



**UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DO  
MARANHÃO**



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO**

**CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**LUCAS SÁ GUIMARÃES CAMPELO**

**TÉCNICAS DE MANUTENÇÃO PARA AUMENTO DA  
CONFIABILIDADE DE TRANSPORTADORES DE CORREIA**

SÃO LUÍS/MA

2019

LUCAS SÁ GUIMARÃES CAMPELO

TÉCNICAS DE MANUTENÇÃO PARA AUMENTO DA CONFIABILIDADE DE  
TRANSPORTADORES DE CORREIA

Monografia de graduação apresentada ao curso de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual do Maranhão como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Me. Antônio Pereira e Silva

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À  
VERSÃO FINAL DA MONOGRAFIA  
DEFENDIDA PELO ALUNO LUCAS SÁ  
GUIMARÃES CAMPELO, E ORIENTADO  
PELO PROF. ME. ANTÔNIO PEREIRA E  
SILVA.

---

PROF. ME. ANTÔNIO PEREIRA E SILVA  
ORIENTADOR

SÃO LUÍS/MA

2019

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA CENTRAL - UEMA

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO**  
**CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA E PRODUÇÃO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**TÉCNICAS DE MANUTENÇÃO PARA AUMENTO DA CONFIABILIDADE DE  
TRANSPORTADORES DE CORREIA**

Autor: Lucas Sá Guimarães Campelo

Orientador: Antônio Pereira e Silva

A banca examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta monografia:

---

**Prof. Me. Antônio Pereira e Silva (Orientador)**

**Universidade Estadual do Maranhão**

---

**Prof. Esp. Diógenes Leite Souza**

**Universidade Estadual do Maranhão**

---

**Prof. Esp. Reginaldo Nunes da Silva**

**Universidade Estadual do Maranhão**

A ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no processo de vida acadêmica do aluno.

São Luís/MA, 27 de junho de 2019

## DEDICATÓRIA

Aos meus pais, ao meu irmão, à minha cunhada, à minha namorada e à minha avó, por serem as pessoas mais importantes da minha vida e pelo apoio dado.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por sua misericórdia e graça.

Aos meus pais, por todo amor, cuidado, carinho e apoio, por sempre se esforçarem para me dar o melhor, nunca deixando faltar nada e sendo inspirações pra mim.

Ao meu irmão, que sempre foi alguém que eu pude me espelhar, sempre esteve disposto a me ajudar e alguém com quem eu sempre vou poder contar.

À minha cunhada, que é um exemplo de força, perseverança e alegria, sempre contagiante, mostrando que é uma vencedora.

À minha namorada, que esteve presente e me apoiando sempre que necessário, me motivando a continuar e nunca desistindo de mim.

Aos meus companheiros da Equipe Zeus de Aerodesign, que me ensinaram o que é engenharia de fato, sobre trabalho em equipe, liderança e parceria.

Aos orientadores, ao nosso piloto e todos os apoiadores deste fascinante projeto.

Aos meus amigos aleatórios, por sua compreensão em minhas ausências.

Aos meus colegas de turma, que me acompanharam ao longo dessa jornada, compartilhando bons momentos dentro e fora de sala de aula. Sempre motivando uns aos outros com o nosso lema “Tudo nos Esquemas!”.

Ao meu orientador, por sua paciência e disposição em ajudar.

A todos os professores que contribuíram de fato com o meu desenvolvimento acadêmico, pessoal e profissional ao longo desta graduação.

## EPÍGRAFE

*“Com grandes poderes, vêm grandes responsabilidades.”*

*- Stan Lee (Tio Ben).*

## RESUMO

O transportador de correia é um equipamento de movimentação de materiais a granel através de uma tira de borracha reforçada, deslocando-se sobre tambores e roletes com o objetivo de prover um fluxo contínuo com maior rapidez, baixo custo, operando com segurança, sendo versátil e com uma grande variedade de capacidades. Tais componentes necessitam de manutenção para uma maior vida útil e para alcançar metas de produção, combinando ações técnicas e administrativas, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar sua função requerida. Utilizando a manutenção para aumento da confiabilidade dos ativos, pode-se mensurar a probabilidade de um ativo desempenhar sua função de maneira adequada dentro de um intervalo de tempo, identificando a variação da probabilidade de falhas que venham a ocorrer, visualiza como as falhas ocorrem e como estão distribuídas estatisticamente, por isso a investigação do comportamento da falha é essencial na identificação das ações a serem tomadas. Este equipamento está sujeito a diversas falhas, dentre elas, o desalinhamento da correia e a troca de rolos são as principais anomalias encontradas nos transportadores estudados, através de planos de ação e por meio de metodologias como o PDCA, A3 e o FMEA, foi possível aumentar a confiabilidade desses ativos, traçando estratégias de combate e prevenção dessas falhas, tornando a inspeção e manutenção mais assertiva, realizada em menos tempo e reduzindo custos.

**Palavras-chave:** Transportadores de correia; Manutenção; Confiabilidade; Desalinhamento; Troca de Rolos.



## ABSTRACT

The belt conveyor is a material handling equipment in bulk through a reinforced rubber strip, moving over drums and rollers in order to provide a continuous flow more quickly, low cost, operating safely, being versatile and with a wide variety of capabilities. Such components require maintenance for longer life and to achieve production goals by combining technical and administrative actions designed to maintain or replace an item in a state in which it can perform its required function. Using the maintenance to increase the reliability of the assets, one can measure the probability of an asset performing its function adequately within a time interval, identifying the variation of the probability of failures that may occur, visualizing how the failures occur and as they are statistically distributed, so the investigation of fault behavior is essential in identifying the actions to be taken. This equipment is subject to several failures, among them, belt misalignment and roll change are the main anomalies found in the studied transporters, through action plans and through methodologies such as PDCA, A3 and FMEA, it was possible increase the reliability of these assets, designing strategies to combat and prevent such failures, making inspection and maintenance more assertive, accomplished in less time and reducing costs.

**Keywords:** Belt conveyors; Maintenance; Reliability; Misalignment; Change of Rolls.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Classificação das falhas.....	7
Figura 2: Evolução temporal da manutenção.....	13
Figura 3: Classificação da manutenção.....	15
Figura 4: Roletes de carga.....	22
Figura 5: Roletes de impacto.....	23
Figura 6: Roletes de retorno.....	24
Figura 7: Rolete de transição.....	24
Figura 8: Rolete auto-alinhante.....	25
Figura 9: Rolos guias.....	26
Figura 10: Tambor de acionamento.....	27
Figura 11: Tambores viradores de correia.....	28
Figura 12: Tambor de retorno.....	28
Figura 13: Área externa e interna do chute.....	29
Figura 14: Guias.....	30
Figura 15: Raspadores.....	30
Figura 16: Contra peso do sistema de esticamento.....	31
Figura 17: Correia desalinhada.....	32
Figura 18: Rolo com revestimento quebrado.....	33
Figura 19: Layout do TR-313K-89.....	38
Figura 20: Layout do TR-315K-36.....	39
Figura 21: Layout do TR-315K-37.....	39
Figura 22: Layout do TR-315K-38.....	40
Figura 23: Layout do TR-313K-88.....	40
Figura 24: Layout do TR-315K-33.....	41
Figura 25: Layout do TR-315K-34.....	41
Figura 26: Layout do TR-315K-35.....	42
Figura 27: Levantamento topográfico dos tambores 10 e 11 do TR-315K-33.....	42
Figura 28: Comparação das medidas do chute com o projeto.....	43
Figura 29: Vista geral do chute.....	44
Figura 30: Vista geral do escoamento no chute de alimentação do TR-315K-33.....	45

Figura 31: Vista frontal a correia do escoamento no chute de alimentação do TR-315K-33	45
Figura 32: Vista lateral a correia do escoamento no chute de alimentação do TR-315K-33	46
Figura 33: Vista de topo do escoamento no chute de alimentação do TR-315K-33	46

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Curva da Banheira .....	8
Gráfico 2: Ranking de Falhas Mecânicas – Linhas de Saída do Pátio Sul (2017 e 2018)...	34
Gráfico 3: Tempo de desalinhamento por Transportador .....	35
Gráfico 4: Tempo de Troca de Rolos por Transportador .....	35
Gráfico 5: Evolução das partículas na correia do TR-315K-33 .....	47
Gráfico 6: Fator de desalinhamento na correia do TR-315K-33 .....	48
Gráfico 7: Evolução da temperatura dos rolos da mesa de impacto .....	52

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Métodos e Técnicas da Manutenção .....	14
Tabela 2: NPR – Número de Prioridade de Risco .....	20
Tabela 3: Plano de ação (PDCA) – Desalinhamento .....	36
Tabela 4: Dados dos TR-313K-88 e TR-315K-33 .....	44
Tabela 5: Plano de ação (PDCA) – Troca de rolos .....	50
Tabela 6: Sistema de Gestão de Rolos .....	53

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A3	Ferramenta para Melhorias de Processos
BFA	Software Bulk Flow Analyst
DEM	Método dos Elementos Discretos (Discrete Element Method)
FMEA	Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos (Failure Mode and Effects Analysis)
MTBF	Tempo Média entre Falhas (Mean Time Between Failures)
MTTF	Tempo Médio para Falha (Mean Time to Failure)
MTTR	Tempo Médio para Reparo (Mean Time to Repair)
NBR	Normas Brasileiras
NPR	Número de Prioridade de Risco
P0	Troca Realizada em Manutenção Corretiva
P1	Troca Realizada em Manutenção de Oportunidade
P2	Troca Realizada em Manutenção Preventiva
PCM	Planejamento e Controle de Manutenção
PDCA	Planejar, Executar, Verificar, Atuar (Plan, Do, Check, Act)
PDF	Função Densidade de Probabilidade (Probability Density Function)
RMC	Manutenção Centrada na Confiabilidade (Reliability Centered Maintenance)
SGR	Sistema Gestão de Rolos
TPM	Manutenção Produtiva Total (Total Productive Maintenance)
TR	Transportador de Correia
UBQ	União Brasileira para a Qualidade

## SUMÁRIO

FOLHA DE APROVAÇÃO.....	i
DEDICATÓRIA.....	ii
AGRADECIMENTOS.....	iii
EPÍGRAFE.....	iv
RESUMO.....	v
ABSTRACT.....	vi
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	vii
LISTA DE GRÁFICOS.....	ix
LISTA DE TABELAS.....	x
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	xi
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1 OBJETIVO GERAL.....	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
3. JUSTIFICATIVA.....	4
4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	5
4.1 ESTUDO DA FALHA.....	5
4.1.1 Falhas.....	5
4.1.2 Modos de Falha.....	5
4.1.3 Causas da Falha.....	6
4.1.4 Efeitos da Falha.....	6
4.1.5 Consequências da Falha.....	6
4.1.6 Classificação das Falhas.....	6
4.1.7 Mecanismos de Falhas.....	7
4.2 PLANEJAMENTO E CONTROLE.....	8

