade.....	20
<b>III.3 Engenharia de Manutenção</b> .....	<b>21</b>
III.3.1 FMEA.....	21

---

III.3.2	FMECA.....	22
III.3.3	Árvore de Falhas.....	22
<b>Capítulo IV</b>	<b>Estudo de Caso.....</b>	<b>25</b>
<b>IV.1</b>	<b>MRS Logística S.A. ....</b>	<b>25</b>
IV.1.1	Confiabilidade da Frota.....	26
IV.1.2	Métodos de Manutenção.....	27
<b>IV.2</b>	<b>Objeto de Estudo.....</b>	<b>28</b>
<b>IV.3</b>	<b>Definição do Componente Crítico.....</b>	<b>29</b>
<b>IV.4</b>	<b>Árvore de Falhas.....</b>	<b>31</b>
<b>Capítulo V</b>	<b>Conclusões.....</b>	<b>36</b>
<b>Bibliografia.....</b>		<b>38</b>



---

# Lista de Figuras

FIGURA 1 – MODOS DE SUSPENSÃO DE CABOS PARA FORNECIMENTO AÉREO DE ENERGIA A LOCOMOTIVAS ELÉTRICAS. FONTE: BORBA (2001).....	10
FIGURA 2 – SÍNTESE DO SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO PARA LOCOMOTIVAS ELÉTRICAS. FONTE: BORBA (2001).....	11
FIGURA 3 – MOTOR DIESEL ACOPLADO AO ALTERNADOR.....	12
FIGURA 4 – ALTERNADOR. FONTE: OLIVEIRA (2012).....	12
FIGURA 5 – GOVERNADOR DO MOTOR DIESEL. FONTE: DORNELAS (2012).....	13
FIGURA 6 – EIXO DE UMA LOCOMOTIVA SEM O MOTOR DE TRAÇÃO. FONTE: DORNELAS (2012).....	14
FIGURA 7 – EIXO DE UMA LOCOMOTIVA COM O MOTOR DE TRAÇÃO INSTALADO. FONTE: DORNELAS (2012).....	14
FIGURA 8 – EXEMPLO DE CHAVE REVERSORA. FONTE: OLIVEIRA (2012).....	15
FIGURA 9 – MANIPULADOR DE FREIO. FONTE: DORNELAS (2012).....	16
FIGURA 10 – CONTATO DA SAPATA DE FREIO COM A RODA DA LOCOMOTIVA. FONTE: DORNELAS (2012).....	16
FIGURA 11 – EXEMPLO DE MONTAGEM DE ÁRVORE DE FALHAS.....	24
FIGURA 12 – MALHA FERROVIÁRIA SOBRE O CONTROLE DA MRS LOGÍSTICA. FONTE: MRS LOGÍSTICA (2012).....	25
FIGURA 13 – OCORRÊNCIAS ENVOLVENDO LOCOMOTIVAS DA FROTA SÃO PAULO EM 2011.....	28
FIGURA 14 – FALHAS EM SERVIÇO EM LOCOMOTIVAS DA FROTA SÃO PAULO EM 2011.....	29
FIGURA 15 – ESQUEMA DE ACOPLAMENTO DO MOTOR DE TRAÇÃO AO EIXO DO RODEIRO. FONTE: MANUAL GE (2008).....	30
FIGURA 16 – DIAGRAMA DE ISHIKAWA PARA O EFEITO “PERDA OU AUSÊNCIA DE ESFORÇO TRATOR”.....	32
FIGURA 17 – ÁRVORE DE FALHAS PARA O EFEITO “PERDA OU AUSÊNCIA DE ESFORÇO TRATOR”.....	33
FIGURA 18 – CONJUNTOS DE CORTE MÍNIMO PARA A ÁRVORE DE FALHAS EM ESTUDO.....	34

---

# Lista de Tabelas

TABELA 1 – SIGNIFICADO DA TERCEIRA LETRA NA NOMENCLATURA DE VAGÕES .....	9
TABELA 2 – SIMBOLOGIA BÁSICA UTILIZADA NA ÁRVORE DE FALHAS.....	23
TABELA 3 – PRINCIPAIS FALHAS EM MOTORES DE TRAÇÃO .....	31

---

# Capítulo I

## Introdução

### *1.1 Considerações Iniciais*

O sistema ferroviário teve início no Brasil quando Irineu Evangelista de Souza, posteriormente conhecido como Barão de Mauá, recebeu em 1852 a concessão do Governo Imperial para construir e explorar uma linha férrea no Rio de Janeiro, entre o Porto Estrela, na região da Baía de Guanabara, e Raiz da Serra, na direção da cidade de Petrópolis.

A Estrada de Ferro Mauá, com 14,5 km de extensão, permitiu integrar o transporte aquaviário e ferroviário, introduzindo a primeira operação intermodal do Brasil.

No primeiro Centenário da Independência do Brasil, em 1922, o país já contava com 29.000 km de ferrovias, com aproximadamente 2.000 locomotivas a vapor e 30.000 vagões em tráfego.

O Governo Vargas, no fim da década de 1930, deu início ao processo de reorganização e saneamento das estradas de ferro, com a encampação das empresas que apresentavam uma situação financeira ruim. Dessa forma, várias estradas de ferro foram incorporadas ao patrimônio da União, com o objetivo de prevenir o desemprego, evitar a forte interrupção do tráfego, permitir melhorias operacionais e recuperar linhas e material rodante. Com esses fins, foi criada em 1957 a sociedade anônima Rede Ferroviária Federal – RFFSA.

Entre 1980 e 1992, com a diminuição drástica dos investimentos, a RFFSA encontrava-se impossibilitada de gerar recursos suficientes à cobertura dos serviços da dívida contraída, o que ocasionou expressiva

---

perda de mercado para o modal rodoviário. Na impossibilidade de gerar os recursos necessários para continuar financiando os investimentos, o Governo Federal colocou em prática ações voltadas à concessão de serviços públicos de transporte de carga à iniciativa privada.

A RFFSA foi incluída no Programa Nacional de Desestatização (PND) em 10 de março de 1992, pelo Decreto 473, onde se estabeleceu os direitos e obrigações para as partes envolvidas no processo de concessão, definindo ainda o princípio da manutenção do equilíbrio econômico e financeiro e os direitos dos usuários.

Este processo foi concluído entre 1996 e 1998, onde se dividiu a malha em seis trechos regionais, arrendando os bens às concessionárias por 30 anos e concedendo a estas o direito de explorar os serviços do transporte ferroviário.

## *1.2 Objetivo*

Este trabalho tem como objetivo a aplicação da técnica Árvore de Falhas que é considerada como subsídio ao processo de criação de um modelo de Manutenção Centrada em Confiabilidade. Como aplicação desta técnica será desenvolvido um estudo de caso em um elemento crítico do subsistema material rodante, especificamente no componente Locomotiva Diesel-Elétrica.

## *1.3 Justificativa*

Em todo sistema ferroviário um ponto crítico em relação à confiabilidade é a frota de veículos, composta por locomotivas e vagões.

Após isso, a implantação de técnicas que sirvam para análise de falhas e de suas causas e que subsidiem a Manutenção Centrada na

---

Confiabilidade, em pleno desenvolvimento no âmbito ferroviário, é fundamental para que os resultados obtidos sejam os melhores.

Além disso, entende-se que o aspecto ambiental, atualmente, é um dos quesitos fundamentais no mundo corporativo. Por isso, pela análise das causas de falhas elaborada pela estruturação da técnica Árvore de Falhas, permite-se melhor conhecimento do funcionamento do sistema e das possibilidades de mitigação dos impactos ambientais.

## *1.4 Metodologia*

A metodologia proposta para este trabalho segue as seguintes etapas:

- Realizar pesquisa bibliográfica sobre sistemas ferroviários genéricos e, posteriormente, focado em locomotivas e sobre o sistema de manutenção, com as ferramentas existentes que dão auxílio ao mesmo;
- Desenvolver revisão conceitual sobre Árvore de Falhas;
- Definir um objeto de estudo, no caso uma frota pré-determinada de locomotivas, no banco de dados de falhas da MRS, empresa onde será desenvolvido o estudo de caso.
- Identificar um componente crítico segundo análise do banco de dados citado anteriormente;
- Aplicar a metodologia da Árvore de Falhas ao componente crítico.
- Analisar os resultados obtidos, avaliando sua influência no sistema como um todo, além dos impactos positivos e negativos no desenvolvimento da Manutenção Centrada na Confiabilidade.

