

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

JEFERSON ANTÔNIO DOS SANTOS MACHADO

METODOLOGIA RCA PARA ANÁLISE DE FALHAS EM VIRADORES DE VAGÕES.

São Luís
2019

JEFERSON ANTÔNIO DOS SANTOS MACHADO

METODOLOGIA RCA PARA ANÁLISE DE FALHAS EM VIRADORES DE VAGÕES.

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual do Maranhão para o grau de bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Diógenes Leite Souza.

São Luís
2019

Machado, Jeferson Antônio dos Santos.

Tema: Metodologia RCA para análise de falhas em viradores de vagões /
Jeferson Antônio dos Santos Machado. --São Luís.-2019.

71f. : il. color.

Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual do
Maranhão, 2019.

Orientador: Prof. Diógens Leite Souza.

Inclui bibliografia

1. Viradores de vagões. 2. RCA. 3. Análise de falha. 4. Árvore dos porquês I. Título.

CDU: 371.695:372

JEFERSON ANTONIO DOS SANTOS MACHADO

TEMA: METODOLOGIA RCA PARA ANÁLISE DE FALHAS EM VIRADORES DE VAGÕES.

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual do Maranhão para o grau de bacharel em Engenharia Mecânica.

Aprovada em: 05/12/2019

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Diógenes Leite Souza (Orientador)
Universidade Estadual do Maranhão

Prof.Msc. Antônio Pereira e Silva
Doutor em Fitopatologia - Virologia
Universidade Estadual do Maranhão

Prof.Msc. Paulino Cutrin Martins
Universidade Estadual do Maranhão

São Luís/MA, 12 de Dezembro de 2019

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela saúde, benção de sempre e pela minha vida e de meus familiares.

A minha namorada, Rafaella Fernandes, pelo apoio moral, pela disponibilidade, pelo carinho e incentivo.

A minha irmã, Jessica Machado, pelas palavras de força e pela crença que sempre teve em mim.

Aos meus familiares, pelas orações, incentivo e confiança que sempre tiveram em mim.

Aos amigos, pelos pensamentos positivos e por toda ajuda que dispuseram à mim.

Ao meu orientador, Diógenes Leite, pela disponibilidade, pela confiança e ajuda que me deu ao longo deste trabalho.

RESUMO

As falhas que ocorrem em equipamentos de indústrias podem comprometer severamente a produção, aumentando o custo agregado do produto, necessitando que estas sejam analisadas e controladas. O presente trabalho discorre de um pesquisa de campo qualitativa com objetivo de aplicar a metodologia de análise de falha RCA para solucionar problemas em viradores de vagões de minério da empresa VALE, com objetivo de explicitar a metodologia, comparar dados históricos antes da aplicação e elaborar ações para correção, prevenção e abrangência para equipamentos similares. A pesquisa abrangeu as falhas ocorridas num período amostral de 2018 e 2019, selecionou uma falha crítica para análise, junto a uma equipe de especialistas de diversas áreas e aplicou o método. A análise obteve vários dados, que foram usados para criação de hipóteses e averiguar a veracidade das mesmas, aceitando ou descartando para criar uma árvore de hipóteses que levariam à ocorrência do evento. A investigação apontou várias falhas no processo de manutenção do equipamento, sendo que foram elaborados muitas ações que evitaram a ocorrência de futuras falhas iguais. O trabalho foi imersivo e permitiu concluir que falhas complexas podem ser estratificadas, através do método RCA, em passos simples e efetivos para achar as causas raízes.

Palavras-chave: Viradores de vagões; RCA; Análise de falha; Árvore dos porquês; Manutenção.

ABSTRACT

Failures that occur in industrial equipment can severely compromise production, increasing the aggregate cost of the product, requiring them to be analyzed and controlled. The present work discusses a qualitative field research aiming to apply the RCA failure analysis methodology to solve problems in VALE ore wagon dumpers, with the purpose of clarifying the methodology, comparing historical data before application and elaborating actions for correction, prevention and coverage for similar equipment. The survey covered failures occurring in a 2018 and 2019 sampling period, selected a critical failure for analysis from a team of experts from a variety of fields and applied the method. The analysis obtained several data, which were used to create hypotheses and to verify their truth, accepting or discarding to create a hypothesis tree that would lead to the occurrence of the event. The investigation pointed out several failures in the equipment maintenance process, and many actions were elaborated that prevented the occurrence of future equal failures. The work was immersive and allowed to conclude that complex failures can be stratified by the RCA method in simple and effective steps to find the root causes.

Keywords: Wagon dumpers; RCA; Failure analysis; Whys tree; Maintenance.

Lista de Figuras

Figura 4.1: Mapa mental da importância da manutenção (Kardec e Nascif, 2009).....	187
Figura 4.2: Tipos de manutenção (Adaptado de Kardec e Nascif, 2009).	20
Figura 4.3: Caracterização das panes, falhas e defeitos (Adaptado de Pallerosi, 2007).	276
Figura 4.4: Curva da banheira (Fogliatto e Ribeiro, 2011).....	298
Figura 4.5: Classificação de falhas (Adaptado de Siqueira, 2009).....	309
Figura 4.6: Elementos da árvore dos porquês - (Adaptado de Downing, 2004).....	321
Figura 4.7: Virador de vagões (ThyssenKrupp Industrial Solutions, 2003).	343
Figura 4.8: Esquema de funcionamento do carro posicionador (ThyssenKrupp Industrial Solutions, 2003).....	354
Figura 4.9: Vista detalhada do carro posicionador com seus componentes (ThyssenKrupp Industrial Solutions, 2003).	365
Figura 4.10: Grampos de fixação dos vagões (ThyssenKrupp Industrial Solutions, 2003).	376
Figura 4.11: Componentes do acionamento do virador (ThyssenKrupp Industrial Solutions, 2003).....	376
Figura 4.12: Trava das rodas (ThyssenKrupp Industrial Solutions, 2003).	387
Figura 4.13: Esquema das moegas (ThyssenKrupp Industrial Solutions, 2003).	398
Figura 4.14: Alimentador de sapatas (ThyssenKrupp Industrial Solutions, 2003).....	398
Figura 5.1: Passo a passo para aplicação do RCA (Adaptado de Downing, 2004).	40
Figura 5.2: Passo a passo atualizado para aplicação do RCA adaptado (Adaptado de Downing, 2004).....	40
Figura 5.3: Roda vertical avariada do carro posicionador (Arquivo Técnico, 2019)..	443
Figura 5.4: Especialistas convocados para a análise.....	454
Figura 5.5: Detalhe da roda vertical avariada no local do evento (Arquivo Técnico, 2019).....	465
Figura 5.6: Itens do conjunto da roda vertical (Arquivo Técnico, 2019).....	465
Figura 5.7: Elementos da árvore dos porquês (Adaptado de Downing, 2004)..	476
Figura 5.8: Hipóteses para ocorrência do evento.....	487
Figura 5.9: Hipóteses para ocorrência de falha na manutenção.....	487

Figura 5.10: Passo a passo do plano de inspeção mecânica da roda vertical (Arquivo Técnico, 2019).....	498
Figura 5.11: Descrição da inspeção mecânica da roda vertical (Arquivo Técnico, 2019).....	509
Figura 5.12: Descrição da inspeção hidráulica da roda vertical (Arquivo Técnico, 2019)..	509
Figura 5.13: Descrição da inspeção mecânica da roda vertical (Arquivo Técnico, 2019).....	51
Figura 5.14: Planos de troca para o virador de vagões (Arquivo Técnico, 2019)..	521
Figura 5.15: Lista de locais para executar preventiva manutenção do carro posicionador (Arquivo Técnico, 2019).	532
Figura 5.16: Hipótese para ocorrência de falha no projeto	532
Figura 5.17: Retorno da inspeção do sistema de lubrificação.....	543
Figura 5.18: Partes internas do conjunto da roda vertical retiradas para análise (Arquivo Técnico, 2019).	554
Figura 5.19: Modo de falha por pitting em rolamentos (T NSK BRASIL LTDA, 2019).	554
Figura 5.20: Hipótese para ocorrência de falha no projeto.....	565
Figura 5.21: Projeto detalhado da roda vertical (Arquivo Técnico, 2019)..	565
Figura 6.1: Hipóteses avaliadas da árvore do porquês para quebra da roda vertical do carro posicionador.	576
Figura 6.2: Barreira física para evitar acesso de pessoas com o virador de vagões em operação (Arquivo Técnico, 2019).....	598
Figura 6.3: Plano de inspeção mecânica revisado (Arquivo Técnico, 2019).....	609
Figura 6.4: Plano de manutenção hidráulica revisado no carro posicionador (Arquivo Técnico, 2019).....	609
Figura 6.5: Plano de inspeção mecânica não revisado no carro posicionador – (Arquivo Técnico, 2019).....	60
Figura 6.6: Ciclo de descarga segundo o fabricante do equipamento (Arquivo Técnico, 2019).....	60
Figura 6.7: Ciclo de descarga utilizado em operação (Arquivo Técnico, 2019).	61
Figura 6.8: Parâmetros para cálculo das horas de funcionamento do rolamento da roda (Arquivo Técnico, 2019).	621

Figura 6.9: Cálculo da frequência de troca do rolamento da roda (Arquivo Técnico, 2019).....632

Lista de Tabelas

Tabela 4.1: Evolução da manutenção (Adaptado de Kardec e Nascif, 2009).....	19
Tabela 5.1: Falhas ocorridas no Virador de vagões durante o primeiro bimestre dos anos de 2018 e 2019 (Arquivo Técnico, 2019).....	42
Tabela 5.2: Detalhe do dia do evento e impacto para o sistema (Arquivo Técnico, 2019).	43
Tabela 6.1: Causas x ações levantadas pela equipe de investigação.....	58
Tabela 6.2: Planos de troca da roda vertical por vida útil revisados (Arquivo Técnico, 2019).....	61
Tabela 6.3: Histórico de troca do conjunto da roda vertical do carro posicionador (Arquivo Técnico, 2019)..	62

Lista de Abreviaturas e Siglas

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

DI – Disponibilidade Intrínseca

DF – Disponibilidade Física

MTBF – *Mean Time Between Failures* – Tempo Médio Entre Falhas

MTTR – *Mean Time to Repair*– Tempo Médio Para Reparo

RCA – *Root Cause Analysis* - Análise de Causa Raiz

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2. JUSTIFICATIVA DO TEMA.....	16
3. OBJETIVOS	17
3.1 OBJETIVO GERAL	17
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
4. REVISÃO DE LITERATURA.....	18
4.1 A MANUTENÇÃO	18
4.2 A EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO.....	19
4.2.1 A PRIMEIRA GERAÇÃO DA MANUTENÇÃO	20
4.2.2 A SEGUNDA GERAÇÃO DA MANUTENÇÃO	20
4.2.3 A TERCEIRA GERAÇÃO DA MANUTENÇÃO.....	20
4.2.4 A QUARTA GERAÇÃO DA MANUTENÇÃO.....	20
4.3 TIPOS DE MANUTENÇÃO.....	21
4.3.2 MANUTENÇÃO CORRETIVA	22
4.3.1 MANUTENÇÃO PREVENTIVA	22
4.3.3 MANUTENÇÃO PREDITIVA	23
4.3.4 MANUTENÇÃO DETECTIVA.....	24

4.3.5 ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO.....	24
4.4 QUALIDADE E CONFIABILIDADE.....	25
4.5 CONFIABILIDADE.....	25
4.6 DISPONIBILIDADE.....	26
4.6.1 DISPONIBILIDADE FÍSICA.....	26
4.6.2 DISPONIBILIDADE INTRÍNSECA.....	26
4.7 CONCEITO DE FALHA.....	27
4.8 IDENTIFICAÇÃO DE FALHAS.....	29
4.9 CLASSIFICAÇÃO DAS FALHAS.....	29
4.10 MÉTODO DE RCA PARA ANÁLISE DE FALHAS.....	31
4.10.1 CONCEITO E MÉTODOS DO RCA.....	31
4.10.2 TIPOS DE CAUSA E CAUSA RAIZ.....	33
4.10.2 VANTAGENS DO RCA.....	33
4.11 VIRADOR DE VAGÕES.....	34
4.11.1 CARRO E GUINCHO POSICIONADOR.....	34
4.11.2 GRAMPOS DE FIXAÇÃO.....	36
4.11.3 ACIONAMENTO DO VIRADOR.....	37
4.11.4 TRAVA DAS RODAS.....	38
4.11.5 MOEGA.....	38
4.11.6 ALIMENTADOR DE SAPATAS.....	39
5. METODOLOGIA.....	40
5.1 ESCOPO DO RCA.....	40
5.2 DEFINIÇÃO DA FALHA PARA ANÁLISE.....	42
5.3 DEFINIÇÃO DO TIME MULTIDISCIPLINAR.....	44
5.4 COLETA DE DADOS.....	45
5.5 ANÁLISE DAS CAUSAS RAÍZES PELO MÉTODO DOS PORQUÊS.....	46
5.5.1 ELABORAÇÃO DA ÁRVORE DOS PORQUÊS.....	47

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	57
6.1 RESULTADO DA ANÁLISE DAS HIPÓTESES LEVANTADAS	57
6.2 CAUSAS RAÍZES PARA OCORRÊNCIA DO EVENTO.....	58
6.3 AÇÕES CORRETIVAS ELABORADAS PARA AS CAUSAS ENCONTRADAS	58
6.3.1 CRIAR ACESSO PARA INSPECIONAR O CONJUNTO DA RODA VERTICAL DURANTE OPERAÇÃO.....	59
6.3.2 REVISAR O PLANO DE INSPEÇÃO PARA CONTEMPLAR TODOS ITENS E DESCRIÇÕES DO CONJUNTO A SER INSPECIONADO	59
6.3.3 FAZER ESTUDO DE TEMPO DE TROCA DO ROLAMENTO DA RODA VERTICAL	61
7. CONCLUSÃO	65
REFERÊNCIAS	67

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A indústria de mineração desde sua criação tem passado por diversas mudanças de cenário. Segundo Sousa (2019), a mineração corresponde à uma atividade econômica e industrial que envolve várias etapas. Com a evolução industrial surgiu a necessidade de garantir a operação da planta com consequente redução de falhas, sejam as que afetam os custos dos produtos, sejam as que possam significar risco à segurança, o que levou ao desenvolvimento da confiabilidade e qualidade (FOGLIATTO e RIBEIRO, 2011). A gestão de riscos é um fator importante, segundo ICA (2015), para gestão de ativos, com objetivo de entender as causas, efeitos e probabilidade de defeitos ocorrerem, visando otimizar as formas de gerenciar tais riscos, reduzindo-os a um nível aceitável e controlado. Para otimizar os setores e processos da indústria, segundo Schmitt (2013), são necessárias ferramentas para medir e indicar um melhor direcionamento. Todas as medidas a serem tomadas, necessitam de dados de operação e manutenção antes do estudo para garantirem um bom resultado. A melhor estratégia de manutenção será eficaz quando esta for praticamente imperceptível pelos olhares da operação.

A pesquisa foi aplicada no TERMINAL MARÍTIMO DE PONTA DA MADEIRA da VALE, estudando e evidenciando a operação de oito viradores de vagões que operam na área de descarregamento de materiais. No ano de 2018 os viradores de vagões apresentaram 3.634 horas (Arquivo técnico, 2019) de manutenção corretiva (acumulado dos oito viradores de vagões). Para o ano de 2019, é necessário diminuir o impacto das corretivas sobre a operação dos equipamentos, de modo que haja maior produtividade com a manutenção agindo sem a percepção operacional. Significando que todo o material proveniente das minas deverá ser descarregado sem interrupções no processo, necessitando dos viradores de vagões mais tempo disponíveis para operar, isto implica em medidas para prevenir e controlar o número de falhas, bem com o impacto destas para os equipamentos.

As horas de manutenções corretivas oriundas dos viradores de vagões significam um acumulado de todas as falhas provenientes dos componentes dos viradores. Para alcançar a meta de disponibilidade física estabelecida para movimentar o volume orçado para o ano, será necessário observar e analisar os principais impactos causados por todos os itens que integram os viradores de vagões no ano de 2018, estratificá-los e selecioná-los de forma gradativa. Com

o histórico de falhas e impactos, será possível aplicar uma ferramenta para análise e tratativa de problemas e um plano de ação para diminuir a reincidência das principais causas responsáveis por impactar a operação do equipamento.

A metodologia adotada no desenvolvimento foi baseada segundo a literatura de Prodanov e Freitas (2013), desta forma este trabalho classifica-se como uma pesquisa aplicada com objetivos de caráter explicativo e exploratórios, visando discorrer e proporcionar mais conhecimento sobre o assunto. O tema abordado junto com os meios de busca para o problema caracteriza este trabalho como uma pesquisa de campo, visto que há uma busca de conhecimentos e levantamento de hipóteses para comprovar o fenômeno estudado.

A pesquisa será conduzida baseada em métodos e ferramentas de confiabilidade para diminuir as horas de manutenção corretivas dos componentes que mais impactam os viradores de vagões da VALE. A técnica para análise de falha pelo método RCA é utilizada para revelar os pontos fracos de um sistema e evidenciar as causas raízes, assim como servem de insumo para atividades de melhoria contínua, ou seja, são ferramentas para diagnóstico (FOGLIATTO e RIBEIRO, 2011). Deste modo é possível aplicar em sua totalidade esta ferramenta, afim de buscar soluções para as potenciais causas raízes dos modos de falhas que podem ocorrer nos viradores de vagões.

2. JUSTIFICATIVA DO TEMA

Esta pesquisa justifica-se pela necessidade de demonstrar que o uso de ferramentas de confiabilidade para diminuição do número de falhas de um equipamento é válida e eficaz, trazendo consigo os resultados consolidados assim como futuros resultados esperados. Para Kardec e Nascif (2009), a confiabilidade é um fator diretamente proporcional aos resultados de um item para usuário ou cliente, porém essa só vale a partir do momento que o lado financeiro está em questão, reforçando a ideia de que a confiabilidade pode desbalancear os custos de uma empresa.

O tema é pouco abrangente em literaturas, sendo importante para o desenvolvimento deste trabalho para enriquecimento da utilização da ferramenta de análise de falhas RCA. O perfil industrial é, geralmente, muito fechado quanto à divulgação de informações, sendo extremamente necessário o conhecimento e aplicação do método para busca de soluções e causas do problema.

A importância da pesquisa para o meio acadêmico é aliar os conhecimentos didáticos de literaturas diferentes com grandes eventos ocorridos em empresas. A análise de falhas no ambiente industrial exige certa experiência com o processo e um fluxograma detalhado para realização das tarefas com respectivos prazos. Uma análise bem feita resulta numa verificação precisa das causas que levam à ocorrência da falha, com ações que vão extinguir ou diminuir a um nível aceitável ou que é possível controlar e planejar intervenções sem grande impacto para o processo industrial.

