

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE**

LUIZ CARLOS DE OLIVEIRA

**ESTUDO DA CONFIABILIDADE OPERACIONAL DA MALHA
FERROVIÁRIA NA REGIÃO DOS CONVERTEDORES DA
ARCELORMITTAL TUBARÃO**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA

2019

LUIZ CARLOS DE OLIVEIRA

**ESTUDO DA CONFIABILIDADE OPERACIONAL DA MALHA
FERROVIÁRIA NA REGIÃO DOS CONVERTEDORES DA
ARCELORMITTAL TUBARÃO**

Monografia apresentada como requisito parcial
para a obtenção do título de Especialista em
Engenharia da Confiabilidade, do
Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Emerson Rigoni

CURITIBA

2019



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Curitiba
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Departamento Acadêmico de Eletrotécnica
Especialização em Engenharia da Confiabilidade



TERMO DE APROVAÇÃO

**ESTUDO DA CONFIABILIDADE OPERACIONAL DA MALHA FERROVIÁRIA NA
REGIÃO DOS CONVERTEDORES DA ARCELORMITTAL TUBARÃO**

POR

LUIZ CARLOS DE OLIVEIRA

Esta monografia foi apresentada em 30 de outubro de 2019, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Engenharia da Confiabilidade, outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O aluno foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Emerson Rigoni, Dr. Eng.
Professor Orientador - UTFPR

Prof. Marcelo Rodrigues Dr.
Membro Titular da Banca - UTFPR

Wanderson Stael Paris, MSc.
Membro Titular da Banca - UTFPR

Agradeço a Deus, fonte da minha vida e de inspiração, a minha família por entender a minha ausência nos finais de semana e o meu professor orientador pela contribuição.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela minha vida, pela sua fidelidade, pela sua graça e misericórdia, por suprir todas as minhas necessidades e por manter-me firme na fé e no seu caminho.

Agradeço a todas as pessoas que contribuíram direta ou indiretamente na superação desse desafio de cursar esta especialização sem deixar as atividades profissionais de lado.

Agradeço ainda aos professores do curso de especialização, aos colegas de turma pelo ambiente de estudos saudável em que foi possível agregar aprendizado e muitas experiências profissionais.

A empresa ArcelorMittal Tubarão, que nos proporcionou a oportunidade de realização desta pós-graduação e por todos aqueles que de alguma forma se envolveram em alguma etapa deste processo.

Registro neste último parágrafo o agradecimento especial, a minha esposa, a minha filha e a minha mãe pelo apoio, compreensão e forças em momentos de dedicação aos estudos, para concluir esta importante etapa da minha vida. Sem este apoio, com certeza, seria muito difícil atingir este objetivo.

A todos o meu muito obrigado!

“Vale a Pena? Tudo vale a pena se a alma
não é pequena!” Trecho do poema “Mar Português”
(PESSOA, Fernando, 1992).

RESUMO

OLIVEIRA, Luiz Carlos. **Estudo da Confiabilidade Operacional da Malha Ferroviária na Região dos Convertedores da ArcelorMittal Tubarão**. 2019. 70 f. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019)

O desempenho econômico de uma ferrovia é reflexo, da qualidade da via onde circulam os trens e da frequência de manutenções necessárias. A manutenção da via permanente tem um custo significativo, principalmente quando se faz necessária a reposição de trilhos. Além disso, uma linha férrea interdita impacta diretamente nas condições de segurança e nos custos operacionais de uma empresa. Conseguir uma via permanente satisfatória é um dos mais complexos assuntos discutidos na literatura ferroviária. Esse trabalho analisa as falhas na malha ferroviária da ArcelorMittal Tubarão ocorridas nas linhas internas, sendo utilizado para este estudo, anomalias ocorridas nas áreas dos Convertedores no ano de 2018. Para este estudo foi utilizada a metodologia de MCC, Diagrama de Blocos, FMEA para identificação, avaliação e resposta das ocorrências, e aplicação da ferramenta de confiabilidade LDA para análise de vida útil dos dormentes. Por ser a principal forma de interligação entre os setores no processo de produção de aço, a malha ferroviária torna-se um elemento-chave para o atendimento do plano de produção diário, possuindo criticidade elevada, e demandando especial cuidado na execução dos planos de inspeção sensível e preditiva. Por possuir alguns trechos críticos e com alto potencial de deformação, a malha da ArcelorMittal tubarão possui alguns elementos para garantir a disponibilidade das linhas em perfeito funcionamento. Nas linhas sob os convertedores, na Aciaria são utilizados placões para garantir maior resistência na fixação dos trilhos evitando deformação das linhas. Outro dispositivo para ganho de disponibilidade é a utilização de um modelo de dormente especial, com reforço longitudinal, transversal, e curvatura nas extremidades; desta forma o dormente tem maior vida útil evitando empenos e quebras. A utilização de solda alumino-térmica para emendar dois trilhos, de forma permanente, sem a necessidade de talas de junção, permitindo maior confiabilidade e resistência das partes emendadas.

Palavras-chave: MCC. Diagramas de Blocos. FMEA. LDA. Dormentes. Solda Alumino-térmica. Converteedor. Confiabilidade.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Luiz Carlos. Study of the Operational Reliability of the Rail Mesh in the ArcelorMittal Tubarão Converters Region. 2019. 70 F. Monograph (Specialization in Reliability Engineering) – Federal Technological University of Paraná. Curitiba, 2019)

The economic performance of a railroad is a reflection of the quality of the railway track and the frequency of maintenance required. Maintenance of the permanent road has a significant cost, especially when rail replacement is required. In addition, a banned rail line directly impacts a company's safety conditions and operating costs. Achieving a satisfactory permanent route is one of the most complex issues discussed in the railway literature. This work analyzes the faults in the ArcelorMittal Tubarão rail network that occurred on the internal lines. Anomalies occurred in the Converters areas in 2018 were used for this study. For this study we used the MCC methodology, Block Diagram, FMEA, assessment and response of occurrences, and application of the LDA reliability tool for analysis of the sleepers' life. As the main form of interconnection between the sectors in the steel production process, the rail network becomes a key element for meeting the daily production plan, having high criticality and requiring special care in the execution of inspection plans sensitive and predictive. By having some critical sections and high deformation potential, ArcelorMittal shark mesh has some elements to ensure the availability of lines in perfect operation. In the lines under the converters, in Steelmaking are used placons to ensure greater resistance in fixing the rails avoiding deformation of the lines. Another device for gaining availability is the use of a special sleeper model with longitudinal, transverse reinforcement and curvature at the ends. In this way the sleeper has a longer service life avoiding warping and breaking. The use of aluminothermic welding to permanently mend two rails without the need for splice joints, allowing for greater reliability and strength of the spliced parts.

Keywords: MCC. Block diagrams. FMEA. LDA Sleepers Aluminothermic Welding. Reliability converter.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 - Seção Típica da Via Permanente	20
Figura 2.2 - Partes Integrantes do Trilho	28
Figura 2.3 - Demonstrativo das Regiões das Agulhas, Transição e Jacaré.....	30
Figura 2.4 - Região de um AMV Composto	31
Figura 2.5 - Contratrilho	33
Figura 2.6 - Trilho de Encosto.....	34
Figura 2.7 - Arruela de Pressão	38
Figura 2.8 - Placa de Apoio	39
Figura 2.9 - Grampos Elásticos Pandrol	40
Figura 2.10 - Grampos Elásticos SKL.....	41
Figura 3.1 - Evolução das Técnicas de Manutenção	50
Figura 4.1 - Diagrama de Blocos da Via Permanente da AMT	59
Figura 4.2 - Layout da Via Permanente da AMT.....	60
Figura 4.3 - Valores de Tensão para o Estado Original do Projeto.....	62
Figura 4.4 - Valores de Tensão ao Adicionar Nervuras Perpendiculares no Dormente.....	63
Figura 4.5 - Valores de Tensão ao Adicionar Nervuras Longitudinais no Dormente.....	64
Figura 4.6 - Vida Média no Convertedor 1	66
Figura 4.7 - Vida Média no Convertedor 2	67
Figura 4.8 - Vida Média no Convertedor 3.....	67
Figura 4.9 - Vida Média nos 3 Convertedores da AMT	69
Fotografia 2.1 - Lastro Ferroviário	22
Fotografia 2.2 - Acúmulo de Água na Linha Férrea	23
Fotografia 2.3 - Dormente de Madeira Inservível por Apodrecimento	25
Fotografia 2.4 - Dormente de Aço Fraturado (AMT)	27
Fotografia 2.5 - Visão da Região das Agulhas em uma Linha Férrea	32
Fotografia 2.6 - Tirefond	36
Fotografia 2.7 - Prego	37

Fotografia 2.8 - Soldagem Alumino-térmica.....	42
Gráfico 3.1 - Taxa de Falha x Tempo	49
Gráfico 4.1 - Falha nos Conversores da AMT	55
Gráfico 4.2 - Taxa de Falha nos Conversores (Dormente Modelo Antigo)	65
Gráfico 4.3 - Confiabilidade x Tempo nos Conversores (Dormente Modelo Antigo)	66
Gráfico 4.4 - Comparativo da Curva de Confiabilidade (Dormentes Velhos x Novos)	68
Quadro 4.1 - Falhas nos Conversores da AMT	56
Quadro 4.2 - Criticidade da Via Permanente da AMT	58
Quadro 4.3 - FMEA Aplicado na Via Permanente da AMT	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 - Número de Reparos na Via Permanente da AMT em 2018	18
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

AAF – Análise de Árvore de Falhas;

AMT – ArcelorMittal Tubarão;

AMV – Aparelho de Mudança de Via;

CO₂ – Dióxido de Carbono;

DB – Diagrama de Blocos;

ES – Espírito Santo;

FMEA – *Failure Mode and Effects Analysis*;

LDA – *Life Data Analysis*;

MCC – Manutenção Centrada na Confiabilidade;

MTBF – Mean Time Between Failures;

MTTF – Tempo Médio Entre Falhas;

MTTR – Tempo médio até a conclusão de reparos feitos na unidade (Mean Time to Repair);

OMC – Otimização da manutenção pela confiabilidade;

RCM – *Reliability Centered Maintenance*.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA	16
1.2 OBJETIVOS	17
1.2.1 Objetivo Geral	17
1.2.2 Objetivos Específicos	17
1.3 JUSTIFICATIVA	18
1.4 PROCEDIMENTOS.....	19
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	19
2 VIA PERMANENTE	20
2.1 PLATAFORMA /TERRAPLANAGEM	21
2.2 SUBLASTRO.....	21
2.3 LASTRO FERROVIÁRIO	21
2.4 DRENAGEM.....	23
2.5 DORMENTES	24
2.5.1 Dormentes de Madeira	24
2.5.1.1 Principais Defeitos nos Dormentes de Madeira.....	25
2.5.2 Dormentes de Aço.....	26
2.5.2.1 Principais Defeitos nos Dormentes de aço.....	26
2.6 TRILHOS.....	27
2.7 APARELHO DE MUDANÇA DE VIA (AMV)	29
2.7.1 Jacaré ou Coração	30
2.7.2 Parte Intermediária ou de Ligação	30
2.7.3 Cruzamento	31
2.7.4 Agulha	32
2.7.5 Contratrilhos	33
2.7.6 Trilho de Encosto	33
2.8 ACESSÓRIOS DE FIXAÇÃO	34
2.8.1 Fixação Rígida	34
2.8.2 Fixação Elástica	34
2.8.3 Elementos de Fixação	35
2.9 TIPOS DE ELEMENTOS DE FIXAÇÃO	35
2.9.1 Tirefond	35
2.9.2 Pregos.....	37
2.9.3 Arruela de Pressão.....	38
2.9.4 Placa de Apoio	38

2.9.5 Grampos Elásticos Pandrol	40
2.9.6 Grampos Elásticos SKL.....	40
2.10 SOLDAGEM ALUMINO-TÉRMICA	41
2.10.1 Vantagens da Soldagem Alumino-térmica	43
2.10.2 Desvantagens da Soldagem Alumino-térmica.....	43
2.11 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO.....	44
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	45
3.1 ENGENHARIA DE CONFIABILIDADE	45
3.1.1 Conceitos Associados à Confiabilidade.....	45
3.2 GERENCIAMENTO DA MANUTENÇÃO	46
3.3 EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO	49
3.4 ETAPAS DE IMPLANTAÇÃO DA MCC.....	51
3.4.1 Preparação do Estudo.....	51
3.5 BENEFÍCIOS DE IMPLANTAÇÃO DA MCC	53
3.6 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO.....	54
4 ANÁLISE DE CONFIABILIDADE DA VIA PERMANENTE DA AMT	55
4.1 COLETA DE DADOS	55
4.1.1 Criticidade dos Equipamentos da Via Permanente	56
4.2 DIAGRAMA DE BLOCOS	58
4.3 LAYOUT DA VIA PERMANENTE DA AMT	59
4.4 APLICAÇÃO DO FMEA NA VIA PERMANENTE DA AMT.....	60
4.5 ANÁLISE DE FADIGA DOS DORMENTES DE AÇO.....	62
4.6 ANÁLISE DOS DADOS E RESULTADOS	64
4.7 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO.....	69
5 CONCLUSÃO	70
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	70
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72

1 INTRODUÇÃO

Estrategicamente localizada na região da Grande Vitória, Estado do Espírito Santo, no sudeste brasileiro, a ArcelorMittal Tubarão possui uma área total de 13,5 milhões de m², sendo 7 milhões de m² de área construída.

A unidade está junto a uma bem aparelhada malha rodoferroviária que inclui a Estrada de Ferro Vitória-Minas; a Ferrovia Centro Atlântica e as Rodovias BR 101 e BR 262. Além disso, é integrada a um complexo portuário considerado como um dos mais eficientes do mundo, com destaque para o porto de Praia Mole, administrado pela ArcelorMittal Tubarão, que possui um Terminal de Produtos Siderúrgicos.

A ArcelorMittal Tubarão produz aços planos de alta qualidade, na forma de placas e bobinas laminadas a quente, direcionados a indústrias de diversos setores, como automobilístico, eletrodomésticos, naval, tubos, construção civil, implementos agrícolas, entre outros. A empresa é líder mundial de placas e comercializa bobinas, principalmente, no mercado interno.

A malha ferroviária da ArcelorMittal Tubarão possui 76 Km de linhas e 260 AMV's. (47 km Malha Interna, 15 km Porto, 5,3 km Pátio de Minério, 8,6 km Pátio de Carvão e 0,45 km Coqueria. Na malha ferroviária existem 3 tipos de bitola: larga, métrica e mista, sendo a bitola larga a preponderante das linhas férreas.

O transporte ferroviário de cargas vem crescendo ao longo dos anos, necessitando cada vez mais de segurança, confiabilidade operacional e alta disponibilidade das ferrovias.

A Ferrovia é a principal ligação das áreas produtivas de uma Siderurgia, onde toda produção é escoada através de locomotivas e vagões ferroviários. No início, os números da Ferrovia eram relacionados à extensão da malha ferroviária, estrutura típica das linhas férreas, quantidade de aparelhos de mudança de linhas, e complexidade do setor ferroviário.

Diante da crescente necessidade de melhorar a qualidade de produtos e serviços, vinculando-se ao incremento da satisfação dos clientes, vários métodos e técnicas foram popularizadas, pois várias delas visam o aperfeiçoamento da confiabilidade de produtos e processos, aumentando-se a probabilidade de um componente poder desempenhar as suas funções sem interrupções.

Mas, consciente de que todo sistema ferroviário é passível de falhas, necessita-se focalizar os esforços das equipes de inspeção e manutenção quanto à continuidade da sua operação, vislumbrando-se a segurança e a confiabilidade operacional do processo.

Atualmente, o transporte ferroviário continua tendo números intimamente ligados ao setor, entretanto, os números são referentes aos recordes de produção de transportes que são superados mensalmente, porém paradas por falhas podem impactar diretamente no processo produtivo da empresa, reduzindo a margem de lucro e conseqüentemente aumentando a instabilidade das áreas.

Este trabalho buscará trabalhar na análise de falhas relacionados à manutenção, e com este foco, buscará levantar e analisar a principal causa que afeta a não disponibilidade da Via Permanente para a circulação ferroviária na região dos convertedores da AMT.

1.1 PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA

O sistema ferroviário da ArcelorMittal Tubarão é utilizado para transportar cargas líquidas e sólidas, seja para consumo ou vendas. Torna-se, dessa forma, necessário que a segurança da via permanente seja preservada, mantendo a integridade, a confiabilidade e a segurança do sistema, sobretudo, em linhas de transporte de metais líquidos.

Na situação específica de linhas férreas em áreas sujeitas a altas temperaturas, além do desgaste oriundo do contato com as rodas, os trilhos sofrem dilatações excessivas. Nestes casos, os métodos tradicionais de fixação por meio de dormentes de aço e grampos Pandrol não são suficientes para conter as deformações causadas pela dilatação, impactando assim na operação das vias férreas.

Diante da necessidade das constantes manutenções nas linhas férreas sob os Converteedores da ArcelorMittal Tubarão, cujas condições operacionais são agressivas, será realizado estudo para análise da vida útil da via permanente visando redução do número de intervenções nas áreas.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar as causas raízes que contribuem para a ocorrência de falha nas linhas férreas das áreas consideradas críticas na ArcelorMittal Tubarão. Como estudo de caso, serão avaliadas as falhas ocorridas nos convertedores da área da Aciaria.

1.2.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral, serão utilizadas as ferramentas MCC, FMEA, Diagrama de Blocos e LDA utilizada e difundida no meio acadêmico e corporativo. Após o término deste estudo, pretende-se subsidiar os gestores da ArcelorMittal Tubarão com informações mais consistentes sobre as reais causas de falhas nas linhas férreas, especificamente as causadas por fraturas e alteração da bitola, podendo-se dessa forma, intervir nos processos de manutenção da Via Permanente com soluções ou medidas que contribuam para a diminuição das ocorrências indesejáveis e dos custos associados. Assim, para atingir o objetivo geral do trabalho, os seguintes objetivos específicos deverão ser atendidos, a saber:

- Levantar as principais ocorrências de falha nas áreas;
- Estratificar as ocorrências oriundas de falhas operacionais;
- Avaliar a estrutura da linha após a ocorrência, levantando os principais pontos frágeis da linha férrea;
- Calcular a vida média da linha férrea nos convertedores;
- Calcular a confiabilidade da linha férrea nos convertedores;
- Avaliar o plano de manutenção preventiva nas linhas, bem como a periodicidade de manutenção;
- Avaliar novos modelos de fixação dos trilhos em função de queda de material com altas temperaturas;
- Avaliar a probabilidade de falhas recorrentes no local.