---

# Capítulo II

## Sistemas Ferroviários

### *II.1 Introdução*

A ferrovia é um sistema complexo, composto por várias áreas ou subsistemas, com o objetivo principal que é a circulação de trens. Pode-se citar como subsistemas que compõem a ferrovia a Via Permanente, Material Rodante (locomotivas e vagões), Sistemas de Sinalização, entre outros. Os subsistemas de maior destaque serão brevemente apresentados de forma genérica a seguir.

### *II.2 Via Permanente e Sinalização*

A Via Permanente compõe o sistema de sustentação e a pista de rolamento da ferrovia, podendo ser dividida em superestrutura e infraestrutura.

#### **II.2.1 Infraestrutura**

A infraestrutura é um conjunto de obras implantadas em uma faixa de terreno destinadas a estabelecer e proteger o caminho de rolamento da via, tendo papel fundamental na sua estabilidade por sustentar toda a superestrutura.

Ela é composta por:

- Sistema de drenagem: os equipamentos que promovem o escoamento da água proveniente das chuvas, a qual acelera o processo de degradação da via, principalmente do lastro e dos

---

dormentes. Os componentes principais de um sistema de drenagem são drenos, bueiros, canaletas e valas.

- Seções de terraplanagem: são formadas pelos corte e aterros. Nos cortes são retirados materiais para compor a plataforma ferroviária. Nos aterros são colocados materiais para formar a plataforma.
- Obras de arte especiais: são as obras de grande porte que auxiliam na transposição de alguns obstáculos ao longo da ferrovia, como rios, grandes desníveis e montanhas. Os principais tipos de obras de arte são pontes, viadutos e túneis.

## II.2.2 Superestrutura

A superestrutura é a parte da via permanente que recebe diretamente as cargas dos veículos ferroviários e transmite parte desta carga para a infraestrutura. É composta por:

- Lastro: material granulado que fica logo acima do solo, também conhecido como pavimento ferroviário. Tem como principais funções distribuir ao solo os esforços, fornecer elasticidade à via no momento da passagem dos veículos, corrigir possíveis irregularidades da infraestrutura, garantindo uma superfície uniforme para a colocação dos dormentes, impedir o deslocamento dos dormentes e fazer com que a superestrutura permaneça drenada. Geralmente é utilizada como lastro a pedra britada, mas é comum encontrar escória de alto forno nesta função.
- Dormentes: são vigas posicionadas perpendicularmente ao sentido da linha que têm como principais funções transferir a carga recebida ao lastro, garantir a largura da bitola (espaçamento entre trilhos), reduzir os movimentos do trilho e

---

amortecer possíveis vibrações. Dormentes geralmente são feitos de madeira, aço, concreto ou plástico (polímeros).

- Trilho: são vigas contínuas de aço que têm como principais funções guiar as rodas dos veículos, receber os carregamentos verticais, transmitindo as forças recebidas aos dormentes, conduzir energia para os circuitos de sinalização e atuar como terra para circuitos elétricos das locomotivas.
- Fixação: é responsável por manter os trilhos fixados aos dormentes, mantendo a largura da bitola dentro dos padrões definidos.
- Aparelho de mudança de via: o AMV é um componente da via permanente responsável por guiar o trem em movimento de uma linha para outra. (BRINA, 1988)

Para que uma ferrovia possa operar de forma segura e garantir eficiência ao transporte é indispensável a utilização de um sistema de sinalização, comunicação e controle de tráfego eficazes.

A sinalização é realizada por placas que impõem condições ao maquinista que pilota o trem, alertando sobre as condições da via, restrições de velocidade e ações específicas para determinados trechos (buzinar, parar, ligar um sistema particular). Também pode ser feita através de sinais luminosos, controlados local ou remotamente e, em muitos casos, automaticamente através de circuitos de via (trechos são divididos em “blocos” e identificados através de sinais elétricos).

A comunicação é realizada por intermédio de sistemas de rádio e satélite, entre o maquinista e o centro de controle operacional ou estação intermediária, onde são definidas rotas, paradas e cruzamentos.



---

## II.3 Veículos Ferroviários

Podem ser considerados Veículos Ferroviários ou Material Rodante, para transporte de carga, todos os veículos providos de rodas e que se movimentam sobre os trilhos. O Material Rodante pode ser dividido em rebocado e de Tração.

### II.3.1 Material Rodante Rebocado

#### II.3.1.1 Vagões

Os vagões são veículos ferroviários destinados ao transporte de cargas diversas. São classificados de acordo com seu tipo, subtipo, bitola, capacidade de carga e inclusive o proprietário.

Sua nomenclatura é composta de três letras, com os seguintes significados:

A primeira letra representa o tipo do vagão:

- **FECHADO**: carga geral embalada ou a granel com descarga de fundo;
- **GÔNDOLA**: granéis sólidos e produtos siderúrgicos;
- **HOPPER**: granéis sólidos e nos fechados grãos e cimento a granel;
- **PLATAFORMA**: produtos siderúrgicos, contêineres e veículos;
- **TANQUE**: granéis líquidos;
- **ISOTÉRMICO**: para cargas frigorificadas;
- **ANIMAIS**: vagões gaiola para transporte de animais.

Entre outros

---

A segunda letra representa o subtipo do vagão, com características do tipo de descarga, revestimento e utilização, como a seguir:

- Vagão **F**echado: **R**evestido, **S**em Revestimento, **L**ateral (descarga), **E**scotilha para carregamento e **H**opper (descarga de fundo com tremonha)
- Vagão **G**ôndola: **D**umper (descarga com car-dumper), **P**ortas laterais, **F**undo móvel (descarga), **H**opper (bordas basculantes ou com fundo em lombo de camelo) e **T**ombantes (bordas tombantes);
- Vagão **H**opper: **A**berto, **F**echado (granéis sólidos), **T**anque convencional e **E**, com proteção anti-corrosiva.
- Vagão **P**lataforma: **A**utomóveis (com dois pavimentos), **B**obina, **C**ontêiner, **D**ispositivo para fixação de contêiner, **E** (convencional com piso metálico), **G** para piggy-back (reboques rodoviários) e **R**ebaixado para cargas de grandes dimensões.
- Vagão **T**anque: **C**onvencional, **G**ases , **P**ulvurulento, **S**erpentina para aquecimento.
- Vagão **I**sotérmico: **C**onvencional.
- Vagão de **A**nimais: **C**onvencional, com estrado e estrutura metálica.

A terceira letra representa simultaneamente a bitola e capacidade bruta de carga, como na tabela que segue:

---

Tabela 1 – Significado da terceira letra na nomenclatura de vagões

<b>BITOLA 1,00 m</b>	<b>BITOLA 1,60 m</b>	<b>PESO POR EIXO (t)</b>	<b>PESO BRUTO MÁX. DO VAGÃO (t)</b>
A	-	7,5	30
B	P	11,75	47
C	Q	16	64
D	R	20	80
E	S	25	100
F	T	32,5	130
-	U	37,5	150

### **II.3.1.2 Carros de Passageiros**

Os carros de passageiros são classificados de acordo com o serviço que prestam, entre eles:

- Poltrona
- Dormitório
- Restaurante
- Correio
- Bagageiro

Entre outros. (SHIMURA, 2011)

## **II.3.2 Material Rodante de Tração**

### **II.3.2.1 Locomotivas Elétricas**

No sistema de tração elétrica o veículo trator obtém o esforço mecânico necessário ao deslocamento dos trens de fontes externas de energia. Este sistema funciona da seguinte forma:

Linhas de transmissão levam a energia da usina de eletricidade ou de uma linha de alta tensão até um ponto conveniente à ferrovia, onde a

---

mesma é recebida num posto transformador, que tem por função abaixar a tensão da energia recebida, lançando-a em uma linha de distribuição própria da ferrovia.

As linhas de distribuição seguem paralelamente à ferrovia, alimentando as subestações de tração, que retificam a tensão e entregam às linhas de contato, que transportam a energia necessária até a locomotiva. Estas linhas estão localizadas sobre a via férrea e, como a forma de equilíbrio de um fio pesado é similar à da catenária, é necessário compor a linha de contato com um cabo em suspensão, chamado mensageiro, que assume a forma da catenária, deixando a linha de contato com a locomotiva paralela à via (Figura 1).