A abrangência e esclarecimento da ferramenta RCA permite futuros estudos na área de análise de falha ou confiabilidade aplicado a qualquer tipo de processo. As ferramentas de análise de falhas aplicadas à equipamentos da indústria de mineração ainda é pouco difundida e estudada, portanto, é importante, cada vez mais a imersão no tema para futuras obras.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Utilizar uma metodologia detalhada para análise de falhas direcionada a um virador de vagões de modo a aumentar a confiabilidade e diminuir os impactos das manutenções corretivas ou de falhas recorrentes.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Fazer levantamento de falhas de 2018 e comparar com 2019;
- Selecionar falha crítica para estudo;
- Aplicar o método RCA análise e resolução da falha;
- Criar ações de abrangência para controle e melhoria do processo;

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1 A MANUTENÇÃO

Segundo Xenos (1998), as atividades de manutenção se delimitam pelo retorno do equipamento para suas condições de trabalho padrão. A função da manutenção pode ganhar uma importância maior, quando vista por um cenário operacional, onde a parada de um equipamento implicará em custos para empresa e impacto na produção. Neste âmbito, Nascif e Dorigo (2010) reforçam que os custos, preservação do meio ambiente e garantia de segurança são papéis da manutenção, sendo alcançadas com aumento da confiabilidade e disponibilidade dos ativos. Fica claro que além da função principal de garantia operacional do ativo, a manutenção assegurará sustentabilidade e segurança na planta industrial.

A manutenção industrial permite controlar ou manter o estado original de funcionamento de um equipamento por meio de ações, garantindo um bom funcionamento (BRITO, 2005). Neste sentido, ela exerce um papel fundamental no evitar que um item venha a perder sua função principal e tem importância, também, nos custos da empresa, visto que, de acordo com o tipo de manutenção adotada, poderá haver um custo de manutenção muito alto em relação aos custos operacionais (BRITO, 2005). A Figura 4.1 detalha a importância da manutenção sob uma vertente mais abrangente.

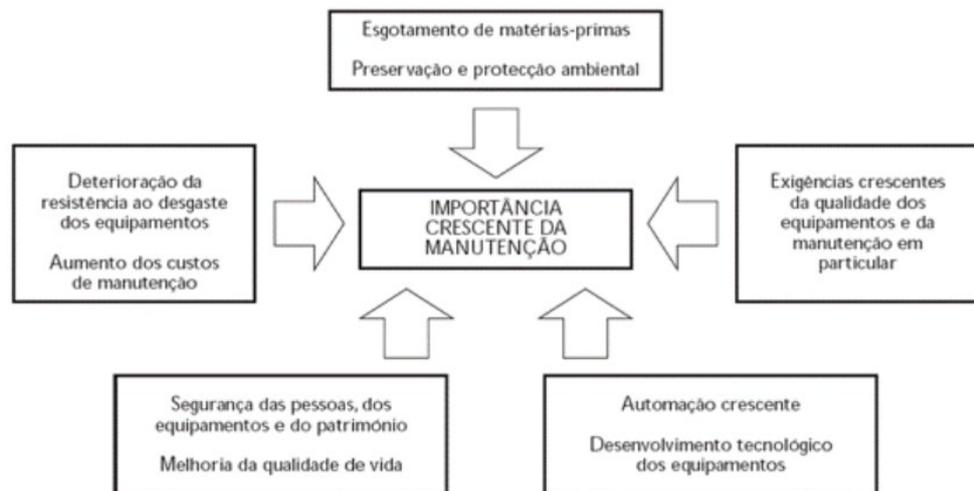


Figura 4.1: Mapa mental da importância da manutenção (Kardec e Nascif, 2009).

Desta forma, fica clara a preocupação em uma estratégia ou planejamento para manutenção em um equipamento ou planta industrial de forma a garantir disponibilidade e confiabilidade, evitando paradas indesejadas e inesperadas. Capetti (2005) explana que uma gestão de manutenção errada, sem planejamento de intervenções e muitas manutenções corretivas, significam perdas de produção e reduzem os lucros.

4.2 A EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO

A manutenção tem passado por mudanças drásticas nos últimos 30 anos, devido ao aumento da demanda e complexidade de processos e produtos (KARDEC E NASCIF, 2009). De acordo com o crescimento das empresas, houve uma demanda concomitante, para o desenvolvimento do modo de fazer e entender a manutenção, sendo importante para elevar os conceitos e métodos a outros patamares. Kardec e Nascif (2009) ainda dividiram a manutenção em quatro gerações conforme mostra a Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Evolução da manutenção (Adaptado de Kardec e Nascif, 2009).

ANO	1ª GERAÇÃO 1940 - 1950	2ª GERAÇÃO 1960 - 1970	3ª GERAÇÃO 1980 - 1990	4ª GERAÇÃO 2000 - 2010
AUMENTO DAS EXPECTATIVAS EM RELAÇÃO À MANUTENÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> • CONCERTO APÓS FALHA 	<ul style="list-style-type: none"> • DISPONIBILIDADE CRESCENTE • MAIOR VIDA ÚTIL DO EQUIPAMENTO 	<ul style="list-style-type: none"> • MAIOR CONFIABILIDADE • MAIOR DISPONIBILIDADE • MELHOR RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO • PRESERVAÇÃO DO MEIO AMBIENTE 	<ul style="list-style-type: none"> • MAIOR CONFIABILIDADE • MAIOR DISPONIBILIDADE • PRESERVAÇÃO DO MEIO AMBIENTE • SEGURANÇA • INFLUIR NOS RESULTADOS DO NEGÓCIO • GERENCIAR OS ATIVOS
VISÃO QUANTO À FALHA DO EQUIPAMENTO	<ul style="list-style-type: none"> • TODOS OS EQUIPAMENTOS SE DESGASTAM COM A IDADE E, POR ISSO, FALHAM 	<ul style="list-style-type: none"> • TODOS OS EQUIPAMENTOS SE COMPORTAM DE ACORDO COM A CURVA DA BANHEIRA 	<ul style="list-style-type: none"> • EXISTÊNCIA DE 6 PADRÕES DE FALHAS 	<ul style="list-style-type: none"> • REDUZIR DRASTICAMENTE FALHAS PREMATURAS
MUDANÇA NAS TÉCNICAS DE MANUTENÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> • PLANEJAMENTO MANUAL DA MANUTENÇÃO • COMPUTADORES GRANDES E LENTOS • MANUTENÇÃO PREVENTIVA (POR TEMPO) 	<ul style="list-style-type: none"> • MANUTENÇÃO PREDITIVA • ANÁLISE DE RISCO • COMPUTADORES PEQUENOS E RÁPIDOS • SOFTWARES POTENTES • GRUPOS DE TRABALHO MULTIDISCIPLINARES • PROJETOS VOLTADOS PARA A CONFIABILIDADE • CONTRATAÇÃO POR MÃO DE OBRA E SERVIÇOS 	<ul style="list-style-type: none"> • MONITORAMENTO DA CONDIÇÃO • MINIMIZAÇÃO NAS MANUTENÇÕES E CORRETIVA NÃO PLANEJADA • ANÁLISE DE FALHAS • TÉCNICAS DE CONFIABILIDADE • MANUTENABILIDADE • ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO • PROJETOS VOLTADOS PARA CONFIABILIDADE, MANUTENIBILIDADE E CUSTO DO CICLO DE VIDA • CONTRATAÇÃO POR RESULTADOS 	<ul style="list-style-type: none"> • AUMENTO DA MANUTENÇÃO PREDITIVA E MONITORAMENTO DA CONDIÇÃO • MINIMIZAÇÃO NAS MANUTENÇÕES E CORRETIVA NÃO PLANEJADA • ANÁLISE DE FALHAS • TÉCNICAS DE CONFIABILIDADE • MANUTENIBILIDADE • ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO • PROJETOS VOLTADOS PARA CONFIABILIDADE, MANUTENIBILIDADE E CUSTO DO CICLO DE VIDA • CONTRATAÇÃO POR RESULTADOS

4.2.1 A PRIMEIRA GERAÇÃO DA MANUTENÇÃO

Abrange o período antecedente à Segunda Guerra Mundial, marcado por poucas tecnologias e processos em grande maioria manufaturados. A particularidade da época ficava pelo período de economia fraca, devido aos conflitos, o que exigia pouca produção das indústrias, sendo a manutenção na sua totalidade corretiva não planejada.

4.2.2 A SEGUNDA GERAÇÃO DA MANUTENÇÃO

A segunda geração se passa após a Segunda Guerra Mundial, onde a economia começou a aquecer, exigindo demanda para vários tipos de produtos. Este período foi marcado pelo aumento da mecanização das plantas, proporcional à diminuição da mão-de-obra, onde passou-se a buscar uma maior disponibilidade e confiabilidade de máquinas, com implantação da manutenção preventiva. Neste período também se passou a amadurecer e investir na ideia de planejamento e controle da manutenção, visto que os custos de manutenção estavam ficando muito altos em relação aos operacionais.

4.2.3 A TERCEIRA GERAÇÃO DA MANUTENÇÃO

Nesta geração da manutenção, em meados da década de 70, os conceitos de confiabilidade ganharam maior importância, devido ao modelo, chamado just-in-time, adotado pelas indústrias, que utilizava estoque pequenos para a quantidade de demanda solicitada. Com este modelo adotado, era cada vez maior a procura por métodos para diminuir a quantidade de falhas de uma máquina para melhorar o processo e diminuir os custos agregados. Neste período, também investiram mais na automação das plantas industriais e nos conceitos de meio ambiente e segurança.

4.2.4 A QUARTA GERAÇÃO DA MANUTENÇÃO

Nesta época, a palavra-chave passou a ser a disponibilidade das máquinas, seguidas da confiabilidade e engenharia de manutenção para buscar a excelência operacional. A análise de falhas passou a ser uma metodologia aplicada para melhorar a performance dos equipamentos, junto da adoção cada vez maior da manutenção preditiva. Em decorrência do monitoramento

maior dos equipamentos (manutenção preditiva), houve uma tendência a reduzir a manutenção preventiva e a corretiva não planejada, visto que estas impactam negativamente a produção por promoverem longos intervalos de operação interrompida.

4.3 TIPOS DE MANUTENÇÃO

Os tipos de manutenção são caracterizados pela forma como são feitas no equipamento. Segundo Moro e Aura (2007), as manutenções podem ser planejadas e não planejadas, dependendo da estratégia adotada para o equipamento ou do tipo de falha ocorrida, são elas: manutenção preventiva, manutenção preditiva, manutenção corretiva planejada e não-planejada, manutenção detectiva e engenharia de manutenção. A Figura 4.2 mostra um quadro com os tipos de manutenções relacionado com o perfil de falhas.

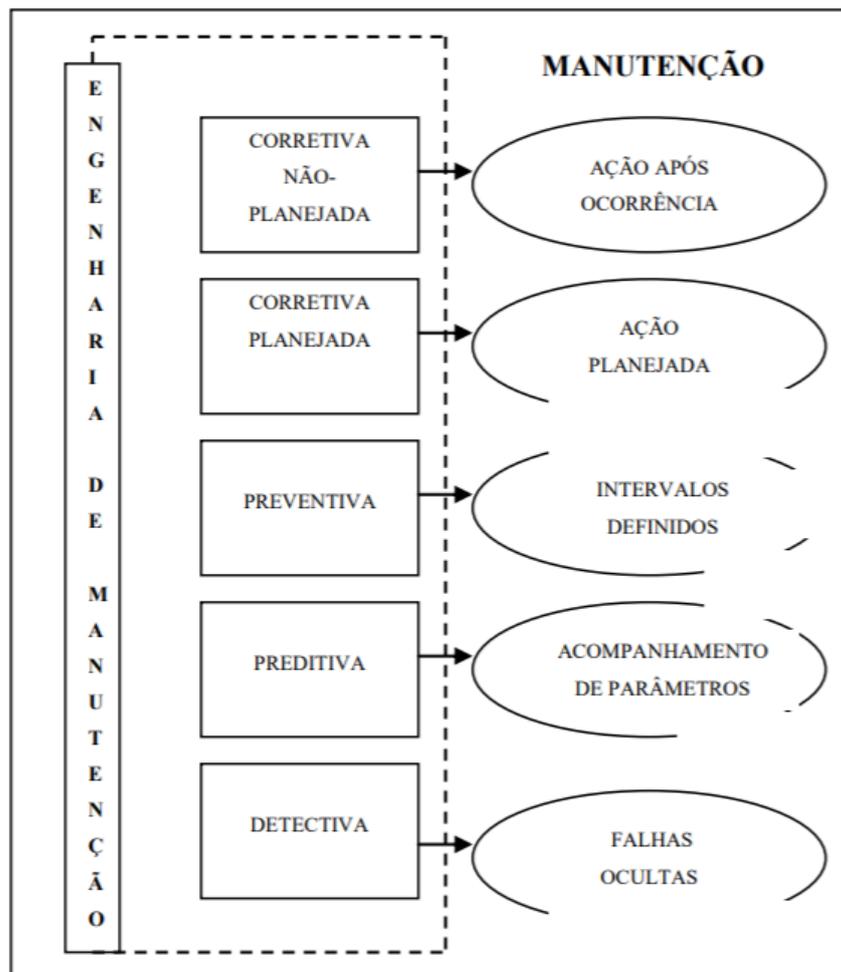


Figura 4.2: Tipos de manutenção (Adaptado de Kardec e Nascif, 2009).

4.3.2 MANUTENÇÃO CORRETIVA

A manutenção corretiva é toda intervenção feita no equipamento quando este apresenta desempenho diferente ou abaixo do esperado. Segundo Kardec e Nascif (2009), existem duas condições para que ocorra a manutenção corretiva: desempenho deficiente dos parâmetros operacionais e ocorrência de falha. A manutenção corretiva ainda pode ser se dividir em planejada e não-planejada.

- MANUTENÇÃO CORRETIVA PLANEJADA

A manutenção corretiva planejada, segundo Otani e Machado (2008), ocorre por decisão gerencial ou pelo acompanhamento do equipamento até a falha. Isto significa que há um monitoramento das falhas até a parada total do equipamento, tendo um planejamento preliminar de atividades e recursos que serão usados. Devido as características deste tipo de manutenção, há altos custos e baixa confiabilidade nos equipamentos, pois geram muitos danos e grande ociosidade.

- MANUTENÇÃO CORRETIVA NÃO-PLANEJADA

A manutenção corretiva não-planejada ocorre quando não há uma programação prévia da data e hora, podendo ocorrer a qualquer momento (MORO e AURA, 2007). Este tipo de manutenção, pelo caráter emergencial, visa corrigir os defeitos do equipamento, sejam eles inesperados ou ocasionais.

4.3.1 MANUTENÇÃO PREVENTIVA

É a manutenção que busca evitar o aparecimento de falhas ou desvios significativos na eficácia do equipamento, através de intervenções que seguem um plano diretor pré-estabelecido, baseado em um tempo decorrido ou horas trabalhadas (KARDEC e NASCIF, 2009). Este tipo de manutenção é aplicada em vários tipos de equipamentos, e quando adotada, é fácil de ser planejada, pois há uma lista de itens a serem revisados e/ou trocados, além do período entre intervenções que é pré-estabelecido pelo plano de manutenção.

O cumprimento deste tipo de manutenção proporcionará uma confiabilidade maior dos componentes do equipamento, no entanto, conforme afirma Xenos (1998), muitas empresas que negligenciam os planos preventivos, acabam por gastar muito tempo para tratar falhas em manutenção corretiva, o que prejudica muito a produção da empresa. É possível estabelecer uma ligação entre a manutenção preventiva e corretiva, como sendo inversamente proporcionais uma à outra, onde, conforme os planos preventivos são seguidos fielmente, o número de falhas tende a diminuir, por consequência o equipamento ficará menos tempo indisponível em corretiva, beneficiando a produção.

4.3.3 MANUTENÇÃO PREDITIVA

A manutenção preditiva, segundo Garg e Deshmukh (2006), faz o uso de técnicas, seja por equipamentos ou pela sensibilidade humana, para monitorar variáveis com limites pré-estabelecidos, e assim que as leituras se aproximem dos limites, há um planejamento para intervir no equipamento, controlando os parâmetros da falha. É interessante salientar, que por este modo de manutenção se valer de leituras e monitoramento, são utilizados muitos instrumentos para acompanhamento das variáveis a serem controladas no processo ou equipamento. Seguindo este raciocínio, Kardec e Nascif (2009) destacam que é imprescindível que a manutenção tenha uma análise crítica, necessitando para isto, de um treinamento adequado, levando a formação de equipe que seja capaz de fazer diagnósticos e interpretar dados e situações, não só fazendo medições. A manutenção preditiva depende de um conhecimento técnico bem desenvolvido aliado a equipamentos tecnológicos para ter o máximo de eficiência e confiança possível, garantindo qualidade ao processo.

Segundo Mirshawka (1991), a manutenção preditiva se beneficia das demais pelo baixo custo e redução dos prazos envolvidos, tendo maior previsibilidade das falhas com um planejamento prévio e melhoria do cenário operacional. É fácil entender o enunciado, pois com um acompanhamento dos parâmetros é possível estabelecer uma previsão das falhas ou planejar recursos e uma data específica para uma intervenção sem grandes impactos no cenário operacional e que retornará a saúde do equipamento.

4.3.4 MANUTENÇÃO DETECTIVA

A manutenção detectiva resume-se a um tipo de intervenção com excelência operacional por conta de demandar alta confiabilidade, sendo que estas são realizadas, na sua maioria, por sistemas de proteções, comando e controle que procuram por falhas imperceptíveis aos grupos de operação ou manutenção (KARDEC e NASCIF, 2011). Este tipo de manutenção irá atuar na identificação de falhas nos sistemas de proteções dos equipamentos, que dificilmente podem ter um diagnóstico preciso ou simples durante a operação. Por este motivo, em caso de falha de alguma proteção, as causas podem ter um alto impacto na produção e no custo.

Ferreira (2008) faz uma analogia entre a manutenção detectiva e um circuito que comanda a entrada de um gerador de hospital, alegando que, na falta de energia para suprir a demanda, e houver falha na detecção da falha, o gerador não atuará, necessitando por isso, que estes sistemas sejam testados e acionados constantemente para verificar seu funcionamento. Portanto, é de suma importância adotar, de acordo com a criticidade do processo, ferramentas e equipamentos para detecção de falhas em sistemas periféricos.

4.3.5 ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO

A engenharia de manutenção consiste em buscar as causas da manutenção já no projeto do equipamento, modificando situações permanentes de mau desempenho, problemas crônicos, e desenvolvendo a manutenibilidade (MORO e AURAS, 2007). Isto direciona a ideia de que equipamentos operando em uma planta industrial podem ter comportamentos característicos de falhas ou apresentar desvio de funções não previstas, levando a um estudo de mudança de planos de manutenção ou repotenciamento de algum componente.