1.3 JUSTIFICATIVA

Segundo Magalhães (2000), O contato roda-trilho causa desgaste em ambos os elementos, sendo que as tensões de contato, que ocorrem numa pequena área, são responsáveis pelo surgimento de muitos defeitos nos trilhos.

Uma consequência das cargas por eixo nas vias é o aparecimento de defeitos e o aumento de desgastes na via ao longo do tempo. Neste tipo de transporte, como se sabe, a composição ferroviária é guiada sobre trilhos metálicos através de rodas também metálicas.

De toda extensão da malha ferroviária da ArcelorMittal Tubarão, as linhas férreas sob os convertedores, alvo do estudo deste trabalho, participaram com aproximadamente 23% de todos os registros de falhas por fraturas de trilhos, empeno de dormentes bem como fechamento ou abertura de bitola em linhas férreas ocorridas no ano de 2018, conforme demonstra na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1.1 - Número de Reparos na Via Permanente da AMT em 2018

VIAS PERMANENTES									
ÁREA	Trilho quebrado	Dormente quebr./empen	Abert. bitola	Fech. bitola	AMV pesado	Laqueamento (trilho/AMV)	Falha Operac.	Total	%
Área do Gusa	4	1	1	-	2	2	-	10	17%
Área da Escória	5	-	2	-	-	-	1	8	13%
Baias Pátio 1 e 2	9	-	1	-	-	-	-	10	17%
Converteedores	1	12	-	1	-	-	-	14	23%
Área do Contínuo	5	1	1	-	-	-	1	8	13%
Área do Condicionamento	6	-	-	-	-	1	1	8	13%
Bitolinha	1	-	-	-	-	-	-	1	2%
Área dos BQs	-	-	-	-	-	1	-	1	2%
Baias de Emergência	-	-	-	-	-	-	-	0	0%
Total em cada Área	31	14	5	1	2	4	3	60	100%

Fonte: o autor (2019).

A fratura de dormentes e trilhos são fatores que mais trazem riscos para as operações ferroviárias, pois podem ser causa única ou a principal para acidentes de grandes proporções.

Além disso, o número de falhas ocorridas nas áreas dos convertedores e, conseqüente, os impactos operacionais causados, podem causar graves problemas na produção da empresa.

Tomando-se esse cenário, avaliou-se que o estudo em questão é viável, haja vista que as falhas em linhas férreas são responsáveis por diversas ocorrências

causando impacto operacional como perda de produção e conseqüentemente prejuízos à companhia.

1.4 PROCEDIMENTOS

Este trabalho visa, reduzir o número de falhas nas áreas consideradas críticas na malha ferroviária da ArcelorMittal Tubarão, bem como aumentar a disponibilidade operacional utilizando métodos qualitativos e quantitativos na pesquisa de campo e histórico de falhas existentes.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O capítulo 01 deste trabalho faz uma introdução rápida sobre o assunto que será abordado, bem como apresentar a justificativa do estudo, os objetivos e métodos de pesquisa aplicados e estrutura geral do trabalho.

O capítulo 02 fará uma apresentação geral do tema para desenvolvimento do trabalho, descrevendo a via permanente, bem como seus principais elementos e funções, partes integrantes dos trilhos, dormentes, métodos de fixação dos trilhos, base, sub-base, sistema de drenagem, identificação das linhas, mapeamento e caracterização dos defeitos em linhas férreas, histórico de falhas nas áreas de pesquisa, critérios de manutenção preventiva e planos de inspeção e serviços adotados pela ArcelorMittal Tubarão.

O capítulo 03 trará o referencial teórico sobre falha em linhas férreas, aplicação do MCC, análise de dados de vida aplicando as ferramentas FMEA, LDA e Diagrama de blocos.

O capítulo 04 apresentará o estudo sobre as novas formas de aumentar a confiabilidade da via permanente nas áreas consideradas críticas objeto do trabalho.

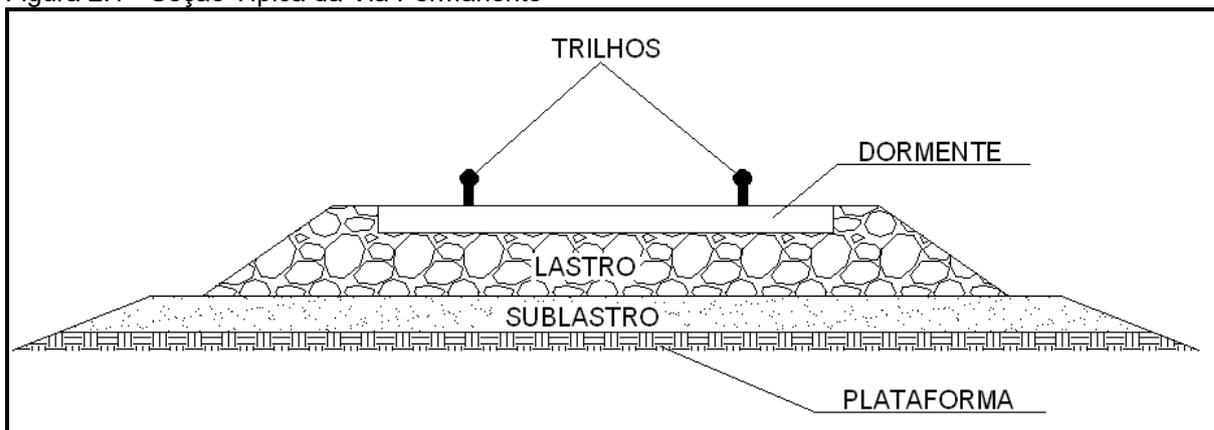
O capítulo 05 finaliza o trabalho com os resultados obtidos e conclusões.

2 VIA PERMANENTE

Os elementos da estrada de ferro que formam a superestrutura da via férrea são fundamentais para estabilidade operacional da via, portanto um estudo detalhado é necessário visando os principais pontos de falhas que provocam os acidentes que impactam diretamente no processo produtivo da empresa. Desta forma, compreender a estrutura e os princípios de funcionamento destes componentes deveria ser ponto de partida para a elucidação e prevenção dos acidentes que ocorrem nas ferrovias em geral e, em particular, nas áreas críticas da ArcelorMittal Tubarão foco deste trabalho.

A infraestrutura ferroviária é composta por plataforma, sublastro, lastro, dormentes e trilhos, conforme pode ser observado na figura 2.1.

Figura 2.1 - Seção Típica da Via Permanente



Fonte: Azevedo (2008).

A infraestrutura ferroviária deve ser construída por especialistas, por se tratar do momento mais crítico do início da construção das vias, onde esta etapa define o conjunto de obras e técnicas que dão o alicerce a estrada de ferro. O projeto é definido após o estudo e conhecimento do solo, sendo que nesta fase contempla as atividades de abertura do caminho de rolamento, terraplenagem, drenagem de solo e obras de arte especiais, além de outros processos, que unidos e aplicados conseguem corrigir o solo inicial, oferecem sustento para a superestrutura ferroviária e auxiliam na manutenção de todo o sistema.

2.1 PLATAFORMA /TERRAPLANAGEM

A terraplanagem é a movimentação do solo por intermédio de cortes e aterros, de forma que o solo atenda a determinadas características específicas de um projeto.

Estes cortes e aterros são formados pela composição de várias camadas de solo sobrepostas, de forma a suportar as cargas provenientes das camadas superiores e solicitações da linha férrea.

2.2 SUBLASTRO

Tem como função principal evitar o bombeamento dos finos do solo e também diminuir a altura de lastro necessário, evitando assim o maior custo da construção da ferrovia, pois o custo do sublastro é menor que o custo do lastro.

O bombeamento dos finos é um processo autoalimentado que consiste no endurecimento do lastro e posterior ruptura devido à secagem de lama proveniente do solo bombeada pelo tráfego. Ocorre na presença deste solo fino, água retida e super-solicitação.

Este bombeamento é o principal causador dos bolsões de lama que ocorrem no lastro e estes bolsões, por conseguinte, é o principal causador de anomalias de nivelamento transversal e vertical.

2.3 LASTRO FERROVIÁRIO

O lastro ferroviário é o componente da superestrutura da via permanente constituindo-se em uma camada de material granular que se situa acima do sublastro e abaixo dos dormentes, preenchendo também os espaços entre eles e avançando além dos seus topos. O lastro pode ser definido como a camada que recebe os esforços provenientes dos dormentes e trilhos e apoia-se diretamente sobre o sublastro, conforme pode ser observado na fotografia 2.1.

Fotografia 2.1 - Lastro Ferroviário



Fonte: Manual via permanente Vale (2013).

O lastro ferroviário deve exercer as seguintes funções no conjunto da superestrutura da via permanente:

- Distribuir as cargas transmitidas pelo material rodante às camadas inferiores, tais como sublastro, caso haja, plataforma ferroviária, ou especificamente, às estruturas das pontes/viadutos lastreados.
- Imprimir determinada elasticidade ao conjunto da superestrutura para amortecer os choques e vibrações gerados pelo material rodante em tráfego.
- Manter a estabilidade da grade ferroviária em seu eixo e topo de projeto, proporcionando resistência aos esforços longitudinais, transversais e verticais que atuam sobre a via através do confinamento das faces laterais e topos dos dormentes.
- Permitir a drenagem das águas que incidem na superestrutura ferroviária.
- Possibilitar a manutenção das condições geométricas da via através do alinhamento, nivelamento e socaria.
- Possuir resistência para suportar os esforços gerados pela carga e produzir o mínimo de desgaste entre as partículas visto que o pó gerado por esse processo pode levar a colmatação do material;

- Ter estabilidade, proporcionado nivelamento da superfície da via considerando que a dimensão do material deve permitir um preenchimento adequado ao redor dos dormentes;
- Permitir uma perfeita condição de drenagem;
- Ser um material com elasticidade limitada para atenuar os choques, e de fácil trabalhabilidade na aplicação.

2.4 DRENAGEM

Os elementos de drenagem são as estruturas responsáveis por retirar e encaminhar as águas que precipitam sobre a superestrutura e infraestrutura. Essas estruturas são formadas de canaletas, bueiros, galerias, drenos profundos, drenos superficiais. Estes elementos devem ser constantemente inspecionados e sempre que necessário devem ser limpos e desobstruídos, pois a obstrução de um destes elementos pode ocasionar o colapso ou ruptura de um aterro. A via permanente deve ser construída acima do nível do terreno visando melhor escoamento de água na região da linha férrea, conforme pode ser observado na fotografia 2.2.

Fotografia 2.2 - Acúmulo de Água na Linha Férrea



Fonte: Manual via permanente Vale (2013).

Quando os elementos de drenagem superficial da via permanente como caixas coletoras, bueiros e valetas de proteção estão obstruídos, aumenta-se a possibilidade de colmatação de lastro devido maior escoamento superficial pela

ferrovia. A falha no sistema de drenagem da via reduz a vida útil dos ativos, além de oferecer riscos de descarrilamento de locomotivas e vagões nas linhas férreas.

2.5 DORMENTES

Os dormentes são os elementos que tem a função de sustentar as linhas férreas e receber as cargas provocadas nos trilhos pela passagem dos veículos ferroviários e transmiti-las ao lastro.

Estruturalmente os dormentes são vigas que recebem as duas cargas concentradas verticais transmitidas pelos trilhos e as distribuem em duas áreas sobre o lastro, assim, o lastro atua com duas seções de cargas distribuídas de reação à ação do carregamento exercido pelos trilhos.

Os dormentes devem desempenhar as seguintes funções no conjunto da superestrutura da via permanente:

- Suportar os trilhos;
- Absorver e transmitir ao lastro as cargas horizontais e verticais recebidas pelos trilhos oriundas do tráfego;
- Manter a estabilidade da via nos planos vertical e horizontal;
- Manter a conformação geométrica especificada do AMV – Aparelho de Mudança de Via;

Os tipos de dormentes utilizados na Via Permanente da ArcelorMittal Tubarão:

- Aço
- Madeira

2.5.1 Dormentes de Madeira

São considerados dormentes especiais aqueles cujas dimensões são diferenciadas dos dormentes comuns, em razão de sua aplicação em locais específicos, tais como em AMV, aparelhos centralizadores de bitola, entre outras situações que exigirão dormentes de dimensões específicas.

Os dormentes especiais de aplicação em AMV deverão obedecer às dimensões e os espaçamentos definidos no projeto de assentamento.

2.5.1.1 Principais Defeitos nos Dormentes de Madeira

Os dormentes de madeira são passíveis de apodrecimento, principalmente do alburno, perda da capacidade de retenção da fixação por degradação ou por furações em excesso, trincas ou rachaduras, empeno principalmente em dormentes de AMV's, ou por armazenamento inadequado, danos causados por acidentes, penetração ou deslizamento da placa de apoio.

Os responsáveis pelo recebimento de dormentes de madeira deverão ser treinados nas especificações técnicas correspondentes.

Atenção especial deverá ser dispensada na avaliação da largura e altura dos dormentes na região onde serão fixadas as placas de apoio ou o patim do trilho para evitar insuficiência de seção, conforme pode ser observado na fotografia 2.3.

Fotografia 2.3 - Dormente de Madeira Inservível por Apodrecimento



Fonte: Manual via permanente Vale (2013).

Os dormentes de madeira apresentam menor custo do que outros tipos de dormentes, são de fácil manuseio, se adequam ao lastro e podem ser usados em vias de qualquer bitola e que não apresentem manutenções rigorosas.

2.5.2 Dormentes de Aço

Os dormentes de aço são fabricados pelo dobramento em formato de U invertido, curvada em suas extremidades de uma chapa de aço laminada formando abas laterais que quando ancoradas ao lastro evitam o deslocamento transversal da grade da via.

Os dormentes de aço podem ser fabricados com o *shoulder* soldado ou com furos para a utilização de *shoulder hook-in*. Em ambos, a inclinação é de 1:40, possibilitada pela inclinação do perfil metálico.

A utilização de dormentes de aço apresenta vantagens econômicas, operacionais, ecológicas e de segurança, em relação aos dormentes de madeira. As principais vantagens são:

- Menor custo no assentamento dos dormentes na linha férrea;
- Menor peso, facilidade para montagem;
- Menor custo no transporte para manuseio;
- Maior vida útil estimada acima de 10 anos;
- Ganhos com o lastro ferroviário com menor volume e brita e/ou escória por quilometro;
- Rapidez na manutenção da linha férrea obtendo-se maior produtividade;
- O aço é reciclável e imune ao ataque de fungos e ao risco de incêndios;
- A instalação pode ser manual ou mecanizada;
- Maior ancoragem da linha férrea;
- Não agride o meio ambiente e combate o desmatamento.

2.5.2.1 Principais Defeitos nos Dormentes de aço

Os dormentes de aço são passíveis de fratura ou ruptura da seção transversal, na ligação das abas com o *shoulder*, na região das abas e na região de apoio dos trilhos. Pode ocorrer deformação na região do *shoulder*, comprometendo a retenção ou aplicação das fixações, geralmente provocada por descarrilamento.

Podem ocorrer ainda deformações longitudinais que comprometem a bitola correta da via. Os dormentes com corrosão ou ruptura que resulta em redução da

parede do perfil devem ser substituídos imediatamente, conforme observado na fotografia 2.4.

Fotografia 2.4 - Dormente de Aço Fraturado (AMT)



Fonte: o autor (2018).

Os dormentes de aço devem ser substituídos da via permanente quando identificado ruptura ou corrosão na estrutura da viga, além do mais, requer um maior controle nas inspeções e fiscalização dos serviços após a substituição, visto a dificuldade no processo de socaria do lastro ferroviário sob os dormentes.

2.6 TRILHOS

O trilho representa o ativo mais importante da superestrutura. É tecnicamente considerado o principal elemento de suporte e guia dos veículos ferroviários e, economicamente detém o maior custo entre os elementos estruturais da via. Os trilhos são elementos responsáveis pelo contato entre as rodas dos veículos ferroviários e a via permanente. Também são utilizados para transmitir as tensões causadas pelo peso destes veículos nos dormentes. Os trilhos são presos aos dormentes com auxílio de placas de apoio e fixações.

Os trilhos são utilizados desde a criação das ferrovias e evoluíram continuamente através de alterações dos formatos, dimensões, utilização de

diferentes tipos de aço, tratamentos metalúrgicos. Com o passar do tempo vêm ganhando durabilidade e capacidade de suportar maiores cargas por eixo dos veículos ferroviários, havendo uma evolução dos perfis de trilhos, que são as seções longitudinais.

Há várias formas pelas quais os trilhos podem ser identificados por inscrições permanentes que os fabricantes gravam na sua alma em alto e baixo relevo. Várias tentativas de padronização foram empreendidas por órgãos normalizadores, porém, os fabricantes de trilhos nem sempre seguem estas orientações e estabelecem seus próprios modelos de gravação.

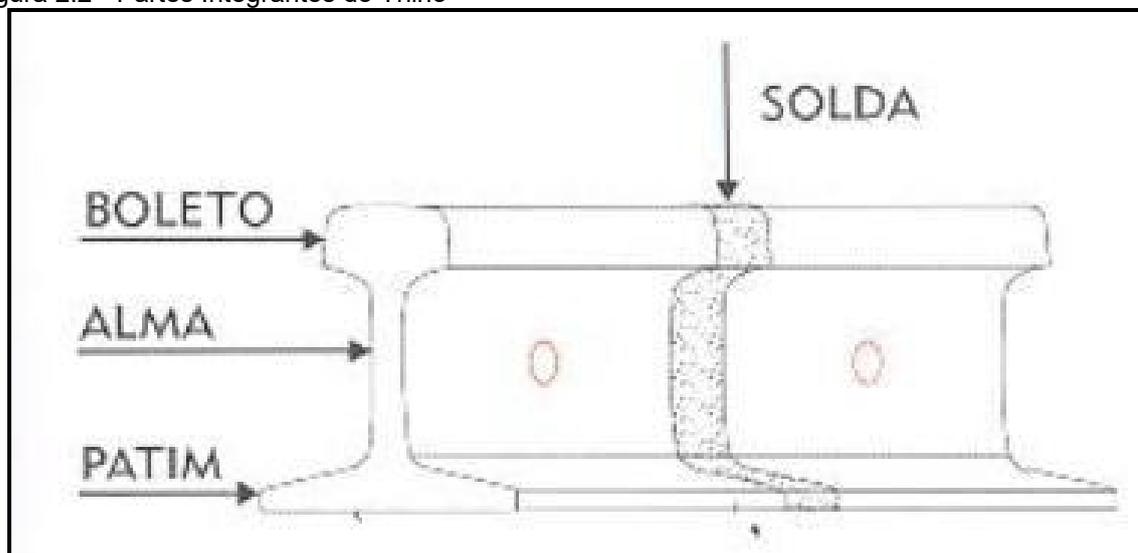
Os aços que formarão os trilhos podem ser submetidos a várias espécies de tratamento, que possuem a função de incorporarem qualidades específicas ao produto acabado. Alguns dos processos de tratamento do aço que vêm identificados em alto relevo na alma dos trilhos.