4.3 PDCA.....	10
4.4 A3 DE SOLUÇÃO DE PROBLEMAS .....	11
4.5 MANUTENÇÃO .....	11
4.6 EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO .....	12
4.7 CLASSIFICAÇÃO DA MANUTENÇÃO .....	15
4.7.1 Classificação quanto Programação.....	15
4.7.2 Classificação quanto aos Objetos .....	15
4.8 CONFIABILIDADE.....	18
4.9 FMEA - ANÁLISE DE MODOS E EFEITOS DE FALHAS.....	19
4.10 TRANSPORTADORES DE CORREIA .....	21
4.11 COMPONENTES DO TRANSPORTADOR DE CORREIA.....	21
4.11.1 Roletes .....	21
4.11.1.1 Rolete de carga .....	22
4.11.1.2 Rolete de impacto.....	22
4.11.1.3 Rolete de retorno .....	23
4.11.1.4 Rolete de transição .....	24
4.11.1.5 Rolete auto-alinhante .....	25
4.11.1.6 Rolos Guias .....	25
4.11.2 Tambores .....	26
4.11.2.1 Tambor de acionamento .....	26
4.11.2.2 Tambor virador de correia.....	27
4.11.2.3 Tambor de desvio, de retorno e esticador .....	28
4.11.3 Chutes.....	29
4.11.4 Guias.....	29
4.11.5 Raspadores .....	30
4.11.6 Sistema de esticamento .....	31
5. METODOLOGIA.....	32



5.3 PRINCIPAIS FALHAS NOS TRANSPORTADORES DE CORREIA.....	32
5.4 PERFIL DE PERDAS .....	34
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	36
6.1 DESALINHAMENTO .....	36
6.1.2 <i>Layouts</i> dos transportadores (Gestão visual dos gatilhos de desalinhamento)	38
6.1.3 Levantamento Topográfico .....	42
6.1.4 Comparação de Medidas de Projeto na Área .....	43
6.1.5 Simulação de Escoamento em Chute .....	43
6.1.5.1 Escoamento através do chute na condição nominal – original.....	45
6.1.5.2 Tendência ao entupimento .....	47
6.1.5.3 Fator de desalinhamento.....	47
6.1.6 A3 de Solução de Problemas - Desalinhamento .....	48
6.1.7 FMEA – Desalinhamento.....	49
6.2 TROCA DE ROLOS .....	50
6.2.1 Revisão dos Planos de Inspeção.....	51
6.2.2 Gráfico de evolução de temperatura dos rolos das mesas de impacto .....	52
6.2.3 Sistema de Gestão de Rolos .....	53
6.2.4 A3 de Solução de Problemas.....	53
6.2.5 FMEA – Troca de Rolos .....	54
7. CONCLUSÃO.....	55
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	56
APÊNDICE A – A3 DE SOLUÇÃO DE PROBLEMAS: DESALINHAMENTO.....	59
APÊNDICE B – FMEA: DESALINHAMENTO .....	61
APÊNDICE C – A3 DE SOLUÇÃO DE PROBLEMAS: TROCA DE ROLOS .....	62
APÊNDICE D – FMEA: TROCA DE ROLOS .....	64

# 1. INTRODUÇÃO

Devido ao comportamento atual do mercado, que é altamente competitivo, torna-se necessário a utilização da manutenção de forma estratégica a fim de aumentar sua produtividade. Desta forma, as empresas precisam estar em constante evolução tecnológica e em políticas de gerenciamento da manutenção para garantir a funcionalidade de seus equipamentos e processos, de acordo com Fogliatto (2011).

Para garantir a maior probabilidade do equipamento exercer sua função sem apresentar falhas, por um período de tempo previsto e sob condições de operação especificadas, pode-se utilizar técnicas já criadas para evitar que tais falhas aconteçam.

Dentre essas técnicas podemos destacar a utilização do RCM (Reliability Centered Maintenance – Manutenção Centrada na Confiabilidade), onde será utilizada a ferramenta FMEA (Failure Mode and Effects Analysis - Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos) para identificação e solução dos problemas abordados neste trabalho.

Os objetos de estudo de caso serão o conjunto de Transportadores de Correia das linhas de saídas do Pátio Sul do Terminal Portuário Ponta da Madeira, nas instalações da Vale em São Luís, que compreendem um conjunto de oito transportadores com as seguintes TAGs: TR-313K-88, TR-313K-89, TR-315K-33, TR-315K-34, TR-315K-35, TR-315K-36, TR-315K-37 e TR-315K-38, localizados em um dos pátios de estocagem do Porto Norte.

O pátio de estocagem Sul possui seis máquinas recuperadoras de minério, com capacidade nominal de recuperação de 8.000 t/h, que através dos transportadores citados, prosseguem para o processo de carregamento de navios. Estas são ligadas diretamente a dois transportadores intermediários, TR-313K-88 e TR-313K-89, através de cabeças móveis que direcionam o fluxo para um ou para outra. Por possuírem capacidade nominal de 16.000 t/h, são alimentadas por até duas máquinas por vez, por meio de áreas de transferência, o material é passado para dois transportadores de tamanho maior, o TR-315K-33 e o TR-315K-36 prosseguindo para os TR-315K-34 e TR-315K-37 e por fim chegando aos TR-315K-35 e TR-315K-38, que são duas cabeças móveis maiores que se direcionam para até outros seis transportadores ligados diretamente aos carregadores de navio.

Como cada um desses transportadores pode interromper o funcionamento de duas máquinas (recuperadoras de minério), estes foram priorizados em relação aos outros.

A partir da definição do objeto de estudo e da metodologia utilizada, identificando os problemas a partir das técnicas e ferramentas disponíveis, pode-se iniciar as tratativas a fim de analisar e monitorar a confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade de sistemas, com foco na assertividade da inspeção e execução da manutenção.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Demonstrar a importância e a eficiência do desenvolvimento e implantação das técnicas de manutenção, qualidade e confiabilidade dentro do processo de manutenção de transportadores de correia.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Apresentar um estudo bibliográfico do tema de Confiabilidade;
- Conceituar falhas, a manutenção, seus métodos, planejamento e ações com foco orientado para Confiabilidade;
- Aplicar técnicas de qualidade e de confiabilidade no processo de inspeção e manutenção dos transportadores de correia das linhas de saída para o embarque de minério no pátio de estocagem sul na empresa Vale S/A em São Luís – Ma, visando aumentar a assertividade da inspeção, reduzir os números de falhas relacionados a tais componentes e reduzir o tempo de manutenção dos ativos;
- Avaliar os resultados das técnicas de qualidade e de Confiabilidade como ferramentas de apoio a manutenção.

### **3. JUSTIFICATIVA**

O processo de inspeção mecânica nos transportadores de correia na Vale é feito de forma sensitiva, com a utilização de poucas ferramentas que tornem a inspeção mais precisa e com diagnósticos corretos, gerando perdas no processo devido a falta de assertividade, com a utilização das técnicas de qualidade e de confiabilidade, pode-se melhorar o desempenho dessa atividade fundamental, bem como na atividade de execução da manutenção propriamente dita, com a análise de falhas precisa e o plano de ação bem elaborado é possível que a disponibilidade do equipamento esteja com uma frequência dentro dos padrões estipulados.

Tendo em vista a importância dos transportadores, citados neste trabalho, para o fluxo de carregamento de minério dos navios no porto da Vale, torna-se justificável a priorização dos mesmos, trazendo ganhos concretos para a companhia, poupando tempo, mão de obra e gastos em geral.

## **4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **4.1 ESTUDO DA FALHA**

O estudo das falhas mais recorrentes dentro do processo produtivo industrial tem sido uma excelente ferramenta utilizada pelas organizações de modo a alcançar um diferencial competitivo. Diversas metodologias estão sendo desenvolvidas de modo a mensurar o comportamento da falha e como este se relaciona com outras variáveis do contexto da manutenção. A partir de tal entendimento é possível estabelecer uma linha lógica de atuação que permitirá atingir objetivos como mínima indisponibilidade operacional de ativos, maior segurança para os usuários e pouco ou nenhum impacto ambiental, segundo Oliveira (2003).

#### **4.1.1 Falhas**

Falha é trabalhado por Moubray (2000) como a interrupção ou alteração na capacidade de um item desempenhar sua função requerida ou esperada. Esse conceito não apresenta uma distinção entre o estado da falha e os modos de falhas que causam o estado da falha, por isso tende a se definir a falha em termos da perda de uma função específica e não avaliar o ativo como um todo.

A Falha Funcional é tratada como a incapacidade de um item desempenhar uma função específica dentro dos limites pré-definidos de desempenho.

#### **4.1.2 Modos de Falha**

Siqueira (2005) define a maneira como ocorre a falha em um ativo ou a maneira que uma falha é observada em uma função de subsistema ou componente é chamada de modo de falha. Prossegue argumentando que enquanto a falha é associada à função do sistema, o modo de falha é associado ao evento que provoca a transição para o estado de falha. Para se determinar os modos de falhas existem duas abordagens: a estrutural e a funcional.

A abordagem funcional é genérica, não necessita de especificações de projeto ou de engenharia. Pode ser tratada como uma não-função, ou seja, qualquer alteração do

desempenho desejado. A abordagem estrutural é bem mais abrangente, muitas vezes necessitando de participação de um corpo técnico bem experiente para sua identificação.

#### **4.1.3 Causas da Falha**

A anulação das causas do modo de falha é o objetivo principal de toda ação de manter, pois se trata de identificar os motivos que levaram o modo de falha a ocorrer, que podem estar relacionados a diversos fatores: ambientais, erros humanos, ou no próprio componente. Siqueira (2005) destaca a importância de estabelecer a diferença entre a “causa da falha” e “modo de falha”, observando que o modo descreve a maneira que a falha acontece, enquanto a causa descreve o motivo da ocorrência da falha. A causa da falha representa os fenômenos que induzem ao surgimento dos modos de falhas.

#### **4.1.4 Efeitos da Falha**

Oliveira (2003) define os efeitos da falha como a exteriorização do que acontece quando um modo de falha ocorre. Em outras palavras, o efeito é a forma ou maneira de como o modo de falha se manifesta ou como é percebido em nível de sistema. O modo de falha ocorre internamente, em nível de componentes, subsistemas, gerando efeitos externos, efeitos estes que podem ter consequências catastróficas em sistemas complexos.