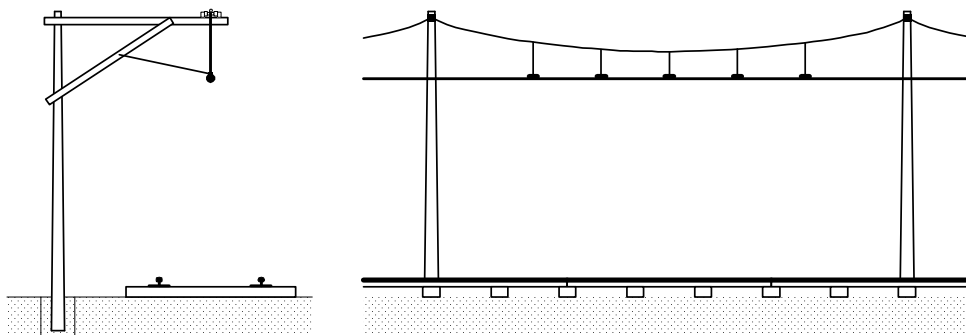


Figura 1 – Modos de suspensão de cabos para fornecimento aéreo de energia a locomotivas elétricas. Fonte: BORBA (2001)

A energia é transferida à locomotiva por intermédio do pantógrafo que, em contato com a catenária conduz a energia até o sistema de controle de tração, dentro da locomotiva, que regula o consumo da demanda de potência requerida e alimenta os motores de tração. O tipo do motor de tração varia de acordo com o sistema de tração adotado. Esta situação está esquematizada na Figura 2. (BORBA, 2001)

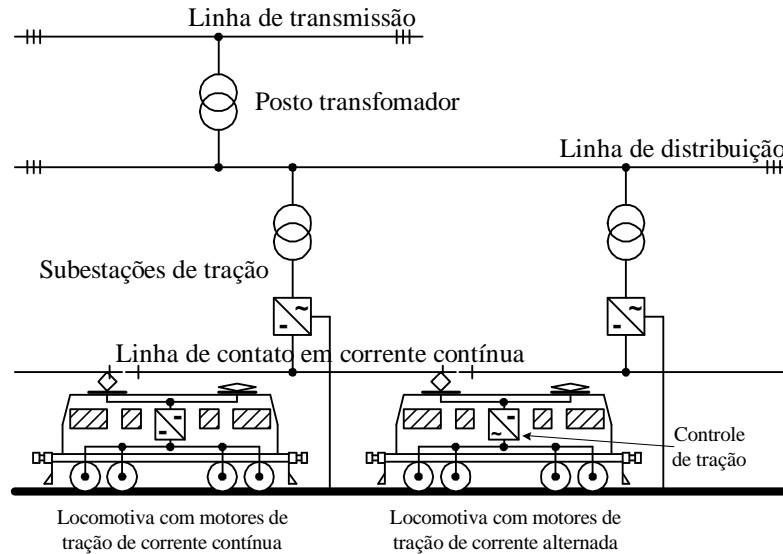


Figura 2 – Síntese do sistema de alimentação para locomotivas elétricas. Fonte: BORBA (2001)

### II.3.2.2 Locomotivas Diesel-Elétricas

Para locomotivas que possuem como fonte primária de energia o motor diesel, tem-se a impossibilidade de ligar este motor diesel diretamente aos eixos. Como o motor diesel deve partir a vazio, sem estar ligado aos eixos da locomotiva, torna-se necessário um sistema de transmissão de energia entre o motor e os eixos.

Nas locomotivas diesel-elétricas é utilizado um sistema de transmissão de energia que pode ser usado para várias potências, transformando energia mecânica em elétrica que alimenta motores de tração acoplados aos eixos.

O motor diesel (Figura 3) é classificado como um motor de combustão interna que entrega energia mecânica através da queima de óleo diesel. Seu eixo está acoplado diretamente a um alternador (Figura 4), que converte esta rotação em energia elétrica, que será entregue aos motores de tração.

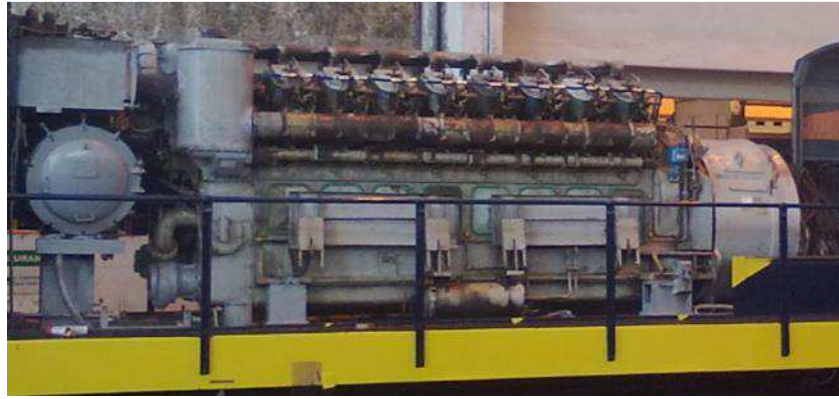


Figura 3 – Motor diesel acoplado ao alternador



Figura 4 – Alternador. Fonte: OLIVEIRA (2012)

A corrente de saída do alternador é retificada e alimenta os motores acoplados aos eixos quando em tração e serve também de excitação dos campos destes motores quando a locomotiva opera em freio dinâmico.

Acoplado ao motor diesel está o Governador (Figura 5), responsável por manter constante a rotação do motor para todos os pontos de

---

aceleração de acordo com a necessidade de carga, através de um sistema elétrico-hidráulico. Dessa forma, o Governador garante uma saída de potência constante em cada nível de rotação. Além disso, o Governador realiza o monitoramento das pressões de óleo lubrificante e água para resfriamento do motor diesel, cortando a alimentação de combustível deste caso as pressões venham a atingir valores indesejados.



Figura 5 – Governador do motor diesel. Fonte: DORNELAS (2012)

Novas locomotivas, equipadas com sistemas de injeção eletrônica, dispensam o uso desse Governador.

Nos eixos das locomotivas (Figura 6), acoplados através de engrenagens, estão os motores de tração (Figura 7), que convertem a potência elétrica recebida do alternador novamente em potência mecânica, promovendo o movimento da locomotiva.



Figura 6 – Eixo de uma locomotiva sem o motor de tração. Fonte: DORNELAS (2012)

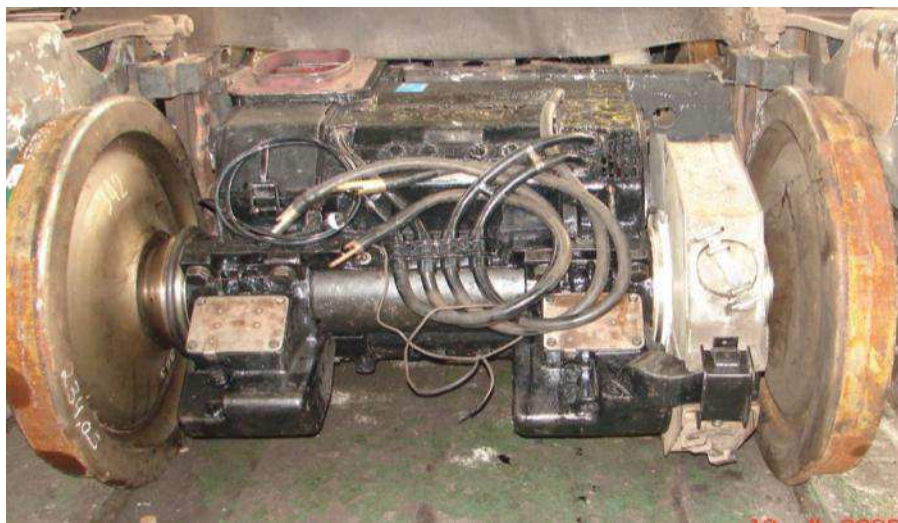


Figura 7 – Eixo de uma locomotiva com o motor de tração instalado. Fonte: DORNELAS (2012)

Os motores de tração são motores de corrente contínua compostos por um estator e uma armadura. O estator é uma carcaça e é composto pelas bobinas de campo e por polos de comutação, envolvendo a armadura que está acoplada ao eixo do motor.

Quando é energizado, o motor de tração parte e tende ao equilíbrio em determinada velocidade, de acordo com a corrente e a carga solicitada. A redução da carga ou o aumento de corrente fará com que a velocidade do motor de tração aumente. O aumento da carga ou a diminuição da corrente promove o processo inverso.



---

Através de contadores e da chave de reversão, presentes no armário elétrico da locomotiva, é possível inverter o sentido da corrente que passa pelas bobinas de campo dos motores de tração, mantendo-se inalterado o sentido da corrente que passa pela armadura. Dessa forma, é possível inverter o sentido de rotação dos motores de tração, o que permite mover a locomotiva em dois sentidos.