O trilho é dividido segundo suas partes e funcionalidades, sendo composto por Boleto, Alma e Patim.

- Boleto, parte responsável pelo contato entre a roda ferroviário e o trilho;
- Alma, parte responsável pela ligação entre o boleto e o patim;
- Patim, base do trilho, responsável pelo contato entre o trilho e a placa de apoio, responsável por passar a tensão dos trilhos para as placas.

As partes integrantes do trilho conforme figura 2.2.

Figura 2.2 - Partes Integrantes do Trilho



Fonte: Branco Filho, Silva e Magalhães (2010).

Os trilhos deverão estar isentos de quaisquer defeitos, internos e externos, prejudiciais à sua utilização, tais como: fissuras, rebarbas, nós, materiais estranhos, torção, ondulação, desgaste em geral.

2.7 APARELHO DE MUDANÇA DE VIA (AMV)

Os AMV's são dispositivos essenciais para as variações de direção de uma ferrovia e também em áreas de manobras de locomotivas, sendo muito empregado em terminais de cargas onde ocorrem aglomerações de composições.

A maioria dos AMV's instalados nas vias representa uma área crítica mais frágil que o restante da via, por isso é necessário intervenções constantes para a manutenção e lubrificação.

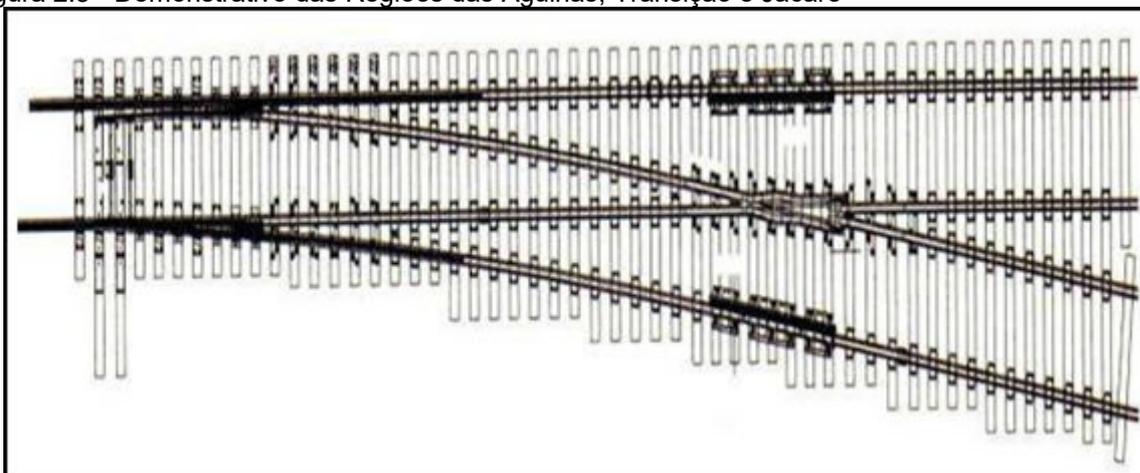
A necessidade de instalação de aparelhos de mudança de via é fundamental para a viabilidade de uma rodovia, pois sem a variação dos encaminhamentos o modal perderia muito apreço em relação aos outros modais existentes no Brasil e no mundo.

A sujeição do veículo ferroviário aos trilhos, através do encaixe do friso da roda com o boleto, faz com que, quando se deseja passar os veículos de uma linha para outra ou para um desvio, haja necessidade de um dispositivo que permita que o friso da roda tenha passagem livre. O aparelho de mudança de via é constituído por um conjunto de componentes, algumas pessoas costumam chamar indevidamente o AMV de chave, quando na verdade, a chave é apenas uma das partes do AMV, encarregada de fazer variar a direção dos veículos, conduzindo-os pela via principal ou pelo desvio, conforme se deseje. O AMV é composto por agulha, trilho de encosto de agulha, escoras laterais, placas de apoio bitoladora e de deslizamento, barra de conjugação, aparelho de manobra, tirante de manobra e calços e parafusos. É comum a subdivisão da chave em meia chave direita e meia chave esquerda. A identificação do sentido de derivação (a esquerda ou a direita) da linha desviada bem dos componentes do AMV tem como referência o sentido da ponta de agulha para o jacaré.

Para permitir que as locomotivas circulem em uma ou outra via, é preciso que as agulhas que fazem parte da chave, desloquem-se à esquerda ou à direita, pressionando-se uma delas ao trilho de encosto correspondente, desviando assim

as rodas que passam por ali, e obrigando suas conjugadas a seguirem sobre o trilho de encosto, formando canais por onde os frisos passam, cruzando os trilhos a serem atravessados, conforme observado na figura 2.3.

Figura 2.3 - Demonstrativo das Regiões das Agulhas, Transição e Jacaré



Fonte: Manual via permanente Vale (2013).

Por ser formado por vários componentes e devido à fragilidade dos mesmos gerada pela frequente solicitação, os AMVs representam uma parte crítica da via permanente, sendo a sua indevida operação e manutenção uma causa significativa de acidentes operacionais.

2.7.1 Jacaré ou Coração

Parte principal de um AMV e que, praticamente, o caracteriza. É constituído pela ponta, pelas patas de lebre (pontas externas e laterais, dobradas em forma de patas), garganta (parte interna no centro do jacaque). O jacaque é caracterizado pelo ângulo do coração, que é o ângulo formado pelas duas peças que encaminham as rodas para a direção de uma ou outra linha.

2.7.2 Parte Intermediária ou de Ligação

A parte de ligação ou intermediária é o conjunto formado pelos trilhos intermediários apoiados em placas de apoio, algumas delas especiais (chamadas

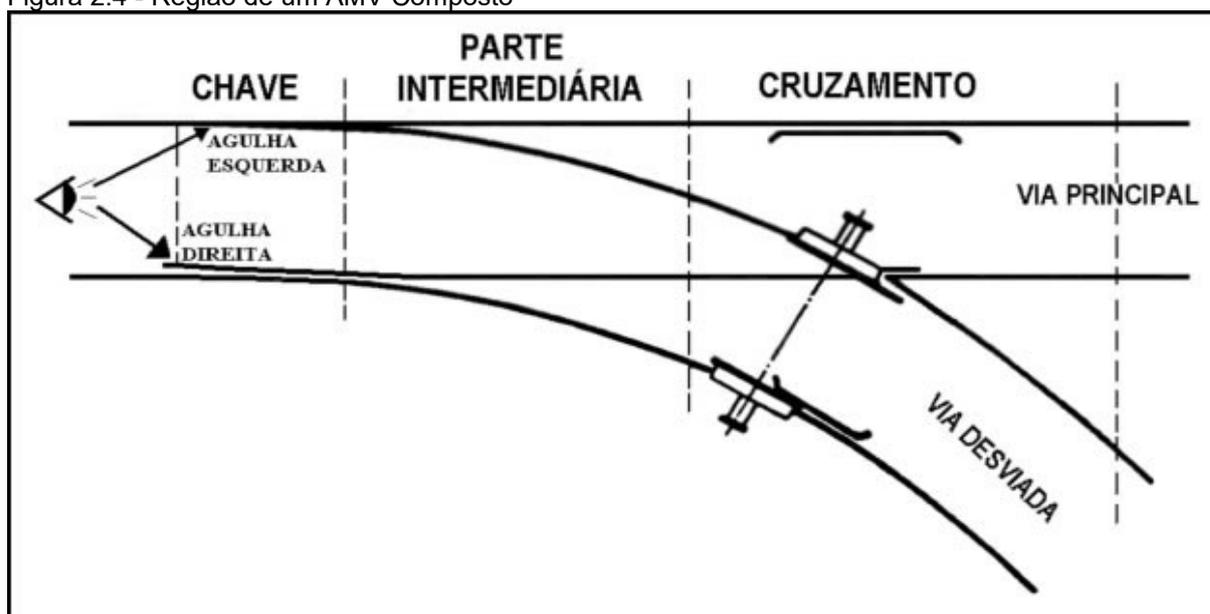
placas gêmeas por atuarem em dupla e de maneira conjugada), que tem por função fazer a ligação entre a chave e o cruzamento.

Composta pelos trilhos de ligação entre o coice da agulha e o jacaré e os trilhos externos e placas de apoio comuns e especiais.

2.7.3 Cruzamento

O cruzamento é constituído pelo jacaré, contratrilhos e seus respectivos trilhos de encosto. Sua função é guiar convenientemente os veículos ferroviários, possibilitando a passagem das rodas numa e noutra direção. Composto pelo jacaré, contratrilhos e trilhos de encosto dos contratrilhos e placas de apoio especiais para cruzamento, conforme pode ser observado na figura 2.4.

Figura 2.4 - Região de um AMV Composto



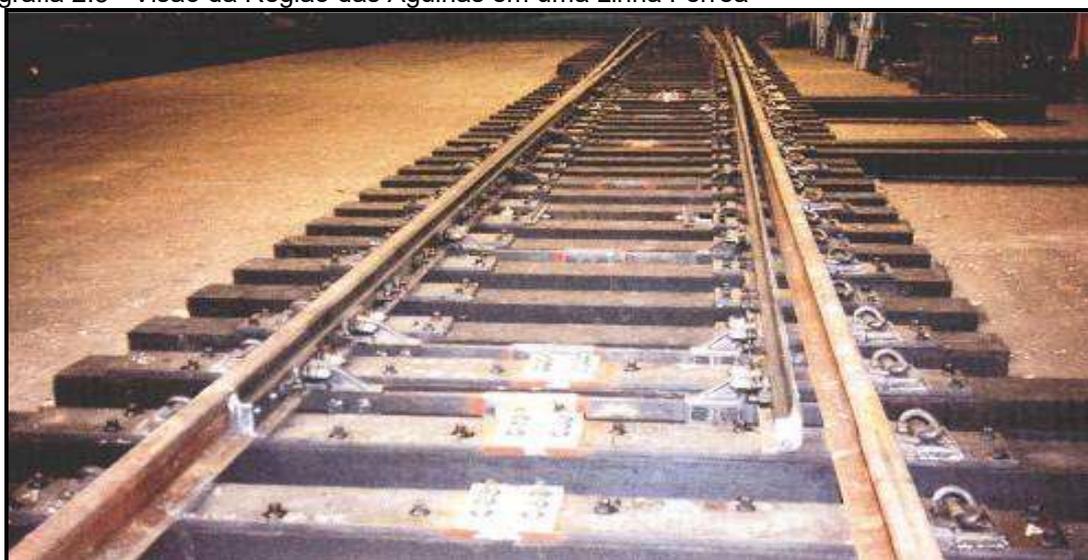
Fonte: Manual via permanente Vale (2013).

Como num AMV convencional procuramos passar de uma linha para outra, é necessário efetuar duas curvas reversas (uma ao contrário da outra) separadas por uma pequena parte reta onde colocamos o ponto de encontro das vias direta e desviada, fazendo com que o trilho direito da via direta encontre o trilho esquerdo da via desviada (caso do desvio à direita) formando um "X" que caracteriza o encontro ou cruzamento das duas vias.

2.7.4 Agulha

Uma das partes principais dos aparelhos de mudança de via (AMV's), posicionada, sempre em dupla, uma em cada extremidade do AMV. São peças de aço, afuniladas, de modo que suas extremidades na parte anterior se adaptem perfeitamente aos trilhos de encosto, de um lado ou de outro da fila de trilhos, de acordo com a direção que deve tomar o veículo. Na extremidade posterior, as agulhas são ligadas aos trilhos de enlace ou de ligação por meio de talas flexíveis, formando uma articulação. As agulhas são peças móveis e necessariamente paralelas entre si. São ligadas ao aparelho de acionamento por uma barra rígida metálica denominada tirante das agulhas. O aparelho de acionamento coloca as agulhas em posição de passagem pela linha direta ou em posição de passagem pela linha de desvio. A parte afunilada das agulhas chama-se ponta e a parte posterior coice, conforme pode ser observado na fotografia 2.5.

Fotografia 2.5 - Visão da Região das Agulhas em uma Linha Férrea



Fonte: Manual via permanente Vale (2013).

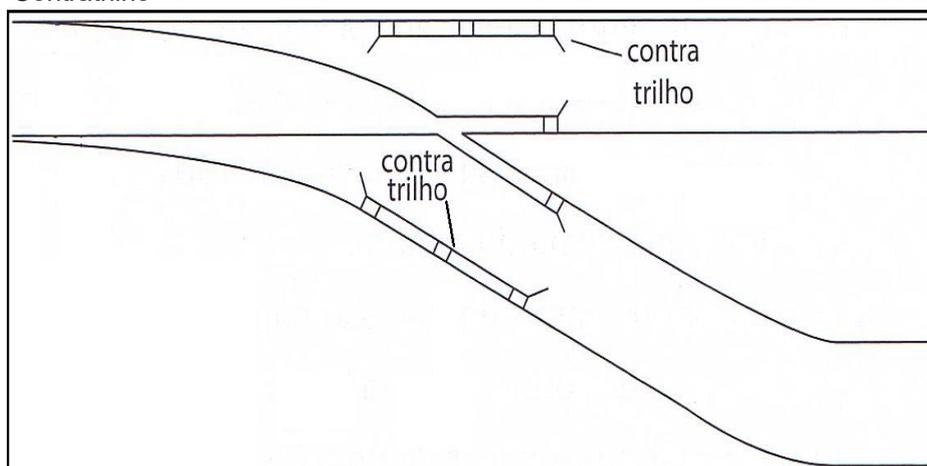
As agulhas devem ajustar-se perfeitamente aos seus respectivos trilhos de encosto, além de se movimentar sobre as placas de deslizamento devidamente limpas e lubrificadas ou apoiadas em roletes próprios. As pontas das agulhas devem estar apoiadas nas placas de apoio dos dormentes especiais evitando sua movimentação vertical (efeito de tesouramento) no momento da passagem dos trens.

2.7.5 Contratrilhos

São elementos fundamentais que têm a função de garantir, de forma confinada, que as rodas da composição não percam a bitola no momento de transição de vias, principalmente quando estiverem passando pelo elemento que forma o jacaré no Aparelho de Mudança de Via.

Este, por sua vez, é um pedaço de trilho curvo em suas extremidades colocado paralelamente ao trilho da via, a fim de impedir que a roda descarrile ou, ainda, evitar que o friso da roda se choque com a ponta do jacaré ou da agulha, na região das chaves, conforme pode ser observado na figura 2.5.

Figura 2.5 - Contratrilho



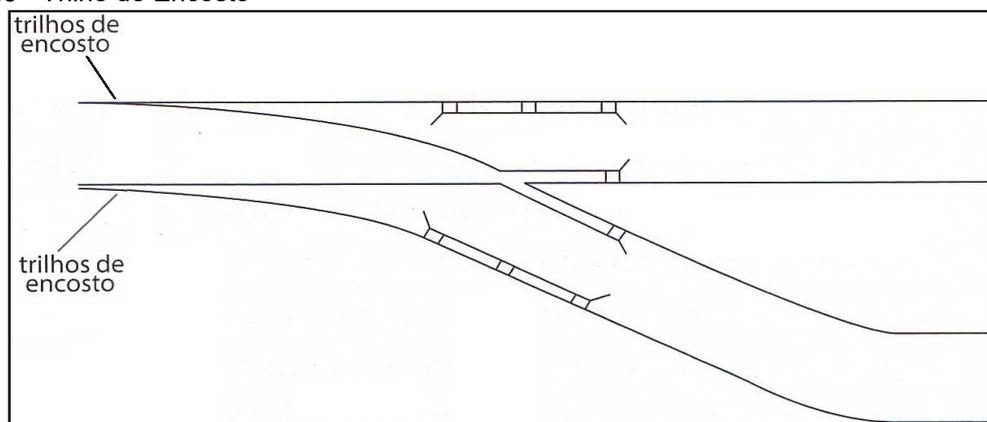
Fonte: Manual via permanente Vale (2013).

O contratrilho é muito utilizado nos trechos da ferrovia onde há curva acentuada, travessia de rio e passagens de nível, a fim de prevenir descarrilamento. Ao lado de cada trilho é afixado outro internamente, aparentemente reduzindo o tamanho da bitola, garantindo o equilíbrio dos vagões contra o deslocamento lateral causado pela inércia.

2.7.6 Trilho de Encosto

Podem ser produzidos com essa função específica ou serem produzidos a partir da usinagem de trilhos comuns, e desta forma passa a ser adaptado à função de proteção da agulha no AMV, conforme pode ser observado na figura 2.6.

Figura 2.6 - Trilho de Encosto



Fonte: Manual via permanente Vale (2013).

As placas de deslizamento são equipadas com um sistema de fixação para trilho de encosto do lado interno. Para isto dispõe-se dos grampos elásticos de fixação conforme a posição da placa de deslizamento no dispositivo de agulhas.

2.8 ACESSÓRIOS DE FIXAÇÃO

2.8.1 Fixação Rígida

São elementos que possuem a capacidade de fixar o trilho sem absorver as vibrações e impactos inerentes à ação do tráfego ferroviário. Também possui limitações no que se refere ao impedimento do deslocamento longitudinal dos trilhos. Em função disso há a necessidade de se aplicar retensores em vias com sistema de fixação rígida. São componentes de sistemas de fixação rígida:

- Placas de apoio;
- Tirefonds;
- Pregos.

2.8.2 Fixação Elástica

São elementos que tem a capacidade de manter a pressão de contato ao trilho constante, garantindo a sua fixação e o retensionamento da via, além de absorver as vibrações e impactos inerentes à ação do tráfego ferroviário. São componentes de sistemas de fixação elástica:

- Placas de apoio;
- Placa de ângulo (Sistema para dormente de concreto);
- Tirefonds;
- Arruelas duplas de pressão;
- Grampos;
- Garras tipo K ou GEO;
- Parafusos (utilizados nos sistemas de fixação tipo K);
- *Shoulder*;
- Almofadas Isolantes (utilizados em dormentes de aço);
- Isoladores.