#### **4.1.5 Consequências da Falha**

Moubray (2000) caracteriza a consequência da falha como o impacto gerado no processo ou ambiente devido a sua ocorrência, sendo que cada modo de falha impacta de uma forma diferente, podendo ter diversas maneiras de afetar a produção, qualidade, segurança, custo. A análise das consequências da falha é baseado em função de sua natureza e gravidade.

#### **4.1.6 Classificação das Falhas**

Moubray (2000) classifica as falhas sobre aspectos como: origem, extensão, velocidade, manifestação, criticidade e idade.

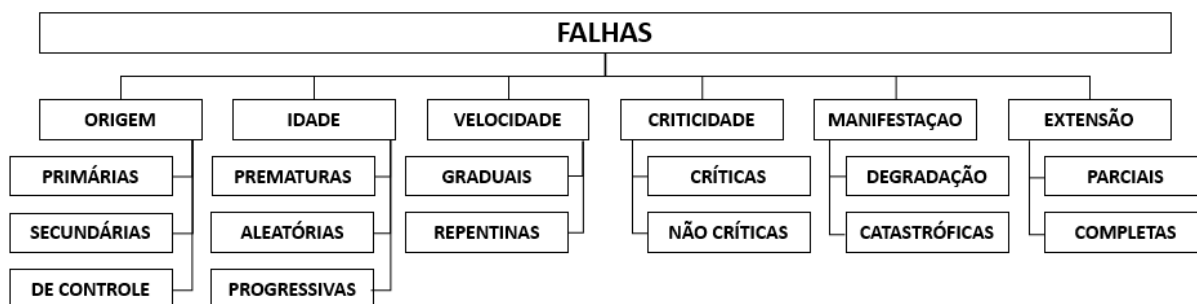


Figura 1: Classificação das falhas (Adaptação de Siqueira, 2005)

A partir do efeito que provocam na função do sistema as falhas são classificadas em funcionais e potenciais. Zaiou (2003) define como falha funcional a incapacidade de qualquer item físico realizar uma função com um padrão de desempenho desejado pelo usuário.

Siqueira (2009) afirma que as falhas funcionais podem ser diferenciadas em:

- Falhas evidentes: quando detectadas durante trabalho normal da equipe;
- Falhas ocultas: uma falha não detectada pela equipe durante trabalho normal;
- Falhas múltiplas: quando uma falha oculta combinada a uma segunda falha torna-se evidente.

Moubray (2000) admite que a falha potencial apresenta-se com uma condição identificável e mensurável da iminência de uma falha funcional ou seu processo de ocorrência. Esse conceito é possível porque muitas falhas não ocorrem de forma repentina, mas evoluem ao longo de um período do tempo, segundo Xenos (2004).

#### 4.1.7 Mecanismos de Falhas

Para Gutierrez (2005), o estudo dos mecanismos de falha é exatamente do comportamento da falha, onde as ações da manutenção são voltadas para um padrão de falha denominado “curva da banheira”. Assim, a taxa de falhas decresce, estabilizando-se à medida que passa o tempo, e aumentando paulatinamente ao final de sua vida útil, apresentada no gráfico 1.



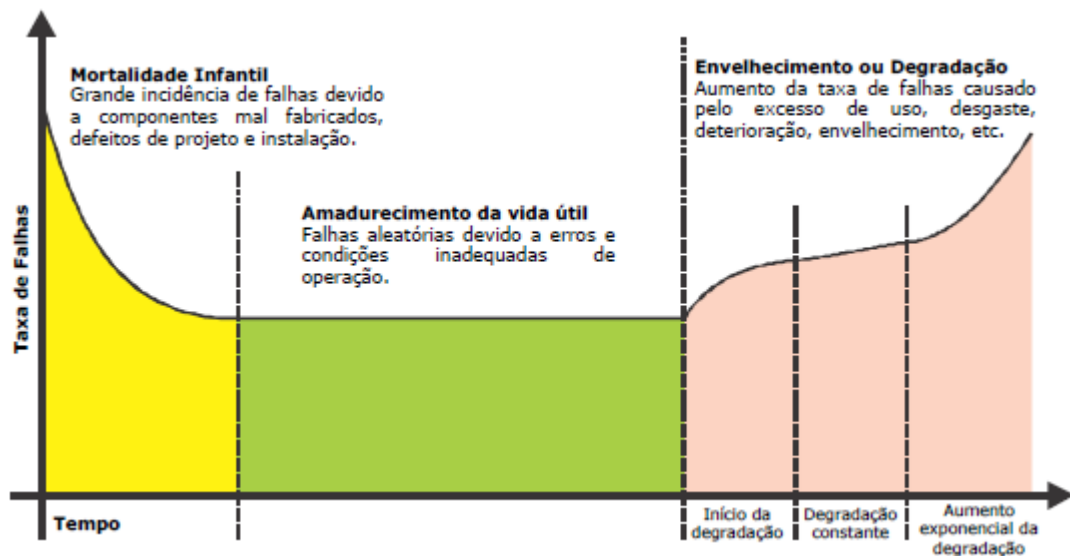


Gráfico 1: Curva da Banheira (Adaptação de Gutiérrez, 2005)

Xenos (2004) indica o diagnóstico das falhas a partir do estudo do comportamento da falha mostrou-se mais eficiente que o tempo despendido na execução do reparo. Com essa nova perspectiva a manutenção que passou a ser formada por diversas equipes, destacando a equipe de análise de falhas e a equipe de PCM - Planejamento e Controle de Manutenção. Esta última com o objetivo principal de desenvolvimento, implementação e análise de resultados obtidos pela equipe de estudo das falhas.

## 4.2 PLANEJAMENTO E CONTROLE

Raposo (2004) sugere que as atividades de Planejamento e Controle centralizam-se basicamente em buscar aumentar a eficiência de todo o processo produtivo e de manutenção através da aplicação de recursos que estruturam os planos estabelecidos nos níveis estratégico, tático e operacional.

O desenvolvimento estratégico tem sido utilizado para orientar as ações e metas das organizações no cenário atual. Certo (2003) define planejamento como processo de determinação e estabelecimento de como a organização fabril pode chegar onde deseja e o que fará para executar seus objetivos, extrapola ao destacar que planejar é uma atividade gerencial fundamental independentemente do tipo de organização. Assim, conclui-se que por meio do planejamento definido a organização estabelecerá os caminhos que trilhará para alcançar suas expectativas futuras.

Um dos grandes autores do tema, Branco Filho (2008), aborda que o planejamento, programação e controle da manutenção (PCM) dentro de uma organização desenvolve e consolida o ciclo de gerenciamento de manutenção através da execução das seguintes atividades:

- a) Definição dos indicadores de acordo com os requisitos de referência estabelecidos no nível estratégico;
- b) Atualização da documentação técnica dos equipamentos e máquinas de formar a estruturar a relação de sobressalentes do almoxarifado;
- c) Manutenção da organização do almoxarifado;
- d) Fazer atualização dos planos de manutenção;
- e) Revisão do cadastro das ordens de serviço sistemáticas relacionadas aos planos de manutenção;
- f) Controle e fiscalização dos planos de manutenções;
- g) Capacitação dos colaboradores envolvidos com as atividades de manutenção para a realização de apontamentos e registros das tarefas executadas, incluindo formatação de histórico de banco de dados das falhas ocorridas;
- h) Criação de histórico técnico estruturado dos equipamentos, máquinas e instalações, com registros de todas as ocorrências planejadas e imprevistas;
- i) Realizar análise dos serviços planejados, das programações e back-log;
- j) Organizar e analisar dentro de uma periodicidade adequada os relatórios gerenciais baseado nos indicadores de manutenção estabelecidos (disponibilidade, confiabilidade e produtividade);
- k) Investimento na instalação de softwares de gerenciamento da manutenção;
- l) Realização de reuniões de alinhamento com a participação de todos os envolvidos nos níveis: estratégicos, gerencial, tático e operacional.

Para Bloom (2006), controle compreende a retroalimentação de resultados operacionais de acordo com o planejamento definido. Estabelecendo ações remediadoras quando os resultados divergem do programado. A atividade de controle é necessária para permitir o estabelecimento dos planos de melhoria contínua. Controle é uma função administrativa que consiste em medir e corrigir o desempenho dos ativos para assegurar que os objetivos e metas da organização sejam atingidos e os planos formulados para alcançá-los sejam realizados.

Oliveira (2003) conclui que a comparação do planejamento previamente estabelecido

contribui para a verificação dos resultados das ações e, conseqüentemente à tomada de decisão, tendo em vista que a medida que se acompanha a execução das atividades torna-se imprescindível o aprimoramento das ações destoantes. O controle permanente dos processos é condição básica para a manutenção da qualidade de bens e serviços, segundo Costa (2003).

Planejar e controlar se tornam indispensáveis dentro do contexto operacional da manutenção, de modo a permitir o alcance da qualidade, a diminuição dos custos e a segurança que o mercado exige.

### **4.3 PDCA**

O PDCA é uma ferramenta de Qualidade amplamente utilizado nas organizações que facilita a tomada de decisão pelos gestores e demais envolvidos nos mais diversos processos. As letras que formam o nome da metodologia, PDCA, significam em seu idioma de origem:

- Plan: Planejar
- Do: Executar
- Check: Verificar
- Act: Atuar.

Segundo Andrade (2003), a metodologia PDCA possui uma linha sequencial de atividades contida na estrutura de melhorias PDCA tornando-o mensurável e repetitivo. A metodologia PDCA fundamenta-se em conceitos da Teoria da Administração Científica de Taylor, datada de 1903 e da Teoria Clássica da Administração de Fayol, datada de 1916, onde Taylor privilegiava as tarefas de produção das empresas e Fayol privilegiava a estrutura da organização. As duas teorias buscavam alcançar o mesmo objetivo: maior produtividade do trabalho e a busca da eficiência nas organizações.

Para Falconi (2015), o PDCA focado em resultados constitui a base de um trabalho implantado, sendo uma metodologia simples e, ao mesmo tempo, eficaz quando aplicado à rotina diária.

#### **4.4 A3 DE SOLUÇÃO DE PROBLEMAS**

Para Sobek (2010), o pensamento A3 é um sistema de gestão que proporciona o desenvolvimento de suas capacidades de resolução de problemas por meio do método científico, sendo feito por meio de um relatório, que é chamado assim porque é escrito em um papel de tamanho A3. Mostrando a situação atual e os problemas pelos quais a organização está passando, bem como a proposta da situação futura, onde a empresa quer chegar, apresentando as contramedidas e o plano de ação.