Segundo Kardec e Nascif (2009), a engenharia de manutenção é considerada o suporte técnico da manutenção que se dedica a consolidar a rotina e implantar melhorias. Junto a isto, estas práticas trazem aumento de confiabilidade, aumento de disponibilidade, sanar problemas crônicos, aumentar a segurança, assim como outros pontos positivos, buscando sempre melhoria contínua.

4.4 QUALIDADE E CONFIABILIDADE

As definições e conceitos de qualidade e confiabilidade são muito próximos, porém há diferenças significantes entre si. Segundo Fogliatto e Ribeiro (2009), estes dois conceitos se diferem quando a confiabilidade de um item muda com o passar do tempo e a qualidade é uma descrição puramente estática, não inerente a este. A afirmação pode ser melhor analisada quando se pensa em dois componentes com o mesmo propósito, porém para ambientes diferentes, onde um ambiente que é mais agressivo, exigirá uma confiabilidade maior do que um com menos variáveis a interferir no funcionamento do componente. A qualidade pode estar explícita nos dois itens, para ambas as áreas, porém o item mais exigido exigirá maior confiabilidade. Os conceitos seguem caminhos semelhantes, porém possuem divergências quando comparados nos quesitos tempo e uso, visto que dois itens propostos a desempenhar a mesma função, porém com aplicações de uso diferentes podem possuir a mesma qualidade, porém não terão a mesma confiabilidade.

4.5 CONFIABILIDADE

Segundo Fogliatto e Ribeiro (2009) a confiabilidade corresponde a capacidade de desempenhar as funções de forma adequada por um período de tempo determinado e em condições ambientais predeterminadas. A definição implica em um direcionamento de variáveis aplicadas em equipamentos de mesma função, porém com versões para diferentes usos, visto que tais equipamentos vão apresentar confiabilidades diferentes.

A confiabilidade atua em conjunto com o controle de qualidade para um processo produtivo, no passo em que procura demonstrar o tempo em que um produto funcionará estando dentro dos limites especificados no projeto (ReliaSoft Brasil, 2005). Este conceito é importante porque confere ao processo uma condição para operação com capacidade de predefinir um período para possíveis falhas. Kardec e Nascif (2009) definem a confiabilidade em quatro conceitos:

- Probabilidade: é a relação entre o número de casos possíveis, para um intervalo de tempo. É expresso de 0 a 100%, podendo ser expresso como uma razão entre o número de casos favoráveis pelo número de casos possíveis.

- Função requerida: é o limite de admissibilidade abaixo da qual a função não é mais satisfatória.

- Condições definidas de uso: são as condições de operação as quais está inserido o equipamento, ou seja, o mesmo equipamento sujeito a dois ambientes diferentes, terá confiabilidade diferente.

- Intervalo de tempo: é o período de tempo dentro do qual são medidos os parâmetros de operação do equipamento.

4.6 DISPONIBILIDADE

A NBR 5462 (1994), explana sobre disponibilidade:

(...) é a capacidade de um item estar em condições de executar uma certa 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. O termo “disponibilidade” é usado como uma medida do desempenho de disponibilidade.

Portanto, a disponibilidade é um termo muito importante em uma planta industrial que serve de insumo para monitoramento da operação do processo. Segundo Kardec e Nascif (2009), a disponibilidade pode ser classificada em física e inerente ou intrínseca.

4.6.1 DISPONIBILIDADE FÍSICA

Branco Filho (2000) define a disponibilidade física como probabilidade de que um item ou equipamento possa estar disponível para operar em um momento ou período de tempo determinado. Por se tratar de uma relação entre tempo disponível para operar e tempo total do período, pode ser calcula pela equação:

$$DF (\%) = \frac{\text{Horas Calendário (HC)} - \sum \text{Horas de Manutenção (HM)}}{\text{Horas Calendário (HC)}} \times 100 \text{ Equação 4.1}$$

4.6.2 DISPONIBILIDADE INTRÍNSECA

A disponibilidade intrínseca mede o percentual de tempo no qual o equipamento ficou disponível para operar. O termo, intrínseca implica o fato de somente levar em conta o tempo de reparo (TMPR), ignorando todos os outros tempos adjacentes, ou seja, é um indicador de disponibilidade do equipamento, caso não ocorressem falhas (KARDEC e NASCIF, 2009). Pode ser medido pela fórmula:

$$DI (\%) = \frac{TMEF}{TMEF+TMPR} \times 100 \text{ Equação 4.2}$$

Onde:

- TMEF: Tempo médio entre falhas (em inglês MTBF – *Mean Time Between Failures*): este indicador mostra a capacidade que um equipamento tem de operar após a ocorrência de uma falha.

- TMPR: Tempo médio para reparos (em inglês MTTR – *Mean Time To Repair*): este indicador mostra o tempo utilizado para reparar uma falha. É utilizado apenas para componentes que necessitam de troca, ou seja, não são reparáveis.

4.7 CONCEITO DE FALHA

A falha pode ser expressa como a perda da função requerida de um item, podendo ser parcial ou completa. Segundo Pallerosi (2007), quando um equipamento apresenta falha completa, esta é resultado de desvio de características que extrapolam limites especificados causando perda total da função requerida, já a falha parcial não causa a perda total da função requerida. Outro termo citado na Figura 4.3 é o que explica a relação entre falha e pane, que é a incapacidade do equipamento realizar a sua função requerida (ABNT, 1994).

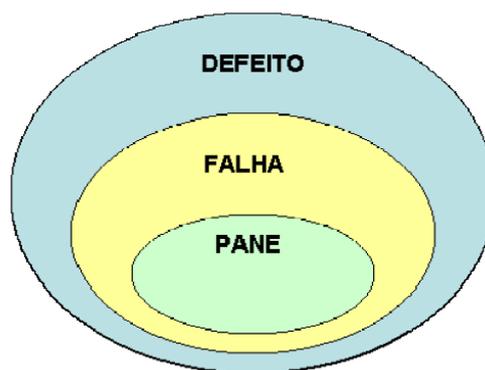


Figura 4.3: Caracterização das panes, falhas e defeitos (Adaptado de Pallerosi, 2007).

Slack (2002) discorre sobre o projeto e operação de um equipamento, afirmando que um produto é projetado prevendo todas as situações de seu funcionamento, sendo que, somente durante a operação é possível observar possíveis anormalidades de funcionamento. Outro fator relevante é em relação ao funcionamento dos equipamentos, estes necessitam de manipulação humana para operar, que também está sujeita a falhas, que podem ser erros ou violações.

A perda da função ou ocorrência de uma falha se dá por inúmeros fatores, que são chamados de modos de falha. Simões (2006), detalha os modos de falha como um conjunto de processos físicos, químicos ou outros que levam a falha. Almeida e Fagundes (2005) ainda afirmam que o modo de falha pode ser definido como o efeito que uma falha é observada em um componente que falhou. Os modos de falha ocorrem das mais diversas formas nos componentes, devido às diferentes formas de operação que cada um está exposto e pela observação que há destes.

Existem vários fatores que induzem a ocorrência de modos de falhas, conforme analisaram Lafraia (2001) e Afonso (2006):

- **Falha de projeto:** falhas que ocorrem por deficiências do equipamento que não são previamente analisadas pelo projetista ou que não foram tratadas pelas ferramentas de engenharia corretas.

- **Falha na Seleção de Materiais:** falhas causadas por incompatibilidade dos materiais na aplicação.

- **Imperfeições no Material:** estas falhas são inerentes ao processo de fabricação dos materiais, que estão relacionadas com a resistência mecânica destes.

- **Falha na fabricação:** são falhas que surgem durante o processo de fabricação dos componentes, como usinagem, tratamento térmico, conformação a frio e soldagem.

- **Erros de montagem ou de instalação:** são ligados à falhas durante a manipulação humana, devido ferramentas, métodos ou procedimentos indevidos, executados durante a instalação de algum componente.

- **Falha na utilização ou manutenção inadequada:** condições de operação e ambientes fora do especificado pelo projeto, além de falta de inspeção e manutenção devido ausência de treinamento ou instruções do fabricante são pontos que levam a falhas.

Para Fogliatto e Ribeiro (2011) os defeitos que ocorrem durante o processo de manufatura de um produto, geram falhas precoces que se manifestarão durante o início da vida do mesmo, chamadas de mortalidade infantil. As falhas que aparecem durante o período de vida útil, se dão, normalmente, por condições de ambiente e meios de operação, diferindo-se da fase de envelhecimento do produto que gera falhas por desgaste, que ocorrem no fim da vida útil. A Figura 4.4 demonstra o gráfico da banheira que diz respeito às fases da vida de um componente.

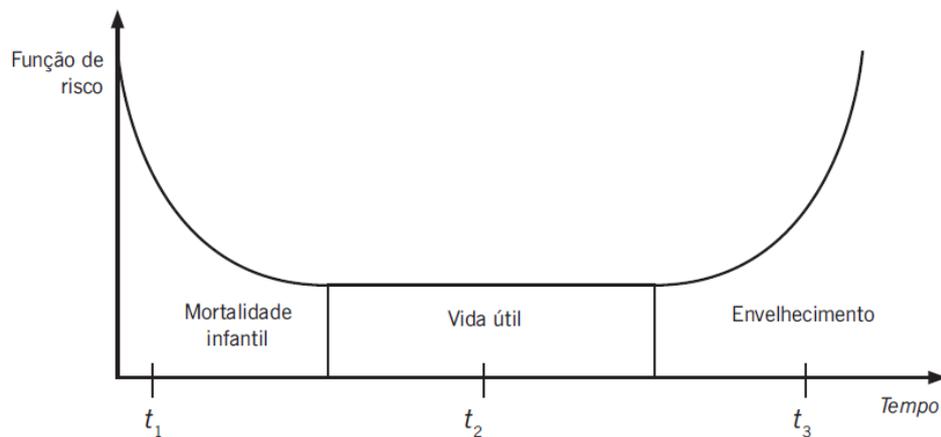


Figura 4.4: Curva da banheira (Fogliatto e Ribeiro, 2011).

4.8 IDENTIFICAÇÃO DE FALHAS

Segundo Slack (2002) existem vários mecanismos para identificar uma falha de forma a traçarem ações imediatas para atuar nas suas causas e efeitos:

- Inspeções: no final de um processo ou ciclo determinado, a operação ou manutenção pode fazer uma inspeção para verificar se a função está satisfatória ou descobrir problemas;
- Diagnósticos de máquinas: podem ser realizados testes de desempenho nas máquinas fazendo-as passar por uma sequência de atividades comuns a sua função a fim de se identificar algum tipo de desvio em seu funcionamento;
- Verificações no processo: durante o processo produtivo, os operadores podem realizar verificações a fim de se encontrar falhas que não causam variações no processo;
- Fichas de reclamações ou questionários: são usados para relatar anormalidades do produto ou serviço.
- Grupos de foco: São grupos de pessoas que, em conjunto, focalizam alguns aspectos do produto ou serviço;

4.9 CLASSIFICAÇÃO DAS FALHAS

Para Afonso (2006), alguns componentes de equipamentos são projetados estabelecendo um período de vida útil, sendo que, extrapolando este, o sistema estará sujeito à falha em qualquer momento. É inevitável conhecer os tipos de falhas para poder traçar planos de ações

ou medidas preventivas para atuar desde a fase de projeto. Segundo Siqueira (2009), as falhas podem ser classificadas conforme a Figura 4.5 abaixo.

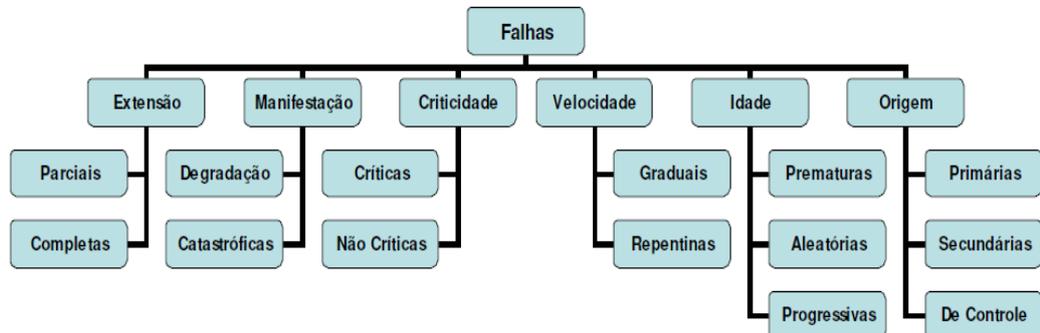


Figura 4.5: Classificação de falhas (Adaptado de Siqueira, 2009).

- **Quanto à origem:** as que ocorrem por deficiências de um componente, devido a desgaste ou de projeto, dentro dos limites estabelecidos, são denominadas primárias; as secundárias, ocorrem quando se excedem os limites operacionais.

- **Quanto à extensão:** Podem ser parciais, quando resultam da mudança de algum parâmetro de operação do item, fora dos limites estabelecidos, porém sem perda total da função requerida; ou completas, quando causam a perda total da função requerida.

- **Quanto à velocidade:** Podem ser graduais, devido desgaste do uso, quando podem ser previstas por algum tipo de manutenção, antes de se manifestarem; ou repentinas, quando não podem ser percebidas ou previstas.

- **Quanto à manifestação:** Podem ocorrer por degradação, quando há ocorrência de forma gradual ou parcial simultaneamente, podendo tornar-se completa com passar do tempo, já as falhas catastróficas, ocorrem simultaneamente de forma repentina e completa. Há ainda as falhas intermitentes, que são esporádicas, as quais o item volta às condições normais sem qualquer intervenção feita;

- **Quanto à idade:** Podem ser consideradas prematuras, quando ocorrem no início da vida do equipamento, ou aleatórias, quando ocorrem de maneira imprevisível, podendo também ser progressivas, quando são resultados de desgaste, deterioração e envelhecimento do item.

4.10 MÉTODO DE RCA PARA ANÁLISE DE FALHAS

4.10.1 CONCEITO E MÉTODOS DO RCA

O RCA é uma importante ferramenta usada para investigação detalhada de falhas em equipamentos. Este método consiste em investigar e identificar as causas da ocorrência do problema para traçar as medidas corretivas (UBEROI, 2004). O objetivo desta análise é estratificar o porquê e o que fazer para prevenir que o problema ocorra novamente.

Há diferentes maneiras para seguir a investigação das causas, seguindo um passo-a-passo particular a cada uma. Neste trabalho serão abordados dois métodos. No primeiro método, proposto Rooney e Vanden Heuvel (2004), os passos são:

- 1) Coleta de dados para compreender o problema e então identificar os fatores contribuintes para causa;
- 2) Quadro de fator causal para organizar e analisar as informações adquiridas no decorrer da investigação e identificar possíveis desvios. É um diagrama de sucessão com testes lógicos que descrevem os eventos até uma ocorrência;
- 3) Identificação dos fatores causais para identificação da causa raiz. É usado o mapa de causa raiz para as razões para o fator causal, que tem função de estruturar o processo de raciocínio da investigação;
- 4) Geração de recomendações, uma vez identificada a causa raiz, para prevenção de reincidência da falha;

No segundo método, de Downing (2004), são utilizados 5 passos mais a adição da árvore dos porquês:

- 1) Montar um time multidisciplinar com especialistas de cada área para ajudar nas análises e com informações;
- 2) Definir a falha a ser tratada;
- 3) Definir se a falha é crônica ou esporádica, então desenvolver um gráfico de custos ou ocorrências para selecionar qual deve ser analisada. O estudo pode ser direcionado para falhas esporádicas;
- 4) Analisar a causa raiz com o desenvolvimento da árvore dos porquês;
- 5) Propor ações para eliminar a causa raiz;

A árvore dos porquês de Downing (2004) utilizada na metodologia, baseia-se em:

- Montar árvore dos porquês com base nas informações levantadas;
- Exemplificar uma árvore genérica para o grupo multidisciplinar;
- Descrever o evento para o grupo;
- Listar e priorizar observações ligadas às falhas;
- Selecionar as observações com maior prioridade;
- Elaborar hipóteses para as observações priorizadas;
- Aceitar ou descartar as hipóteses através de portas lógicas e no final, priorizar as observações aceitas;
- Continuar o processo de aceitação e descarte, até chegar nos fatores físicos, humanos e sistêmicos;
- Parar quando chegar na causa raiz;

	Operador Lógico "E": Ambos ou todos os eventos diretamente abaixo devem acontecer ao mesmo tempo para que o evento precedente aconteça.
	Elemento "OU": Um evento diretamente abaixo deve acontecer para que o evento precedente aconteça.
	Elemento "OU" e "E": Todos os eventos diretamente abaixo, podem acontecer, mas, pelo menos um deve acontecer para que o evento precedente aconteça.
	Usado para dar continuação à Árvore em outra página ou papel.
	Retângulo sólido: indicando uma falha, uma observação ou uma Causa Intermediária (comprovada e verificada).
	Hipótese (possível causa; ainda não explicado ou não verificado) Muda para um retângulo sólido quando é explicado ou verificado.
	Tem sido verificado, ou provado, que não é a causa do evento que está acima.
	Causa raiz ou Fator Chave

Figura 4.6: Elementos da árvore dos porquês - (Adaptado de Downing, 2004)

A Figura 4.6 acima lista os operadores lógicos que podem ser utilizados na montagem da árvore. Para criação de ações efetivas para sanar os problemas relacionados à falha, é ideal a elaboração de um RCA bem feito e seguindo todos os passos de forma metódica, sem informações desconexas ou hipóteses ignoradas e sem respostas. Para Rooney e Heuvel (2004), é necessário que os investigadores tenham conhecimento e experiência suficiente para

responder às hipóteses geradas no decorrer da investigação para atuar de forma preventiva em eventos futuros. Toda análise do RCA deve ser documentada para servir de insumo para decisões futuras de melhoria e servir de histórico (KARDEC e NASCIF, 2009). Informações como data, horário da falha, impacto na produção, segurança, operadores, custos, podem ser colocadas numa eventual investigação de causa raiz.

4.10.2 TIPOS DE CAUSA E CAUSA RAIZ

Para Ammeman (1998), há tipos diferentes para causas das falhas, podendo ser de três tipos:

- Causas presumíveis: São as que surgem nas etapas preliminares da investigação, necessitando de validação para serem aceitas;

- Causas contribuintes: São causas que, por si só, não podem levar ao defeito principal, porém somadas às causas principais, agravam e ajudam a propagar a falha, necessitando de ações corretivas

- Causa raiz: É o ponto focal para origem da falha, onde resolvendo-a, o problema será sanado;

A causa raiz não pode conter descrições rasas, de modo a dificultar a tomada de ações para corrigir o problema, assim como a mesma deve ser assertiva, de modo que as medidas tomadas venham a eliminar as recorrências (ROONEY e HEUVEL, 2004). Estes pontos deixam claro que deverá haver um aprofundamento na investigação, sendo toda e qualquer causa, seja ela contribuinte ou não, ter as informações necessárias para tratamento através de ações ou não, sendo o engajamento da equipe envolvida, de extrema importância para identificação dos problemas.