2.8.3 Elementos de Fixação

Os acessórios de fixação são as peças que atuando em conjunto permitem a fixação da placa de apoio ao dormente de madeira, a fixação da placa de apoio ao trilho ou a fixação direta do trilho ao dormente de madeira. Nas demais espécies de dormentes, constituem-se em acessórios de fixação todas as peças destinadas à fixação do trilho ao dormente e aquelas que possuem a função de isolar a passagem de corrente elétrica entre um trilho e outro. Há dois gêneros de acessórios de fixação em aplicação nas ferrovias:

- Acessório de fixação elástico;
- Acessório de fixação rígido.

2.9 TIPOS DE ELEMENTOS DE FIXAÇÃO

2.9.1 Tirefond

O tirefond é um elemento de fixação superior ao prego, já que é aparafusado ao dormente, fechando hermeticamente o furo e impedindo a entrada de água, o que torna a interação do tirefond com o dormente mais solidária. Por ser aparafusado, o tirefond sacrifica menos as fibras do dormente e tem maior resistência ao arrancamento que o prego.

Os tirefond utilizados com a função de fixar o trilho têm as abas mais largas e abauladas na sua parte inferior de acordo com a inclinação do patim do trilho para aumentar a superfície de contato. Os tirefond utilizados somente com a função de fixar a placa de apoio ao dormente geralmente possuem a superfície inferior plana, de modo a melhorar o contato com as arruelas duplas de pressão. Os tirefond são fabricados com cabeças quadradas ou retangulares, de acordo com a especificação fornecida. Atualmente os tirefond de cabeça retangular são preferíveis aos de cabeça quadrada para se evitar a perda das quinas durante as operações de aplicação e retirada ao longo de sua vida útil, conforme pode ser observado na fotografia 2.6.

Fotografia 2.6 - Tirefond



Fonte: Manual via permanente Vale (2013).

O parafuso Tirefond é um importante componente da via permanente ferroviária. Ele é um componente de fixação responsável por fixar a placa de apoio que, por sua vez, garante a estabilidade dos trilhos. Este componente é comumente fabricado no Brasil por processos de conformação mecânica a quente de aços baixo carbono. Entretanto, com o aumento da carga transportada por eixo de locomotiva nos últimos anos, este componente tem falhado de forma recorrente em serviço.

2.9.2 Prego

Os pregos são elementos de fixação rígida e prestam-se tanto para fixar a placa de apoio ao dormente quanto para fixar o trilho ao dormente. Os pregos são de seção retangular em formato de cunha e cravados ao dormente em furos previamente preparados com diâmetro menor que a seção do prego. Os pregos possuem cabeça com saliência afim de apoiar-se no patim. Essa saliência possui inclinação igual ao patim do trilho. Os pregos são fixações menos eficientes já que funcionam como cunhas ao serem inseridos na madeira, criando a tendência em rachar o dormente ao longo do tempo, e oferecem pouca resistência ao arrancamento. Em razão da baixa resistência ao arrancamento a ação do tráfego ferroviário provoca a subida dos pregos, deixando uma folga entre ele e o patim do trilho.

A denominação atribuída aos tipos de pregos refere-se à espécie de formato de suas cabeças.

Existem duas espécies de prego: asa de barata e cabeça de cachorro, conforme pode ser observado na fotografia 2.7.

Fotografia 2.7 - Prego



Fonte: Manual via permanente Vale (2013).

Prego de Linha de seção geralmente quadrada, tendo uma das extremidades em gume e a outra com cabeça, em geral, destinado a fixar a fiada de trilhos ou placa de apoio em dormente de madeira.

2.9.3 Arruela de Pressão

Em fixação elástica são utilizadas em conjunto com os tirefond ou os parafusos dos sistemas, que fixam a placa de apoio ao dormente. Essas arruelas são de anéis duplos e possuem a função de manter o torque de aplicação do tirefond ou parafuso constantes. As arruelas de pressão também evitam o afrouxamento do tirefond ou parafuso, conforme pode ser observado na figura 2.7.

Figura 2.7 - Arruela de Pressão



Fonte: Manual via permanente Vale (2013).

A arruela de pressão é mais utilizada na montagem do conjunto tirefond, para fixação da placa de apoio ferroviária, que são submetidas a grandes esforços, vibrações e variações de temperatura.

2.9.4 Placa de Apoio

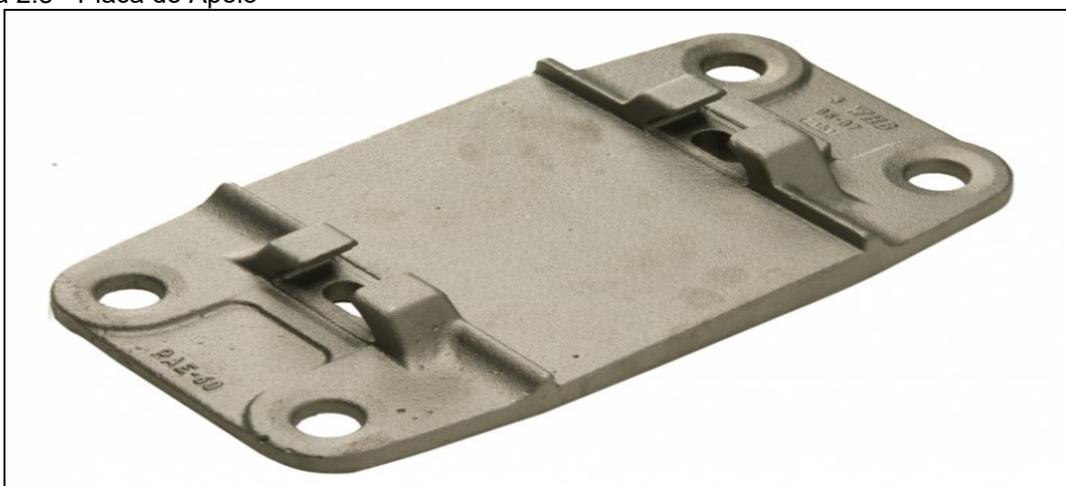
As placas de apoio aumentam a área de apoio do trilho e melhoram a distribuição das cargas oriundas do tráfego ferroviário que serão transmitidas aos dormentes. As placas de apoio possuem ressalto na região de apoio do patim do trilho, no mínimo na parte externa, de modo a transmitir o esforço transversal do trilho aos demais elementos fixação. Quando não há a aplicação de placas de apoio os esforços transversais dos trilhos são suportados somente pelos elementos de fixação externos. As placas de apoio possuem furos para a aplicação de tirefond ou

pregos, e também, conforme o modelo, possuem dispositivos para encaixe e aplicação de grampos elásticos.

Para uma melhor interação do contato das rodas na dinâmica do tráfego ferroviário ambos os trilhos são aplicados com determinada inclinação de seu eixo vertical em direção ao centro da linha. Para permitir a inclinação dos trilhos, as placas de apoio possuem inclinação de 1:20 ou 1:40.

As dimensões das placas de apoio irão variar de acordo com o perfil de trilho para o qual serão utilizadas e em razão das espécies de elementos de fixação que serão empregados, conforme pode ser observado na figura 2.8.

Figura 2.8 - Placa de Apoio



Fonte: Manual via permanente Vale (2013).

A passagem da composição ferroviária causa grande trepidação da ferrovia, inclusive com grande ocorrência de esforços horizontais, os quais, ao longo do tempo causam o afrouxamento dos parafusos ou pregos que fixam o trilho e a placa de apoio ao dormente, pois os parafusos ou pregos sofrem envergamentos, o que faz com que os trilhos escapem lateralmente de seu alinhamento original, podendo em alguns casos haver afastamentos suficientemente grandes ao ponto de provocar o descarrilamento de composições.

2.9.5 Grampos Elásticos Pandrol

É outra espécie de elemento de fixação elástica. Também fabricado em aço-mola, possui seção circular e com encaixe sobre o patim do trilho sendo efetuado longitudinalmente.

Há grampos Pandrol específicos para aplicação em locais com a interferência de talas de junção onde o encaixe na placa de apoio é longitudinal ao patim do trilho, mas a ponta que ficará em contato com a tala de junção atua perpendicularmente ao trilho, conforme pode ser observado na figura 2.9.

Figura 2.9 - Grampos Elásticos Pandrol



Fonte: Manual via permanente Vale (2013).

Geralmente utilizado na via permanente, o grampo elástico ferroviário fornece fixação de alto desempenho para o trilho, juntamente com a facilidade de instalação e remoção.

2.9.6 Grampos Elásticos SKL

O grampo SKL é aplicado através do aperto do tirefond, ou outro parafuso, diretamente sobre ele, resultando em sua compressão sobre o patim do trilho. O aparafusamento do tirefond ou parafuso poderá ser executado com equipamento ou manualmente, conforme pode ser observado na figura 2.10.

Figura 2.10 - Grampos Elásticos SKL



Fonte: Manual via permanente Vale (2013).

O trilho é tensionado permanentemente com uma deflexão elástica longa da mola por meio da mola-atuação dos dois braços da mola da braçadeira de tensão, por meio de que o fechamento não exige normalmente nenhuma manutenção.

2.10 SOLDAGEM ALUMINO-TÉRMICA

Este processo de soldagem, também conhecido como soldagem termítica, engloba um grupo de processos que utiliza o calor liberado por uma reação exotérmica para viabilizar a soldagem. A exotermia da redução de um óxido metálico é utilizada como fonte de energia para a soldagem, sendo que os óxidos usados são os que possuem um baixo calor de formação, enquanto os agentes redutores são aqueles que possuem alto calor de formação. As extremidades dos componentes a serem soldados são colocados dentro de um molde, especialmente construído para as peças a serem soldadas. No caso de soldagem de cabos ou conexões elétricas, utiliza-se um cadinho de grafite endurecido com CO_2 ; no cadinho que se interliga com o molde é colocado o óxido metálico (que será reduzido a elemento puro) e pó de Alumínio que é o agente redutor, conforme demonstra na fotografia 2.8.

Fotografia 2.8 - Soldagem Alumino-térmica



Fonte: o autor (2018).

Esta mistura é incendiada por meio de um fusível de magnésio ou outra faísca e a redução do óxido provoca calor suficiente para a fusão do metal. O metal fundido flui para a cavidade do molde onde se une com os metais de base. As aplicações típicas desse processo são a união de cabos elétricos, hastes de aterramento, conectores terminais, aço de construção e ainda a soldagem de trilhos (típico exemplo dos trilhos de locomotivas, com necessidade de pré-aquecimento, moldes fabricados com materiais refratários e os respectivos ensaios de Certificação de Qualidade).

A solda alumino-térmica é aplicada também para a soldagem de juntas nas vias férreas. Para executar a soldagem alumino-térmica de trilhos, os topos destes devem apresentar uma folga pré-determinada, em função do processo utilizado, bem como ser envolvidos por fôrmas pré-fabricadas. Após o assentamento e vedação das fôrmas com massa refratária, faz-se um pré-aquecimento com maçarico específico posicionado de tal forma, que a chama penetre no topo da junta. O aço produzido em cadinho refratário, a temperaturas acima de 2000°C, é conduzido aos topos dos trilhos, dissolvendo-os e unindo-os de forma homogênea. Depois de 4 a 5 minutos as fôrmas são retiradas e o material excedente é rebarbado. Após o resfriamento a solda é esmerilhada de forma a reproduzir o perfil do trilho.

2.10.1 Vantagens da Soldagem Alumino-térmica

As principais vantagens da soldagem alumino-térmica comparando com outros processos:

- A capacidade de condução de corrente, da seção soldada por este processo é igual àquela dos condutores que estão sendo unidos;
- O tempo de execução é pequeno, em comparação com outros processos;
- Não existe corrosão no ponto de conexão soldado, ao contrário do processo de soldagem oxiacetilênico, que exige a presença de material decapante (fluxo) durante a soldagem, o qual irá gerar futura formação de produtos corrosivos, em função da presença de cloretos e fluoretos;
- O processo de soldagem oxiacetilênico utiliza gases perigosos para sua combustão, tais como o Oxigênio (ávido por graxas e óleos) e o Acetileno (gás muito instável, que corre o risco de se dissociar e explodir em pressões acima de 1,5 bar);
- O processo alumino-térmico não necessita de fontes externas de energia, tais como eletricidade e calor; basta a faísca do acendedor para dar início ao processo;
- Surtos ou sobrecargas de corrente elevada não afetam este tipo de conexão, pois ensaios com correntes de curto circuito de grande intensidade demonstraram que os cabos condutores se fundem antes do material soldado.

2.10.2 Desvantagens da Soldagem Alumino-térmica

As principais desvantagens da soldagem alumino-térmica comparando com outros processos:

- Há a necessidade do uso de moldes específicos;
- Necessidade de pré-aquecimento no caso de soldagem de trilhos;
- Fica evidente a impossibilidade de se soldar as ligas de alumínio.

2.11 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo, abordou-se sobre a via permanente, seus principais acessórios relacionados à malha ferroviária e suas funções. Além disso, foram abordados também os tipos de defeitos existentes nos modelos de dormentes aplicados na Via Permanente da AMT, bem como as vantagens e desvantagens de cada modelo.

No próximo capítulo será abordado o referencial teórico para aplicação de MMC, FMEA e de análise de vida para aplicação no estudo de caso.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo é apresentado o conceito de manutenção centrada na confiabilidade, a evolução da manutenção ao longo das décadas, os métodos aplicados à confiabilidade, manutenibilidade e as ferramentas aplicadas no estudo da estabilidade operacional da via permanente.

3.1 ENGENHARIA DE CONFIABILIDADE

Conforme definido na ABNT NBR 5462 de 1994, a confiabilidade é a capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo. Segundo Blanchard e Fabrycky (1990) a confiabilidade é uma característica inerente ao projeto e pode ser definida como a probabilidade na qual um sistema ou produto irá operar de modo satisfatório em um dado intervalo de tempo, quando utilizado restrito às condições de operação especificadas. Confiabilidade também está associada a garantia de execução de funcionalidades sistêmicas para atender requisitos não-funcionais.

Na AMT é considerada falha de via permanente quando um equipamento da linha férrea deixa de desempenhar a função para o qual foi projetado, gerando interdição da via e bloqueio para o tráfego de composições ferroviárias.

3.1.1 Conceitos Associados à Confiabilidade

Conforme definido na ABNT NBR 5462 de 1994, a disponibilidade é a capacidade de um item estar em condições de executar determinada função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado, levando-se em conta os aspectos combinados de sua confiabilidade, manutenibilidade e suporte de manutenção, supondo que os recursos externos requeridos estejam assegurados.

Em quê:

$$A = \frac{MTTF}{MTTF+MTTR} \quad (1)$$

- **A** = disponibilidade média da unidade;

- **MTTF** = tempo médio entre falhas (ou seja, tempo médio de funcionamento da unidade);
- **MTTR** = tempo médio até a conclusão de reparos feitos na unidade.

Conforme definido na ABNT NBR 5462 de 1994, a manutenibilidade é a capacidade de um item ser mantido ou recolocado em condições de executar suas funções requeridas, sob condições de uso especificadas, quando a manutenção é executada sob condições determinadas e mediante procedimentos e meios prescritos.

Outra definição pode ser dada como a probabilidade de um componente avariado ser recolocado em seu estado operacional, em período de tempo predefinido, medindo a facilidade com que pode ser realizado uma intervenção de manutenção (BRANCO FILHO, 2004).

Desta maneira é definido o tempo médio de reparo (MTTR – *Mean Time To Repair*) que nada mais é que a medida de tempo de manutenção com métodos procedimentais bem definidos.

Para definir a confiabilidade de um item, precisamos definir o conceito de falha, que de acordo com a ABNT NBR 5462 de 1994, é o término da capacidade de uma máquina e/ou equipamento em desempenhar a função requerida, ocasionar quebra do item e interromper a produção, deve ser tratada como emergência (não dá para esperar).

3.2 GERENCIAMENTO DA MANUTENÇÃO

Em tempos de competitividade acirrada no mundo corporativo, é cada dia mais comum que empresas pertencentes aos mais diversos setores persigam incessantemente a inovação. A manutenção centrada na confiabilidade é um método estruturado para estabelecer a melhor estratégia de manutenção. Essa metodologia reúne, de maneira equilibrada, as melhores técnicas de manutenção. A manutenção centrada em confiabilidade é conhecida na Europa como otimização da manutenção pela confiabilidade (OMC), conforme Azevedo (2008).

A busca por melhorias nos processos de manutenção possibilitou novas perspectivas, segundo Mata Filho (1998) *at all*, as quais destaca-se que revisões

preventivas programadas afetam muito pouco o nível de confiabilidade do equipamento, a menos que um item possua um modo predominante e característico de falha, e, em consequência, pode se afirmar que não existe manutenção preventiva eficaz aplicável a determinados itens.

No processo de aplicação da manutenção centrada em confiabilidade, devem ser sistematicamente identificadas e avaliadas, como primeiro passo, as funções e o padrão de desempenho dos equipamentos em seu contexto operacional. Em sequência, devem ser definidas as falhas funcionais e seus respectivos modos de falha, bem como o efeito ou consequências dessas falhas. Esta análise se completa, com a determinação das tarefas de manutenção adequadas, técnica e economicamente, para prevenir cada falha. Nesse sentido, a metodologia recomenda o reprojeto do equipamento (ou mesmo assumir o fato de que o sistema irá operar até a falha), caso não possa ser encontrada uma tarefa preventiva adequada para a prevenção da falha.

De maneira geral, primeiro de tudo, o principal objetivo da implementação da manutenção centrada na confiabilidade em uma organização é o de aumentar a disponibilidade dos equipamentos e, conseqüentemente, otimizar a produtividade.

A manutenção centrada na confiabilidade gera ganhos significativos em outras áreas da companhia, entretanto, quando se extrapola a análise dos resultados após a implementação da metodologia, é possível notar, a médio e longo prazo:

- Maior confiabilidade;
- Maior segurança;
- Melhoria na qualidade dos produtos;
- Ausência de danos ao meio ambiente;
- Maior custo eficaz (quando se assegura, por meio de práticas acertadas de manutenção, que o capital investido tenha o melhor retorno);
- Maior controle dos ativos.