#### **4.5 MANUTENÇÃO**

A globalização do mercado desencadeou a necessidade das organizações buscarem diferenciais que as possibilitassem vantagens num cenário tão competitivo. A manutenção se enquadra perfeitamente como um desses diferenciais, pois busca garantir a maior disponibilidade dos ativos produtivos com o mínimo impacto ambiental, máxima segurança para os envolvidos e com o menor custo possível. Existem diversas definições para a manutenção, entretanto podemos perceber que estas se moldam aos aspectos históricos e as características tecnológicas envolvidas, porém aspectos comuns sempre puderam ser identificados, possibilitando a definição da função manutenção, conforme Hansen (2002).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas, através da norma NBR 5462 (1994) define manutenção como combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida.

A manutenção se faz necessária porque qualquer sistema produtivo, independente da área de atuação fabril, está sujeito a deteriorização, devido principalmente ao mal uso e vida útil. Por essa razão, Ferreira (1997) define manutenção como ato ou efeito de manter-se. As medidas necessárias para conservação ou permanência de alguma coisa ou situação.

Dhilon (2002) utiliza um conceito onde é necessário definir preliminarmente a chamada condição satisfatória do ativo, ou seja, identificar quais sejam as características técnicas esperadas de funcionamento e produtividade, assim para tal, manutenção seria todas as ações necessárias para manter um ativo ou restaurá-lo, para uma condição satisfatória.

Atualmente, a manutenção tem se incorporado ao planejamento estratégico das grandes organizações, nessa perspectiva Zaions (2003) defende a associação da manutenção tanto com as atividades de gestão quanto com as atividades operacionais sempre visando garantir a maior disponibilidade e a confiabilidade do ativo, de modo a assegurar que as funções dos sistemas sejam mantidas dentro do planejado, sempre primando pela segurança humana e a integridade ambiental.

Como pode ser observado, conceituar a manutenção envolve diversos aspectos, mas de maneira geral a manutenção busca a conservação de todos os ativos, de forma que todos estejam em condições ideais de operação ou, em caso de falhas, estes possam ser reparados no menor tempo possível e da maneira tecnicamente mais correta.

#### **4.6 EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO**

A manutenção industrial tem seu ponto de partida com o surgimento da indústria mecanizada, pois a partir de então as falhas tornaram-se mais frequentes. Desde o início a manutenção tem evoluído nas mesmas proporções que os avanços tecnológicos. Moubrey (2000), destaca que nos últimos vinte anos nenhuma outra metodologia de gerenciamento se desenvolveu tanto e que essa evolução se deu principalmente devido a grande diversidade de ativos nos mais diversos ambientes fabris e a necessidade de adequação dos processos produtivos.

Basicamente, o estudo da evolução histórica da manutenção não apresenta distinção entre os diversos autores existentes. Moubrey (2000) e Siqueira (2005) caracterizaram a evolução temporal da manutenção por estágios diferentes de evolução tecnológica dos meios de produção através de três gerações, conforme a figura 2.

- **Primeira geração:** perdurou até o final da segunda guerra mundial, caracterizada pela mecanização da indústria de forma simples o que fazia com que a incidência de falhas fosse pequena. Não havia treinamento específico devido aos processos singulares e a manutenção se apresentava em caráter mais corretivo. A única parametrização era para as tarefas de lubrificação e limpeza.

- **Segunda geração:** inicia em 1950 e vai até meados de 1975 com a industrialização do pós-guerra, devido ao aumento da demanda de praticamente todos os bens, isso levou ao aumento da mão-de-obra especializada. A automação de certos processos desenvolveu a

percepção de que as falhas poderiam ser evitadas, foi o início da manutenção preventiva, associado a técnicas como Manutenção Produtiva Total (*TPM – Total Productive Maintenance*) e técnicas de qualidade total, que emergiram principalmente na indústria japonesa e revolucionaram a maneira de manter.

- **Terceira geração:** Automatização praticamente completa dos processos industriais. Aspectos como segurança, meio ambiente e qualidade se incorporaram aos planos de manutenção.

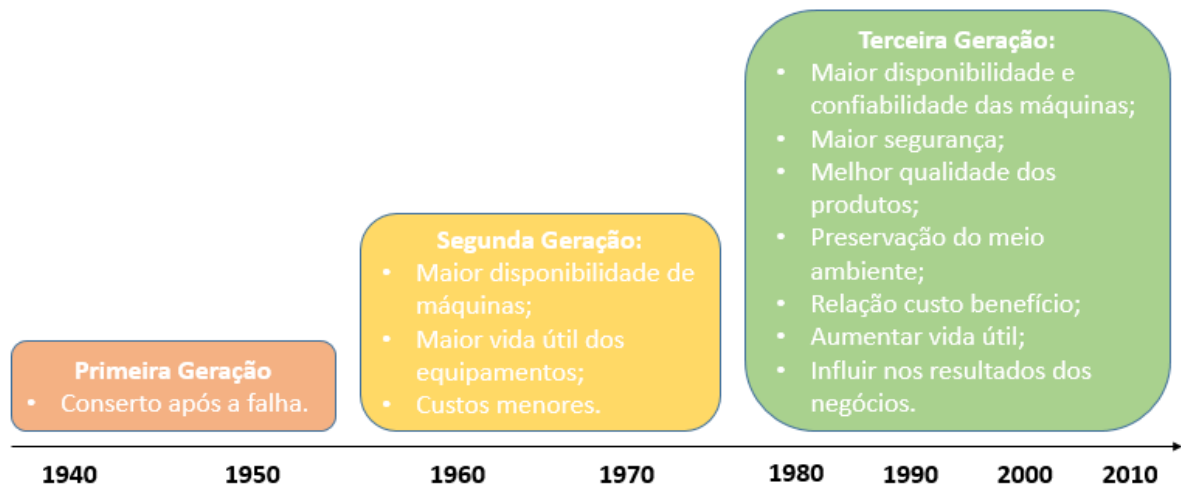
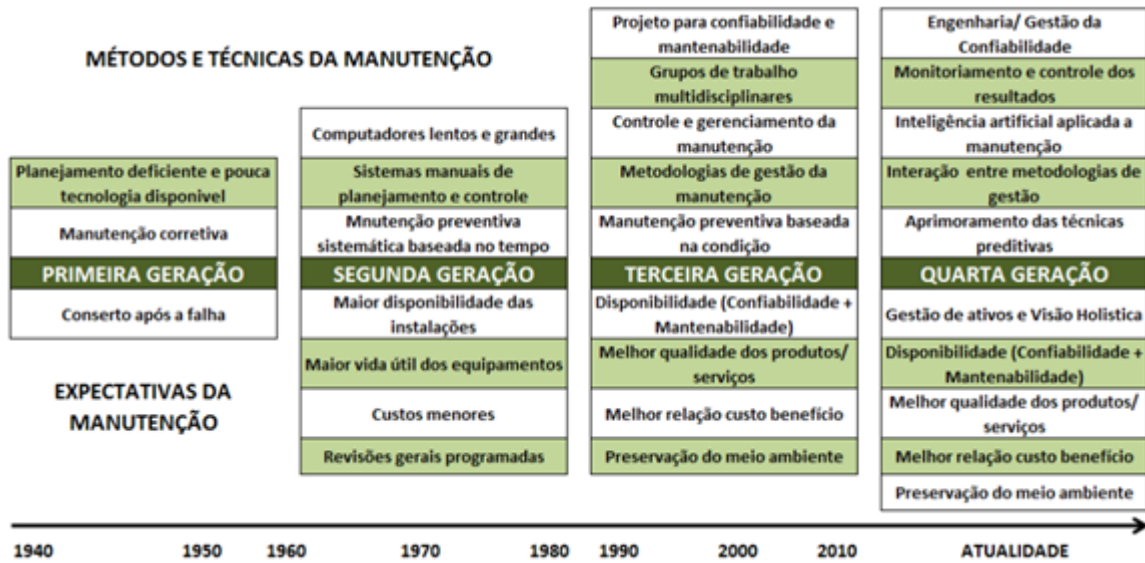


Figura 2: Evolução temporal da manutenção (Adaptação de Moubroy, 2000)

Outra abordagem que vale destacar sobre evolução temporal da manutenção é apresentada por Mortelari (2011), na qual são apresentadas quatro gerações distintas, ao invés de três, baseadas no entendimento das organizações acerca da manutenção no processo produtivo conforme mostra a tabela 1.

Tabela 1: Métodos e Técnicas da Manutenção (Adaptação de Mortelari, 2011)



- **Primeira geração:** caracterizada pelo reparo após a falha, não havendo nenhuma preocupação com sua prevenção.
- **Segunda geração:** surgimento das primeiras manutenções programadas, trazendo uma maior atenção em relação à disponibilidade operacional e à vida útil dos equipamentos, sempre privando por custos menores.
- **Terceira geração:** desenvolvimento das parametrizações no processo de manutenção trazendo uma abordagem sistemática das maneiras de ocorrência de falhas através de estudos sobre riscos, modos de falha e análise dos efeitos destas, de modo a alcançar maior disponibilidade, confiabilidade, segurança e vida útil, sem danos ao meio ambiente, pessoas envolvidas e consequente redução dos custos.
- **Quarta geração:** baseada na engenharia da confiabilidade, fundamentando-se na gestão estratégica de ativos com uma visão holística da manutenção, através de monitoramentos, controles e interação de metodologias de gestão para o aprimoramento das técnicas preventivas e preditivas.

As duas abordagens sobre a evolução temporal da manutenção são semelhantes, porém a apresentada por Mortelari (2011) destaca a Engenharia de Confiabilidade como pilar da quarta geração. Atualmente, todas as grandes organizações utilizam técnicas de confiabilidade de modo a melhorar a disponibilidade de seus ativos.