4.10.2 VANTAGENS DO RCA

Uma das principais vantagens da ferramenta RCA é a eliminação de causas recorrentes numa planta industrial. Além da eliminação do problema, as ações efetivas do RCA irão servir de banco de dados para a empresa, de modo a criar um histórico com todas as falhas e medidas tomadas para correção (ROONEY e HEUVEL, 2004). Isto dá à empresa, uma oportunidade de prevenir futuras expansões ou instalações de itens ou equipamentos, baseados no histórico das

falhas tratadas, dando maior confiabilidade em novas instalações ou compartilhando com outras organizações.

4.11 VIRADOR DE VAGÕES

O virador de vagões é um equipamento em que os vagões são posicionados para serem descarregados. O movimento de giro do virador é atuado por dois motores elétricos de 300 cavalos. Os motores acionam um eixo ligado a um pinhão, que está em contato com uma cremalheira em formato angular fixada na estrutura do virador como ilustrado na Figura 4.7.

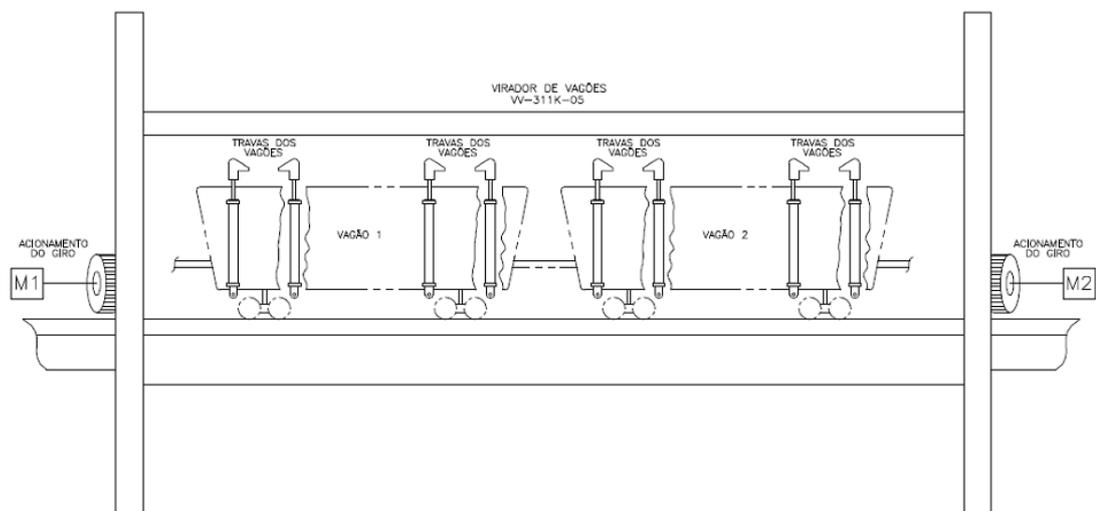


Figura 4.7: Virador de vagões (ThyssenKrupp Industrial Solutions, 2003).

4.11.1 CARRO E GUINCHO POSICIONADOR

O conjunto carro e guincho posicionador é responsável por efetuar o posicionamento da composição para virar o par de vagões. O carro posicionador é composto de um braço para posicionar os vagões no lote. Um cabo de aço ligado ao carro é guiado por roldanas e é responsável pela movimentação do conjunto através de um sistema de guincho, onde estes transladam sobre trilhos. Em uma das extremidades do cabo de aço, há um cilindro hidráulico responsável pelo tensionamento do cabo. O sistema é mostrado na Figura 4.8.

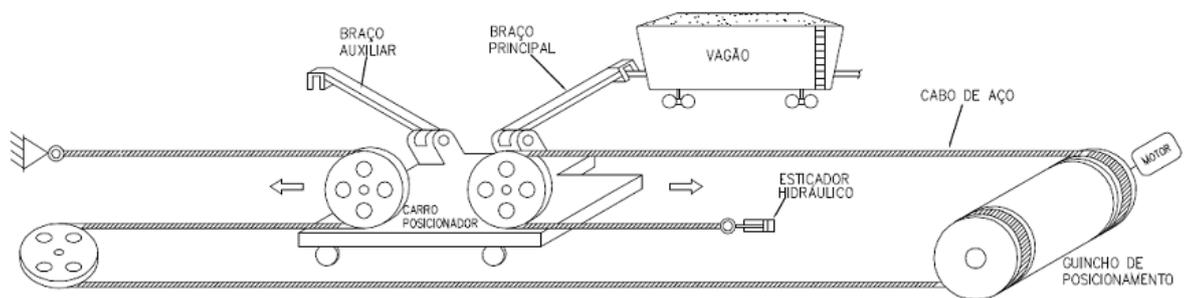


Figura 4.8: Esquema de funcionamento do carro posicionador (ThyssenKrupp Industrial Solutions, 2003).

O guincho pode tracionar o cabo de aço em dois sentidos de forma que avance ou retorne a composição. O avanço é o movimento feito sentido ao fluxo de descarga do virador de vagões e o retorno é o movimento para voltar à posição de chegada da composição.

Sobre o carro posicionador vão embarcados o braço auxiliar e o braço principal, que servem para fazer a ligação física com a composição. O braço principal é perpendicular ao sentido de translação do carro e é acionado por um cilindro hidráulico, e este posiciona um par de lote por vez dentro do virador. O braço auxiliar é montado com uma inclinação em relação ao sentido de translação, acionado por um cilindro hidráulico, e serve para posicionar o último par de vagões. Os dois braços possuem acionamento hidráulico, logo, o carro posicionador possui uma unidade hidráulica responsável por alimentar todos estes componentes. A Figura 4.9 apresenta o carro posicionador de uma forma mais detalhada.

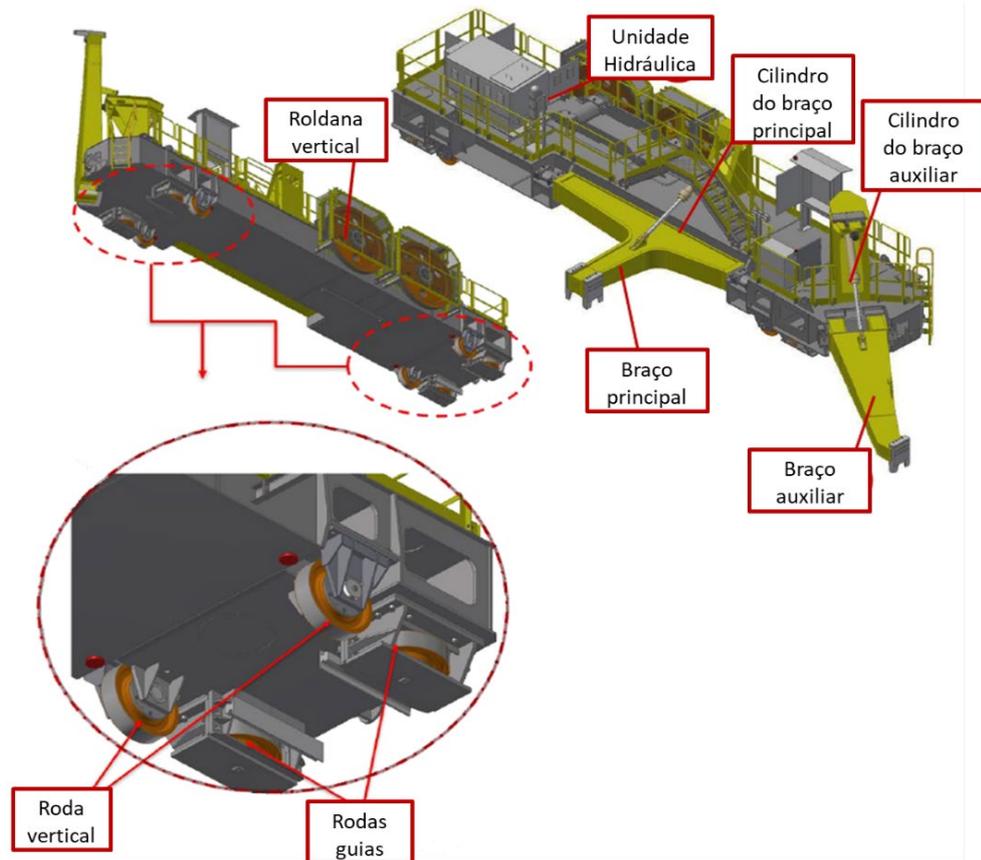


Figura 4.9: Vista detalhada do carro posicionador com seus componentes (ThyssenKrupp Industrial Solutions, 2003).

4.11.2 GRAMPOS DE FIXAÇÃO

Os dispositivos ou grampos de fixação são componentes responsáveis por segurar os vagões durante o descarregamento. Os grampos são em forma de “L” e para cada vagão há quatro grampos, dois do lado de descarregamento e dois do lado oposto. Há uma alavanca articulada nos dois lados para cada vagão onde vão instalados vibradores a fim de remover todo material agregado.

Os grampos do lado de descarregamento são revestidos por chapas resistentes ao desgaste, que servem para protegê-los e para guiar o material despejado. A força necessária para segurar os vagões é promovida por cilindros hidráulicos ligados à cada grampo. Os cilindros possuem molas de compressão em sua parte inferior responsáveis por aliviar os grampos após o descarregamento, sendo mostrados com mais detalhes na Figura 4.10.

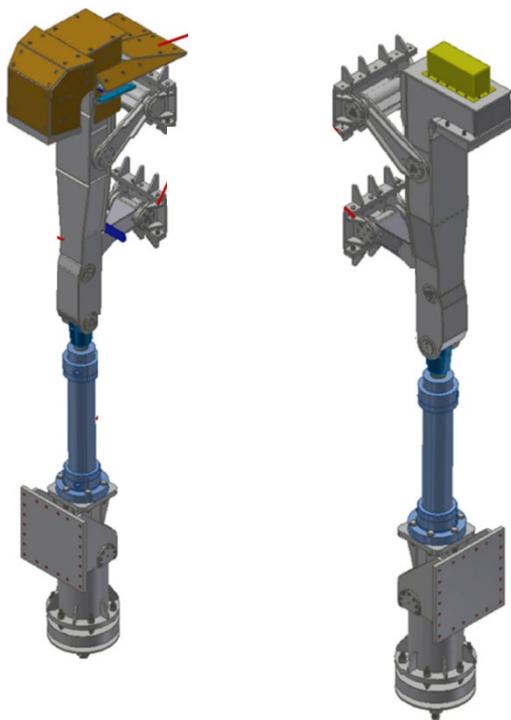


Figura 4.10: Grampos de fixação dos vagões (ThyssenKrupp Industrial Solutions, 2003).

4.11.3 ACIONAMENTO DO VIRADOR

O acionamento do virador é responsável por fornecer o torque necessário para fazer o movimento de giro dos vagões. O virador possui dois acionamentos, sendo cada um composto por um motor, um redutor, um acoplamento flexível na saída do motor e outro na saída do redutor, freio eletromagnético a disco e um pinhão de acionamento, detalhados na Figura 4.11.

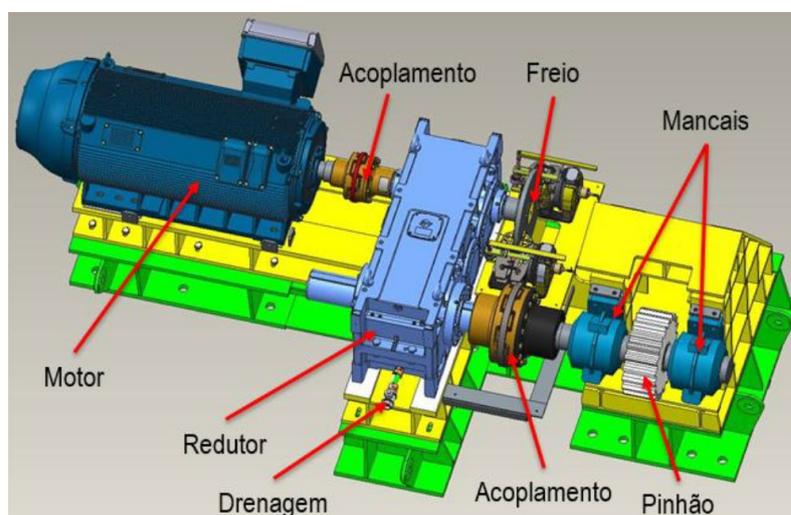


Figura 4.11: Componentes do acionamento do virador (ThyssenKrupp Industrial Solutions, 2003).

4.11.4 TRAVA DAS RODAS

O sistema do virador de vagões contém quatro travas para as rodas dos vagões, duas delas instaladas na via férrea na frente do virador e duas na parte oposta. Cada uma das travas de rodas segura a composição em um truque do vagão e evita qualquer deslocamento do trem durante o movimento de descarga. O sistema de travas mostrado na Figura 4.12 é acionado por cilindros hidráulicos e possuem duas alavancas para fazer o travamento das rodas, além de sensores para detectar a posição de cada trava.

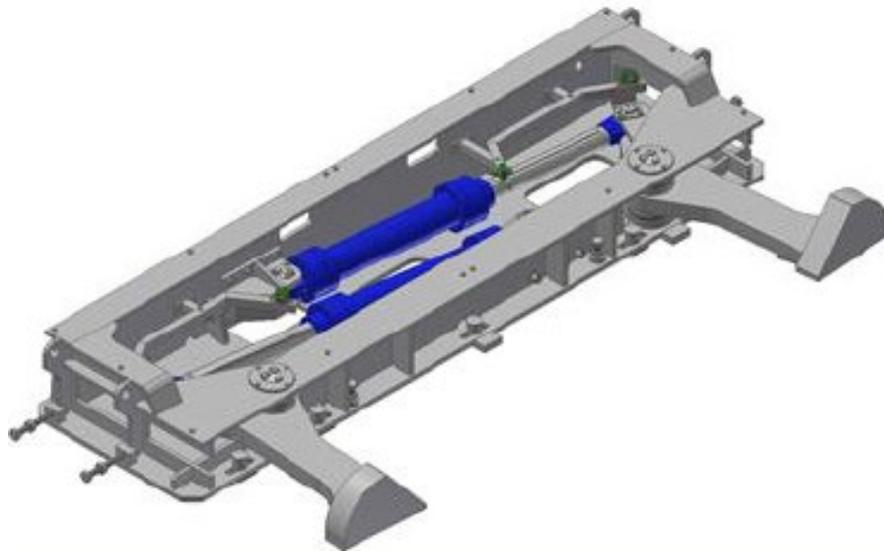


Figura 4.12: Trava das rodas (ThyssenKrupp Industrial Solutions, 2003).

4.11.5 MOEGA

A moega é uma estrutura que direciona o material descarregado para o alimentador. Toda sua extensão é revestida com chapas de desgaste e os cantos são chanfrados para evitar o acúmulo de material. O nível da moega é inspecionado por sondas ultrassônicas. A Figura 4.13 mostra uma vista superior das moegas. O material proveniente dos vagões é direcionado à transportadores intermediários, e entre o virador de vagões e o alimentador, há a moega. As moegas possuem manutenção para troca das chapas e limpeza de rotina, devido ao acúmulo de material nas paredes, principalmente devido à umidade que possa ter devido ao transporte ou períodos de chuva.

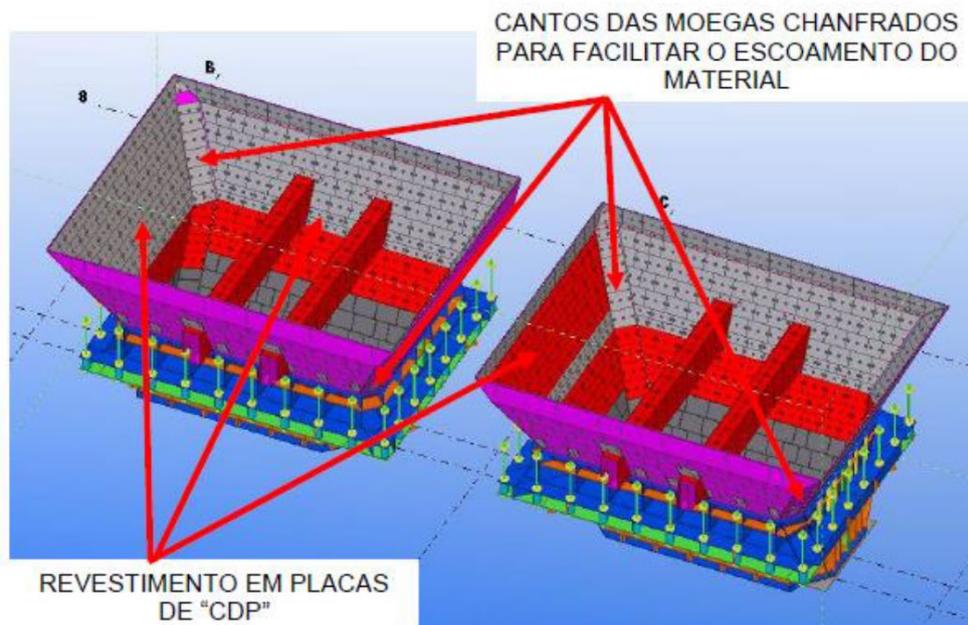


Figura 4.13: Esquema das moegas (ThyssenKrupp Industrial Solutions, 2003).

4.11.6 ALIMENTADOR DE SAPATAS

Os alimentadores são responsáveis por receber o material proveniente das moegas, fazer o controle de fluxo e direcioná-lo para os transportadores do pátio. Os alimentadores são compostos por uma esteira sem fim, sapatas, corrente e roletes. O conjunto possui um sistema de esticamento é feito por um tirante e uma porca. Todo o sistema é movido por um motor hidráulico ligado a uma roda dentada ilustrados na Figura 4.14.



Figura 4.14: Alimentador de sapatas (ThyssenKrupp Industrial Solutions, 2003).

5. METODOLOGIA

Neste capítulo será apresentado as etapas e observações da metodologia da ferramenta de análise de falhas RCA aplicada em viradores de vagões. Esta pesquisa tem caráter descritivo, visto que busca explorar e descrever os fenômenos da decorrentes do uso de uma ferramenta de análise em um equipamento, com resultados qualitativos, pois irá mostrar o resultado dos conceitos e ideias extraídos da análise.

A análise de falhas é muito importante em processos industriais, visto que apresenta um amplo estudo e participação de diversos especialistas na investigação, trazendo agilidade e confiabilidade para o processo. O objetivo é eliminar a maioria das causas principais e contribuintes que evitam o bom desempenho do processo industrial. O estudo de falhas neste presente trabalho está baseado na ferramenta de Análise da Causa Raiz (RCA), onde procura-se as melhores medidas corretivas para o problema através de uma estratificação detalhada de dados e evidências adquiridos durante o evento.