Toda e qualquer metodologia de gestão, que vise melhorar processos e a aumentar a produtividade dentro de uma companhia, como é o caso da RCM, necessita ser gerenciada e monitorada.

Dentro desse contexto, para o bom gerenciamento da Manutenção Centrada na Confiabilidade, é indispensável traçar e medir indicadores de desempenho, devido a, que comprovem que a técnica está trazendo as vantagens esperadas.

Alguns dos indicadores mais utilizados para medir a eficiência de um plano de RCM dentro de uma companhia:

- MTBF – *Mean Time Between Failures* (Tempo médio entre falhas);
- MTTR – *Mean Time To Repair* (Tempo médio de reparo);
- Gráficos/relatórios que apresentam diagnósticos dos equipamentos;
- KPI's de manutenção.

Todos esses indicadores, conseqüentemente, aumentam a confiabilidade dos processos, mas é necessário, como resultado, do mesmo modo, que eles sejam coletados e medidos de forma precisa. E é aí que os softwares de automação atuam no âmbito da Manutenção Centrada na Confiabilidade.

A confiabilidade de um ativo é baseada na probabilidade de uma aplicação desempenhar sua função necessária em um determinado espaço de tempo.

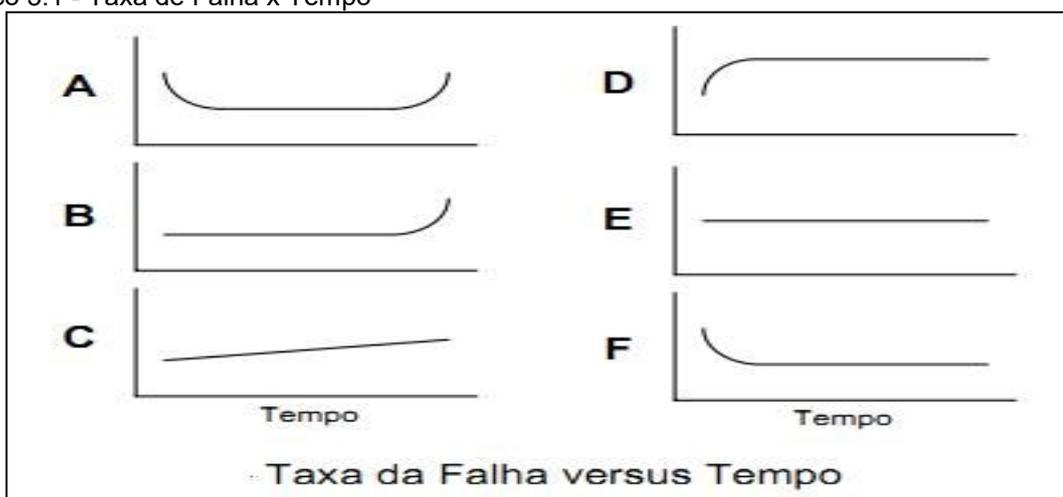
A probabilidade, por sua vez, certamente, é um conceito estatístico expressado por:

$$\frac{\mathbf{N} \text{ casos favoráveis}}{\mathbf{N} \text{ casos possíveis}}$$
, tal que o valor seja menor ou igual a 1 (um).

Sendo o valor representado por 1 (um) a indicação de que haverá, com certeza, a ocorrência do problema e o valor representado por 0 (zero) indicando a probabilidade nula de o evento acontecer. Esse índice de probabilidade pode ser expresso por valores entre 0 a 10, ou em porcentagem de 0 a 100%.

As características das falhas possuem seis tipos básicos, que podem ser diagnosticados por distintas curvas, representadas abaixo no gráfico 3.1 “Falhas x Tempo”:

Gráfico 3.1 - Taxa de Falha x Tempo



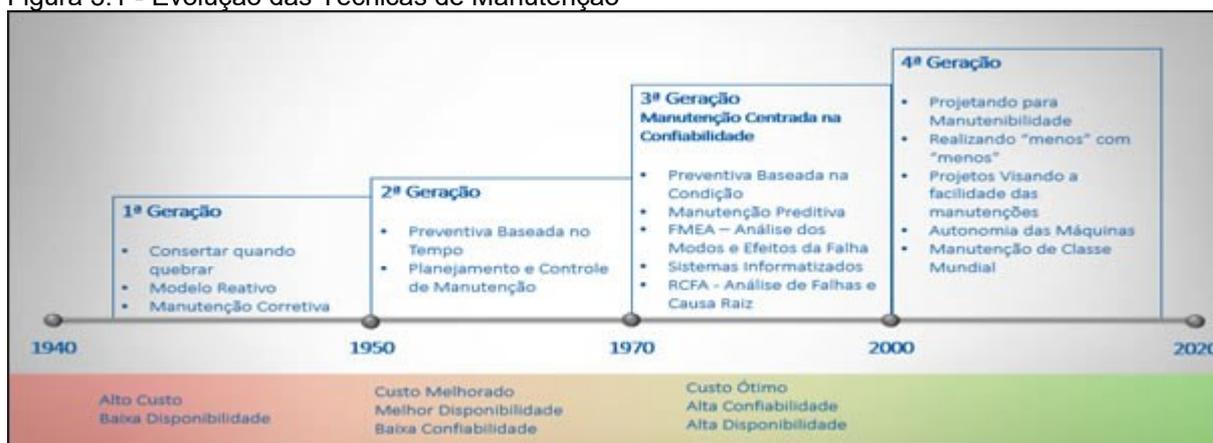
Fonte: MOUBRAY (1992).

As curvas representam a probabilidade das falhas em um determinado intervalo de tempo. A curva A e B representam os problemas mais simples, devido a, com elevadas taxas de falhas relacionadas à idade do componente. Já as curvas C, D, E, e F, provavelmente, indicam graficamente as ocorrências mais complexas, além disso, com taxas de falhas constantes.

3.3 EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO

A evolução histórica da manutenção e dos processos industriais é abordada por Moubray (2000) com base em três gerações distintas. A primeira geração representou a ênfase no conserto após a falha. A segunda geração, por sua vez, esteve associada ao surgimento de maiores exigências com relação à disponibilidade operativa e a vida útil dos equipamentos, a custos menores. Já a terceira geração, que se refere aos tempos atuais, diz respeito aos requisitos característicos, como: maior disponibilidade, confiabilidade, segurança e vida útil, com ausência de danos ao meio-ambiente e ações de manutenções eficazes, aliadas aos custos envolvidos, conforme pode ser observado na figura 3.1.

Figura 3.1 - Evolução das Técnicas de Manutenção



Fonte: Moubray (2000).

A primeira geração da manutenção perdurou até meados de 1950. Nessa época, manutenção não era o ato de manter o ativo e sim, de repará-lo de acordo com a necessidade. Ou seja, existia apenas a manutenção confiabilidade.

A segunda geração da manutenção surgiu no período pós segunda guerra mundial devido à alta competitividade e crescimento do consumo devido às circunstâncias. No Japão, os engenheiros industriais começaram a perceber que alguns equipamentos falhavam em intervalos semelhantes e ali nascia a manutenção preventiva.

A manutenção preventiva consiste em realizar determinadas manutenções em intervalos pré-determinados, com a finalidade de diminuir a probabilidade da ocorrência das falhas.

Em 1970, impulsionada pela terceira revolução industrial (chegada da automação industrial), surgia a manutenção centrada na confiabilidade e o movimento conhecido por terceira geração da manutenção.

A manutenção centrada na confiabilidade tem o foco em fazer apenas o necessário para se manter um ativo disponível e confiável e por consequência, manter os sistemas em pleno funcionamento.

Na época, a chegada de instrumentos de manutenção preditiva facilitou a adoção da estratégia da manutenção por condição.

Até a segunda geração da manutenção o foco da manutenção era preservar o equipamento. Com a chegada da manutenção centrada na confiabilidade o foco passou a ser preservar as funções dos equipamentos e atuar apenas conforme os modos de falha, proporcionando uma forma de garantir a disponibilidade e

confiabilidade necessárias para o processo, e o melhor de tudo, gastando o mínimo possível.

A quarta geração da manutenção, com nascimento nos anos 2000, fica marcada principalmente pela elevação da mantenedibilidade dos ativos por parte dos fabricantes, pelos seus níveis de autonomia e pela adoção de estratégias de se realizar “menos com menos” na busca por índices de manutenção de classe mundial (TELES, 2017).

3.4 ETAPAS DE IMPLANTAÇÃO DA MCC

Para a aplicação da MCC, uma sequência de etapas deve ser seguida, que compreende: a delimitação do equipamento, objeto da aplicação; a definição das funções de todos os seus principais componentes e as possíveis falhas funcionais associadas a estas funções; e, a utilização da Análise dos Modos e Efeitos das Falhas (FMEA) aplicada as falhas funcionais anteriormente definidas. A seguir utiliza-se o diagrama de decisão com objetivo de identificar as tarefas de manutenção mais adequadas, para finalmente definir-se o plano de manutenção a ser adotado, com base na MCC (BACKLUND, 2003).

Deve ser destacado que, é de primordial importância para o sucesso do trabalho de aplicação da MCC, que para o desenvolvimento de todas as etapas, possa se contar com uma equipe de profissionais experientes e capacitados, com plenos conhecimentos do funcionamento e das atividades de manutenção, associadas ao sistema ou equipamentos escolhidos para análise (BACKLUND, 2003).

3.4.1 Preparação do Estudo

Esta etapa deve esclarecer e definir objetivos e escopo da análise. A MCC está concentrada na definição de estratégias de manutenção preventiva e a análise pode cobrir outras áreas, como manutenção corretiva, problemas de suporte logístico e gestão de peças sobressalentes. Na sequência selecionar os sistemas que compreende a determinação do que será analisado e em que nível: planta industrial, sistema, itens físicos ou componentes. A escolha de ativos ou sistemas

que podem vir a se beneficiar da implementação da MCC é fundamental no processo de planejamento. A próxima etapa fazer análise das funções e as falhas funcionais traçando o objetivo conforme abaixo:

- Definição das fronteiras do sistema e sua descrição;
- Identificação das interfaces de entrada e saída do sistema;
- Identificação e descrição das funções do sistema;
- Identificação das formas como o sistema pode falhar.

Na etapa seguinte deve se fazer a análise das funções e das falhas funcionais de forma a elaborar uma base de informações suficientes para determinação das funções e falhas funcionais do sistema:

- Definições das fronteiras do sistema;
- Descrição do sistema;
- Funções e falhas funcionais.

E por fim definir as fronteiras do sistema e sua descrição, onde essa etapa permite identificar as fronteiras entre os sistemas componentes da unidade fabril.

O conhecimento preciso do que está sendo incluído no sistema e transformações que ocorrem entre a entrada e a saída do sistema garantem que nenhuma função importante seja negligenciada durante o estudo (FOGLIATTO, 2011).

Há inúmeras formas diferentes para aplicação da MCC, podendo variar no número de etapas, ordem de implementação e ferramentas utilizadas, dependendo da necessidade do processo ou pela forma de trabalho do analista que estará aplicando esse sistema, apesar disso há semelhanças em sua abordagem e objetivos (BACKLUND e AKERSTEN, 2003).

Os resultados que são esperados com a inserção da MCC são: redução das atividades de manutenção, aumento da produtividade, aumento da segurança humana e ambiental, diminuição dos custos da manutenção, materiais e operação e a redução dos riscos no processo (MOUBRAY, 1997).

3.5 BENEFÍCIOS DE IMPLANTAÇÃO DA MCC

Os benefícios obtidos pela implantação da Manutenção Centrada na Confiabilidade podem ser resumidos em sete tópicos principais, como listado a seguir:

- **Maior Segurança e Proteção Ambiental:**

A segurança operacional e a integridade do meio ambiente são as principais melhorias obtidas com a metodologia. Esses benefícios são gerados por meio das informações geradas pelo MCC, para identificar todos os possíveis riscos de falha nos equipamentos (MOUBRAY, 1997).

- **Desempenho Operacional Melhorado:**

Esse benefício é possível pois os gestores do programa têm informações técnicas para determinar as melhores práticas de manutenção, visando garantir uma maior disponibilidade dos equipamentos no sistema produtivo (MOUBRAY, 1997).

- **Eficiência Maior de Manutenção (Custo-Efetivo):**

“Com as informações levantadas, pode-se executar as melhores práticas para garantir que, o capital investido na manutenção tenha o melhor retorno” (MOUBRAY, 1997).

- **Aumento da vida útil dos equipamentos:**

A aplicação dessa prática possibilita que o equipamento execute a sua função de maneira eficiente e permaneça disponível por um maior período de tempo no seu contexto operacional, recebendo a manutenção necessária para cumprir sua função e garantindo uma vida longa ao equipamento (MOUBRAY, 1997).

- **Banco de Dados de Manutenção Melhorado:**

As práticas de registro gerados pelo MCC, possibilitam a obtenção de um eficiente banco de dados para uso tanto pela manutenção quanto pela operação, inspeção e projeto. Fornecendo informação para: identificar as necessidades de habilidades dos manutentores, decidir qual a melhor prática de estoques de peças sobressalentes e manter os documentos atualizados (MOUBRAY, 1997).

- Trabalho em Equipe – Motivação:

A metodologia promove uma maior integração, reunindo equipes multifuncionais para a análise e solução dos problemas, aumentando assim o grau de comprometimento e compartilhamento de toda a organização da empresa (MOUBRAY, 1997).

- Social:

A MCC tem como meta eliminar ou reduzir ao máximo as probabilidades das falhas funcionais e criar procedimentos adequados para reduzir os efeitos e consequências dessas falhas. Logo, os recursos naturais utilizados pelo setor industrial serão usados mais racionalmente, evitando desperdícios, e os prováveis acidentes com agressão ao meio ambiente serão evitados (MOUBRAY, 1997).

3.6 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi apresentado o conceito de confiabilidade, a evolução da manutenção ao longo dos anos, as etapas de implantação e benefícios do MCC, bem como análise de vida dos ativos.

4 ANÁLISE DE CONFIABILIDADE DA VIA PERMANENTE DA AMT

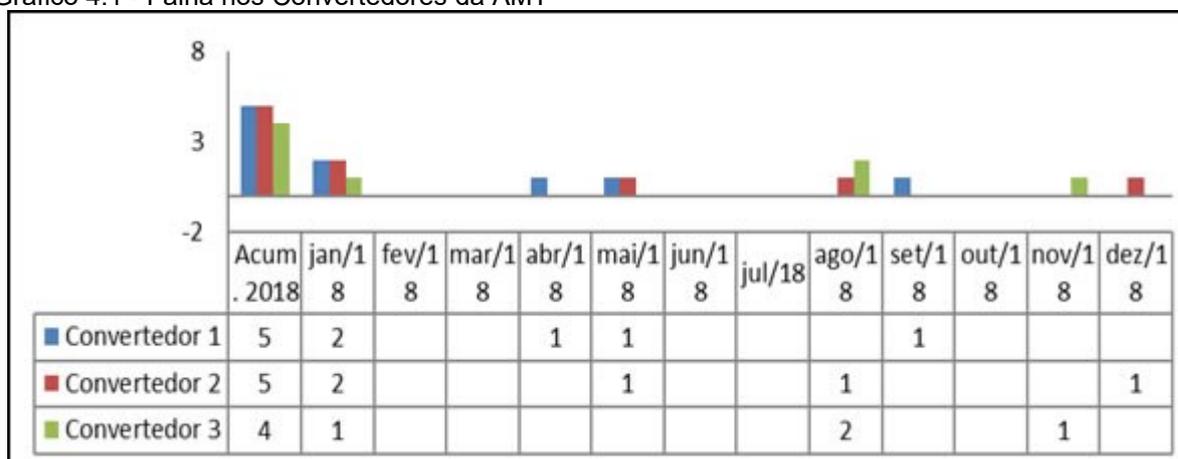
Este capítulo trata da aplicação do referencial teórico de análise de confiabilidade abordado no capítulo 3, nos convertedores da AMT.

4.1 COLETA DE DADOS

Conforme informado no capítulo 1 deste trabalho, os convertedores vêm apresentando alto índice de manutenção corretiva, conforme registros levantados pelo histórico de falhas, dados apurados a partir de 2018, tornando-se importante a análise da confiabilidade da via permanente nos pontos estudados.

Foram levantados através de relatórios de análise de falhas extraídos do sistema informatizado de manutenção SISMANA, sendo apresentadas no gráfico 4.1 abaixo:

Gráfico 4.1 - Falha nos Converteedores da AMT



Fonte: o autor (2018).

A falha da via permanente pode causar acidentes de grandes proporções, e além do mais, trazer grande impacto na produção da empresa com perda na produção. As áreas relatadas no estudo, refletem grande parte de falhas por perda de produção na AMT, sendo então, elaborado estudo específico para análise de falhas nos trechos críticos nos convertedores da AMT, conforme pode ser observado no quadro 4.1.

Quadro 4.1 - Falhas nos Conversores da AMT

TIPO PARADA	EQUIPAMENTO	DATA INÍCIO	DATA FIM	F/S	MTBF
CORRETIVA	CONVERTEDOR 01	29/01/2018 04:30	29/01/2018 19:30	F	609:30:00
CORRETIVA	CONVERTEDOR 01	05/04/2018 11:00	05/04/2018 19:30	F	1575:30:00
CORRETIVA	CONVERTEDOR 01	23/05/2018 07:00	23/05/2018 21:30	F	1139:30:00
CORRETIVA	CONVERTEDOR 01	18/09/2018 20:30	20/09/2018 04:30	F	2831:00:00
CORRETIVA	CONVERTEDOR 01	31/12/2018 23:59		S	2467:29:00
CORRETIVA	CONVERTEDOR 02	17/01/2018 06:30	17/01/2018 18:30	F	278:30:00
CORRETIVA	CONVERTEDOR 02	24/05/2018 07:00	25/05/2018 19:00	F	3036:30:00
CORRETIVA	CONVERTEDOR 02	08/08/2018 07:00	09/08/2018 02:00	F	1788:00:00
CORRETIVA	CONVERTEDOR 02	09/12/2018 20:00	11/12/2018 08:00	F	2946:00:00
CORRETIVA	CONVERTEDOR 02	31/12/2018 23:59		S	495:59:00
CORRETIVA	CONVERTEDOR 03	09/01/2018 07:00	09/01/2018 22:30	F	5006:00:00
CORRETIVA	CONVERTEDOR 03	09/08/2018 13:00	10/08/2018 01:00	F	2198:30:00
CORRETIVA	CONVERTEDOR 03	29/11/2018 07:00	30/11/2018 15:30	F	462:00:00
		31/12/2018 23:59		S	752:29:00

Fonte: o autor (2018).