## 4.7 CLASSIFICAÇÃO DA MANUTENÇÃO

Os parâmetros básicos que permitem a classificação da manutenção são a forma de planejamento (programação) de suas atividades e os objetivos do método aplicado. Zaions (2003) destaca que os métodos ou políticas de manutenção expressam a maneira pela qual a intervenção será realizada nos equipamentos. Siqueira (2005) apresenta a classificação da manutenção de acordo com a figura 3:

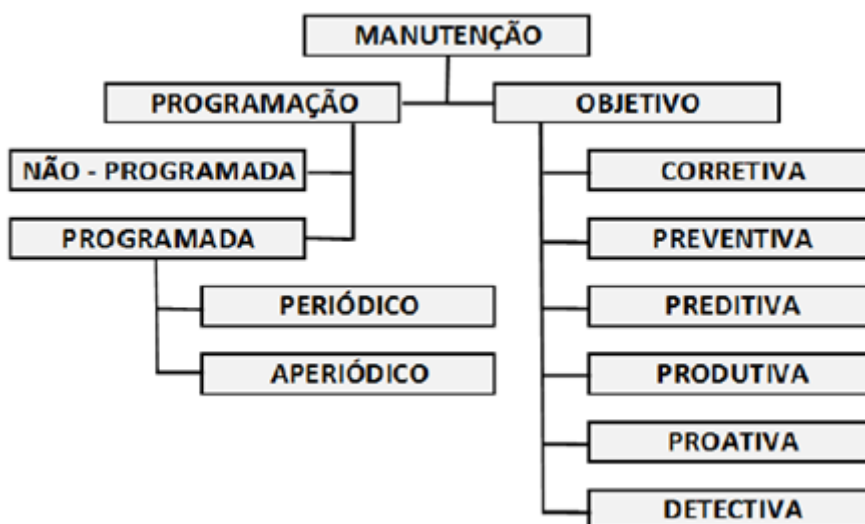


Figura 3: Classificação da manutenção (Adaptação de Siqueira, 2005)

### 4.7.1 Classificação quanto Programação

As manutenções programadas são aquelas que seguem critérios de tempo e condições pré definidas, podendo ser executadas periodicamente, ou seja, dentro de intervalos fixos de tempo, e aperiodicas, sendo realizadas por oportunidades. As manutenções não programadas são aquelas executadas em função da necessidade, ou seja, na ocorrência da falha a manutenção é realizada, segundo Siqueira (2005).

### 4.7.2 Classificação quanto aos Objetos

As características que permitirá distinguir os tipos de manutenção quanto aos objetos é a atitude dos usuários em relação às falhas. As seis classificações são as seguintes:



**Manutenção Corretiva:** é a manutenção executada após a falha ocorrer. O uso da manutenção corretiva justifica-se em situações onde a ocorrência da falha do equipamento não gera riscos de segurança do usuário e nem do ambiente; onde existe um bom almoxarifado e peças sobressalentes e onde os custos da manutenção corretiva são menores que outros metodologias. A norma NBR 5462 (1994) descreve como a manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida. Para Filho (2008) a manutenção corretiva pode ser dividida em duas classes: corretiva planejada, onde o reparo ou remoção da falha é realizado em função do acompanhamento das condições operacionais do equipamento e corretiva não planejada ou de emergência, onde o reparo ocorre após a falha. Dillhon (2006) apresenta este tipo de manutenção como toda a ação de reparo, decorrente de uma falha ou defeito, restabelecendo um item a uma condição operacional satisfatória. Para Bloom (2006) a manutenção corretiva é todo trabalho executado a fim de reparar uma falha em uma máquina ou equipamento.

**Manutenção Preventiva:** tem o propósito de prevenir e evitar que a falha aconteça. Indicada em situações onde a manutenção preditiva é inviável técnica ou financeiramente, onde as ocorrências de falhas comprometem seriamente a segurança dos envolvidos, existem oportunidades de paradas, pois não se trata de equipamentos de operação contínua. A NBR-5462 (1994) define como “Manutenção preventiva a atividade efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item”. O objetivo da manutenção preventiva é identificar falhas potenciais antes de sua ocorrência ou desenvolvimento, evitando a deterioração dos sistemas abaixo dos níveis de segurança e confiabilidade desejados, mantendo um bom estado de funcionamento. A manutenção preventiva é realizada através de tarefas periódicas que incluem: inspeções e verificação das condições, serviços de operação, atividades de calibração e ajustes, alinhamentos, testes, reparos e substituições de componentes.

**Manutenção Preditiva:** é aquela baseada no acompanhamento das reais condições de funcionamento do ativo buscando a prevenção ou antecipação da falha, medindo parâmetros que indiquem a evolução de uma falha a tempo de serem corrigidas. Sua aplicação permite o máximo aproveitamento da vida útil e o mínimo de necessidade de intervenções (paradas) nos equipamentos. Para Filho (2008) a manutenção preditiva é toda a ação de monitoramento das condições de um sistema, seus parâmetros operacionais e sua eventual degradação, sendo

realizada através de medições ou inspeções que não interfiram na operação do sistema. Raposo (2004) por sua vez, caracteriza a manutenção de preditiva de duas perspectivas distintas: a primeira ele a considera como integrante da manutenção preventiva de acompanhamento, onde a supervisão dos parâmetros é realizada de maneira contínua, mas a degradação do sistema é desconhecida, a outra abordagem assume uma análise sistemática do processo já sendo considerada uma forma específica de manutenção. Cumpre destacar que, a intervenção fruto do acompanhamento preditivo, é chamada de Manutenção Corretiva Planejada.

**Manutenção Detectiva:** busca identificar as falhas que já tenham ocorrido, mas que não foram percebidas, ou seja, é a atuação efetuada em sistemas de proteção buscando detectar falhas ocultas ou não-perceptíveis ao pessoal de operação e manutenção. A identificação de falhas ocultas é primordial para garantir a confiabilidade. Uma característica peculiar da manutenção detectiva é a possibilidade de ser realizada com o sistema em operação o que garante uma maior disponibilidade do equipamento, apresentando apenas como desvantagem a necessidade de profissionais bem treinados e habilitados para execução da atividade. É muito semelhante a manutenção preditiva, a principal diferença é que na preditiva o diagnóstico é feito a partir da medição e acompanhamento dos parâmetros operacionais do sistema, na manutenção detectiva o diagnóstico é automático a partir do processamento das informações colhidas junto ao sistema, de acordo com Hansen (2002).

**Manutenção Produtiva:** focada em otimizar a produtividade e disponibilidade dos equipamentos. Pode ser considerada como um modelo de gestão que busca a eficiência máxima do sistema produtivo através da eliminação de perdas e do desenvolvimento do usuário (qualificação) e sua relação com o equipamento. A literatura pouco conceitua a manutenção produtiva, porém a União Brasileira para a Qualidade (UBQ) define como uma filosofia e uma coleção de práticas e técnicas desenvolvidas na indústria japonesa e destinados a maximizar a capacidade dos equipamentos e processos, não se destinando somente para a manutenção dos equipamentos, mas também para todos os aspectos relacionados à sua instalação e operação e sua essência reside na motivação e no enriquecimento pessoal das pessoas que trabalham dentro de uma companhia. (UBQ, 2007).

**Manutenção Proativa:** focada em aumentar a vida útil do ativo em detrimento da realização de reparos e correções, buscando as causas que ocasionaram a indisponibilidade operacional do ativo, em uma atitude proativa de melhoria contínua, evitando as condições

subjacentes que levam a falhas e degradação do sistema. Ao contrário da manutenção preditiva/preventiva, a manutenção proativa cria ações conetivas que objetivam as causas da falha-raiz, não apenas sintomas. A manutenção proativa consiste na identificação e eliminação sistemática dos problemas potenciais relacionados com todos os aspectos de confiabilidade, disponibilidade e sustentabilidade, para Hansen (2002).

#### **4.8 CONFIABILIDADE**

Dentro do ambiente industrial, principalmente no contexto da manutenção muito se fala em confiabilidade, uma expressão que está cada vez mais presente no cotidiano dos profissionais da área. Entretanto, percebe-se que a confiabilidade acaba sendo confundida com outros conceitos de manutenção. Como já abordado anteriormente, no contexto industrial da manutenção muitos aspectos e conceitos estão correlacionados o que agrava tal confusão.

A confiabilidade é associada equivocadamente com a capacidade do produto/equipamento durar muito tempo, porém esse é o conceito de durabilidade. Qualidade e disponibilidade também são atributos que se confundem com a confiabilidade. Confiabilidade está associada e essas características somados a aspectos estocásticos (probabilísticos), de acordo com Bloom (2006).

As quatro principais funções de confiabilidade são:

1. Função da Confiabilidade  $R(t)$ ;
2. Função Probabilidade de Falha  $F(t)$ ;
3. Função Densidade de probabilidade de Falha  $f(t)$
4. Função Taxa de Falha  $\lambda(t)$ , também conhecida como função de risco.

A função confiabilidade  $R(t)$  ira mensurar a probabilidade de um ativo desempenhar sua função de maneira adequada dentro de um intervalo de tempo. Das funções a mais importante na tomada de decisão e que será utilizada neste trabalho é a função densidade de probabilidade (fdp),  $f(t)$  ou PDF (probability density function) que representa a variação da probabilidade de falhas que venham a ocorrer no tempo. A densidade de probabilidade de falhas  $f(t)$  visualiza como as falhas ocorrem e como estão distribuídas estatisticamente, por isso a investigação do comportamento da falha é essencial na identificação das ações a serem tomadas, segundo Moubray (2000).

A função Taxa de Falhas  $\lambda$  (t) também é importante e representa o número de falhas ocorridas em um determinado período de tempo, e se comporta de maneira diferente no decorrer da vida do equipamento (curva da banheira).

Existem outros parâmetros utilizados nas análises de confiabilidade, que são:

- a) Tempo Médio para Falha (MTTF) – É o tempo médio para falha de componentes que não podem ser reparados.
- b) Tempo Média entre Falhas (MTBF) – É o tempo médio de falha de componentes reparáveis.
- c) Tempo Médio para Reparo (MTTR) – É o tempo para reparo de componentes.

#### **4.9 FMEA - ANÁLISE DE MODOS E EFEITOS DE FALHAS**

A FMEA é uma ferramenta de gerenciamento de riscos de equipamentos ou processos que visa identificar todos os possíveis modos potenciais de falha e determinar o efeito de cada um sobre o desempenho do sistema (ativo). Trata-se de um método qualitativo de análise de confiabilidade que envolve o estudo dos modos de falha que podem existir estratificando o ativo por item (IEC, 2006).

As análises do FMEA podem ser classificadas em dois níveis, os quais são similares na condução de suas etapas e análises, sendo distintas quanto ao seu foco de aplicação (IEC, 2006; SAE, 2000):

- **FMEA de Projeto ou Produto:** realizado após a concepção do projeto, identificando cada componente do sistema e os possíveis modos de falha associados, bem como seus efeitos no sistema em questão e no produto como um todo.
- **FMEA de Processo:** análise dos sistemas de manufatura que possam inferir sobre a qualidade e confiabilidade do produto, identificando os modos de falhas do processo e seus efeitos sobre o produto.

A FMEA é composta de duas análises separadas, a FMEA e uma análise de criticidade (CA). Como já visto a FMEA analisa diferentes modos de falha e seus efeitos enquanto a CA prioriza o nível de importância da falha.