A chave reversora (Figura 8) é uma chave de força de acionamento pneumático controlada eletricamente que liga o campo dos motores de tração. (OLIVEIRA, 2012)



Figura 8 – Exemplo de chave reversora. Fonte: OLIVEIRA (2012)

Durante o processo chamado frenagem dinâmica, os motores de tração passam a se comportar como geradores, excitados pela corrente do alternador e produzindo mais corrente, que é dissipada em grupos de resistências. Este processo permite a redução da velocidade da locomotiva em certas faixas, mas não a parada completa da mesma.

---

A frenagem convencional da locomotiva se dá através do atrito entre sapatas de freio e as rodas (Figura 10). Estas sapatas são acionadas por manipuladores de freio pneumáticos (Figura 9) por intermédio de uma timoneria de freio, como ilustrado nas figuras a seguir:



Figura 9 – Manipulador de freio. Fonte: DORNELAS (2012)



Figura 10 – Contato da sapata de freio com a roda da locomotiva. Fonte: DORNELAS (2012)

---

# Capítulo III

## Manutenção

### *III.1 Introdução*

A cada dia surgem novas exigências a respeito de confiabilidade e disponibilidade da frota de veículos ferroviários, com o objetivo de aumentar o volume transportado e os índices de eficiência e segurança.

Com base nisso, torna-se necessário o desenvolvimento de sistemas de manutenção cada vez mais completos, que aumentem a produtividade dos ativos, reduzindo os custos de intervenção e diminuindo a quantidade e a gravidade das falhas.

Neste capítulo serão abordados os tipos de manutenção existentes, com suas vantagens específicas, além das técnicas que servem de apoio à Engenharia de Manutenção na aplicação da Manutenção Centrada em Confiabilidade.

### *III.2 Tipos de Manutenção*

#### **III.2.1 Manutenção Corretiva**

Segundo a Norma NBR 5462 (1994), manutenção corretiva é “a manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane, destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida”. A intenção deste tipo de manutenção é corrigir as falhas nos equipamentos ou dispositivos a fim de restabelecer sua função. A

---

manutenção corretiva é a mais antiga e mais utilizada, podendo ser verificada em qualquer empresa que tenham itens físicos, não importando o nível de planejamento da manutenção.

Este tipo de manutenção implica normalmente em custos elevados, pois a falha, quando não é esperada, pode gerar grandes perdas na produção. Intervenções corretivas são normalmente mais demoradas, principalmente no caso de manutenção de veículos como locomotivas, que nem sempre conseguem ser recolhidas em oficinas para efetuar os reparos necessários. Por ser inesperada pode acarretar perdas de produção e queda de nível de serviço. Essa “dependência” da falha gera incerteza quanto à segurança e ao estoque de peças de reposição, promovendo acréscimos aos custos de manutenção.

### III.2.2 Manutenção Preventiva

O objetivo da Manutenção Preventiva é a substituição de determinadas peças ou componentes antes que atinjam a idade em que passam a oferecer risco de quebra. Esta manutenção pode ser baseada em dados estatísticos, que permitem estimar a vida útil dos componentes a partir de uma base de eventos de falhas. Conhecendo-se a taxa de falhas dos componentes é possível criar um plano de substituição dos equipamentos ou sistemas ao longo do tempo. A Manutenção Preventiva também é chamada de manutenção baseada em intervalos.

Ao contrário da Manutenção Corretiva, a Manutenção Preventiva procura atuar antes que a falha efetivamente ocorra. A definição da NBR 5462(1994) para a Manutenção Preventiva é “manutenção efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritivos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item”.

---

### III.2.3 Manutenção Preditiva

A Manutenção Preditiva pode ser considerada uma forma mais evoluída da Manutenção Preventiva. Pela análise de certos parâmetros dos sistemas produtivos é possível estabelecer a previsão de diagnósticos de falhas possíveis. Acompanhando sistematicamente as variáveis que indicam o desempenho dos equipamentos, pode-se definir a necessidade de intervenção.

Este tipo de manutenção garante bom retorno quanto à disponibilidade, já que as medições e verificações são realizadas com o equipamento em funcionamento. Vale considerar que para a aplicação da manutenção preditiva a qualificação da mão de obra responsável pelas análises e diagnósticos deve possuir qualidade equivalente aos dados registrados. As características elaboradas desse tipo de manutenção não permitem que ela seja empregada de forma generalizada, pois geralmente exige volume de recursos grande, tanto humanos como materiais. Desta forma, se restringe a aplicação em sistemas mais complexos e críticos para produção.

### III.2.4 Manutenção Produtiva Total

A Manutenção Produtiva Total (MPT) estimula a participação dos operadores num esforço de manutenção preventiva e corretiva, criando uma mentalidade de autogerenciamento do seu local de trabalho. Este tipo de manutenção visa o aumento da eficiência dos equipamentos, reduzindo os custos operacionais. A atuação não ocorre apenas no reparo, mas também junto ao operador e na gestão do equipamento, visando eliminar todas as perdas.

---

### III.2.5 Manutenção Centrada em Confiabilidade

Em uma definição simples, a Manutenção Centrada em Confiabilidade consiste em entender quais são as principais fontes de falhas, com o objetivo de antecipá-las à sua ocorrência. Sempre que uma falha é identificada, são listados e investigados todos os eventos que a provocaram. Esses eventos são chamados “modos de falha” e são organizados em listas. Para que se tenha uma compreensão ampla sobre os possíveis modos de falha, faz-se necessário registrar não só as falhas causadas por deterioração ou desgaste normal, mas também as falhas de projeto e as causadas por erros humanos, ou seja, por parte dos operadores e mantenedores por falta de atenção, despreparo ou falta de treinamento.

A MCC está voltada principalmente para questões como confiabilidade e segurança operacional, buscando sua maximização através do planejamento, com foco na função do sistema. Além disso, busca também minimizar os custos e os impactos ambientais.

A condução da MCC leva às seguintes perguntas:

- Quais as funções do sistema/equipamento e os padrões de desempenho associados?
- Como o sistema pode falhar ao realizar essas funções?
- O que pode causar a falha funcional?
- O que acontece quando uma falha ocorre?
- Quais podem ser as consequências quando da ocorrência da falha?
- O que pode ser feito para detectar e prevenir a ocorrência da falha?

- 
- O que deverá ser feito se uma tarefa de manutenção não pode ser identificada?

A MCC pode utilizar determinadas ferramentas da Engenharia de Manutenção no auxílio de seu desenvolvimento, que serão tratadas no tópico a seguir.

### III.3 Engenharia de Manutenção

A Engenharia de Manutenção é um conjunto de atividades que permite que a confiabilidade seja aumentada garantindo a disponibilidade. Seu objetivo principal é reduzir as intervenções corretivas através da diminuição da incidência de problemas crônicos, melhorando os padrões e sistemáticas. Propõe desenvolver a manutenibilidade, dar *feedback* ao projeto e interferir tecnicamente nas compras.

#### III.3.1 FMEA

A Análise de Modos e Efeitos de Falhas – FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis*) relaciona os modos de falhas em equipamentos e seus componentes, com seus efeitos provocados no sistema.

Esta técnica, voltada para o aumento da confiabilidade por meio da identificação dos modos de falha dos equipamentos, busca a melhoria da segurança do projeto, podendo ser utilizada em análises de risco. Sua apresentação se dá geralmente em forma de tabela, como apresentado no capítulo seguinte na tabela 3.

Apesar de poder usar o FMEA na identificação de modos de falha que resultam em determinado efeito, esta técnica não se mostra muito eficiente quando se tem uma lista extensa de combinações de falhas.

---

### III.3.2 FMECA

A FMECA (*Failure Modes, Effects and Criticality Analysis* ou Análise do Modo, do Efeito e da Criticidade das Falhas) é a metodologia que visa analisar todos os modos de falha de um determinado sistema, o efeito potencial que esta falha exerce sobre o desempenho e a segurança deste sistema e o nível de severidade deste efeito.

A principal diferença entre FMEA e FMECA está no fato de que a primeira é uma técnica qualitativa utilizada na avaliação de projetos, enquanto a segunda é composta do próprio FMEA somado a uma Análise da Criticidade. Esta análise é considerada como aplicação quantitativa usada para classificar os modos de falhas quanto aos seus efeitos e probabilidade de ocorrência.

### III.3.3 Árvore de Falhas

A análise pela técnica Árvore de Falhas permite determinar, por intermédio da dedução, as causas básicas de um determinado evento chamado “evento topo”. Os resultados da análise por Árvore de Falhas são voltados para a confiabilidade dos equipamentos analisados e para a segurança do processo como um todo.