O desenvolvimento e levantamento de todos os dados para o presente trabalho serão levantados na empresa VALE, sendo o período amostral escolhido para estudo foi o primeiro trimestre de 2019 direcionado ao virador de vagões número 6. A falha escolhida será analisada junto a um time de especialistas, com informações que comprovem ou descartem as hipóteses levantadas e conseqüente ações para sanar as causas da falha.

5.1 ESCOPO DO RCA

A metodologia, segundo Downing (2004), pode ser descrita por um conjunto de passos conforme a Figura 5.1, onde será possível obter uma abrangência de todas as áreas relacionadas direta e indiretamente com o evento, podendo obter uma maior riqueza nas informações e conseqüentemente nas proposições de soluções e melhorias.

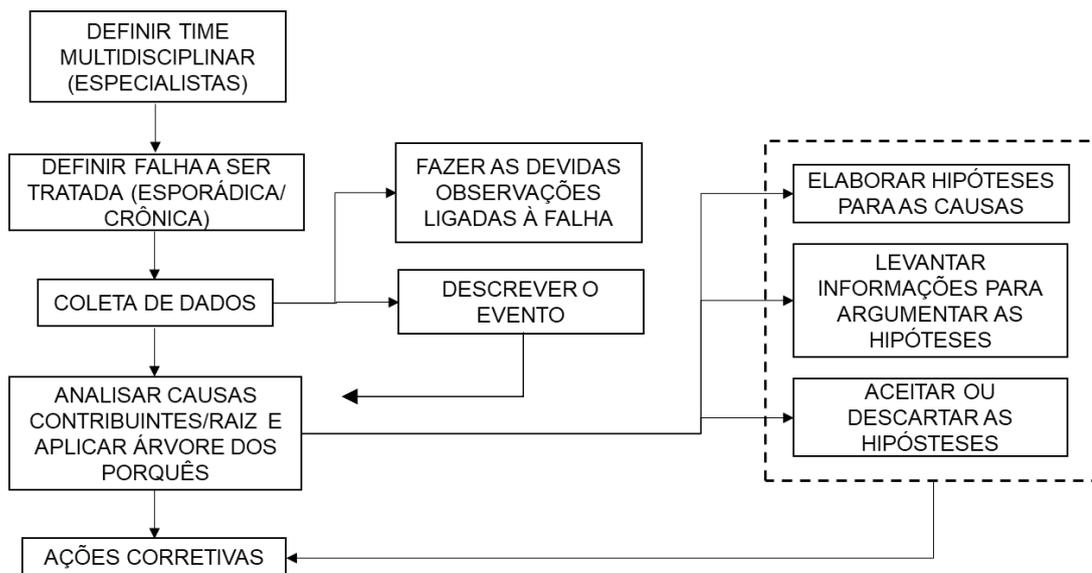


Figura 4.15: Passo a passo para aplicação do RCA (Adaptado de Downing, 2004).

Segundo o passo a passo da Figura 5.1, a etapa de definição da falha a ser tratada vem como terceiro passo, e para dar continuidade ao trabalho, a mesma será abordada no primeiro passo, sendo a etapa de definir time multidisciplinar realocada para o segundo passo, conforme Figura 5.2.

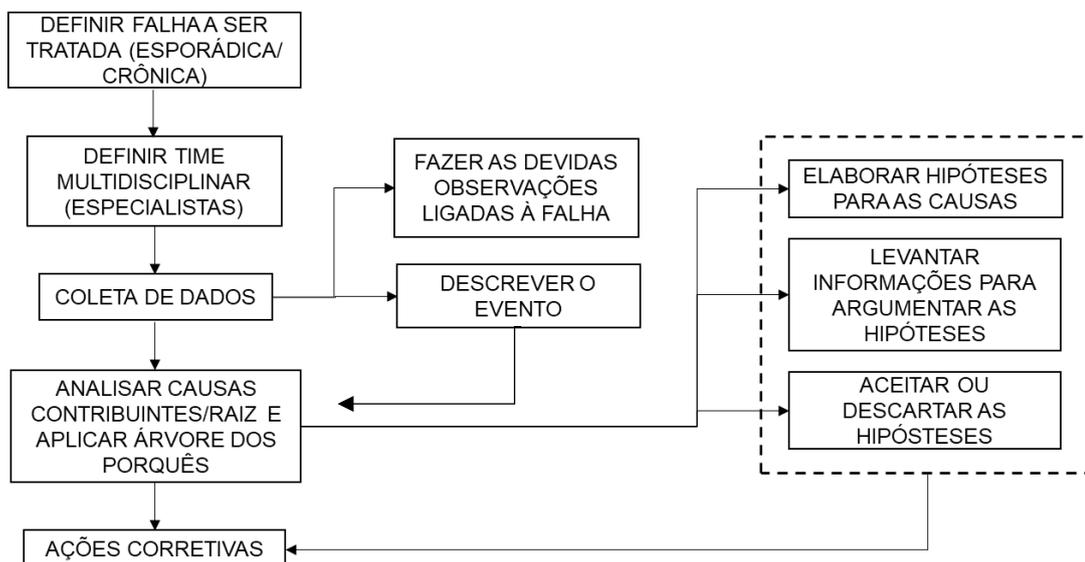


Figura 4.16: Passo a passo atualizado para aplicação do RCA adaptado (Adaptado de Downing, 2004).

5.2 DEFINIÇÃO DA FALHA PARA ANÁLISE

O início da análise começa com o levantamento das falhas ocorridas dentro de um período amostral. A amostra poderá conter falhas de naturezas esporádicas e/ou crônica, cada uma com seu grau de impacto para o sistema. Dependendo do tipo de falha e do nível de sensoriamento da planta industrial, as consequências para operação poderão ser desde pequenas perdas de capacidade do equipamento até a parada total do mesmo.

A análise mapeou falhas esporádicas com grande impacto para operação e para produção, baseado numa diretriz da equipe de tratamento de falhas da empresa. As falhas para estudo foram segregadas entre janeiro e julho dos anos de 2018 e comparados com 2019. A Tabela 5.1 mostra um comparativo quantitativo das falhas acumuladas ocorridas em cada mês dos anos selecionados, que será usado como guia para escolha da falha para estudo e análise.

Tabela 5.1: Falhas ocorridas no Virador de vagões durante o primeiro bimestre dos anos de 2018 e 2019 (Arquivo Técnico, 2019).

2019		2018	
JANEIRO/FEVEREIRO		JANEIRO/FEVEREIRO	
Descrição	Duração (h)	Descrição	Duração (h)
Mecânica - Grampo	4,88	Mecânica - Grampo	2,63
Mecânica - Braço	3,72	Mecânica - Posicionador	1,98
Mecânica - Posicionador	1,30	Mecânica - Braço	0,83
Mecânica - Comporta	1,07	Mecânica - Giro	0,47
Mecânica - Troca de Rolete	0,77	Mecânica - Redutor	0,17
MARÇO/ABRIL		MARÇO/ABRIL	
Descrição	Duração (h)	Descrição	Duração (h)
Mecânica - Posicionador	15,82	Mecânica - Grampo	1,72
Mecânica - Grampo	4,98	Mecânica - Posicionador	0,75
Mecânica - Freio	0,95	Mecânica - Comporta	0,50
Mecânica - Comporta	0,47	Mecânica - Freio	0,12
Mecânica - Giro	0,47	Mecânica - Giro	0,10
Mecânica - Trava Roda	0,13	MAIO/JUNHO	
Mecânica - Braço Trava	0,07	Descrição	Duração (h)
MAIO/JUNHO		Mecânica - Grampo	4,80
Descrição	Duração (h)	Mecânica - Posicionador	0,38
Mecânica - Freio	0,33	Mecânica - Braço	0,23
Mecânica - Posicionador	0,10	Mecânica - Giro	0,17
		Mecânica - Redutor	0,10

A Tabela 5.1 falha mostra que entre os comparativos dos primeiros semestres dos respectivos anos, houve uma discrepância grande durante os meses de março e abril, causando um impacto grande na operação do virador de vagões. A Tabela 5.2 mostra de uma forma mais detalhada a falha ocorrida dentro do período que levou a causar este grande impacto no processo. O posicionador citado, conforme a apresentou 15,4 horas de impacto para o sistema, necessitando de uma análise detalhada. A falha foi identificada por um ruído anormal durante o deslocamento do carro posicionador identificado pelo inspetor da máquina, que faz parte da manutenção mecânica.

Tabela 5.2: Detalhe do dia do evento e impacto para o sistema (Arquivo Técnico, 2019).

Data Hora Início	Data Hora Fim	Descrição Evento	Tempo evento (h)
27/03/2018 18:39	27/03/2018 23:00	Mecânica - <u>Posicionador</u>	4,4
27/03/2018 23:00	27/03/2018 23:59	Mecânica - <u>Posicionador</u>	1,0
28/03/2018 00:00	28/03/2018 07:00	Mecânica - <u>Posicionador</u>	7,0
28/03/2018 07:00	28/03/2018 10:00	Mecânica - <u>Posicionador</u>	3,0

As observações preliminares são obtidas no local do evento, com registro fotográfico e inspeções sensitivas dos componentes afetados. A falha no carro posicionador ocorreu em uma roda vertical de translação, onde houve travamento da mesma. A Figura 5.3 ilustra com detalhes a roda do posicionador avariada retiradas logo após a parada do sistema. Os especialistas são os responsáveis técnicos pelas áreas que possuem grande experiência adquirida nos processos.



Figura 5.3: Roda vertical avariada do carro posicionador (Arquivo Técnico, 2019).

5.3 DEFINIÇÃO DO TIME MULTIDISCIPLINAR

A análise seguirá com a formação de uma equipe com os especialistas em cada área para melhor detalhamento dos pontos levantados. A equipe foi formada por especialistas das áreas de mecânica, hidráulica, elétrica e engenharia de assistência técnica, cada um contribuindo com informações de cada processo ou componente são responsáveis conforme Figura 5.4. A primeira frente de serviço começa com inspeção em campo e do componente avariado no dia ou decorrido algum tempo depois do evento, onde poderá ser feito uma perícia minuciosa com base em cada vestígio encontrado no local. A seguir, foram checadas evidências em manutenções e inspeções passadas, para consolidar o material da investigação.

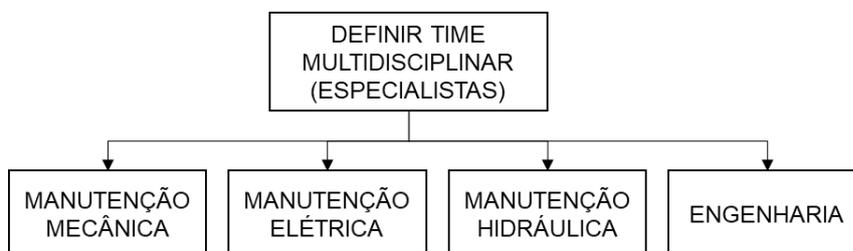


Figura 5.417: Especialistas convocados para a análise.

5.4 COLETA DE DADOS

A etapa de coleta de dados foi feita em conjunto com o time de especialistas para riqueza de informações e agilidade da análise. A investigação seguiu com a consulta de todas as intervenções que tiveram algum tipo de relação com o evento. As informações servirão para argumentar as hipóteses, que serão levantadas como questionamentos para direcionar à causa raiz do problema e evitar reincidências da falha.

A falha ocorreu durante operação do virador número 6 no dia 27 de março de 2019 às 18:39, quando foi relatado um forte ruído oriundo do carro posicionador. Durante o deslocamento dos vagões, foi verificado que a roda vertical de translação número 3 estava travada, necessitando de parada total do equipamento. O detalhe do componente após o primeiro contato com a equipe da manutenção está relatado na Figura 5.5.



Figura 5.5: Detalhe da roda vertical avariada no local do evento (Alimentador de sapatas (Arquivo Técnico, 2019).

A manutenção corretiva do componente avariado seguiu com a desmontagem da roda para verificação do estado físico dos itens internos. A roda é formada por um conjunto de itens que em irão permitir o funcionamento de todo sistema. É importante a inspeção de todos os itens com menor tempo possível de ocorrência do evento para coleta do maior número possível de detalhes sem grandes interferência de condições do ambiente, como chuva, poeira, água, entre outros.

A desmontagem da conjunto da roda vertical revelou detalhes importantes para a investigação de acordo com o perfil de desgaste dos componentes e pela análise visual. A Figura 5.6 mostra o detalhe dos itens retirados que são fundamentais para a equipe de especialistas colaborarem com a montagem das hipóteses.



Figura 5.6: Itens do conjunto da roda vertical (Arquivo Técnico, 2019).

5.5 ANÁLISE DAS CAUSAS RAÍZES PELO MÉTODO DOS PORQUÊS

Os resultados obtidos com os levantamentos anteriores, serão estruturados em hipóteses para analisar as possíveis causas. As informações já levantadas irão ser avaliadas em conjunto com o time de especialistas e em conjunto, elaborar e discutir as hipóteses com base em dados históricos e especificações técnicas. A construção de toda metodologia para coleta de dados será baseada na árvore dos porquês, conforme, sendo que esta possui uma lista de elementos distintos que especificam cada tipo de evento Figura 5.7.

	Operador Lógico "E": Ambos ou todos os eventos diretamente abaixo devem acontecer ao mesmo tempo para que o evento precedente aconteça.		Retângulo sólido: indicando uma falha, uma observação ou uma Causa Intermediária (comprovada e verificada).
	Elemento "OU": Um evento diretamente abaixo deve acontecer para que o evento precedente aconteça.		Hipótese (possível causa; ainda não explicado ou não verificado) Muda para um retângulo sólido quando é explicado ou verificado.
	Elemento "OU" e "E": Todos os eventos diretamente abaixo, podem acontecer, mas, pelo menos um deve acontecer para que o evento precedente aconteça.		Tem sido verificado, ou provado, que não é a causa do evento que está acima.
	Usado para dar continuação à Árvore em outra página ou papel.		Causa raiz ou Fator Chave

Figura 5.7: Elementos da árvore dos porquês (Adaptado de Downing, 2004).

5.5.1 ELABORAÇÃO DA ÁRVORE DOS PORQUÊS

As informações em obtidas em conjunto com o time de especialistas levaram ao levantamento de algumas hipóteses para o evento da quebra da roda vertical do carro posicionador. A Figura 5.8 as hipóteses preliminares para o acontecimento do evento, sendo que estas podem ser aceitas ou descartadas.

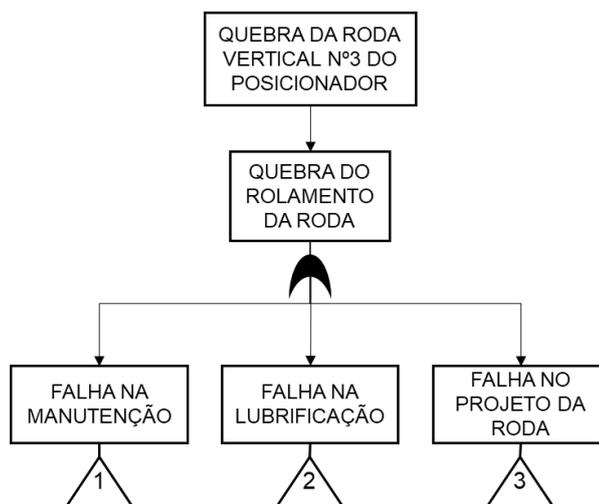


Figura 5.8: Hipóteses para ocorrência do evento.

As possíveis hipóteses levantadas foram: falha na lubrificação do rolamento da roda e falha na manutenção. Cada retângulo, com linhas tracejadas significam hipóteses ainda não explicadas, ou seja, serão contestadas com o andamento da investigação. O seguimento da investigação de cada hipótese será feito separadamente.

5.5.1.1 FALHA NA MANUTENÇÃO

As causas para esta falha podem ser muito abrangentes, portanto, será necessário derivar em outras hipóteses. A análise falha na manutenção seguirá por uma linha de falta de troca do componente, falta de plano de troca ou falha na execução para trocar do mesmo. A Figura 5.9 mostra as novas hipóteses geradas ligadas à hipótese central.

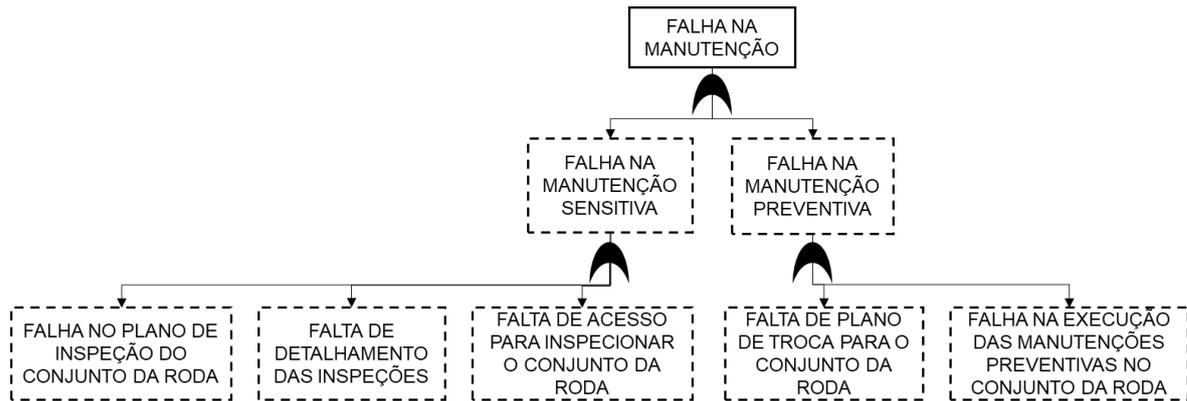


Figura 5.9: Hipóteses para ocorrência do evento.

FALHA NA MANUTENÇÃO SENSITIVA

Os critérios avaliados para confirmar a falha são relacionados à falha no processo de inspeção, falta de acesso para inspecionar o conjunto da roda ou falha no plano de inspeção do conjunto da roda. Os dados coletados serão fornecidos pela equipe de investigação, histórico de intervenções e por dados obtidos em campo.

- **Falha no plano de inspeção do conjunto da roda:** Possível desvio em alguma descrição do plano de inspeção ou falta deste em algum item do conjunto da roda. A inspeção sensitiva é totalmente programada, sendo que a do componente em questão ocorre semanalmente e tem seus detalhes mostrados na Figura 5.10.