O índice de prioridade da FMEA é conhecido como NPR (Número de Prioridade de Risco) que é obtido pelo produto dos fatores:

$$\text{NPR} = \text{Gravidade} \times \text{Frequência} \times \text{Detectabilidade} \quad (4.1)$$

- Gravidade (severidade dos efeitos da falha);
- Frequência (ocorrência da falha);
- Detectabilidade (identificação das causas falha antes de uma falha funcional);

Quanto maior o valor do NPR, maior será a criticidade do modo de falha associado para o processo de manutenção, como pode ser observado na tabela 2.

Tabela 2: NPR – Número de Prioridade de Risco (Autor, 2019)

<b>Componente do NPR</b>	<b>Classificação</b>	<b>Peso</b>
<b>Frequência da Ocorrência</b>	Impossível	1
	Muito Pequena	2 a 3
	Pequena	4 a 6
	Média	7 a 8
	Alta	9 a 10
<b>Gravidade da Falha</b>	Apenas Perceptível	1
	Pouca Importância	2 a 3
	Moderadamente Grave	4 a 6
	Grave	7 a 8
	Extremamente Grave	9 a 10
<b>Detectabilidade</b>	Alta	1
	Moderada	2 a 3
	Pequena	4 a 6
	Muito Pequena	7 a 8
	Improvável	9 a 10
<b>Índice de Risco - NPR</b>	Baixo	1 a 50
	Médio	50 a 100
	Alto	100 a 200
	Muito Alto	200 a 1000

Passos para implementação da FMEA segundo IEC (2006):

1. Escolher o Ativo que se pretende analisar
2. Definir os parâmetros críticos a serem avaliados
3. Extratificar o ativo
4. Identificar os modos de falha
5. Analisar os efeitos e causas da falha
6. Estabelecer os métodos de detecção
7. Elaborar o raking de severidade
8. Análise da criticidade
9. Definir os planos de ação para o item analisado.

## **4.10 TRANSPORTADOR DE CORREIA**

É um equipamento de movimentação de materiais a granel através de uma tira de borracha reforçada, deslocando-se sobre tambores e roletes com o objetivo de prover um fluxo contínuo com maior rapidez, baixo custo, operando com segurança, sendo versátil e com uma grande variedade de capacidades. Em relação aos transportes industriais, não há outro que supere o transportador de correia quanto à eficácia, segundo Strebel (2009).

Deve-se ter cuidado ao utilizar o termo “transportador de correia” e “correia transportadora”, pois o primeiro refere-se ao conjunto todo, enquanto o segundo remete apenas um dos componentes.

Ao longo dos anos, os transportadores de correia demonstraram-se capazes de movimentar grandes quantidades de materiais em grandes distâncias e em condições adversas, ao subir inclinações, realizar contornos, através de montanhas, por cima de trechos com água, sobre ou abaixo do chão, especialmente na utilização de correias de secções abauladas, de acordo com Strebel (2009).

Pode ser integrado em outros processos, como operações de recuperação e carregamento de navios. Sendo projetados para diversas configurações, com vários pesos e comprimentos, encontrando-se fixos ou móveis, com variados perfis horizontais, inclinados ou combinados.

## **4.11 COMPONENTES DO TRANSPORTADOR DE CORREIA**

Os componentes mecânicos estudados nos transportadores de correia abordados são os seguintes: roletes, tambores, chutes, guias, raspadores e sistema de esticamento (contra-peso).

### **4.11.1 Roletes**

O nome é dado pela união de dois componentes, os rolos e o cavalete, que é o seu suporte, onde os rolos conseguem exercer livre rotação em torno de seus eixos suportando o peso da correia e do material transportado, além de guia-la segundo o fluxo desejado, conforme Strebel (2009).

#### **4.11.1.1 Rolete de carga**

Um conjunto de rolos com revestimento metálico que encontram-se distribuídos ao longo do transportador em maior quantidade que os demais, suportando a carga do material transportado em determinada velocidade, como ilustrado na figura 4.



Figura 4: Roletes de carga (Autor, 2019)

#### **4.11.1.2 Rolete de impacto**

Um conjunto de rolos com revestimento de borracha, localizados abaixo das áreas de transferência, dimensionados especificamente para suportarem o impacto do material, como pode ser observado na figura 5.



Figura 5: Roletes de impacto (Autor, 2019)

#### **4.11.1.3 Rolete de retorno**

Normalmente um rolo com revestimento metálico e/ou com anéis de borracha que apoia a área de retorno da correia, que não possui material, devido a isso, há um espaçamento maior entre os cavaletes. Também evita o acúmulo de material e gera o desprendimento do material preso na correia, conforme figura 6.





Figura 6: Roletes de retorno (Autor, 2019)

#### 4.11.1.4 Rolete de transição

Conjunto de rolos que ficam próximos aos tambores de descarga para ajuste da mudança de concavidade que ocorre nesta região, como visto na figura 7.



Figura 7: Rolete de transição (Autor, 2019)

#### 4.11.1.5 Rolete auto-alinhante

Conjunto de rolos ligados a um cavalete com mecanismo móvel que visa controlar o deslocamento lateral da correia tanto na área de carga quanto na de retorno, de acordo com a figura 8.



Figura 8: Rolete auto-alinhante (Autor, 2019)

#### 4.11.1.6 Rolos Guias

Rolos de tamanho inferiores aos demais que ficam verticalmente em relação a borda da correia, dando suporte aos roletes auto-alinhantes no controle de deslocamento lateral da correia, como visto na figura 9.



Figura 9: Rolos guias (Autor, 2019)

#### **4.11.2 Tambores**

Também conhecidos como polias, têm a função de transmissão de potência, apoiar, mover e virar a correia, com o intuito de controlar a tensão na mesma. Normalmente são cilíndricos e possuem revestimento de borracha, para aumentar o coeficiente de atrito entre tambor e correia. Podem ser classificados como tambor de acionamento, virador de correia, de desvio, de retorno e esticador.

##### **4.11.2.1 Tambor de acionamento**

Responsável por transmitir torque ao sistema, sendo o conjunto ligado ao tambor formado por um motor, acoplamento hidráulico, redutor e freio, como visto na figura 10.



Figura 10: Tambor de acionamento (Autor, 2019)

#### **4.11.2.2 Tambor virador de correia**

Também conhecido por “turnovers”, servem para girar a correia em  $180^\circ$  a fim de eliminar problemas causados por uma correia suja, evitando o contato de material morto com as roldanas. São distribuídos com um tambor de  $45^\circ$  de entrada, dois tambores de  $90^\circ$  intermediários e um tambor de  $45^\circ$  de saída, de acordo com a figura 11.





Figura 11: Tambores viradores de correia (Autor, 2019)

#### 4.11.2.3 Tambor de desvio, de retorno e esticador

Os demais tambores servem para mudar o curso da correia, realizar o retorno da mesma e dar a tensão necessária para evitar o surgimento de folgas durante o fluxo, na figura 12 é exemplificado o tambor de retorno.



Figura 12: Tambor de retorno (Autor, 2019)

### 4.11.3 Chutes

Os chutes ou áreas de transferência têm a função primordial de realocar o material em outro transportador. São uma espécie de funil gigante, mas que devem ser cuidadosamente dimensionados para evitar que o material flua de forma descentralizada na correia de recebimento, com a criação adequada de “mortos”, que são materiais acumulados sobre as chapas das paredes do chute. Devem ser capazes de suportar o fluxo sem a ocorrência de entupimento e aguentar os impactos em sua estrutura. Na figura 13, é possível identificar a parte externa e interna do chute.



Figura 13: Área externa e interna do chute (Autor, 2019)

### 4.11.4 Guias

As guias e chapas defletoras devem conter o material na saída do chute até que o mesmo se adeque a velocidade da correia, de forma a evitar que transborde, sem entrar em contato com os rolos, como visto na figura 14.

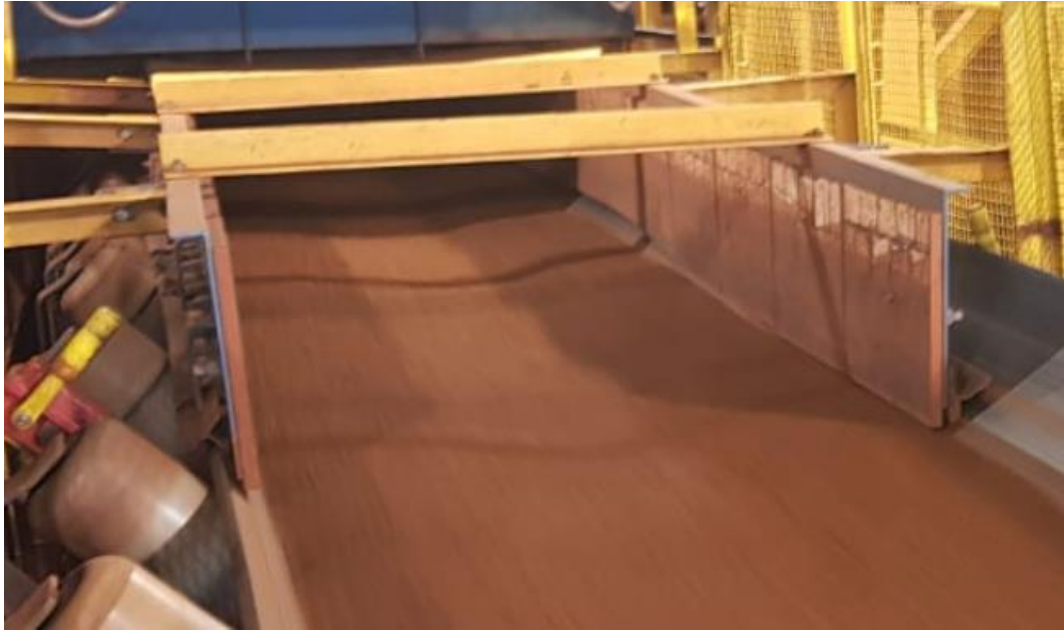


Figura 14: Guias (Autor, 2019)

#### 4.11.5 Raspadores

São dispositivos de limpeza que têm como função retirar todo material agregado no retorno da correia, protegendo rolos e tambores de sofrerem desgaste prematuro por contato direto com o material. Na figura 15 é possível verificar dois tipos de raspadores, o primário e o secundário.



Figura 15: Raspadores (Autor, 2019)

#### 4.11.6 Sistema de esticamento

Tem o objetivo de manter a correia tensionada e absorver as variações de comprimento da correia. Nos transportadores estudados, este tipo de esticamento ocorre por gravidade, através de um contrapeso posicionado verticalmente, exemplificado na figura 16.



Figura 16: Contrapeso do sistema de esticamento (Autor, 2019)



## 5. METODOLOGIA

Para entender a metodologia utilizada neste trabalho, antes é preciso entender acerca das principais falhas dos componentes estudados.