Os conversores possuem um ciclo de parada programada em média de 4200 corridas, o que equivale a 6 meses de operação. Conforme pode ser observado no histórico de 2018, os reparos nas linhas férreas são menores que 6 meses, fazendo com que paradas por falhas sejam realizadas impactando no processo operacional da área.

4.1.1 Criticidade dos Equipamentos da Via Permanente

A criticidade é o atributo que expressa a importância de uma máquina ou equipamento dentro de um processo produtivo, ou seja, o quanto um equipamento é indispensável dentro do contexto operacional de um sistema.

Cada uma das máquinas analisadas deve ser classificada nos critérios segundo três níveis de impacto:

- a) Alto Impacto;
- b) Médio Impacto;
- c) Sem Impacto.

Esse método faz uso de um sistema de classificação de máquinas em termos de gravidade da ocorrência de falhas, conforme os critérios:

- Segurança: Máquinas perigosas, como prensas e guilhotinas, ao apresentarem falhas, podem causar sérios danos à saúde do trabalhador;
- Qualidade do produto: Algumas máquinas realizam processos de alta precisão e, dessa maneira, o menor nível de desalinhamento pode acarretar perda de qualidade do produto fabricado;
- Impacto na produção: Falhas em máquinas gargalos no processo produtivo podem impactar fortemente na produtividade da empresa;
- MTBF / Confiabilidade da máquina: Esse critério faz uso do indicador MTBF, que trata do tempo decorrido entre falhas em uma máquina;
- Tempo de reparo: Esse critério faz uso do indicador MTTR, '*Mean Time to Recovery*', que representa o tempo médio necessário para substituir ou reparar um componente defeituoso, ou mesmo para que a máquina volte a funcionar;
- Custos de manutenção: Dinheiro a ser gasto no conserto de uma máquina específica que venha a apresentar falhas. Esse gasto varia de acordo com a falha ocorrida, porém, de maneira geral, é possível inferir se o ativo requer altos gastos com peças de reposição.

Com base na criticidade de ativos, é possível definir um nível de priorização de ações da manutenção, buscando garantir que o sistema produtivo funcione o mais próximo possível de sua capacidade nominal, conforme pode ser observado no quadro 4.2.

Quadro 4.2 - Criticidade da Via Permanente da AMT

UNIDADE: MALHA FERROVIÁRIA	Responsável:								Data Revisão:			
	Influência na produção (0, 3 ou 5)	Influência na qualidade do produto (0, 3 ou 5)	Influência no meio ambiente (0, 3 ou 5)	Influência na segurança pessoal (0, 3 ou 5)	Existência de stand by - Opção (0, 3 ou 5)	Ocorrência de falhas (Confiabilidade do Item) (0, 3 ou 5)	Recuperação da produção após reparo (0, 3 ou 5)	Influência no custo da produção (0 ou 5)	Fator de Correção (0,2 a 1,0)	A produção fim de placa ou bobina é interrompida? (S ou N)	Pontuação Final	Criticidade
<p> ■ AA ■ A ■ B ■ C </p>	10	10	10	10	8	10	8	8				
Equipamento	5	0	5	5	5	0	0	5	1,0	N	230	A
001-ÁREA DO GUSA	5	3	3	5	5	0	0	5	1,0	N	240	A
002-ÁREA DA ESCÓRIA	3	3	0	5	3	0	0	0	1,0	N	134	B
003-ÁREA DO CONTÍNUO / CONDIC.	3	0	0	5	3	0	0	0	1,0	N	104	C
004-ÁREA DOS BQs	3	0	0	5	3	0	0	0	1,0	N	104	C
005-ÁREA DA BITOLA MÉTRICA	0	0	0	5	0	0	0	0	1,0	N	50	C
006-ÁREA DA OFICINA												

Fonte: o autor (2018).

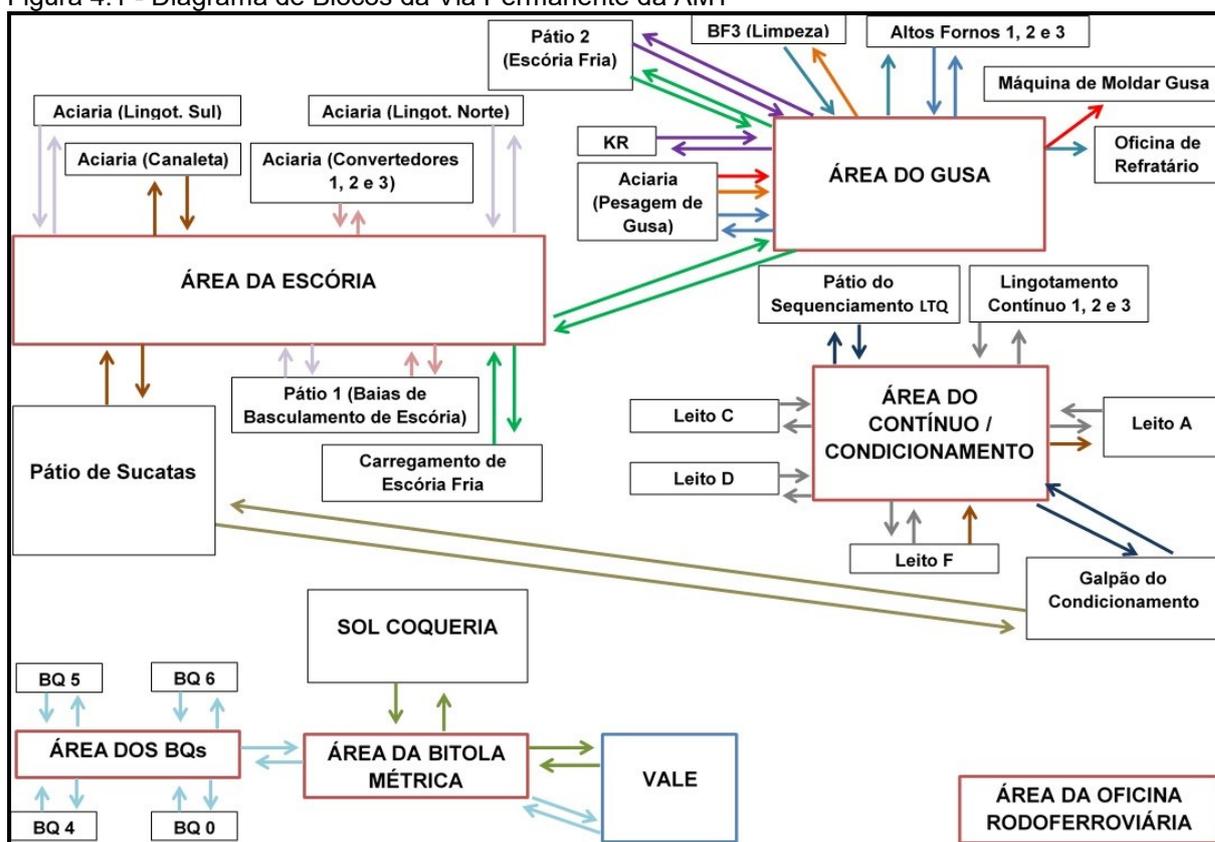
A criticidade do equipamento é uma medida de risco para todo o negócio, não apenas para a produção. O grau de risco exige saber o custo das consequências para o negócio, quando ele acontecer, juntamente com a probabilidade de que isso pode acontecer.

Após o estudo de criticidade dos ativos, foi considerado que a via permanente das áreas do gusa e escória são as mais críticas da via permanente da ArcelorMittal Tubarão, sendo então, elaborado plano com rotas de inspeção definidas e frequência de manutenção dos ativos.

4.2 DIAGRAMA DE BLOCOS

Diagrama de blocos é a representação gráfica de um processo ou modelo de um sistema complexo. O processo de desenvolvimento (programação), normalmente, baseado em duas etapas de trabalho, que são análise de sistemas e programação, quando são feitos os fluxogramas, conforme pode ser observado na figura 4.1.

Figura 4.1 - Diagrama de Blocos da Via Permanente da AMT



Fonte: o autor (2018).

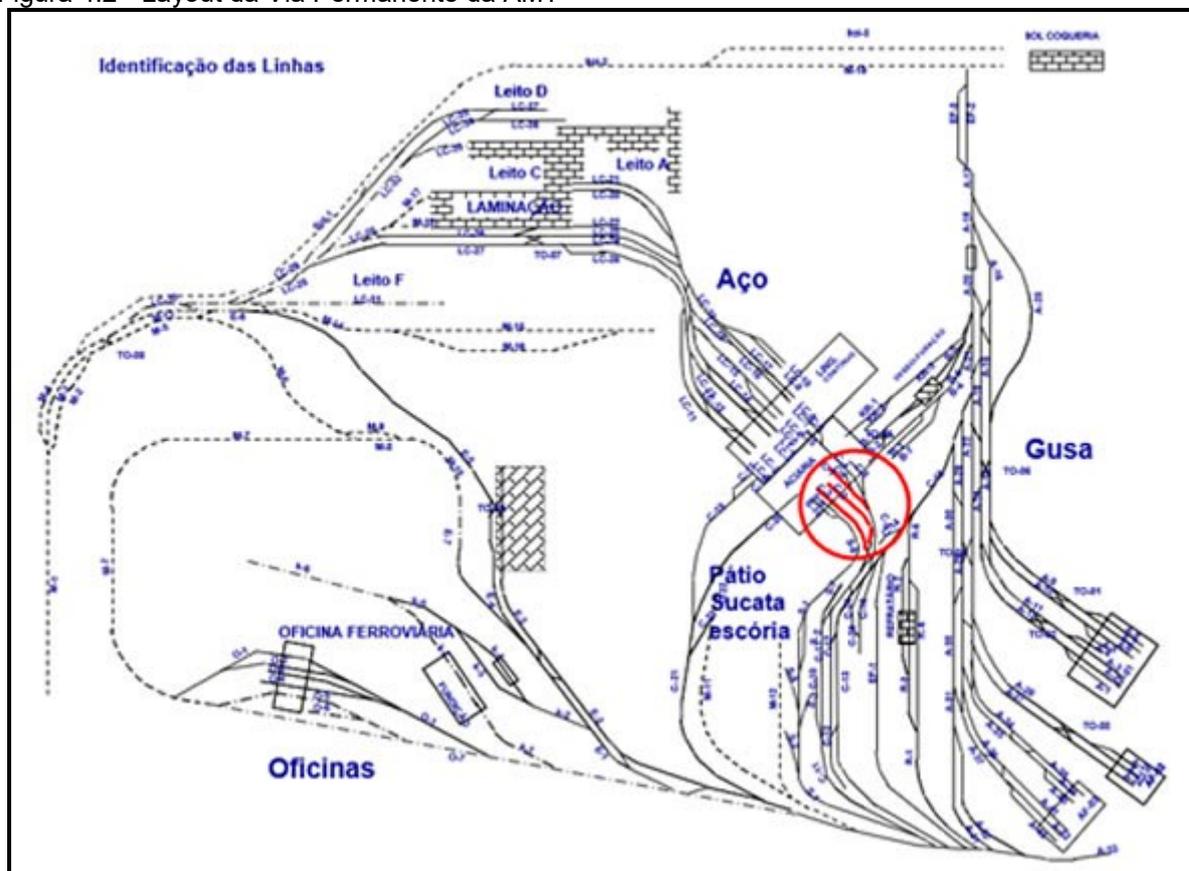
Através de figuras geométricas e ligações, descreve-se as relações entre cada subsistema e o fluxo de informação da Via permanente da ArcelorMittal Tubarão.

4.3 LAYOUT DA VIA PERMANENTE DA AMT

Em regiões sob convertedores de Aciaria, a manutenção de linhas férreas se torna ainda mais complexa devido a projeção de material incandescente, com temperaturas que chegam a atingir 1300°C. Os meios tradicionais de fixação de dormentes com olhais e grampos elásticos não resistem aos efeitos destas temperaturas, comprometendo a fixação dos trilhos, ficando estes suscetíveis a deformações excessivas e, conseqüentemente, sujeitos a constantes quebras. Como o trilho é o componente mais importante da superestrutura ferroviária, sendo o principal elemento de suporte e guia das composições ferroviárias representando o maior custo dentre os elementos da via, ampliar sua vida útil representa reduções significativas de custo e impactos operacionais. A figura 4.2 abaixo, mostra o layout

da malha ferroviária da AMT, a parte circulada em vermelho, evidencia as linhas que estão sob os três convertidores da aciaria.

Figura 4.2 - Layout da Via Permanente da AMT



Fonte: o autor (2018).

Na ArcelorMittal Tubarão, as linhas férreas sujeitas a altas temperaturas, especialmente aquelas sob os convertidores da Aciaria apresentam problemas constantes de deformações excessivas dos dormentes e quebra de trilhos, causando transtornos operacionais para realização dos devidos reparos.

4.4 APLICAÇÃO DO FMEA NA VIA PERMANENTE DA AMT

Uma importante ferramenta de confiabilidade utilizada na aplicação da MCC é a de Failure Modes and Effect Analysis (FMEA), que foi traduzido para Análise de Modos e Efeitos das Falhas. Esta ferramenta tem um papel vital no desenvolvimento dos programas de qualidade e de confiabilidade das organizações, conforme Palady (1997), utilizada com frequência na análise de falhas e riscos, na indústria nuclear,

espacial, de processos químicos, de produção de bens de consumo e de serviços. No quadro 4.3 pode ser observado o FMEA aplicado na Via Permanente da AMT.

Quadro 4.3 - FMEA Aplicado na Via Permanente da AMT

ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE PLANOS DE MANUTENÇÃO RCM / MCC - MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE											
UNIDADE:	76-TRANSPORTE				DIGITAR O TIPO DA TAREFA PROPOSTA: ISR - INSPEÇÃO SENSITIVA DE ROTINA, ISP - INSPEÇÃO SENSITIVA EM PARADA, IPR - INSPEÇÃO PREDITIVA DE ROTINA, IPP - INSPEÇÃO PREDITIVA EM PARADA, SER - SERVIÇO DE ROTINA, SEP - SERVIÇO EM PARADA, PGOR - PLANO DE GARANTIA OPERACIONAL DE ROTINA, PGOP - PLANO DE GARANTIA OPERACIONAL DE PARADA						
1º NÍVEL											
2º NÍVEL											
3º NÍVEL - EQUIPAMENTO											
EQUIPAMENTO	MODOS DE FALHAS	S	O	D	RPN	CAUSAS	TAREFA PROPOSTA PELA MATRIZ DECISÃO RCM	PONTOS PROPOSTOS PARA ELABORAÇÃO DE PLANOS	P	TIPO	QUEM
ÁREA DA ESCÓRIA	ABERTURA/FECHAMENTO DE BITOLA	9	6	3	162	DORMENTE QUEBRADO	TAREFA POR CONDIÇÃO	SENSITIVA DORMENTE - TRINCA/DEFORMAÇÃO - VISUAL	84	ISR	M
	ABERTURA/FECHAMENTO DE BITOLA	9	6	3	162	DESGASTE DO GRAMPO	TAREFA POR CONDIÇÃO	SENSITIVA GRAMPO - DESGASTE - VISUAL	84	ISR	M
	TRILHO QUEBRADO	9	6	3	162	TALA DE JUNÇÃO QUEBRADA	TAREFA POR CONDIÇÃO	SENSITIVA TALA DE JUNÇÃO - FIXAÇÃO - VISUAL	84	ISR	M
	TRILHO QUEBRADO	9	6	3	162	FARAFUSO DA TALA DE JUNÇÃO FOLGADO	TAREFA POR CONDIÇÃO	SENSITIVA TALA DE JUNÇÃO - FIXAÇÃO - VISUAL	84	ISR	M
	LAQUEAMENTO DA LINHA	7	8	2	112	CONTAMINAÇÃO DO LASTRO	TAREFA POR CONDIÇÃO	SENSITIVA LASTRO - CONDIÇÃO - VISUAL	84	ISR	M
	DESGASTE DE BOLETO	5	7	4	140	FIM DE VIDA ÚTIL	TAREFA POR CONDIÇÃO	SENSITIVA BOLETO - DESGASTE - VISUAL	84	ISR	M
ÁREA DA ESCÓRIA	GRETA DA AGULHA	9	5	2	90	CONTAMINAÇÃO DE MATERIAL ENTRE A AGULHA E O TRILHO	TAREFA POR CONDIÇÃO	SENSITIVA AGULHA - SUJEIRA - VISUAL	28	ISR	M
	GRETA DA AGULHA	9	5	2	90	AMV DESRREGULADO	TAREFA POR CONDIÇÃO	SENSITIVA AGULHA - FOLGA - VISUAL	28	ISR	M
	DESGASTE DA AGULHA	7	3	4	84	FIM DE VIDA ÚTIL	TAREFA POR CONDIÇÃO	SENSITIVA AGULHA DESGASTE VISUAL	84	ISR	M
	QUEBRA DA AGULHA	9	3	3	81	DESGASTE DA AGULHA	TAREFA POR CONDIÇÃO	SENSITIVA AGULHA DESGASTE VISUAL	28	ISR	M
	QUEBRA DO TIRANTE DO AMV	7	4	2	56	MOVIMENTAÇÃO DE PÁ CARREGADEIRA					
	APARELHO DEMANOBRA DESRREGULADO	7	8	2	112	CONTAMINAÇÃO LUBRIFICAÇÃO	TAREFA POR CONDIÇÃO	SENSITIVA APARELHO DE MANOMBRA - TRAVAMENTO - TATO	28	ISR	M
	APARELHO DEMANOBRA DESGASTE DOS COMPONENTES INTERNOS	7	3	5	105	FIM DE VIDA ÚTIL	TAREFA POR CONDIÇÃO	SENSITIVA APARELHO DE MANOMBRA - TRAVAMENTO - TATO	28	ISR	M
	PLACA ROLETADA TRAVADA	5	7	3	105	FALTA DE LUBRIFICAÇÃO	TAREFA DE RECUPERAÇÃO PROGRAMADA	PREVENTIVA LIMPEZA E LUBRIFICAÇÃO DAS AMV'S	7	SER	M
	PLACA ROLETADA TRAVADA	5	7	3	105	SUJEIRA	TAREFA POR CONDIÇÃO	PREVENTIVA LIMPEZA E LUBRIFICAÇÃO DAS AMV'S	7	SER	M
	QUEBRA/DESGASTE DO JACARE	9	3	3	81	FIM DE VIDA ÚTIL	TAREFA POR CONDIÇÃO	SENSITIVA JACARE - DESGASTE - VISUAL	84	ISR	M
	ABERTURA/FECHAMENTO DE BITOLA	9	6	3	162	DORMENTE QUEBRADO	TAREFA POR CONDIÇÃO	SENSITIVA DORMENTE - TRINCA/DEFORMAÇÃO - VISUAL	84	ISR	M
	ABERTURA/FECHAMENTO DE BITOLA	9	6	3	162	DESGASTE DO GRAMPO	TAREFA POR CONDIÇÃO	SENSITIVA GRAMPO - DESGASTE - VISUAL	84	ISR	M
	TRILHO QUEBRADO	9	6	3	162	TALA DE JUNÇÃO QUEBRADA	TAREFA POR CONDIÇÃO	SENSITIVA TALA DE JUNÇÃO - FIXAÇÃO - VISUAL	84	ISR	M
	TRILHO QUEBRADO	9	6	3	162	FARAFUSO FOLGADO	TAREFA POR CONDIÇÃO	SENSITIVA TALA DE JUNÇÃO - FIXAÇÃO - VISUAL	84	ISR	M
LAQUEAMENTO DA LINHA	7	8	2	112	CONTAMINAÇÃO DO LASTRO	TAREFA POR CONDIÇÃO	SENSITIVA LASTRO - CONDIÇÃO - VISUAL	84	ISR	M	
DESGASTE DE BOLETO	5	7	4	140	FIM DE VIDA ÚTIL	TAREFA POR CONDIÇÃO	SENSITIVA BOLETO - DESGASTE - VISUAL	84	ISR	M	

Fonte: o autor (2018).