ITENS A INSPECIONAR	DETALHAMENTO
INSP POS SIST MOVIMENTA CABO AÇO AVANÇO	INSP POS CARRO RODA VERTICAL INSP POS CARRO RODA VERTICAL Verificar o desgaste das rodas; Verificar a fixação das rodas - se existe deslocamento axial ao eixo (folga) ou torção; Observar se as rodas estão lubrificadas conforme necessidade; Verificar se há vazamento excessivo pelos retentores das rodas do carro empurrador - inspecionar retentores e verificar com equipe de lubrificação a frequência e quantidade de graxa.
INSP POS SIST MOVIMENTA CABO AÇO RETORNO	
INSP POS SIST MOVIMENTAÇÃO ROLOS APOIO	
INSP POS SIST TENSIONADOR HIDRÁULICO	
INSP POS ROLDANA HORIZONTAL	
INSP POS ROLDANA VERTICAL	
INSP POS CARRO ESTRUTURA	
INSP POS CARRO RODA HORIZONTAL	
INSP POS CARRO RODA VERTICAL	
INSP POS TRILHOS DO CARRO	
INSP POS BATENTE/AMORTECEDORES FIM CURSO	
INSP POS BRAÇO PRINCIPAL ESTRUTURA	
INSP POS BRAÇO PRINCIPAL CILINDRO	
INSP POS BRAÇO AUXILIAR ESTRUTURA	
INSP POS BRAÇO AUXILIAR CILINDRO	

Figura 5.10: Passo a passo do plano de inspeção mecânica da roda vertical (Arquivo Técnico, 2019).

A descrição indica o que deve ser feito e em qual componente deve ser feito. O retorno do que foi achado em campo é fornecido por cada inspetor, que anexa numa ordem de serviço o detalhamento da inspeção realizada. As atividades listadas no plano são abrangentes para

apontar um possível defeito no componente, portanto, não há falha no detalhamento do plano de inspeção.

- **Falta de detalhamento nas inspeções:** Falta de retorno plausível para identificar um defeito no componente ou informações equivocadas a respeito do componente abrangente no plano de inspeção. As inspeções na roda vertical do carro posicionador são programadas semanalmente e tem seus detalhes mostrados na Figura 5.11.

***** INSP POS ROLDANA HORIZONTAL

-Foi verificado estado visual das roldanas apresenta ruido sensitivamente. Não ha presença de sujeiras que provocam aceleramento do desgaste do cabo.

-Roldana esta sendo lubrificada, pois sensitivamente modo visual ha presença de lubrificação na roldana horizontal.

***** Verificar ruidos e vibrações, estado das vedações

-Foi verificado que roldanas nao apresenta vibração ,não existe movimentos oscilatorio ou movimentos axial na roldanas, roldana horizontal estao niveladas,as proteções das roldanas ficam ao longo do caminho de rolamento do carro posicionador,as roldanas estao alinhadas entre si e nao apresentam desgaste ou deformação.

***** INSP POS ROLDANA VERTICAL

-Foi verificado estado visual das roldanas esta normal, não ha presença de sujeiras que provocam aceleramento do desgaste do cabo.

-Roldana esta sendo lubrificada modo visual pois ha presença de lubrificação na roldana horizontal.

-Foi verificado que roldanas nao apresenta vibração,não existe movimentos oscilatorio ou movimentos axial na roldanas, roldana horizontal estao niveladas.as proteções das roldanas ficam ao longo do caminho de rolamento do carro posicionador,as roldanas estao alinhadas entre si e nao apresentam desgaste ou deformação.

Figura 5.11: Descrição da inspeção mecânica da roda vertical (Arquivo Técnico, 2019).

O retorno da inspeção mecânica não relata nada relacionado à roda vertical, indicando uma falha no processo de manutenção sensitiva, uma vez que é necessário ter informações sobre todos os itens listados no plano. A equipe de investigação e a própria manutenção não poderá saber o desenvolvimento de algum tipo de defeito no componente para indicação de troca ou alguma medida se não houver nada registrado no retorno da ordem de manutenção. A Figura 5.12 apresenta a lista de atividades referentes ao plano de inspeção mecânica no carro posicionador.

Txt.breve operação	TD
INSP MEC SEMANAL POS VV-311K-06	
INSP POS ACIONAMENTO MOTOR	
INSP POS ACIONAMENTO ACOPL ELÁSTICO	
INSP POS ACIONAMENTO REDUTOR	
INSP POS ACIONAMENTO FREIO ELETROMAG	
INSP POS SIST MOVIMENTAÇÃO DROMO	
INSP POS SIST MOVIMENTA CABO AÇO AVANÇO	
INSP POS SIST MOVIMENTA CABO AÇO RETORNO	
INSP POS SIST MOVIMENTAÇÃO ROLOS APOIO	
INSP POS SIST TENSIONADOR HIDRÁULICO	
INSP POS ROLDANA HORIZONTAL	
INSP POS ROLDANA VERTICAL	
INSP POS BRAÇO PRINCIPAL ESTRUTURA	
INSP POS BRAÇO PRINCIPAL CILINDRO	
INSP POS BRAÇO AUXILIAR ESTRUTURA	

Figura 5.12: Descrição da inspeção hidráulica da roda vertical (Arquivo Técnico, 2019).

O detalhamento do plano mostra que não há nenhum item relativo à inspeção das rodas verticais, tornando o processo falho. A manutenção sensível apresentou uma falha para equipe de investigação, uma vez que há uma hipótese derivada desta que foi confirmada.

- **Falta de acesso para inspecionar o conjunto da roda:** Dificuldade para conseguir realizar inspeção em algum item do conjunto devido algum risco para o executante ou limitações de espaço no local de instalação do componente. A Figura 5.13 mostra o local onde trabalha o conjunto da roda vertical.

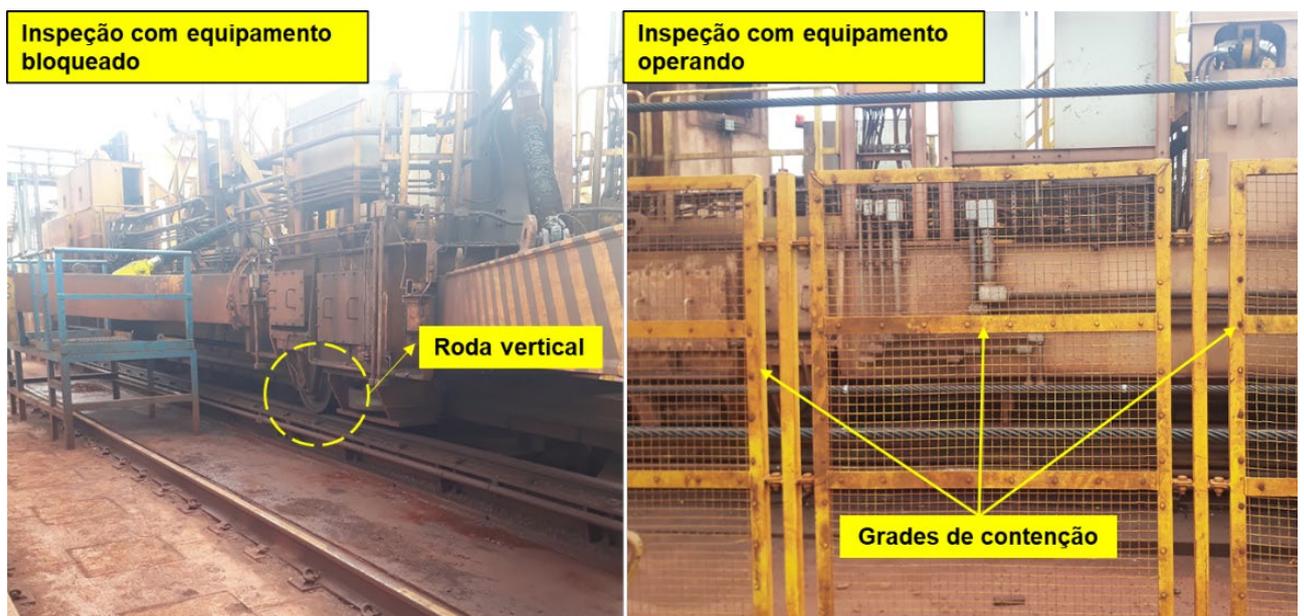


Figura 5.13: Descrição da inspeção mecânica da roda vertical (Arquivo Técnico, 2019).

A Figura 5.13 consegue detalhar que há restrição para inspeção mais detalhada com o equipamento operando, visto que há um risco de prensamento ou atropelamento de pessoas. A inspeção em operação, limita-se a verificar possíveis ruídos, sendo que a verificação dos itens do plano de inspeção são feitos com o equipamento parado e bloqueado, prezando a segurança.

FALHA NA MANUTENÇÃO PREVENTIVA

Os desvios para gerar alguma falha na manutenção preventiva são referentes à falha na execução das manutenções preventivas ou falta de plano de troca para as rodas verticais. As hipóteses derivadas podem confirmar a hipótese central caso uma destas for verdadeira.

- **Falta de plano de troca para o conjunto da roda:** Avaliação da falha por falta de uma estratégia de troca para o componente, pois não se trata de um item de troca constante. A Figura 5.14 demonstra os itens com estratégia de troca para o virador de vagões.

ITENS COM PLANO DE TROCA	
Troca Cabo Aço Avanço - VV-311K-06	Troc Roda Mov, Trilho_Rolo Apo AL-311K-11
Troca Cabo Aço Retorno - VV-311K-06	Troca Eixo Motriz AL-311K-11
Troca Freio Posicionador - VV-311K-06	Troca Corrente e Sapata AL-311K-12
Troca Cremalheira Ent Giro - VV-311K-06	Troca Rolos de Retorno AL-311K-12
Troca Cremalheira SaF Giro - VV-311K-06	Troc Roda Mov, Trilho_Rolo Apo AL-311K-12
Troca Rodas e buchas - grampo 1	Troca Eixo Motriz AL-311K-12
Troca Rodas e buchas - grampo 3	Troca Freio Giro SaF VV-311K-06
Troca Rodas e buchas - grampo 5	MP TROCA CILINDRO GRAMPO 05 VV06
Troca Rodas e buchas - grampo 7	MP TROCA CILINDRO GRAMPO 02 VV06
Troca Rodas e buchas - grampo 2	MP TROCA CILINDRO GRAMPO 03 VV06
Troca Rodas e buchas - grampo 4	MP TROCA CILINDRO GRAMPO 04 VV06
Troca Rodas e buchas - grampo 6	MP TROCA CILINDRO GRAMPO 01 VV06
Troca Rodas e buchas - grampo 8	MP TROCA CILINDRO GRAMPO 06 VV06
TROC VID UTIL RODAS DO BALANCIM 1	MP TROCA CILINDRO GRAMPO 07 VV06
TROC VID UTIL RODAS DO BALANCIM 3	MP TROCA CILINDRO GRAMPO 08 VV06
Troca Trilho de Giro Ent- VV-311K-05	MP TROCA CILINDRO BRAÇO PRINCIPAL VV06
Troca Trilho de Giro SaF- VV-311K-05	MP TROCA CILINDRO BRAÇO AUXILIAR VV06
Troca Freio Giro Ent - VV-311K-06	MP TROCA CILINDRO TRAVA ENTRADA VV06
Troca Corrente e Sapata AL-311K-11	MP TROCA CILINDRO TRAVA SAÍDA VV06
Troca Rolos de Retorno AL-311K-11	TROC VID UTIL RODAS DO BALANCIM 2
	TROC VID UTIL RODAS DO BALANCIM 4

Figura 5.14: Descrição da inspeção mecânica da roda vertical (Arquivo Técnico, 2019).

Os itens para de troca mostram que não há nenhuma estratégia voltada para as rodas verticais, restando a troca, na maioria das vezes, em manutenção corretiva, trazendo grande perda na operação. A hipótese é confirmada, a partir do momento em que não está mapeada na manutenção preventiva a troca do componente em análise.

- **Falha na execução das manutenções preventivas no conjunto da roda:** Análise de possíveis desvios referentes a realização das atividades programadas da manutenção preventiva. O caminho para investigação será para consulta das execuções das atividades ou por falta de escopo necessário para deixar o componente em condições de operação de modo a evitar a falha. A Figura 5.15 demonstra a lista de atividades que a manutenção preventiva do carro posicionador engloba, podendo observar se há ou não algum tipo de intervenção para o item em análise.

ITENS PARA MANUTENÇÃO PREVENTIVA	
MP POS ACIONAMENTO MOTOR	
MP POS ACIONAMENTO ACOPLAMENTO ELÁSTICO	
MP POS ACIONAMENTO REDUTOR	
MP POS ACIONAMENTO FREIO ELETROMAG	
MP POS SIST MOVIMENTAÇÃO MANCAIS	
MP POS RODA VERTICAL	MP POS RODA VERTICAL VERIFICAR FIXACOES DA RODA E MANCAIS, REAPERTAR SE NECESSARIO
MP POS RODA HORIZONTAL (EQUALIZADORA)	
MP POS SIST BRAÇO PRINCIPAL	
MP POS SIST BRAÇO AUXILIAR	
RETORNO DA EXECUÇÃO	

Figura 5.15: Lista de locais para executar preventiva manutenção do carro posicionador (Arquivo Técnico, 2019).

A Figura 5.15 indica que há programação para atividades na roda vertical, porém o detalhamento da atividade se limita apenas a verificação de fixações, sendo ineficiente para controle da vida útil do componente. O resumo da atividade analisada indica falha no detalhamento do plano de execução para a roda vertical. A outra vertente fica por conta em alguma possível falha pela equipe de execução das manutenções preventivas que será avaliada pelos componente que sofrem intervenção da mesma.

A análise leva a uma falha no rolamento da roda e presença de contaminantes pela falta de lubrificação devido à obstrução do canal. As hipóteses levantadas para falha na manutenção preventiva foram todas aceitas, portanto serão tratadas após a averiguação de todas as hipóteses criadas.

5.5.1.2 FALHA NA LUBRIFICAÇÃO

As causas que possam estar ligadas para levar a um colapso por falhas na lubrificação vão ser detalhadas em hipóteses que, caso alguma seja confirmada, será validada como aceita. As possíveis hipóteses estão listas na Figura 5.16 abaixo.

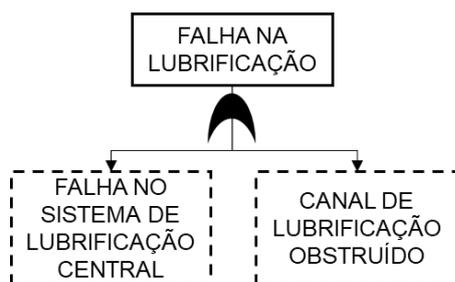


Figura 5.16: Hipótese para ocorrência de falha no projeto.

- **Falha no sistema de lubrificação centralizado:** Avaliação da falha por falta de uma estratégia de troca para o componente, pois não se trata de um item de troca constante. A demonstra os itens com estratégia de troca para o virador de vagões. A Figura 5.17 mostra a descrição do retorno da última inspeção feita no sistema antes do evento, evidenciando a perfeita funcionalidade do sistema de lubrificação centralizado.

<p>INSP LUB CENTR POSICIONADOR INSPEÇÃO NO SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO CENTRALIZADA - INSP LUB CENTR GABINETE Existência de sujeira e ou materiais estranhos ao sistema dentro do gabinete. O gabinete não apresenta avarias ou infiltrações. A porta, dobradiças ou fechadura do gabinete estão sem avarias. O gabinete está fixado. Sem acúmulo de material em cima do gabinete.</p> <p>INSP LUB CENTR BOMBA Existência de peças soltas (porcas, parafusos e conexões). Boa fixação do sistema. Não há vazamento de óleo/ar do sistema. Nível de graxa intermediário. A bomba não apresenta alguma anormalidade, quanto a ruídos, vibrações. Sem a ocorrência de baixa pressão no sistema (verificar com sist. funcionando) Sem a ocorrência de alta pressão no sistema (verificar com sist. funcionando) Obs: Em caso de suspeita de mau funcionamento da bomba, deve-se solicitar a realização de teste isolado da bomba.</p> <p>INSP LUB CENTR FILTRO DE GRAXA Sem vazamentos no filtro e conexões.</p> <p>INSP LUB CENTR LINHAS E TUBULAÇÕES Boa integridade e necessidade de limpeza dos distribuidores. Boa fixação das tubulações e distribuidores.</p>	<p>INSP LUB CENTR RESERVATÓRIO Sem trincas, avarias, mau estado de conservação e com sujeira externa do reservatório. Os bicos de alimentação não estão avariados ou sujos. A tampa do reservatório está fechada (presilhas soltas). Sem a existência de vazamentos. Reservatório está fixado. Reservatório com nível intermediário de graxa. OBS: Em caso de necessidade, o reservatório deve ser abastecido somente por meio do bico de alimentação, nunca abrindo a tampa superior.</p> <p>INSPECIONAR DISTRIBUIDORES DO SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO CENTRALIZADA Distribuidor necessita de limpeza Sem a ocorrência de vazamentos em conexões, juntas, seções. Condição de conservação boa, dos elementos de fixação (parafusos de fixação, prisioneiros) Sem danos e quebra dos distribuidores Funcionamento normal dos distribuidores (através do contador de ciclo) Funcionamento normal do sistema (através da inversão de linha)</p>
--	---

Figura 5.17: Retorno da inspeção do sistema de lubrificação (Arquivo Técnico, 2019).

- **Canal de lubrificação obstruído:** Observação dos componentes internos retirados na desmontagem do conjunto da roda vertical, atentando para possíveis sinais de aumento de temperatura ou desgaste por falta de lubrificante. A Figura 5.18 detalha algumas partes obtidas e averiguadas durante a investigação.



Figura 5.18: Partes internas do conjunto da roda vertical retiradas para análise (Arquivo Técnico, 2019).

A Figura 5.18 é referente aos rolos dos rolamentos e da tampa externa do mancal da roda. A análise da equipe de investigação encontrou uma obstrução na passagem de lubrificante para roda, o que é uma falha no processo de manutenção, uma vez que não há verificação de saída de lubrificante nos canais de lubrificação. Os rolos apresentam desgaste excessivo que podem ser característico de contaminantes no lubrificante conforme Figura 5.19.

Pitting

Ocorrência	Possíveis causas	Ações corretivas
A superfície dos elementos rolantes ou a pista de rolagem apresenta uma coloração fosca.	<ul style="list-style-type: none"> Contaminação por impurezas. Rolamento ou lubrificante expostos ao meio-ambiente. Falhas na lubrificação. 	<ul style="list-style-type: none"> Melhorar o sistema de vedação. Filtrar o óleo lubrificante. Utilizar o lubrificante correto.



Foto 7-9-1

Componente: Anel externo de rolamento axial.

Sintoma: Pitting na superfície da pista.

Causa: Oxidação.



Foto 7-9-2

Componente: Esfera da foto 7-9-1.

Sintoma: Pitting na superfície dos elementos rolantes.

Figura 5.19: Modo de falha por pitting em rolamentos (NSK BRASIL LTDA, 2019).

5.5.1.3 FALHA NO PROJETO DA RODA

As possíveis pendências do projeto da roda, como material subdimensionado, componentes com aplicação errada, podem ser comprovados com o desenho detalhado do projeto conforme. A Figura 5.20 ilustra a árvore dos porquês relacionado à falha em questão com as hipóteses geradas pela equipe da investigação.