Este método utiliza a lógica Booleana (E, OU, entre outros) em forma de ramificações. Este tipo de análise é muito útil para descrever uma combinação de falhas ou possíveis erros humanos que podem contribuir para a formação do evento topo.

Para a construção da Árvore de Falhas deve-se seguir as seguintes etapas:






- Definição do Sistema: nesta etapa o sistema é caracterizado e suas funções são definidas. São identificadas as suas especificações técnicas e seu modo de operação.



- Definição do Evento Topo: o evento topo geralmente está relacionado a alguma situação crítica e para que este seja definido corretamente, não pode ser algo geral, de modo a tornar a análise dispersa, nem muito específico, pois a análise deve permitir uma visão ampla do sistema.
- Construção da Árvore: é inserido o evento topo e os fatores contribuintes. São determinadas as falhas básicas através da diagramação com a lógica Booleana.
- Validação da Árvore de Falhas: tem como objetivo garantir a precisão e a veracidade das informações.

A Tabela 2 apresenta a simbologia utilizada para formação de estrutura lógica em forma de ramificação.

Tabela 2 – Simbologia básica utilizada na Árvore de Falhas

<b>Evento básico</b> 	Um evento básico corresponde tipicamente a um evento de falha de um componente ou a um erro humano. Representa o final do processo de análise dedutiva, formando, assim, a base da Árvore de Falhas
<b>Evento não-desenvolvido</b> 	É utilizado quando o evento é de consequência insuficiente ou informação relevante não está disponível. Um evento não desenvolvido é um evento para o qual o analista não tem interesse em continuar o processo dedutivo, seja porque as causas do evento decorrem de falhas de componentes situados fora da fronteira definida para a análise, ou porque aquele
<b>Evento intermediário</b> 	Ocorrem porque uma ou mais causas antecedentes agem através das portas lógicas
<b>Porta Lógica OU</b> 	Evento de saída que ocorre somente se um ou mais dos eventos de entrada ocorrerem
<b>Porta Lógica E</b> 	O evento de saída ocorre somente se todos os eventos de entrada ocorrerem

Por exemplo, esses símbolos podem ser estruturados como exposto na Figura 11 a seguir.

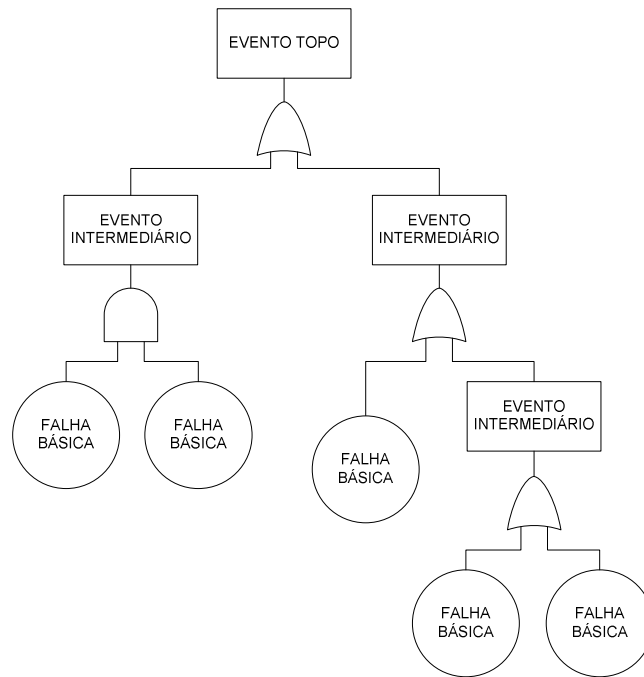


Figura 11 – Exemplo de montagem de Árvore de Falhas

Os eventos mais básicos que formam as combinações de falhas mais críticas para a ocorrência do evento topo, tanto dos equipamentos quanto falhas humanas, são chamados “cortes mínimos”. Para se determinar os cortes utiliza-se uma metodologia qualitativa denominada Algoritmo de Vesely-Fussel. (SUCENA, 2011)

---

# Capítulo IV

## Estudo de Caso

### IV.1 MRS Logística S.A.

A MRS Logística S.A. é uma concessionária que está presente no mercado do transporte ferroviário desde 1996, como resultado da extinção da RFFSA. A MRS controla e opera a antigamente chamada Malha Regional Sudeste, que interliga os estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo por 1.643 Km de linhas. Essas linhas podem ser visualizadas na Figura 12.



Figura 12 – Malha ferroviária sobre o controle da MRS Logística. Fonte: MRS LOGÍSTICA (2012)

O foco das atividades da MRS é o transporte ferroviário de cargas gerais, tendo seu maior volume concentrado no transporte de minério

---

de ferro, mas transportando também outras cargas, como soja, cimento, bauxita, produtos siderúrgicos acabados e carga geral em containers.

O volume transportado pela MRS passou de 40 milhões de toneladas em 1996, ano da concessão, para 150 milhões em 2011, com um crescimento praticamente exponencial.

Sobre estes trilhos e transportando todo este volume está a frota de material rodante, composta por mais de 700 locomotivas e 18.000 vagões.

Entre as locomotivas os modelos variam entre 2.000 e 4.400 HP, com motores de corrente contínua e alternada. Entre os vagões, os principais tipos utilizados são gôndola, plataforma e vagões fechados.

#### IV.1.1 Confiabilidade da Frota

Os principais indicadores de confiabilidade da frota de locomotivas da MRS são:

- Número de defeitos;
- Número de falhas e serviço;
- THP 601 – Trem Hora Parado: é um contador que mede quanto tempo os trens ficam parados por falha de locomotiva (código 601);
- KMED – É a distância percorrida pelas locomotivas dividida pelo número de ocorrências que geraram THP 601;
- MKBF – É a média de distância percorrida pelas locomotivas entre falhas em serviço.
- Os chamados “defeitos” podem ser considerados como as ocorrências envolvendo componentes de locomotivas que não

---

resultam na retirada do ativo do trem, não sendo necessária a sua substituição ou a colocação de auxílio de tração. Quando isso acontece, temos então uma “falha em serviço”.

#### IV.1.2 Métodos de Manutenção

O modelo de manutenção predominante na MRS Logística é o preventivo, baseado na troca de componentes em revisões específicas, de acordo com a vida útil estimada para cada um ao longo do tempo.

O modelo inicial de manutenção era baseado no tempo, da seguinte forma:

- IC – Inspeção de Viagem, realizada aproximadamente a cada mês. São checados itens básicos da locomotiva, principalmente os de rápido consumo e desgaste;
- RCI – Revisão de Consumo Intermediária, feita a cada seis meses.
- C1 – Complemento de revisão 1, realizado anualmente;
- C2 – Complemento de revisão 2, feito a cada dois anos;
- C4 – Revisão Geral da locomotiva, feita aproximadamente a cada quatro anos, compreende a substituição de todos os componentes, incluindo o motor diesel.

Este modelo foi alterado para um baseado em consumo de combustível, mantendo os padrões de cada revisão, mas neste novo modelo o gatilho para cada intervenção se baseia nos dados de abastecimento de diesel. Este padrão de classificação considera que as locomotivas que mais tracionam são as que vão apresentar maior desgaste nos seus componentes

---

Mais recentemente começou a ser aplicado o modelo de manutenção preditiva, com o auxílio de ferramentas como a termografia e a análise de vibrações dos componentes.

## IV.2 Objeto de Estudo

O objeto de estudo deste trabalho será a frota de locomotivas de carga cativas do estado de São Paulo, composta por 111 ativos no período analisado (2011). São locomotivas diesel-elétricas de corrente contínua, com potências entre 2.000 e 3.000 HP, que tracionam trens transportando bauxita, soja, containers e siderúrgicos.

A respeito dos indicadores de confiabilidade, segue a evolução do número de ocorrências (defeitos e falhas em serviço) envolvendo as locomotivas da frota São Paulo no ano de 2011, separados mês a mês.