### 5.1 PRINCIPAIS FALHAS NOS TRANSPORTADORES DE CORREIA

Com uma operação contínua e com um fluxo de material elevado, é normal que apareçam falhas ao longo do processo. Deve-se evitá-las ou amenizá-las ao máximo para reduzir custos e diminuir impactos na produção. Para isso a prioridade fundamental é proteger a correia transportadora, pois ela é o componente mais caro do conjunto. Serão exemplificados os modos de falha que ocorrem em “P0”, falhas tratadas em manutenção corretiva.

Dentre estas falhas, podemos destacar o desalinhamento da correia, que pode causar danos a borda, sendo causado pelo desnivelamento dos tambores, por roletes empenados, falta de centralização do fluxo de material na saída das áreas de transferência ou caso a correia não esteja totalmente tensionada. Este tipo de falha é identificado através de chaves de desalinhamento localizadas nos extremos de cada lado da correia, estando a uma distância pré-definida fora do alcance normal do fluxo, somente sendo acionada em condições extremas, como é ilustrado na figura 17.



Figura 17: Correia desalinhada (Autor, 2019)

Outra falha comum é a troca prematura de rolos, geralmente é causada pelo acúmulo de material sobre eles, gerando avarias no seu corpo, desgaste no revestimento, quebra de rolamentos, travamento do eixo e deslocamento do espelho. É preciso uma atenção especial no caso de rolos travados, pois o contato direto com a correia sem a rotação necessária pode gerar uma superfície cortante que trará sérios riscos a correia, evidenciado na figura 18.



Figura 18: Rolo com revestimento quebrado (Autor, 2019)

O sistema de contrapeso também pode apresentar falhas, como avarias nos cabos de aço, devido as elevadas cargas a que estão submetidos, desgastes nas polias e trincas nas estruturas de sustentação.

Assim como os rolos, os tambores estão sujeitos a degradação com o contato direto com o material transportado, perdendo seu revestimento e danificando sua carcaça. A falta de abastecimento no sistema de lubrificação pode causar danos as suas estruturas internas.

O sistema de cabeça móvel deve ser bem projetado para que seus motores e freios funcionem de forma sincronizada, pois são um conjunto de quatro acionamentos, respeitando seus limites de fim de curso e transladando na velocidade adequada, evitando falhas de posicionamento. A mesma preocupação ocorre nos demais acionamentos dos transportadores,

para que não haja falhas elétricas nos motores, falta de lubrificação nos redutores e desgastes excessivos nas pastilhas dos freios.

Os chutes podem apresentar furos em suas paredes com o desgaste ocorrido pelo impacto contínuo com o material, que também pode causar queda das chapas internas com a corrosão de suas soldas. Caso o fluxo de material exceda a capacidade do chute, pode ocorrer o entupimento do mesmo.

## 5.2 PERFIL DE PERDAS

A partir do conhecimento das principais falhas mecânicas que ocorrem nos transportadores de correia estudados, foi montado um diagrama de Pareto com base na metodologia do perfil de perdas que utilizou o histórico de falhas dos anos de 2017 e 2018, onde obteve-se o gráfico 2:

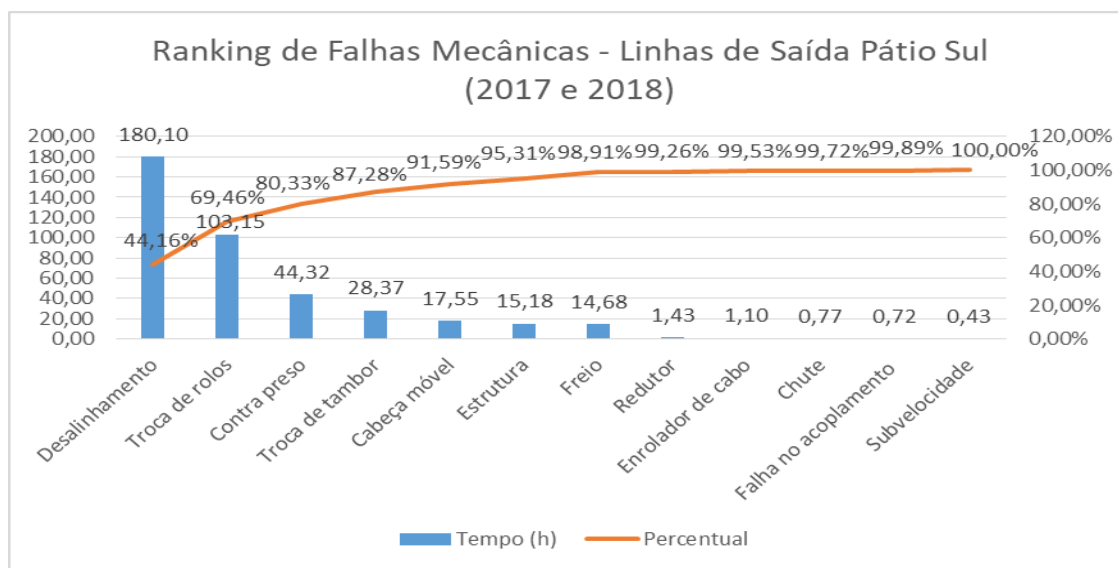


Gráfico 2: Ranking de Falhas Mecânicas – Linhas de Saída do Pátio Sul (2017 e 2018)

O gráfico 2 é baseado na quantidade de horas em que o equipamento ficou parado, pelos modos de falhas e o seu percentual. É possível notar que existem duas principais falhas que se destacam em relação as demais, sendo desalinhamento a principal falha, responsável por 180 horas com os transportadores parados, o equivalente a 44,16% do total.

A segunda principal falha, foi devido a troca de rolos, com 103 horas, equivalendo a 25,3% de todas as falhas do período, definindo assim, as falhas que seriam tratadas neste

trabalho. Em seguida foi elaborado o diagrama de Pareto para relacionar estes modos de falha com os equipamentos, propondo quais ativos seriam priorizados.

Desta forma, obteve-se o gráfico 3 para o modo de falha desalinhamento, em relação aos transportadores estudados:

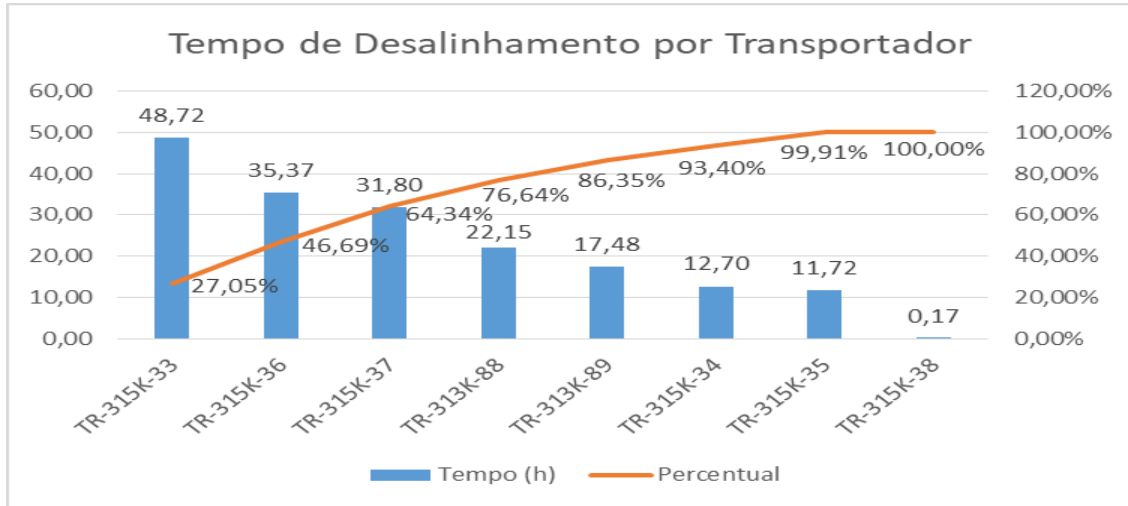


Gráfico 3: Tempo de desalinhamento por Transportador

O transportador TR-315K-33, responsável por 27,05% e o TR-315K-36, responsável por 19,64%, com as maiores falhas de desalinhamento.

O mesmo diagrama foi feito para o modo de falha troca de rolo, obtendo o seguinte gráfico 4:

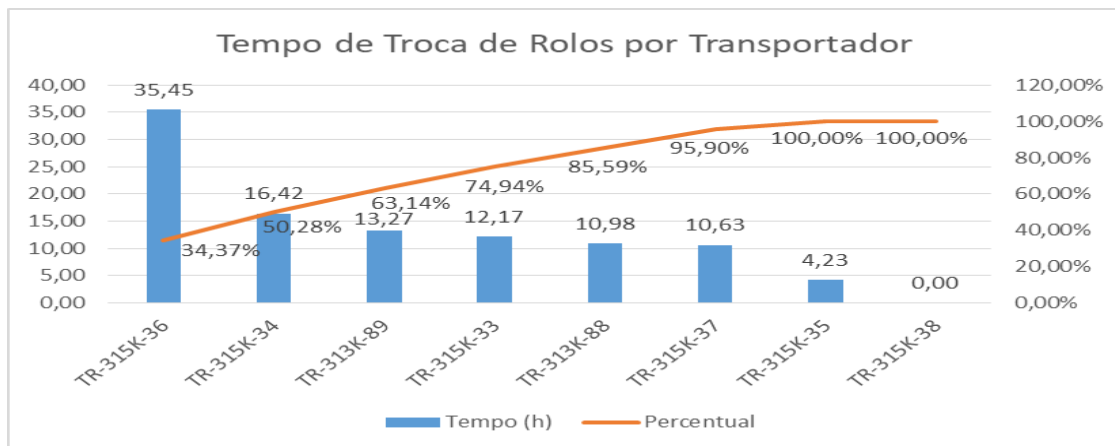


Gráfico 4: Tempo de Troca de Rolos por Transportador

Verificando que os TR-315K-36 foi responsável por 34,37% e o TR-315K-34 foi responsável por 15,88%, obtendo os maiores tempos parados para troca de rolos.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Dessa forma, identificando quais são os principais problemas e onde eles ocorrem, é possível prosseguir com a metodologia PDCA para corrigir estas falhas.

Sabendo quais são os problemas, desalinhamento e troca de rolos, e onde eles estão ocorrendo com mais frequência, nos TR-315K-33 e TR-315K-36, pode-se começar o planejamento e o plano de ação. Destrinchando ambas as falhas e tratando cada uma separadamente, é possível dar uma tratativa mais rápida e assertiva.