O FMEA pode ser considerada uma ferramenta de análise de projetos, com o intuito de caracterizar os prováveis modos de falha potenciais e estabelecer seus efeitos sobre o desempenho do sistema, com base em raciocínio dedutivo (HELMAN e ANDERY, 1995). Em linhas gerais, conforme COTNAREANU (1999), pode-se afirmar que a FMEA se constitui em uma abordagem simples, sistemática e direta para a identificação das fontes básicas de falhas, suas causas e consequências, verificando os métodos existentes para a detecção ou controle dessas falhas, e, definindo as ações corretivas necessárias para eliminar as causas ou reduzir seus efeitos.

4.5 ANÁLISE DE FADIGA DOS DORMENTES DE AÇO

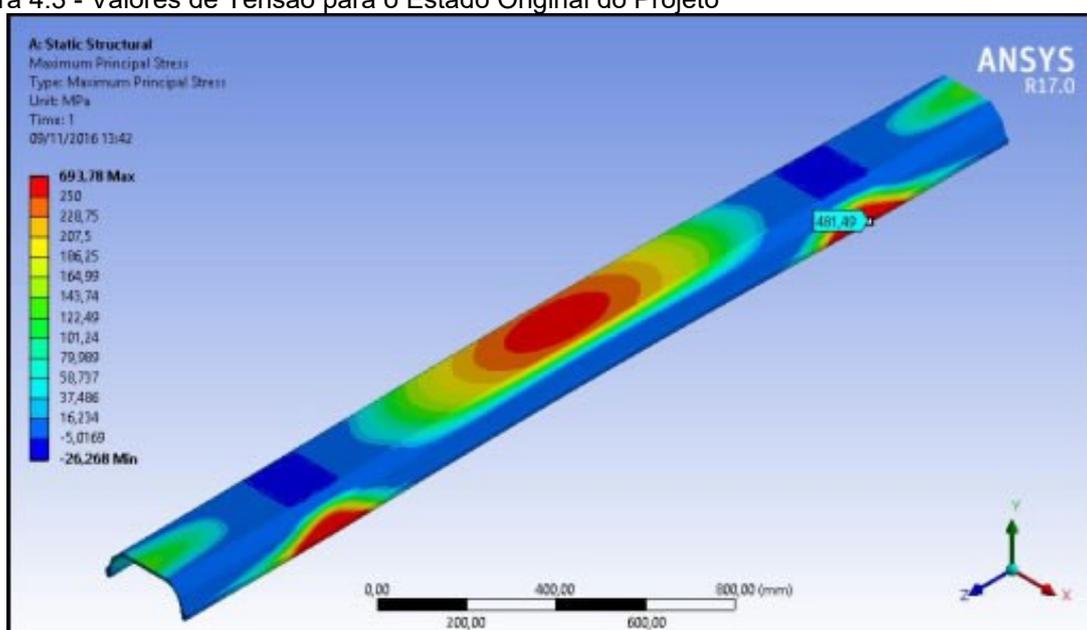
Durante o estudo na via permanente da AMT foram detectadas trincas entre os olhais dos grampos de fixação dos trilhos na estrutura dos dormentes, necessitando assim da análise estrutural para a elaboração de um reforço e consequentemente aumentar a vida útil dos mesmos.

A fim de definir os esforços causados pela passagem dos truques sobre a linha férrea, foram realizadas simulações em softwares de modelagem 3D e elementos finitos (Ansys). A carga simulada foi de operação do carro com maior carga de trabalho, assim, foi estimado em 110 t por eixo ferroviário, ou seja, 539,5 kN de carga resultante em cada apoio do trilho no dormente, considerando o peso da própria estrutura e o material transportado. A carga avaliada foi considerada sobre 2 trilhos TR-68 que ficam posicionados nas extremidades dos dormentes.

A resistência do lastro onde se apoiam os dormentes também foi levada em consideração e o valor utilizado foi de 0,05 N/mm³. O levantamento de dados foi executado em relação à carga e deflexão nas condições de operação utilizando os dormentes de aço.

Para o estado original, o ponto de tensão mais elevado foi na faixa de 694 MPa sendo que na região onde se propagaram as trincas as tensões encontradas atingem valores acima de 480 MPa, como pode ser observado na figura 4.3.

Figura 4.3 - Valores de Tensão para o Estado Original do Projeto

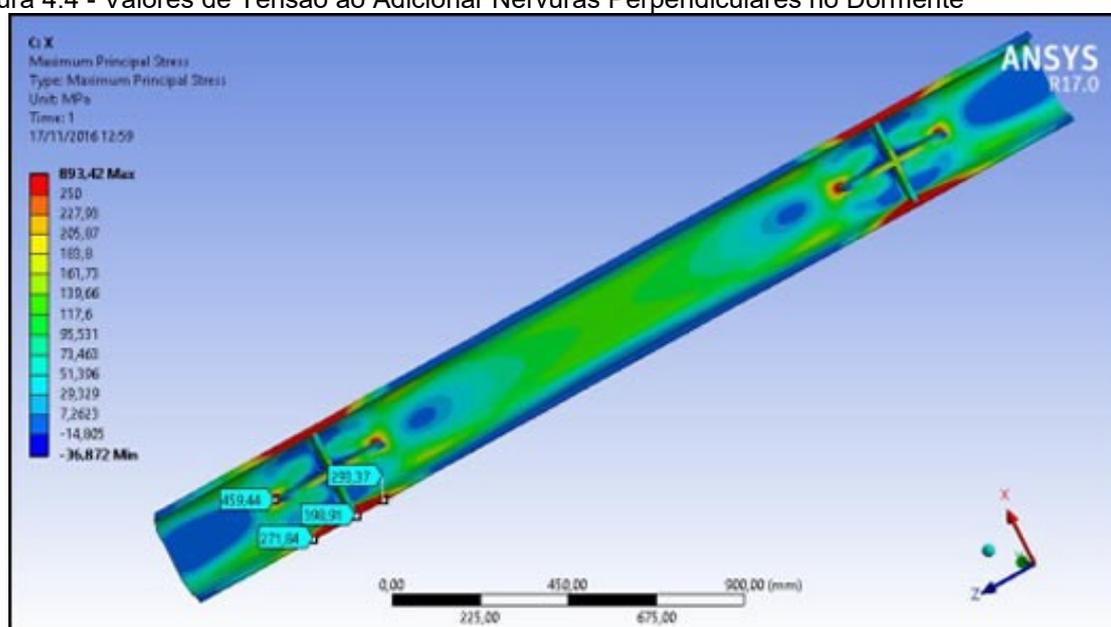


Fonte: Laboratório AMT (2018).

Em função dos valores de tensão encontrados, foi necessário à colocação de duas nervuras perpendiculares a anterior exatamente embaixo ao apoio do trilho no sentido longitudinal do dormente, por se tratar dos pontos mais frágeis identificados durante o estudo.

O ponto crítico pode ser observado nas extremidades das nervuras que estão em paralelo ao dormente. Isto se deve ao fato que estas estão posicionadas na região de maior deflexão do dormente e assim, resulta em cargas maiores como reação na região das extremidades, como pode ser observada na figura 4.4.

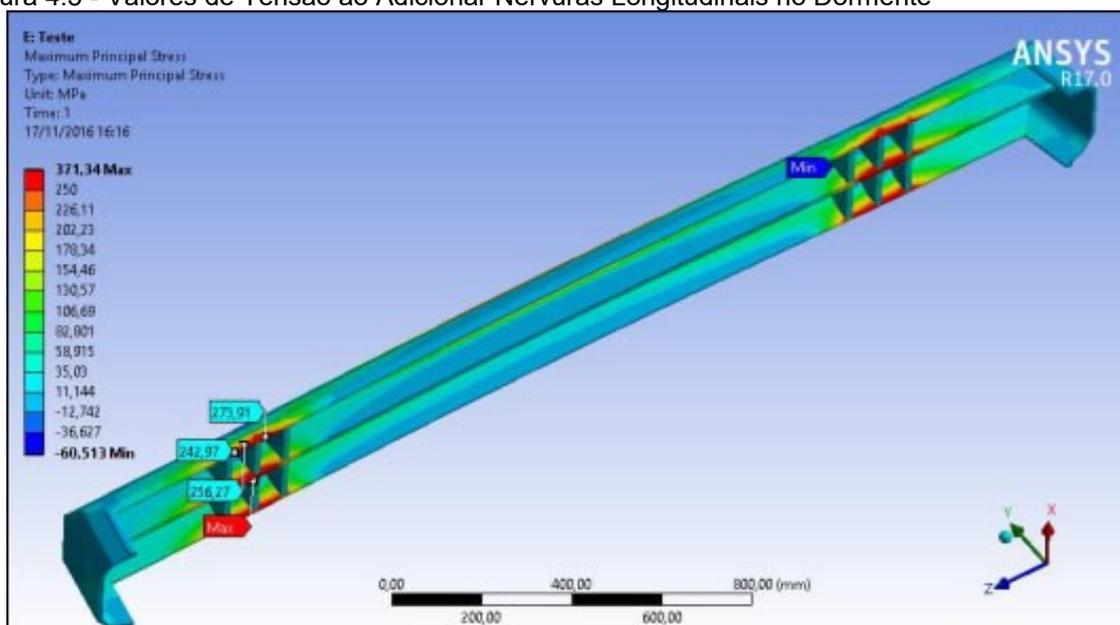
Figura 4.4 - Valores de Tensão ao Adicionar Nervuras Perpendiculares no Dormente



Fonte: Laboratório AMT (2018).

Os valores encontrados nas análises anteriores indicam que pode reduzir ainda mais as tensões encontradas nos dormentes durante a operação, utilizando nervuras sob a estrutura, com o objetivo de reduzir as tensões resultantes e a deformação nos dormentes evitando assim que o mesmo trabalhe próximo ao limite de escoamento do material utilizado e ao mesmo tempo, reduzindo a deflexão causada pela passagem dos carros e locomotivas sobre os trilhos. A simulação das melhorias propostas pode ser vista na figura 4.5.

Figura 4.5 - Valores de Tensão ao Adicionar Nervuras Longitudinais no Dormente



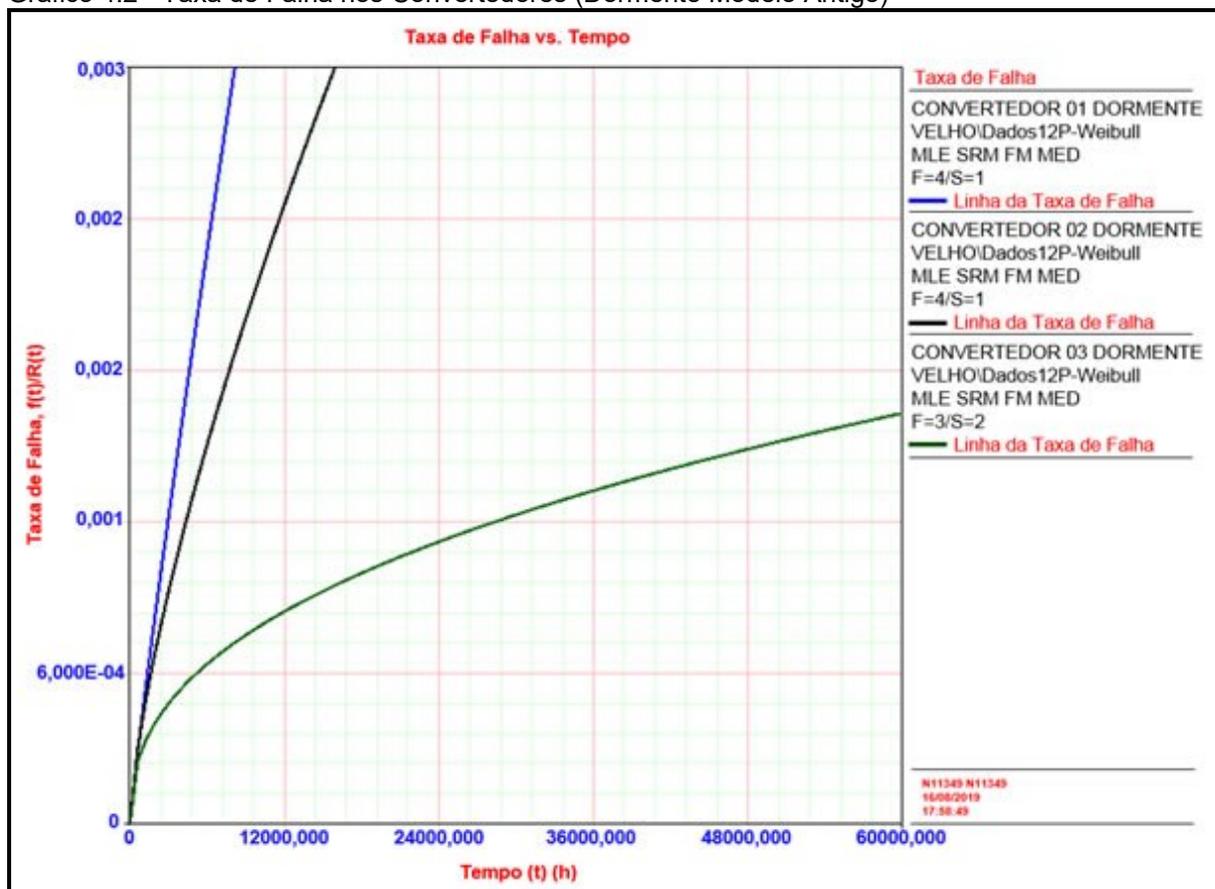
Fonte: Laboratório AMT (2018).

O modelo de dormente proposto para atender a Via Permanente da AMT deve ser adicionado reforço estrutural, além das nervuras nas extremidades do dormente um prolongamento igual ao próprio perfil do dormente a fim de formar garras que se afundam no lastro e se opõem ao deslocamento transversal da via e conseqüentemente a perda do lastro durante a passagem da composição dos carros e locomotiva sobre a linha ferroviária, com o propósito de minimizar o fenômeno de laqueamento, um dos maiores causadores de ocorrências em linhas férreas.

4.6 ANÁLISE DOS DADOS E RESULTADOS

Para realização da análise dos dados de vida da via permanente na região dos convertedores da AMT, será utilizado o software Weibul++. O gráfico 4.2 mostra a taxa de Falha x Tempo na via permanente sob os convertedores da AMT.

Gráfico 4.2 - Taxa de Falha nos Convertedores (Dormente Modelo Antigo)

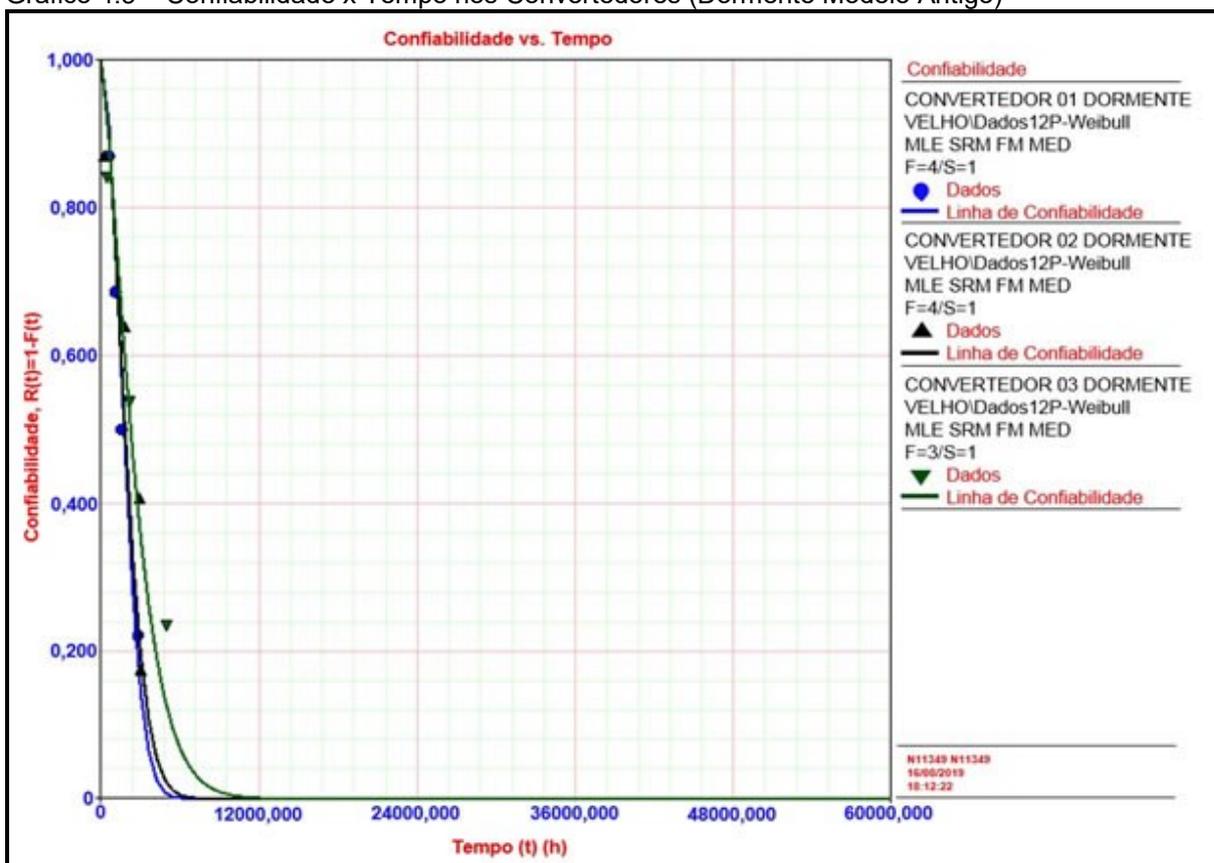


Fonte: o autor (2018).