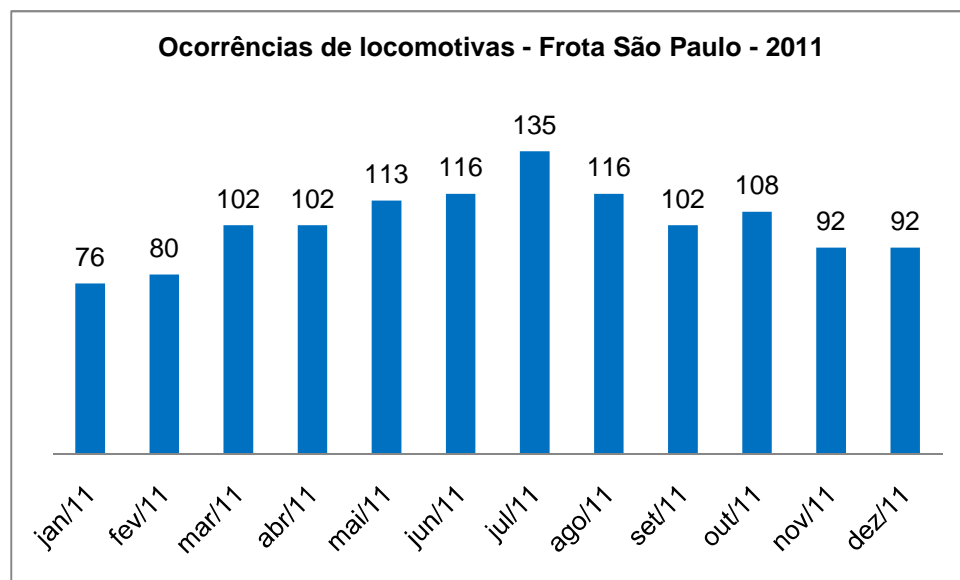


Figura 13 – Ocorrências envolvendo locomotivas da frota São Paulo em 2011

O gráfico a seguir mostra as falhas em serviço por mês no ano de 2011 para a mesma frota de locomotivas

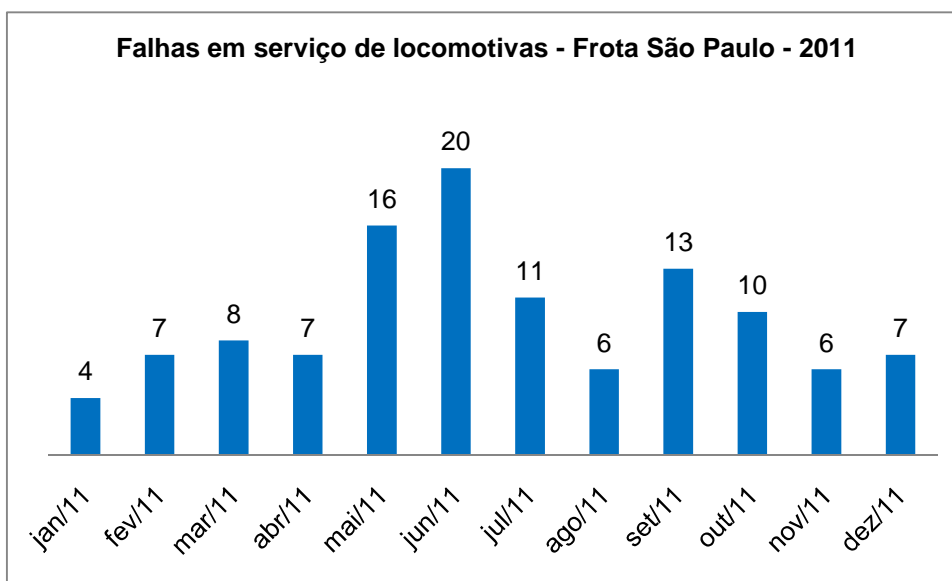


Figura 14 – Falhas em serviço em locomotivas da frota São Paulo em 2011

É possível observar em ambos os gráficos um grande aumento no número de ocorrências e falhas em serviço nos meses centrais de 2011 (maio a agosto). A causa desse aumento será evidenciada posteriormente neste trabalho.

### IV.3 Definição do Componente Crítico

Para a definição do componente crítico foram empregados dois critérios:

- 1) Classificação do sistema (locomotiva) e seus subsistemas e componentes da seguinte forma: pontua-se o componente com uma nota de 1 a 9 nos critérios “severidade da falha”, “probabilidade de ocorrência” e “probabilidade de detecção da falha”, sendo este último classificado inversamente (uma probabilidade alta de detecção gera uma nota baixa). Com essas notas, obtêm-se um Índice de Risco, resultado da multiplicação direta entre elas.
- 2) Definição do componente crítico baseando-se na visão prática dos técnicos que trabalham na oficina. Para este critério foi levantado

---

o componente que mais gerou intervenções pesadas no ano de 2011, aumentando a retenção de locomotivas em oficina e reduzindo a disponibilidade da frota.

Para ambos os critérios foi encontrado o motor de tração como componente crítico.

Este item, que é substituído apenas em revisões pesadas (C4) foi alvo de dezenas de intervenções corretivas ao longo do ano de 2011.

O motor de tração é o responsável pela etapa final de transformação da energia gerada na combustão do diesel em movimento para a locomotiva.

Como citado anteriormente, ele é suprido de energia elétrica pelo alternador, e este tem sua produção baseada na rotação do motor diesel. Através de engrenagens acopladas ao eixo das rodas, a rotação do motor de tração é convertida em movimento.

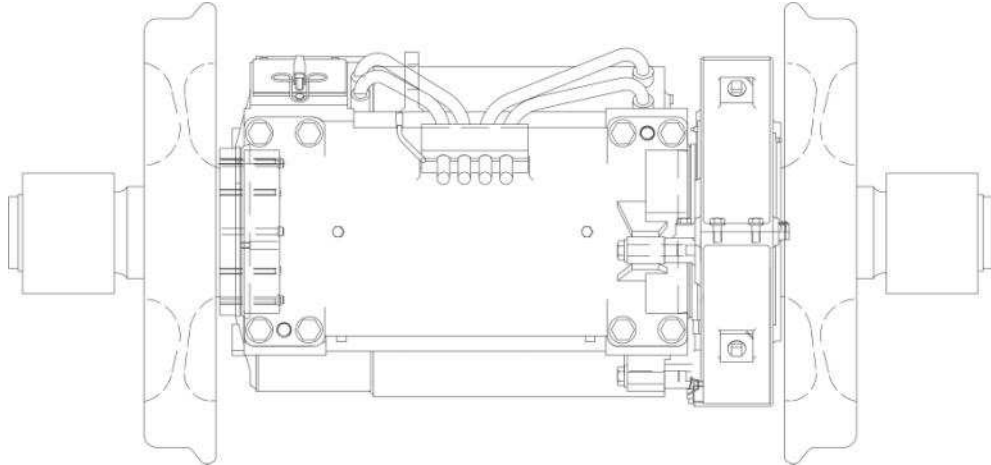


Figura 15 – Esquema de acoplamento do motor de tração ao eixo do rodeiro. Fonte: Manual GE (2008)

Problemas envolvendo o motor de tração podem ocasionar redução no transporte, perda de aderência da locomotiva e diminuição da velocidade desenvolvida, além de possíveis THPs. Como o motor de tração atua também na frenagem dinâmica, temos uma questão séria



---

de segurança, pois, para longas descidas, o uso apenas do freio pneumático torna-se arriscado para a operação.

O travamento do motor de tração é potencialmente perigoso, pois pode causar calos nas rodas, que danificam a via em todos os seus aspectos, danos nos engates de locomotivas e vagões e até possíveis descarrilamentos.

#### IV.4 *Árvore de Falhas*

Para a principal função do motor de tração, que é tracionar a locomotiva, foram levantadas as principais falhas, os modos de falha em que ocorrem e os efeitos no desempenho da locomotiva / trem, na Tabela 3 a seguir.

Tabela 3 – Principais falhas em motores de tração

FALHA	MODO DE FALHA	EFEITO
Superaquecimento	Indicação no painel da locomotiva	Isolar o motor de tração
		Perda do motor de tração (queimado)
Oscilar amperagem	Indicação no amperímetro	Oscilação e perda de esforço trator
Baixa amperagem	Indicação no amperímetro	Perda de esforço trator
		Parada indesejada do trem
Não marca amperagem	Indicação no amperímetro	Ausência de esforço trator
		Trem não vai se deslocar
Patinação de Rodas	Indicação no painel da locomotiva	Perda de esforço trator
		Danificação das rodas
		Isolar o motor de tração

Analisando a frequência de ocorrência e o impacto na operação, mesmo tendo uma gravidade menor quanto à dificuldade de manutenção, os efeitos “perda de esforço trator” e “ausência de esforço trator” possuem um nível de impacto maior no sistema como um todo.

Após definir o evento topo “perda ou ausência de esforço trator”, foi criado um diagrama de Ishikawa, ou diagrama de causa e efeito, para orientação na criação da Árvore de Falhas.