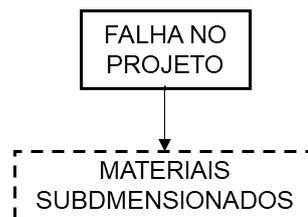


Figura 5.20: Hipótese para ocorrência de falha no projeto.

- **Materiais subdimensionados:** As teorias para uma possível falha no projeto são nulas, uma vez que o mesmo tipo de roda é aplicado em outros viradores de vagões, sendo assim, necessário uma falha em série de todas as rodas verticais para poder seguir por esta vertente da investigação. A Figura 5.21 apresenta o projeto detalhado do conjunto da roda vertical com a lista de componentes utilizados.

ITEM	QTDE.	DENOMINAÇÃO	N° MATERIAL	N° DWG METSO	N° DWG VALE	PESO(kg)
		RODA VERTICAL – CONJUNTO				533,5
1	1	SUPORTE DA RODA VERTICAL	ZX11158690	10116890-501	DF-311K-M-05875-M-16890	196,5
2	2	TRAVA DO EIXO	ZX11158775	10116890-001	DF-311K-M-05875-M-16890	4,8
3	1	ESPAÇADOR	ZX11158776	10116890-002	DF-311K-M-05875-M-16890	2,9
4	2	ANEL DE RETENÇÃO	ZX11158777	10116890-003	DF-311K-M-05875-M-16890	7,9
5	1	EIXO DA RODA VERTICAL 18"	ZX11155721	10116889-003	DF-311K-M-05875-M-16889	65,5
6	1	RODA VERTICAL 18"	ZX11155722	10116889-004	DF-311K-M-05875-M-16889	167,9
7	2	PACOTE DE CALÇOS	ZX11158773	10116890-502	DF-311K-M-05875-M-16890	36,9
8	1	PACOTE DE CALÇOS	ZX11158774	10116890-503	DF-311K-M-05875-M-16890	0,4
101	1	ARAME AÇO INOX Ø2,0 mm x 300	00904502115S			0
201	1	ROLAMENTO AP 6.1/2x12 CLASSE F	ZX11158968	40-102046-02700	DF-ET-311K-M-05875-M-02700	47,9
301	20	PAR. SEXT. Ø1/2"UNCx1.1/4" – A 325	MM0280527			1,2
302	20	ARRUELA LISA Ø1/2" – ASTM F436	00921318012S			0,3
303	4	PAR. SEXT. Ø7/8"UNCx2" – A 325	00920103062S			1,1
304	4	ARRUELA LISA Ø7/8" – ASTM F436	00921318022S			0,2
305	1	GRAXEIRA 1/4" NPT	1003801230			0

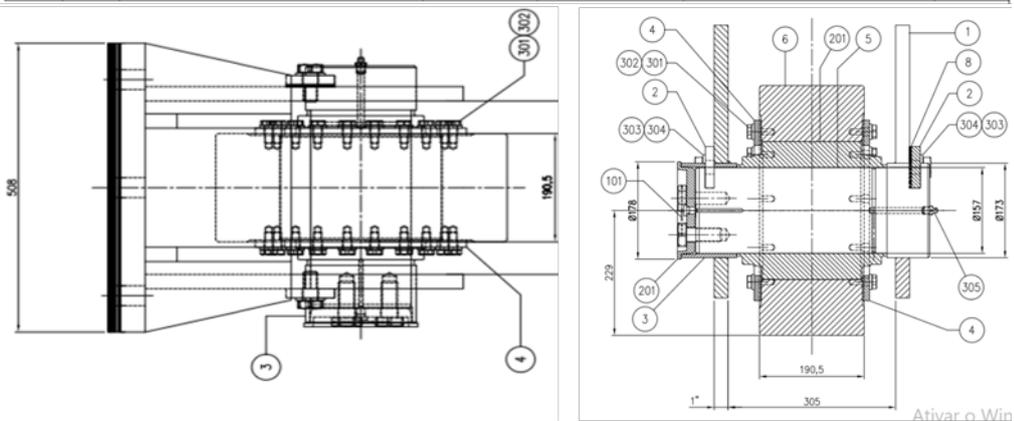


Figura 5.21: Projeto detalhado da roda vertical (Arquivo Técnico, 2019).

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados dados referentes à metodologia RCA abordada no capítulo anterior. A última etapa do processo da equipe de investigação é relacionada com a criação de ações corretivas para as causas da falha.

6.1 RESULTADO DA ANÁLISE DAS HIPÓTESES LEVANTADAS

A análise de todas as hipóteses organizadas na árvore dos porquês serviu para estruturar e direcionar melhor a investigação. Os dados foram coletados para averiguar todas as causas possíveis para acontecer o evento e a figura ilustra o resultado final das hipóteses, já contestadas, do caso, conforme Figura 6.1.

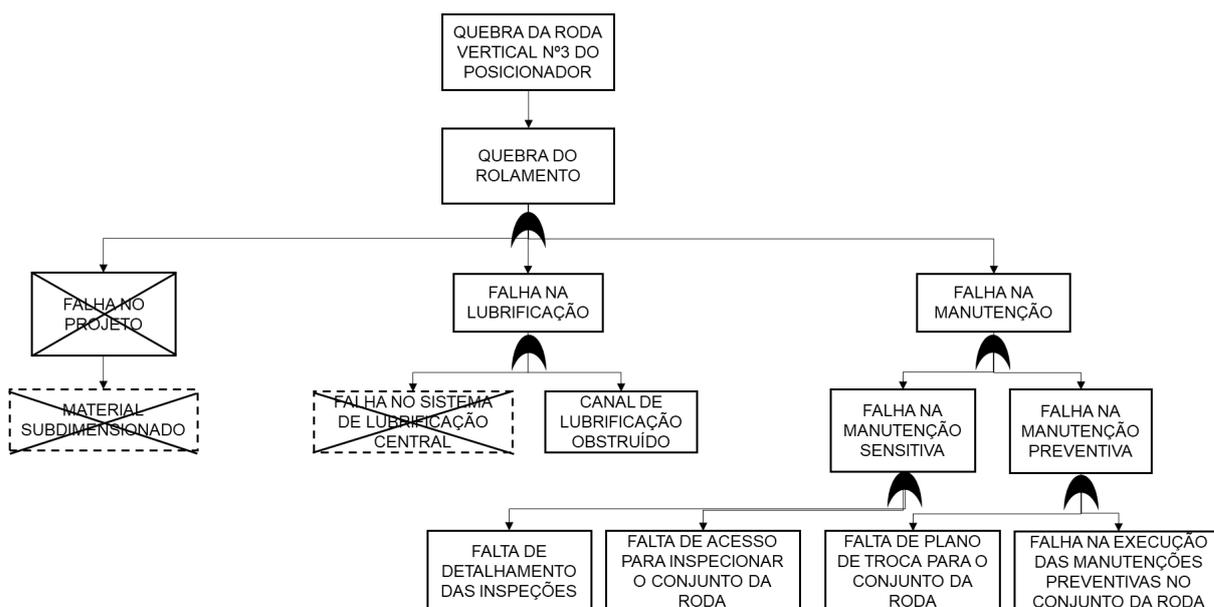


Figura 6.1: Hipóteses avaliadas da árvore do porquês para quebra da roda vertical do carro posicionador.

As causas encontradas servirão para encontrar as soluções mais viáveis e efetivas para evitar novas ocorrências e melhorar o processo. As ações serão avaliadas no capítulo de Resultados, onde serão discutidos todos os passos para criação e implementação destas.

6.2 CAUSAS RAÍZES PARA OCORRÊNCIA DO EVENTO

A metodologia RCA utilizada para resolução do problema, revelou várias fragilidades no processo. As principais causas encontradas foram relacionadas à manutenção do equipamento, como:

- Falta de acesso para inspecionar o conjunto da roda vertical;
- Retorno da inspeção programada sem informações sobre o conjunto roda;
- Descrição do plano de inspeção incompleta;
- Canal de lubrificação obstruído;
- Descrição do plano de preventiva incompleta;
- Falta de plano de troca para o conjunto da roda vertical;

É possível observar um grande número de falhas referentes ao detalhamento de atividade e programação de atividades preventivas. As fragilidades encontradas no processo necessitam ser tratadas por meio de ações efetivas, bem como estabelecer melhorias para possíveis pontos que são ou podem se tornar um problema para a operação.

6.3 AÇÕES CORRETIVAS ELABORADAS PARA AS CAUSAS ENCONTRADAS

As etapas finais da metodologia RCA aplicado à falha selecionada é a criação de ações para correção do problema. A Tabela 6.1 expressa as ações tomadas pela equipe de investigação com base nas causas encontradas. As equipes envolvidas ficam encarregadas de aplicar e providenciar os recursos necessários para realizar as ações.

Tabela 6.1: Causas x ações levantadas pela equipe de investigação.

CAUSAS PARA OCORRÊNCIA DO PROBLEMA	AÇÕES RECOMENDADAS PELA EQUIPE DE INVESTIGAÇÃO
Falta de acesso para inspecionar o conjunto da roda vertical	Criar um acesso para inspecionar o conjunto da roda vertical durante operação;
Retorno da inspeção programada sem informações sobre o conjunto roda;	Revisar o plano de inspeção para contemplar todos itens e descrições do conjunto a ser inspecionado;
Descrição do plano de inspeção incompleta	
Canal de lubrificação obstruído	
Descrição do plano de preventiva incompleta	Revisar o plano de manutenção preventiva para detalhar de forma abrangente e simplificada o passo a passo da atividade de modo a tratar e prevenir falhas e garantir o funcionamento do componente;
Falta de plano de troca para o conjunto da roda vertical	Fazer estudo de tempo de troca do rolamento da roda vertical;

6.3.1 CRIAR ACESSO PARA INSPECIONAR O CONJUNTO DA RODA VERTICAL DURANTE OPERAÇÃO

A equipe de investigação não poderá intervir neste tipo de ação, pois intervirá em regras de segurança para operação. O acesso para a inspeção do conjunto da roda é feito somente com o equipamento bloqueado para alguma intervenção ou em manutenção, sendo que durante a operação é feito apenas o acompanhamento sensitivo do conjunto. A Figura 6.2 detalha a área de acesso para inspeção do item com o equipamento operando, mostrando que não há como ultrapassar a barreira física de contenção.

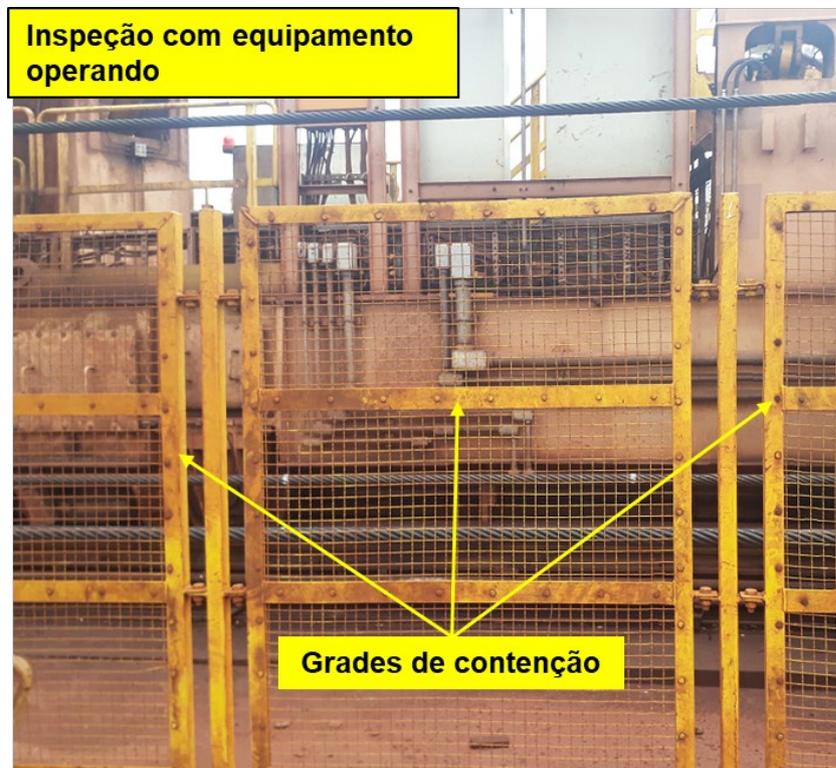


Figura 6.2: Barreira física para evitar acesso de pessoas com o virador de vagões em operação (Arquivo Técnico, 2019).

6.3.2 REVISAR O PLANO DE INSPEÇÃO PARA CONTEMPLAR TODOS ITENS E DESCRIÇÕES DO CONJUNTO A SER INSPECIONADO

As lacunas de informações e erros cometidos no processo de manutenção foram provocados, na sua maioria, por falta de itens e detalhamento para o executante. A ausência de um item no plano, faz com que não haja informações sobre o componente que deve ser inspecionado e quais os parâmetros devem ser vistos. A Figura 6.3 mostra a lista de itens do

plano antes e após a revisão. A revisão trouxe a inserção da aba para inspeção nas rodas verticais a lista de atividades a serem feitas.

Txt.breve operação	TD
INSP MEC SEMANAL POS VV-311K-06	
INSP POS ACIONAMENTO MOTOR	
INSP POS ACIONAMENTO ACOPL ELÁSTICO	
INSP POS ACIONAMENTO REDUTOR	
INSP POS ACIONAMENTO FREIO ELETROMAG	
INSP POS SIST MOVIMENTAÇÃO DROMO	
INSP POS SIST MOVIMENTA CABO AÇO AVANÇO	
INSP POS SIST MOVIMENTA CABO AÇO RETORNO	
INSP POS SIST MOVIMENTAÇÃO ROLOS APOIO	
INSP POS SIST TENSIONADOR HIDRÁULICO	
INSP POS ROLDANA HORIZONTAL	
INSP POS ROLDANA VERTICAL	
INSP POS RODAS VERTICAIS	
INSP POS BRAÇO PRINCIPAL ESTRUTURA	
INSP POS BRAÇO PRINCIPAL CILINDRO	
INSP POS BRAÇO AUXILIAR ESTRUTURA	
INSP POS BRAÇO AUXILIAR CILINDRO	
INSP TESOURA ENTRADA CILINDROS	
INSP TESOURA ENTRADA MANCAIS ARTICULAÇÃO	
INSP TESOURA SAÍDA CILINDROS	
INSP TESOURA SAÍDA MANCAIS ARTICULAÇÃO	

Figura 6.3: Plano de inspeção mecânica revisado (Arquivo Técnico, 2019).

O canal de lubrificação obstruído foi tratado pela equipe de manutenção como um ponto de tratamento na manutenção preventiva, onde o detalhamento do plano foi revisado. A revisão contemplou um passo para atividade da equipe de manutenção hidráulica, onde consta a verificação de obstrução dos canais do carro posicionador conforme Figura 6.4.

Txt.breve operação	TD
MP LUBRIFICAÇÕES CENTRALIZADAS VV06	
MP CENTRALIZADA DO POSICIONADOR	
MP CENTRALIZADA DO GIRO	
MP CENTRALIZADA DOS ALIMENTADORES	
RETORNO DA EXECUÇÃO	

DISTRIBUIDORES

Efetuar a limpeza dos distribuidores.

Ligar bomba em regime contínuo.
Desligar o sistema no instante em que ocorrer a inversão.
Marcar a posição das hastes dos distribuidores.
Ligar o sistema, e desligar no instante em que ocorrer a próxima inversão.
Checar a posição das hastes dos distribuidores.
As hastes indicadoras dos distribuidoras devem mudar de posição a cada inversão.

Com auxílio de uma bomba manual, detectar e sanar possíveis efeitos em distribuidores, além de vazamento ou danos nas tubulações e conexões.
Realizar a substituição caso seja verificado o travamento.

Verificar se não existe bloqueio de passagem no ponto de lubrificação.
Caso seja identificado o travamento do ponto, desconecte a linha de lubrificação e desobstrua utilizando a bomba manual.

Figura 6.4: Plano de manutenção hidráulica revisado no carro posicionador (Arquivo Técnico, 2019).

6.3.3 FAZER ESTUDO DE TEMPO DE TROCA DO ROLAMENTO DA RODA VERTICAL

A manutenção preventiva do virador de vagões não contemplava a troca do rolamento da roda vertical, ficando por conta apenas das inspeções o papel de monitoramento para intervenções, ou em manutenções corretivas. O estudo iniciou-se com o tempo, em horas, de funcionamento do carro posicionador. Inicialmente foi levantado o número de vagões máximo que foram descarregados no ano de 2018 pelos viradores de vagões número 7 e 8, que foram os mais solicitados. O cálculo de vagões descarregados para o carro posicionador cai pela metade, visto que este movimenta um par de vagões.

VV-07 ESTATÍSTICA QT VAGÕES 2018					
	25%	50%	75%	100%	
MÉDIA	1 QUARTIL	2 QUARTIL	3 QUARTIL	4 QUARTIL	MÁXIMO
372,06	319,58	385,50	440,00	604	604
VV-08 ESTATÍSTICA QT VAGÕES 2018 AVANÇO					
	25%	50%	75%	100%	
MÉDIA	1 QUARTIL	2 QUARTIL	3 QUARTIL	4 QUARTIL	MÁXIMO
357,56	300,50	374,00	434,50	612	612

Figura 6.5: Plano de inspeção mecânica não revisado no carro posicionador – (Arquivo Técnico, 2019)

O estudo segue com a estipulação do tempo para realizar um ciclo completo de descarregamento, ou seja, o tempo que o virador de vagões leva para posicionar o lote, descarregá-lo e iniciar o próximo ciclo para outra dupla de vagões. O maior tempo é para posicionar o par de vagões, visto que é necessário ter um controle de velocidade no final desta etapa para não haver trancos. As etapas de girar, levantar braço principal e retornar o braço posicionador são feitas em paralelo, não necessitando de um tempo tão grande. A Figura 6.6 mostra o ciclo de descarga fornecido pelo fabricante.

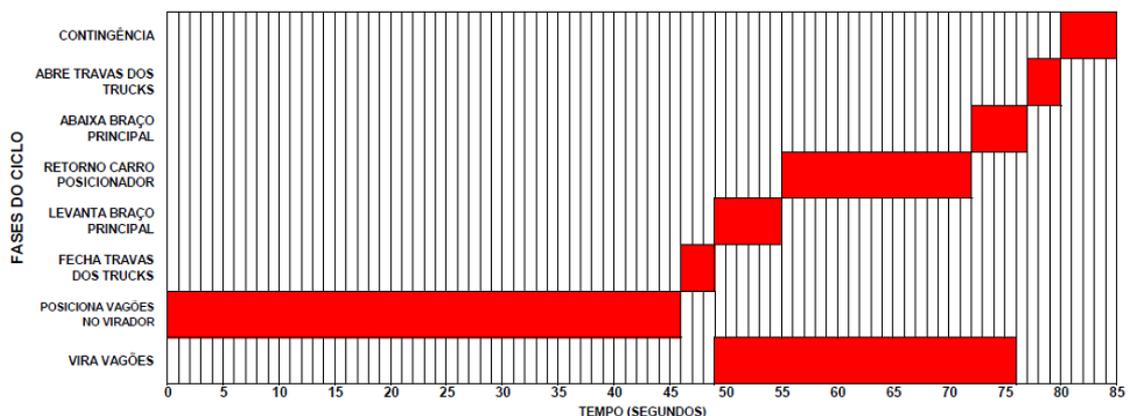


Figura 6.6: Ciclo de descarga segundo o fabricante do equipamento (Arquivo Técnico, 2019).