Conforme pode ser observado no gráfico de taxa de falhas, os dormentes modelo antigo não apresentavam boa performance na região sob os convertedores, visto que, com a queda de material incandescente sobre os dormentes, a linha férrea fechava a bitola e conseqüentemente limitava o acesso na região de carregamento dos vagões pote escória nos convertedores da área da Aciaria.

No gráfico 4.3, pode ser observado a confiabilidade x tempo na região sob os convertedores da AMT.

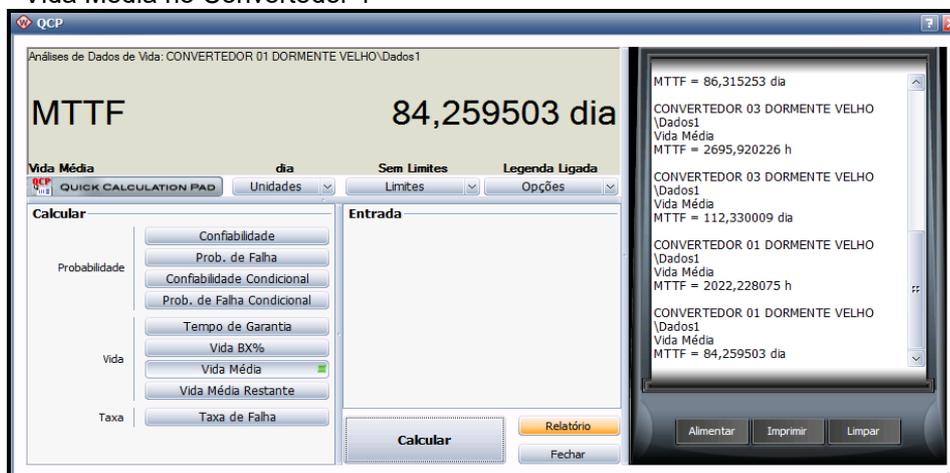
Gráfico 4.3 – Confiabilidade x Tempo nos Conversores (Dormente Modelo Antigo)



Fonte: o autor (2018).

O gráfico 4.3, mostra uma confiabilidade baixa para os 3 conversores com tendência de redução rápida em um curto intervalo de tempo e conseqüentemente a probabilidade de falha é alta. A figura 4.6, mostra a vida média da via permanente sob o conversor 1 da AMT.

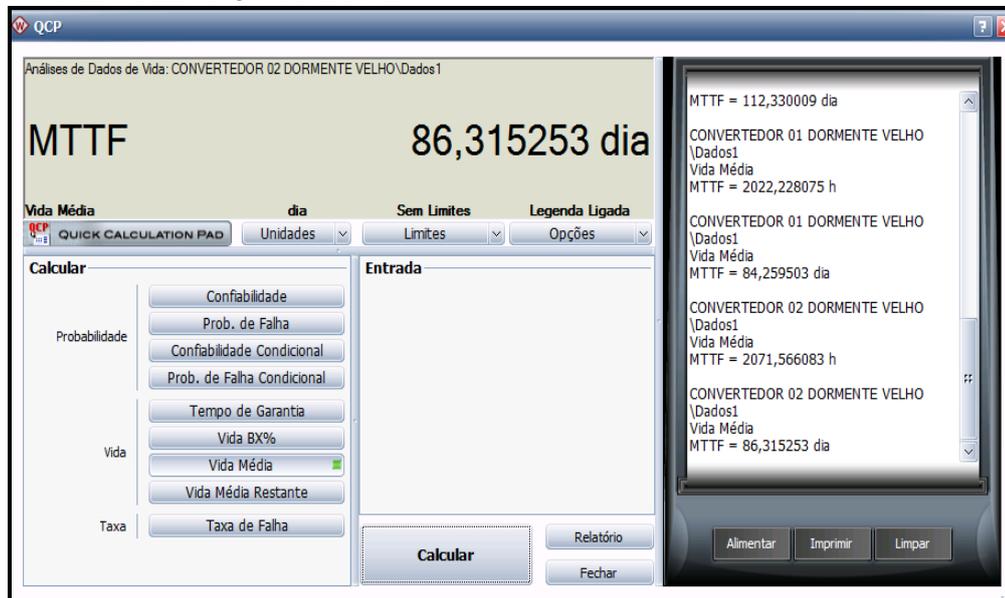
Figura 4.6 - Vida Média no Conversor 1



Fonte: o autor (2018).

A figura 4.7, mostra a vida média da via permanente sob o convertedor 2 da AMT.

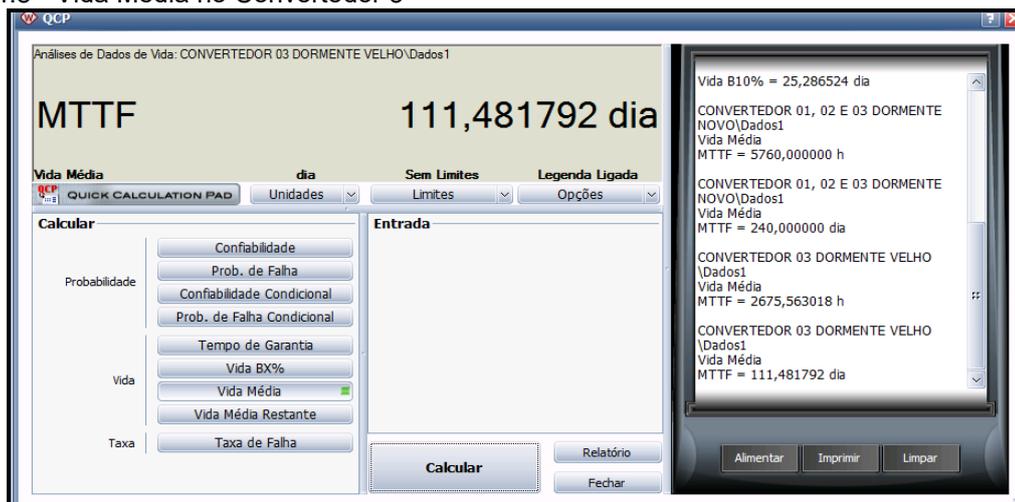
Figura 4.7 - Vida Média no Convertedor 2



Fonte: o autor (2018).

A figura 4.8, mostra a vida média da via permanente sob o convertedor 3 da AMT.

Figura 4.8 - Vida Média no Convertedor 3

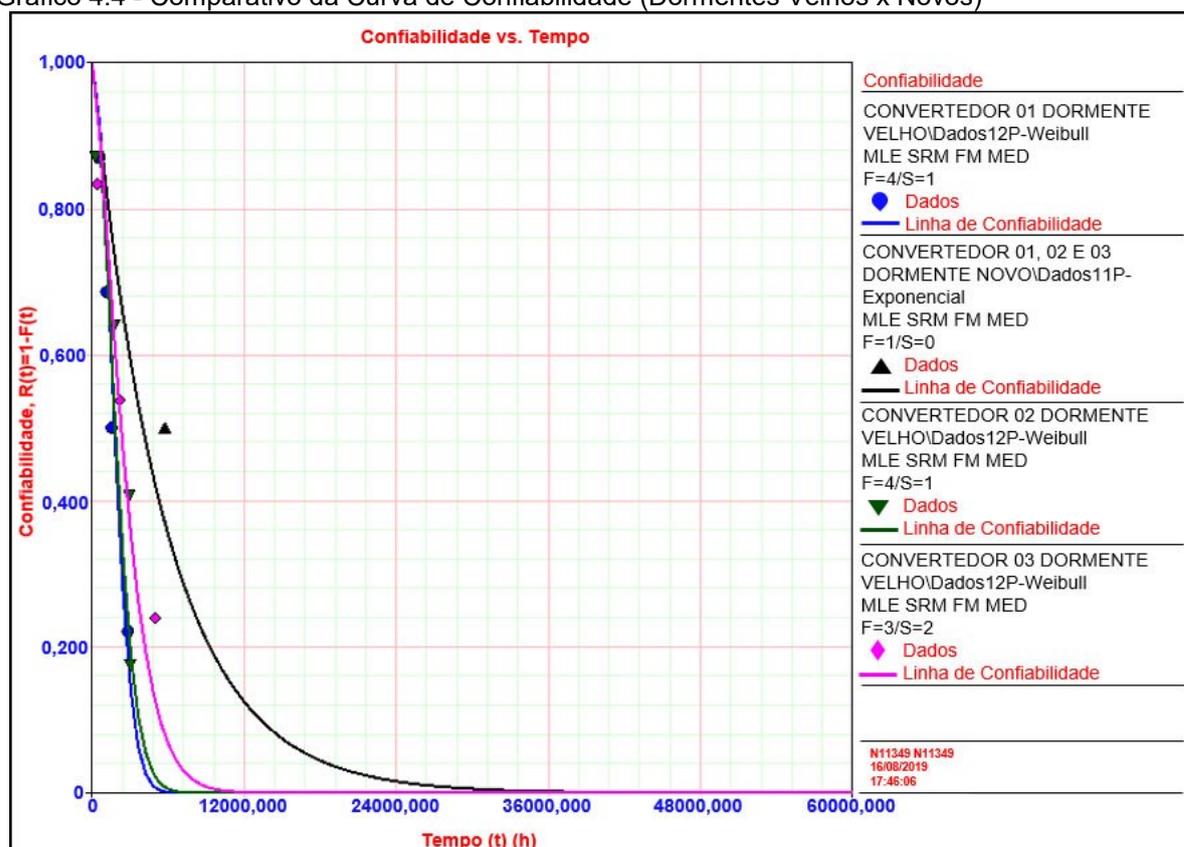


Fonte: o autor (2018).

Conforme pode ser observado, nenhum dos três convertedores apresentavam uma vida média maior que 180 dias, número mínimo para suportar o período de campanha conforme definido no plano de produção da empresa.

Após as melhorias feitas nos dormentes pode se notar um aumento de confiabilidade na via permanente da AMT na região dos convertedores, conforme mostra o gráfico 4.4.

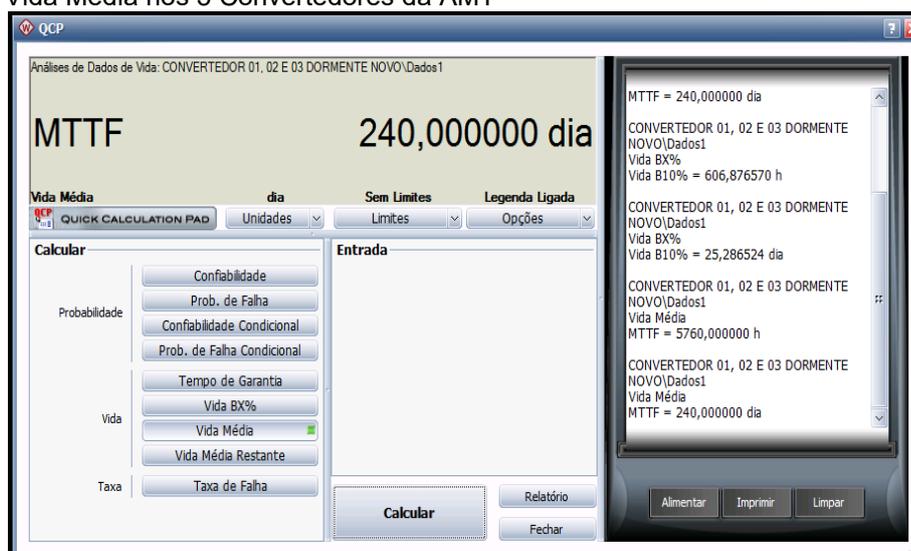
Gráfico 4.4 - Comparativo da Curva de Confiabilidade (Dormentes Velhos x Novos)



Fonte: o autor (2018).

A figura 4.9, mostra a vida média da via permanente sob os 3 convertedores da AMT após a revisão do projeto dos dormentes.

Figura 4.9 - Vida Média nos 3 Convertedores da AMT



Fonte: o autor (2018)

A premissa que utilizamos é que a via permanente na região dos convertedores deve durar no mínimo o tempo entre campanhas dos convertedores vindo mitigar paradas por falha e conseqüentemente perda de produção.

4.7 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi abordado sobre a coleta dos dados para realização do estudo, apresentado o diagrama de blocos, o layout, FMEA da via permanente da AMT, o estudo sobre a fadiga dos dormentes e a análise dos dados e resultados. Após análise dos dados foi possível observar que a vida média da linha férrea sob os convertedores é inferior a 6 meses, período necessário para parada dos convertedores no período de campanha, sendo que após a melhorias nos dormentes, a vida média da linha férrea passou para aproximadamente 8 meses. No capítulo seguinte será descrita a conclusão do trabalho e dadas sugestões para trabalhos futuros.

5 CONCLUSÃO

A partir dos dados analisados no capítulo 4 deste trabalho, chegamos à conclusão de que os dormentes modelos antigos aplicados nas linhas férreas dos convertedores tinham uma vida média abaixo da expectativa, sendo necessário manutenções corretivas antes do período de campanha dos convertedores. Após a melhoria nos dormentes a expectativa de vida média melhorou consideravelmente, sendo então eliminado as falhas recorrentes e os impactos na área de Aciaria. Podemos dizer que de acordo com as considerações feitas, e os dados levantados, as alterações no projeto original dos dormentes serão replicadas em toda via permanente da AMT, uma vez que tende a melhorar a estabilidade operacional na malha ferroviária. A necessidade de acréscimo das nervuras se justifica por dois motivos, primeiro pelo fato de que sem nervura alguma, os dormentes trabalham muito acima dos valores de limites de escoamento do material utilizado na fabricação, como observado na primeira análise.

Outro motivo é a deflexão causada devido à passagem dos carros e locomotiva. Essa deflexão deve ser mínima possível, devido ao fato de que quando deformada, ainda que o aço deforme na região elástica, o apoio (lastro) que está embaixo dos dormentes não retornam a posição original e, com isso, é causado um efeito denominado de laqueamento onde após a deformação do material de apoio, os dormentes trabalham sem qualquer sustentação embaixo da sua superfície e isso causa empenos e quebras, devido à propagação de trincas no material. Com a utilização destes reforços, foi possível diminuir as tensões na região onde são propagadas as trincas e assim aumentar a durabilidade dos dormentes. Esse reforço de nervuras no projeto original, reduziu a deformação e as tensões nos dormentes, com isso houve um acréscimo da vida útil considerável.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Utilizando as ferramentas de confiabilidade nas linhas férreas dos convertedores, foi possível avaliar a vida média dos dormentes e propor melhorias visando uma maior estabilidade operacional na área de Aciaria. Este trabalho pode

ser replicado para outro item crítico da via permanente, (jacaré ou coração) devido ao alto valor de investimento e os riscos de falhas oriundas pelo desgaste do item.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR-5462**: Confiabilidade e Manutenibilidade – Terminologia. ABNT/CB-03 – Eletricidade, 1994.

AZEVEDO, Jorge Augusto Diniz. **Manual técnico de manutenção da superestrutura da via permanente**. Vale S/A. Documento Técnico. Vitória.2008.

BACKLUND, F.; AKERSTEN, P.A. **RCM introduction: process and requirements management aspects**. Journal of Quality in maintenance Engineering, v. 9, n. 3, p. 250-264, 2003.

BLANCHARD, Benjamin S., FABRYCKY, Wolter J., **Systems Engineering and Analysis**, Prentice Hall International Series in Industrial & Systems Engineering, 1990.

BRANCO FILHO, G. **Dicionário de termos de manutenção e confiabilidade**. Edição Mercosul. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda, 2004. 285 p.

COTNAREANU, T. **Equipament FMEA - old tools new uses: a tool for preventive maintenance**. Revista Quality Progress, [S.l.], v. 32, n.12, p.48-52, dez. 1999.

FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, J. L. D. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2011.

HELMAN, H.; ANDERY, P.R.P. Análise de falhas (Aplicação dos métodos de FMEA – FTA). TQC – Gestão da qualidade total – Série Ferramentas da Qualidade, Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni UFMG, 1995.

MAGALHÃES, P. C., 2000. Contato Roda-Trilho. In: BRANCO, J. E. S. C.; FERREIRA, R. (Ed.). Tratado de estradas de ferro. Rio de Janeiro, p. 80-111.

MATA FILHO, J. N., MIRANDA, C. F. & LIMA, C. E. **Manutenção Baseada em Confiabilidade e Controle de Custos de Manutenção – Um Time de Sucesso na Indústria Aeronáutica**. TT040, In: Anais CD-Rom do XIII Congresso Brasileiro de Manutenção. Salvador, BA, 1998.

MOUBRAY, J. **A Questão Contra o RCM Simplificado**. SQL Systems Brasil, 2000.

MOUBRAY, J. **Reliability-centered maintenance**: second edition. 2ª. ed. New York: Industrial Press Inc., 1992.

MOUBRAY, J. **Reliability-centered maintenance**: second edition. 2ª. ed. New York: Industrial Press Inc., 1997.

PALADY, P. **FMEA – Análise dos modos de falhas e efeitos: prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram**. São Paulo: IMAN, 1997.

TELES, Jhonata. **Planejamento e Controle da Manutenção Descomplicado: Uma Metodologia Passo a Passo Para Implantação do PCM**. Engeteles Editora. Brasília, 2017.

VALE S/A. **Manual Técnico de Via Permanente**. Departamento de Engenharia e Desenvolvimento Logístico. Belo Horizonte, 2013.