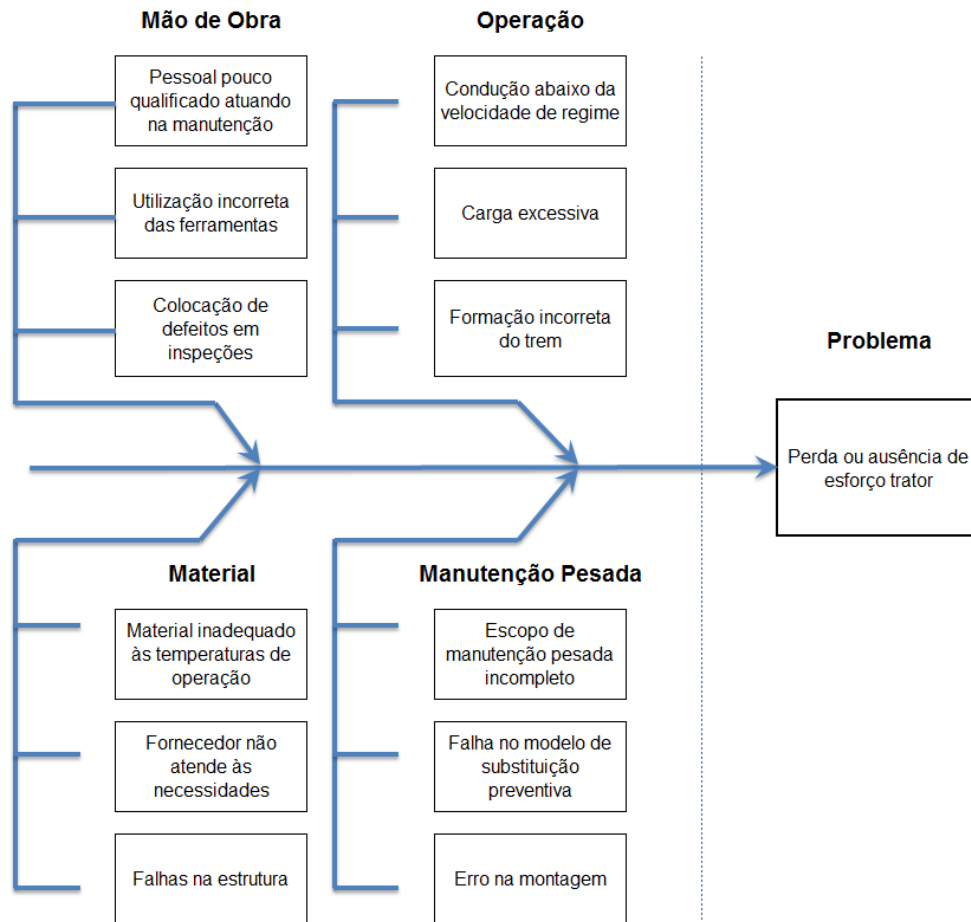


Figura 16 – Diagrama de Ishikawa para o efeito “perda ou ausência de esforço trator”

A partir deste diagrama de Ishikawa será desenvolvida a Árvore de Falhas, através da qual será possível identificar as causas básicas para a perda ou a ausência de esforço trator em locomotivas. A árvore está representada na figura 17. Dentro do sistema “Locomotiva” serão consideradas para a análise apenas causas ligadas diretamente ao motor de tração, excluindo falhas originadas no alternador ou banco retificador, por exemplo.

Após a construção da Árvore de Falhas, é feita uma análise qualitativa da mesma, através da determinação dos cortes mínimos. Para isso foram nomeados os eventos com letras e as falhas básicas com números. O diagrama de cortes mínimos pode ser visualizado na figura 18.

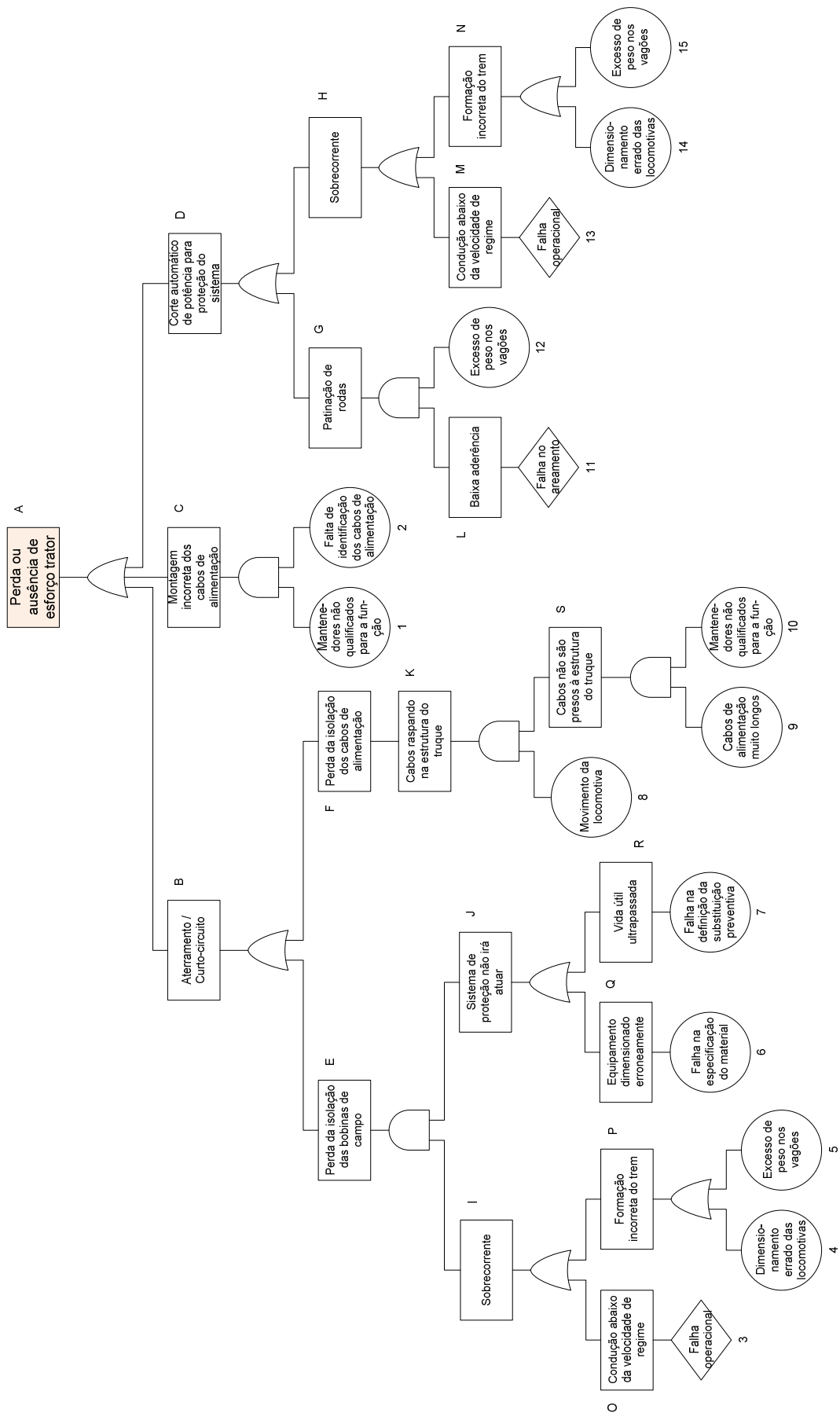


Figura 17 – Árvore de Falhas para o efeito “perda ou ausência de esforço trator”