As informações para o estudo não podem ser baseadas no tempo padrão do fabricante, visto que há uma discrepância em relação aos tempos no local de operação. As diferenças são em consequência de perdas por desgastes de componentes que ocorrem com o decorrer dos ciclos de funcionamento do equipamento. O ciclo adotado para o cálculo está disposto na Figura 6.7.

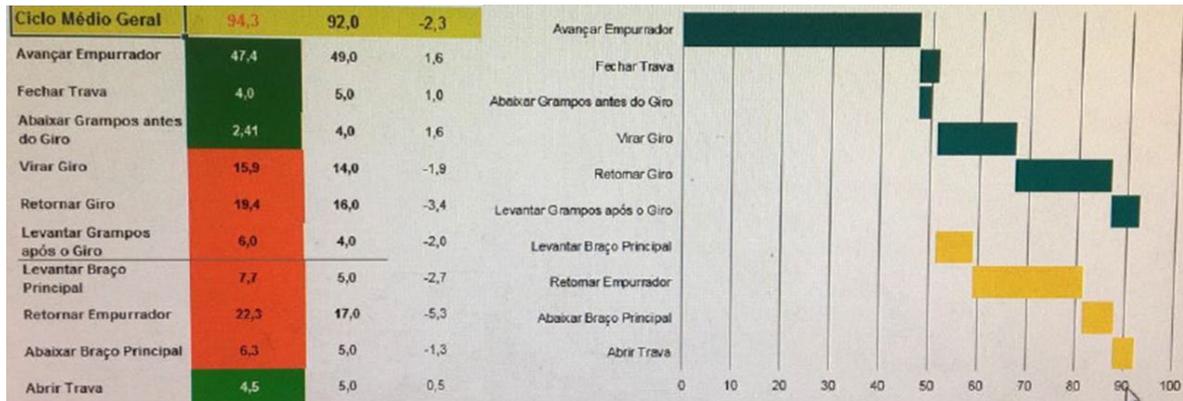


Figura 6.7: Ciclo de descarga utilizado em operação (Arquivo Técnico, 2019).

O tempo de vida do rolamento foi calculado em software segundo parâmetros fornecidos pelo fabricante do rolamento, com valor de 8.350 horas conforme Figura 6.8.

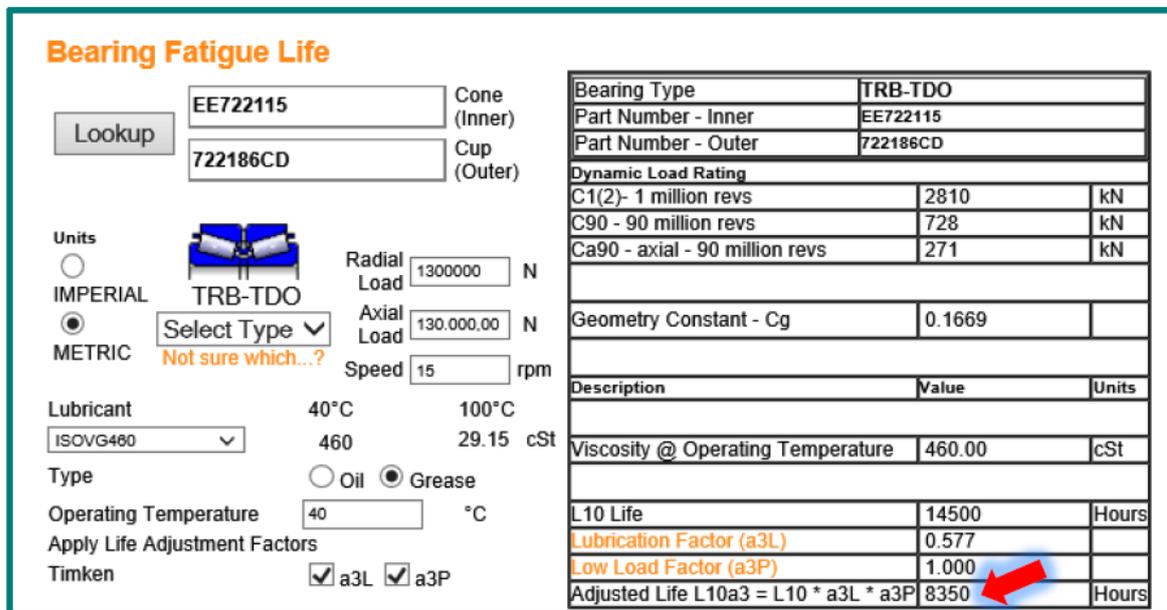


Figura 6.8: Parâmetros para cálculo das horas de funcionamento do rolamento da roda (Arquivo Técnico, 2019).

A Figura 6.9 mostra o passo a passo para o cálculo da frequência de troca dos rolamentos do conjunto da roda levando em consideração o ciclo do virador de vagões, que detalha o tempo de funcionamento do carro posicionador.

- $$\text{Tempo de operação} = N. \text{ de vagões} * \text{Tempo total do posicionador}$$

$$\text{Tempo total do posicionador} = \text{Avanço} + \text{Retorno} = 49s + 17s = 66s$$

$$\text{Tempo de operação} = 447 * 66 = 29.502 \text{ s/dia} = 8,195 \text{ h/dia}$$
- $$\text{Frequência} = \frac{\text{Vida útil do rolamento}}{\text{Tempo de operação}} = \frac{8.350}{8,195} = 1.098,91 \text{ dias} = 152 \text{ semanas}$$

Figura 6.9: Cálculo da frequência de troca do rolamento da roda (Arquivo Técnico, 2019).

Os dados adquiridos com o estudo da vida útil do rolamento foram lançados no plano de manutenção preventiva do virador de vagão número nº06. Os dados da Tabela 6.2 mostra os planos de troca endereçados para o componente analisado, já com a frequência inserida. As próximas manutenções já virão com as atividades no rolamento da roda vertical na carteira de serviços do equipamento e não mais condicionalmente. A criação do plano conseguiu dar previsão para as manutenções e aumentar a confiabilidade para o sistema, visto que, a manutenção sensitiva passa a cumprir com papel de alerta para uma possível troca por um motivo extraordinário.

Tabela 6.2: Planos de troca da roda vertical por vida útil revisados (Arquivo Técnico, 2019).

Plano manut.	Texto item man.	Tipo de ordem			
			498741	MP LUBRIFICAÇÃO MOTORES ELÉTRICOS VV06	Preventiva
			498938	MP ACUMULADORES UH GRAMPOS VV06	Preventiva
492715	Troca Rodas e buchas - grampo 1	Preventiva	498944	MP TROCA FILTRO DE AR REDUTORES VV06	Preventiva
492716	Troca Rodas e buchas - grampo 3	Preventiva	498996	MP LUBRIFICAÇÃO TRAVA ENTRADA VV06	Preventiva
492717	Troca Rodas e buchas - grampo 5	Preventiva	650165	MP TROCA CILINDRO ESTICAMENTO VV06	Preventiva
492718	Troca Rodas e buchas - grampo 7	Preventiva	650166	MP TROCA RODA VERTICAL 01 PV VV06	Preventiva
492719	Troca Rodas e buchas - grampo 2	Preventiva	650167	MP TROCA RODA VERTICAL 02 PV VV06	Preventiva
492720	Troca Rodas e buchas - grampo 4	Preventiva	650168	MP TROCA RODA VERTICAL 03 PV VV06	Preventiva
492721	Troca Rodas e buchas - grampo 6	Preventiva	650169	TROCAR ROLDANA VERTICAL AVANCO VV06	Preventiva
492722	Troca Rodas e buchas - grampo 8	Preventiva	650170	TROCAR ROLDANA VERTICAL RETORNO VV06	Preventiva
492723	TROC VID UTIL RODAS DO BALANCIM 1	Preventiva	650171	TROCAR ROLDANA HORIZONTAL VV06	Preventiva
492724	TROC VID UTIL RODAS DO BALANCIM 2	Preventiva	650176	MP TROCA RODA HORIZONTAL 01 PV VV06	Preventiva
492725	TROC VID UTIL RODAS DO BALANCIM 3	Preventiva	650177	MP TROCA RODA HORIZONTAL 02 PV VV06	Preventiva
492726	TROC VID UTIL RODAS DO BALANCIM 4	Preventiva	650178	MP TROCA RODA HORIZONTAL 03 PV VV06	Preventiva
498735	MP LUBRIFICAÇÃO REDUTORES VV06	Preventiva	650179	MP TROCA RODA HORIZONTAL 04 PV VV06	Preventiva

A Tabela 6.3 mostra o histórico de intervenções no sistema relacionados com as rodas verticais do carro posicionador, exibindo a mudança da estratégia adotada em decorrência das ações tomadas pela equipe de investigação.

Tabela 6.3: Histórico de troca do conjunto da roda vertical do carro posicionador (Arquivo Técnico, 2019).

Tipo de ordem	Texto breve	Data de entrada
Condicional	DESMONTAR/MONTAR RODA VERTICAL VV05-06	18/09/2019
Condicional	LUBRIF ROLAMENTO DA RODA VERTIC 1(TROCA)	09/09/2019
Condicional	DESMONTAR/MONTAR ROLDANA VERTICAL Nº01	26/06/2019
Preventiva	MP TROCA RODA VERTICAL 01 PV VV06	26/05/2019
Preventiva	TROCAR ROLDANA VERTICAL RETORNO VV06	26/05/2019
Preventiva	TROCAR ROLDANA VERTICAL AVANÇO VV06	26/05/2019
Preventiva	MP TROCA RODA VERTICAL 02 PV VV06	26/05/2019
Preventiva	MP TROCA RODA VERTICAL 03 PV VV06	26/05/2019
Condicional	ROCAR OS ROLAMENTOS ROLDANAS VERT Nº02	08/05/2019
Condicional	TROCAR OS ROLAMENTOS ROLDANAS VERT Nº01	08/05/2019
Condicional	MONTAR O ROLAMENTO NA RODA VERTICAL	02/05/2019
Condicional	LUBRIF TODAS RODAS VERT-HORIZ CARRO POSI	01/02/2019
Condicional	TROCAR RODA VERTICAL Nº 3 - 533 Kg	04/01/2019
Condicional	TROCAR RODA VERTICAL Nº 2 - 533 Kg	04/01/2019
Condicional	TROCAR RODA VERTICAL Nº 1 - 533 Kg	04/01/2019
Condicional	INVERTER RODA VERTICAL DO VV06.	03/01/2019
Condicional	TROCAR ROLAMENTO DA RODA VERTICAL.	28/11/2018
Condicional	TROCAR ROLAMENTO DA RODA VERTICAL Nº2	28/09/2018
Condicional	INVERT POSIÇÃO MANG DEV ATRITO ESTRUT	19/09/2018
Condicional	LUBRIF RODAS VERTIC Nº 02/03 CARRO POSIC	18/09/2018
Condicional	LUBRIFICAR RODAS VERTICAIS 2 e 3 CARRO	10/07/2018
Condicional	DESMONTAR E MONTAR A RODA VERTICAL	09/05/2018
Condicional	TROCAR ROLDANA VERTICAL Nº01 DO CABO DE	26/04/2018
Condicional	TROCAR ROLAMENTOS DA ROLDANA VERTICAL Nº	26/04/2018
Condicional	RETR - INVERTER A POSIÇÃO DA RODA VERTIC	04/04/2018
Condicional	RETIRAR E MONTAR A RODA VERTICAL Nº02 -	04/04/2018

Ordens de manutenção com plano de troca criado

Ordens de manutenção no período de investigação

Ordens de manutenção antes do evento

7. CONCLUSÃO

Este trabalho possibilitou investigar e propor soluções para falhas num virador de vagões através da metodologia RCA. Com o estudo do tema foi possível perceber a necessidade da aplicação das ferramentas para análise de falhas em indústrias que necessitam de uma operação contínua e com tratamento do perfil de perdas do processo. Os tipos de metodologia foram percorridas durante o texto com abordagens baseadas em autores diferentes seguida da aplicação na problemática do trabalho.

Para chegar em resultados satisfatórios para a pesquisa, traçaram-se objetivos do buscando soluções e ações eficientes e satisfatórias para uma análise bem feita. As proposições para levantar histórico de falhas em 2018, selecionar uma falha crítica para estudo, aplicar método RCA para resolução da falha e criar ações de abrangência para controle e melhoria do processo foram alcançados discutindo os principais pontos para realização. Para tal foram levantados dados junto a um time de especialistas de diversas áreas, buscando maior interação de conhecimentos para solução do problema. A análise seguiu com a divisão de passos, conforme a metodologia RCA, e construção da árvore dos porquês, com todas as hipóteses possíveis para ocorrência do evento. A equipe de investigação, com os dados levantados, analisou as hipóteses, aceitando ou descartando-as de acordo com a veracidade das provas. Por fim, criaram-se ações para evitar a recorrência da falha e melhorar o processo.

Os resultados obtidos permitiram controlar as falhas estudadas por meio da mudança nos planos das manutenções, que foram alvo de revisão, conforme a equipe de investigação observou. Os planos de manutenção não possuíam informações suficientes para evitar a falha e não havia estratégia preventiva para evitar um colapso do componente. O trabalho permitiu uma abrangência para os demais equipamentos, bem como diminuição do número de falhas e do impacto das manutenções corretivas não planejadas no processo.

A metodologia RCA mostrou-se uma ferramenta simples com passos bem estruturados a serem seguidos para uma boa linha de investigação. Os especialistas envolvidos na investigação, conforme a metodologia, propuseram grande ajuda para andamento da mesma. Com o trabalho, espera-se criar um histórico de tratativas de falha, com possibilidades de estreitamento da relação entre universidade e empresa.

As recomendações para futuros trabalhos ficam por conta da estruturação da metodologia RCA, bem como ferramentas para análise de falhas que possam facilitar a investigação de grandes ou falhas repetitivas.

REFERÊNCIAS

AMMERMAN, M. *The Root Cause Analysis Handbook: a simplified approach to identifying, correcting, and reporting workplace errors*. Portland: Productivity, 1998.

SOUSA, Rafaela. "Mineração"; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/geografia/mineracao.htm>. Acesso em 11 de setembro de 2019.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 2.d. São Paulo: Atlas, 2002.

UBEROI, R. S.; GUPTA, U.; SIBAL, A. *Root Cause Analysis in Healthcare*. Apollo Medicine, Vol.1, 2004.

SCHMITT, J.C.; **Método de Análise de Falha Utilizando a Integração das Ferramentas DMAIC, RCA, FTA e FMEA**. 2013. 99p. Monografia (Graduação) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Metodista de Piracicaba.

ALMEIDA, M. T. **Manutenção Preditiva: Confiabilidade e Qualidade**. 2000. Disponível em: Acesso em 06 out. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462: Confiabilidade e Manutenibilidade**. Rio de Janeiro, 1994.

FERREIRA, L. L. **Implementação da Central de Ativos para melhor desempenho do setor de manutenção: um estudo de caso Votorantim Metais**. 2009. 60f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2009.

FILHO, R. A. **Introdução à Manutenção Centrada na Confiabilidade – MCC**. Programa de Atualização Técnica 2008 – Sistema FIRJAN - SESI/SENAI – Rio de Janeiro [On line]. Disponível em < <http://manutencao.net/v2/uploads/article/file/Artigo24AGO2008.pdf> > Acesso em 11 out. 2011.

OTANI, M.; MACHADO, W. V. **A proposta de desenvolvimento de gestão da manutenção industrial na busca da excelência ou classe mundial**. Revista Gestão Industrial. Vol.4, n.2, 2008.

XENOS, H. G. **Gerenciando a Manutenção Produtiva**. 1ª edição. Rio de Janeiro: INDG, 1998. 302 p.

MACHADO, L. C. **Gerenciamento diário e controle analítico do processo de pintura “Coil Coating”**. 2006. 43f. Relatório de Estágio Curricular (Graduação em Engenharia Química). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2006.

BRITO, J. N.; LIMA, P. F. R.; PORTES, D. F. Sistema de informação e gestão da manutenção de equipamentos industriais SIGM. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MANUTENÇÃO, 20., 2005, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte, 2005.

BRANCO F. G. **Dicionário de termos de Manutenção e Confiabilidade**. Rio de Janeiro, Editora Ciência. Moderna Ltda., 2000.

ALMEIDA, D. A. e FAGUNDES, L. D. **Aplicação da Gestão de Conhecimento no Mapeamento de Falhas em Concessionárias do Setor Elétrico**. Revista Produto e Produção, v8. 2005.

DOWNING, M. W. *Root-Cause Failure Analysis: Maintenance and Reliability Best Practice. Plant Engineering*. Dupont, 2004.

FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, J. L. D. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. 2ª ed., Rio de Janeiro: Editora Elsevier, 2009.

HEUVEL, L. N. V.; ROONEY, J. J. *Root Cause Analysis for Beginners*. Quality Progress, July 2004.

LAFRAIA, J. R. B. **Manual de Confiabilidade, Mantenabilidade e Disponibilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

MIRSHAWKA, V.; OLMEDO, N.L.; **Manutenção: Combate aos Custos da Não-Eficácia a Vez do Brasil**. Makron Books, 1993.

ROONEY, J. J.; VANDEN HEUVEL, L. N. *Root Cause Analysis For Beginners*. Quality Progress, v.37, n.7, 2004.

SIMÕES, S. F.; **Análise de Árvore de Falhas Considerando Incertezas na definição dos Eventos Básicos**. Rio de Janeiro: Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, 2006 (Tese: Doutorado em Engenharia Civil).

PRODANO, C. C.; FREITAS E. C. **Metodologia do trabalho científico**: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. 2 ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

Manual de operação. Projeto detalhado, virador de vagões, viradores de vagões manual de operação. ThyssenKrupp Industrial Solutions, 2003.

MORAES, P.H.A. **Manutenção Produtiva Total**: estudo de caso em uma empresa automobilística. 2004. 90 f. Dissertação (Mestrado em Gestão e Desenvolvimento Regional) – Departamento de Economia, Contabilidade e Administração, Universidade de Taubaté, Taubaté.

NSK BRASIL LTDA. **NSK Bearing Doctor**: Diagnóstico Rápido de Ocorrências em Rolamentos, 2019.

VALE S.A. **Arquivo Técnico**. São Luís, 2019.