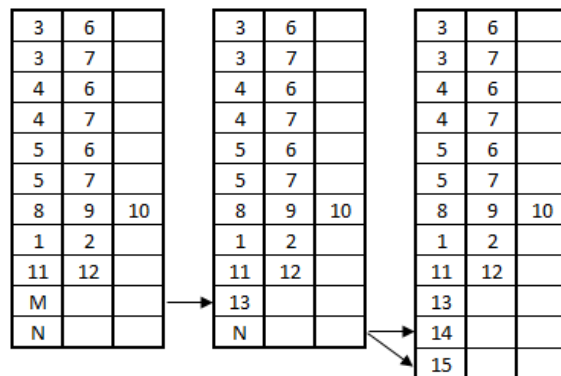
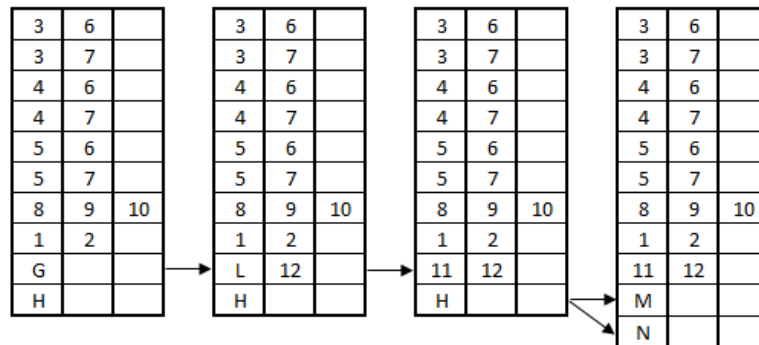
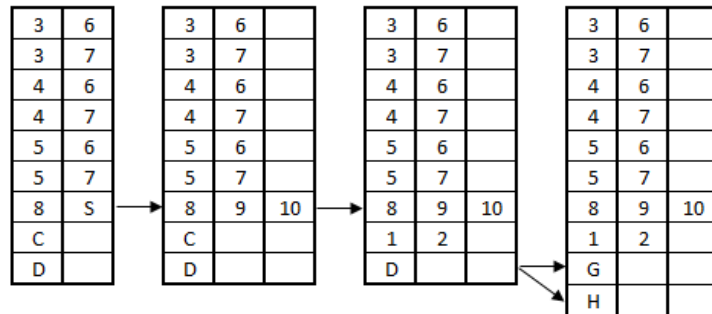
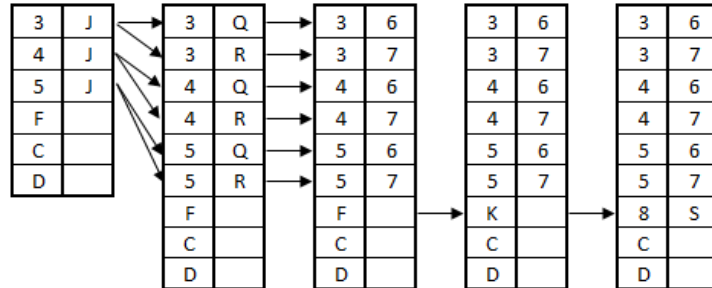
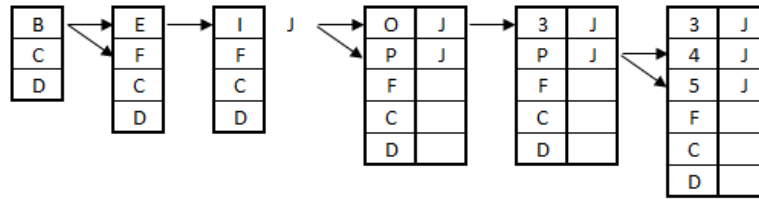


Figura 18 – Conjuntos de corte mínimo para a Árvore de Falhas em estudo

---

Foram encontrados três cortes de primeira ordem, oito de segunda ordem e um corte de terceira ordem.

Com base nisso, temos que para impedir a ocorrência do evento topo, devemos combater mais rapidamente as causas mais críticas, ou seja, as apresentadas nos cortes de primeira ordem.

Com base nos cortes mínimos e em uma análise quantitativa, podemos observar na Árvore de Falhas que as causas “excesso de peso nos vagões”, “dimensionamento errado das locomotivas” e “falha operacional” vão gerar a perda ou redução do esforço trator, independente das outras variáveis. A única diferença é o grau de severidade da falha, pois caso o sistema de proteção não atue, tem-se a perda do motor de tração por danos permanentes na sua estrutura.

Essa situação foi evidenciada na frota São Paulo durante boa parte do ano de 2011, principalmente entre os meses de maio e agosto, período no qual a safra da soja atinge seu ponto máximo.

Neste momento há uma forte demanda pelo transporte e, neste caso específico, devido a uma falha no dimensionamento dos trens, as locomotivas da frota São Paulo passaram a trafegar com carga muito superior à sua capacidade de tração, o que representa exatamente a causa 14 na Árvore de Falhas.

Como consequência desse excesso de carga se repetindo em vários trens, houve um aumento no número de ocorrências de falhas em locomotivas, evidenciado nas figuras 12 e 13. A reincidência desses eventos acarretou na deterioração dos motores de tração de várias locomotivas, gerando um aumento no tempo de imobilização dos ativos, queda na disponibilidade e na confiabilidade da frota, além de perdas em dinheiro para a empresa.

---

# Capítulo V

## Conclusões

Ao longo deste trabalho foi explanado como a Manutenção Centrada em Confiabilidade, juntamente com as técnicas de apoio à Engenharia de Manutenção, entre elas a Árvore de Falhas, contribui para o aumento da confiabilidade da frota de locomotivas e conseqüentemente na sua disponibilidade e segurança.

Foi construída uma Árvore de Falhas tendo como evento topo a “perda ou ausência de esforço trator”, o efeito com maior nível de impacto no componente crítico encontrado, o motor de tração.

Para esta árvore foram encontradas 15 causas raízes e, de acordo com o conjunto de cortes mínimos, 3 destas causas são críticas, podendo acontecer independentes das demais e causando o efeito topo.

A árvore mostra claramente as interferências que a mão-de-obra despreparada pode fazer no sistema como um todo, mas em questões de criticidade, as falhas causadas pela operação (condução inadequada do trem) e pela formação do trem (locomotivas mal dimensionadas ou trem mais pesado que o usual) tem impacto muito maior.

Com base nisso foram levantados os seguintes dados: o perfil da malha ferroviária, os modelos de locomotivas e suas capacidades de tração e os pesos e quantidade de vagões nos trens padrão. A partir deles foi estudado, junto à Engenharia de Transportes, área responsável pela definição das formações dos trens de toda a MRS, e readequada da formação dos trens que compõem o fluxo soja.

---

Em 2012, com frota de 150 locomotivas cativas no Estado de São Paulo e com os trens que carregam soja transportando mais carga que no ano anterior, tem-se em torno de 100 ocorrências por mês, ou seja, mesmo com uma frota 35% maior, o número de ocorrências reduziu em média 15%.

Estes números podem ser expressos em forma de “taxa de falhas”, ou a média de falhas por locomotiva na frota. Em 2011 esta taxa era de 1,05 falhas por locomotiva no mês de junho e em 2012 tem-se um valor em torno de 0,67 falha por locomotiva.

A Árvore de Falhas mostrou-se uma ferramenta de fácil aplicação e interpretação, sendo muito prática no auxílio à tomada de decisões, permitindo entender e priorizar as falhas mais críticas atuando da raiz do problema.

Tendo esta causa dada como resolvida e controlando a execução da ação proposta, é possível intervir nas causas dadas como menos críticas e melhorar a cada dia a confiabilidade da frota.

---

# Bibliografia

ANTF, Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários. **Material Rodante Locomotivas e Vagões**. Disponível:

<http://www.antf.org.br/index.php/informacoes-do-setor/material-rodante>  
[capturado em 20 mar.2012]

BORBA, José Luiz. **Módulo Material de Tração**. Pós-graduação em Engenharia Ferroviária. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, IEC - Instituto de Educação Continuada. 2001.

BRINA, H. L. **Estradas de Ferro 2**. 2ª Edição. Rio de Janeiro. Livros Técnicos e Científicos S.A, 1988.

DNIT Ferroviário. **Histórico da Ferrovia**. Disponível:  
<http://www1.dnit.gov.br/ferrovias/historico.asp> [capturado em 20 mar.2012].

DORNELAS, João. **Mecânica de Locomotivas**. Escola de Manutenção Ferroviária. MRS Logística. 2012.

FILHO, Salvador Simões. **Análise de Árvore de Falhas Considerando Incertezas na Definição dos Eventos Básicos**. 299 p. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, 2006.

GE Transportation. **Traction Motor 5GE752AH/AJ Combo Assembly Service, L1**. 2008

LIMA, Francisco Assis, CASTILHO, João Carlos Nogueira. **Aspectos da Manutenção dos Equipamentos Científicos da Universidade de Brasília**. Dissertação apresentada à Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Ciência da Informação e Documentação (FACE) – Brasília / DF. 2006.

OLIVEIRA, Cássio Eduardo. **Eletricidade de Locomotivas**. MRS Logística. 2012.

RAPOSO, José Luis Oliveira. **Manutenção Centrada em Confiabilidade aplicada a sistemas elétricos: uma proposta para uso de análise de risco no diagrama de decisão**. 2004. 149 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal da Bahia, 2004.



---

SHIMURA, Wilson Tadashi. **Material Rodante e de Tração** – Fundamentos. Curso de Especialização em Transporte Ferroviário de Cargas. Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro. 2011.

SUCENA, Marcelo Prado. **Engenharia de Manutenção**. Curso de Especialização em Transporte Ferroviário de Cargas. Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro. 2011.