### 6.1 DESALINHAMENTO

No caso de desalinhamento do TR-315K-33, é necessário identificar as possíveis causas, para isso deve-se eliminar todas as possibilidades. Pode-se montar o plano de ação de PDCA, definindo quais seriam as ações com as respectivas prioridades, sendo a 1 a maior, identificando os responsáveis, os riscos, estratégias e por fim, as lições aprendidas e ações corretivas, de acordo com a tabela 3, que continua na página 37:

Tabela 3: Plano de ação (PDCA) - Desalinhamento

<b>Planejar</b>	<b>Ação</b>	Identificar pontos de desalinhamento	Verificar condição dos roletes autoalinhantes e rolos guias	Verificar condição da correia	Verificar alinhamento dos tambores	Verificar escoamento do chute
	<b>Prioridade</b>	1	1	1	2	2
	<b>Benefício</b>	Diminuir tempo de paradas corretivas	Sanar desalinhamento de forma imediata	Prevenir danos a correia, verificar possíveis desbalanceamentos	Tratar causa do desalinhamento	Tratar causa do desalinhamento

<b>Fazer</b>	<b>Responsável</b>	Inspeção	Manutenção	Inspeção	Terceirizada	Engenharia
	<b>Início</b>	Rotina	Rotina	Rotina	Quando o transportador estiver parado	Após a eliminação das outras possibilidades
	<b>Fim</b>	Rotina	Rotina	Rotina	Em até uma semana	Em até um mês
	<b>Status</b>	Concluído	Concluído	Concluído	Concluído	Concluído
<b>Checar</b>	<b>Riscos</b>	Desalinhamento se tornar acentuado e causar danos a correia	Rolos podem danificar a correia	Avarias não serem percebidas	Caso seja alinhado algum tambor, deve-se atentar para as tensões nos rolos próximos	Caso seja readaptado os mortos do chute, deve-se evitar casos de entupimento
	<b>Estratégias</b>	Monitorar princípios de desalinhamento	Manter rotina de inspeção	Manter rotina de inspeção	Evitar mover muito os tambores em caso de ajustes	Inspeccionar chutes, verificando as medidas internas
<b>Agir</b>	<b>Lições aprendidas e ações corretivas</b>	Rotina de inspeção deve ser seguida	Providenciar troca ou reposição de rolos ou ajuste dos cavaletes	Focar em bordas desgastadas e áreas de emendas	Mover tambores apenas em último caso	Não acrescentar chapas que possam criar novos mortos sem cálculo

### 6.1.2 Layouts dos transportadores (Gestão visual dos gatilhos de desalinhamento)

Para um melhor acompanhamento, com rápida identificação e início das tratativas no plano de ação, foi elaborado um quadro de gestão visual que contempla o layout de cada transportador, numerando todos os seus tambores, incluindo os viradores de correia, para mostrar onde estão ocorrendo os gatilhos, que são os princípios de desalinhamento.

Bem como os laudos feitos em manutenção preditiva, um controle dos acionamentos, identificando a condição dos motores, acoplamentos hidráulicos e redutores. Com foco nos tambores viradores de correia, que tendem a ter uma vida útil menor que os demais, sendo necessário acompanhar seus rolamentos, revestimento e lubrificação com mais cautela, observado na figura 19 o layout do TR-313K-89.

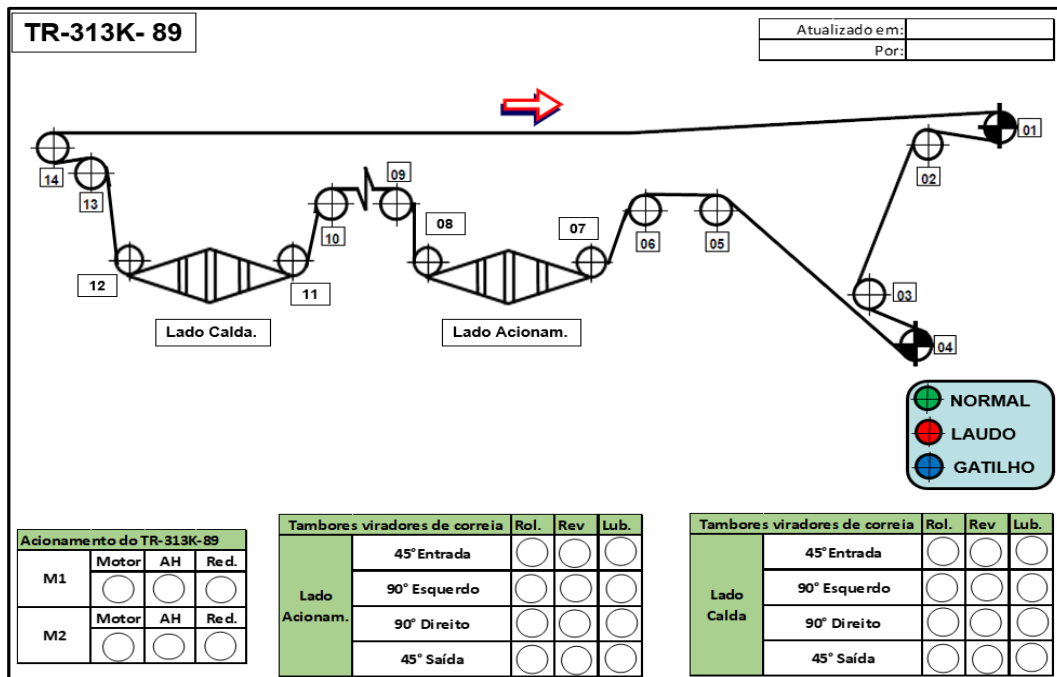


Figura 19: Layout do TR-313K-89

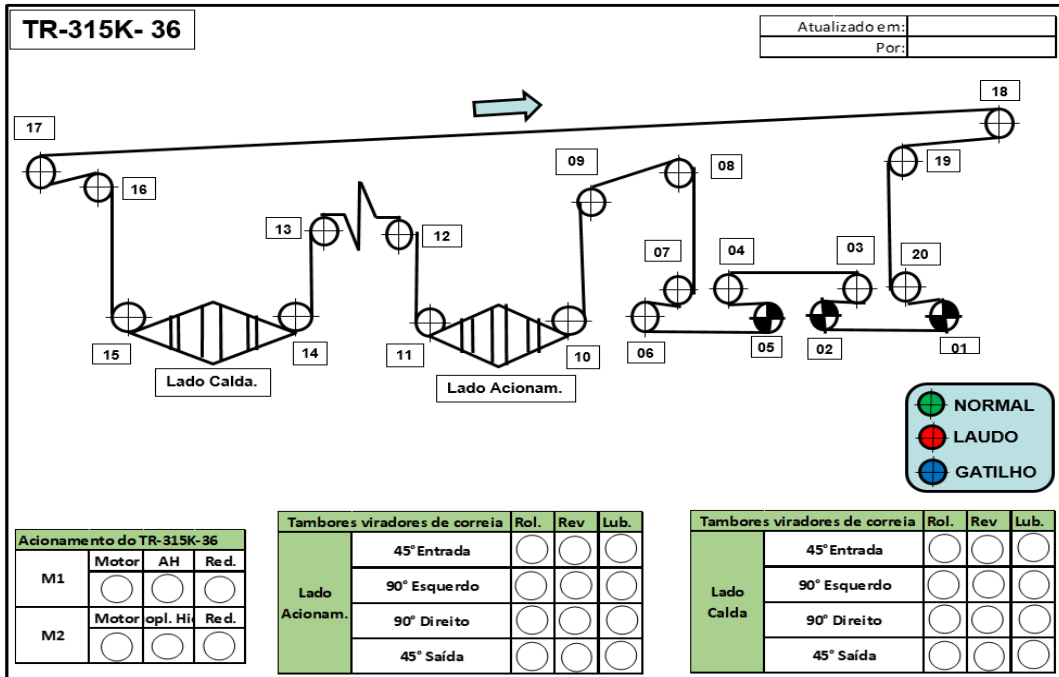


Figura 20: Layout do TR-315K-36

Na figura 20 e 21 é exemplificado o layout do TR-315K-36 e TR-315K-37, com o posicionamento dos seus tambores, acionamentos e viradores de correia, a que dão prosseguimento a linha do TR-313K-89.

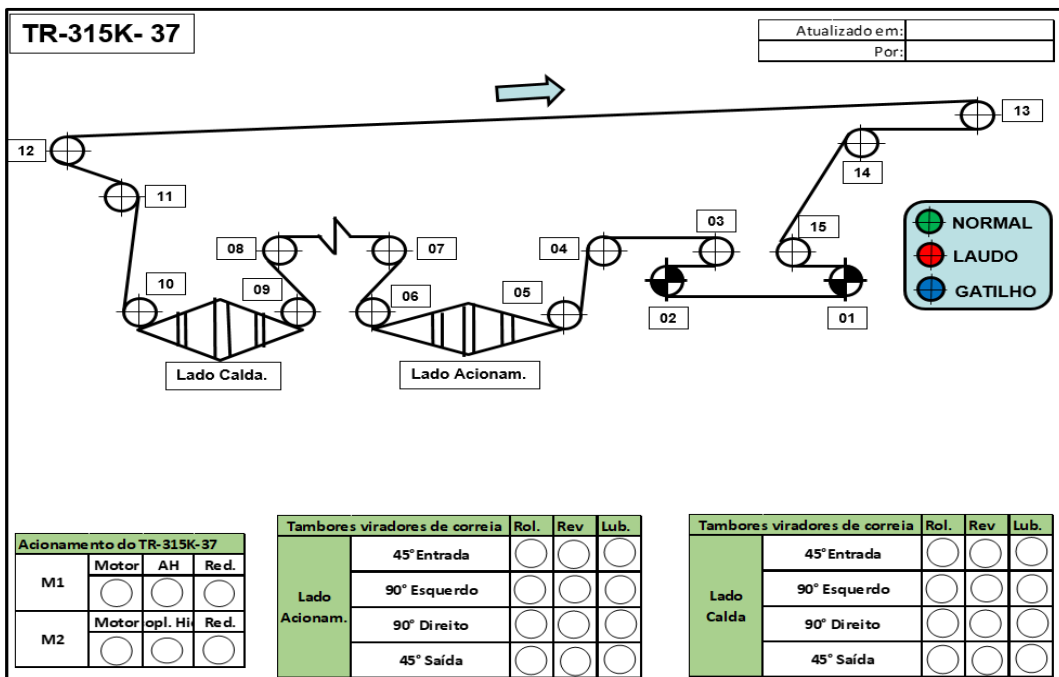


Figura 21: Layout do TR-315K-37



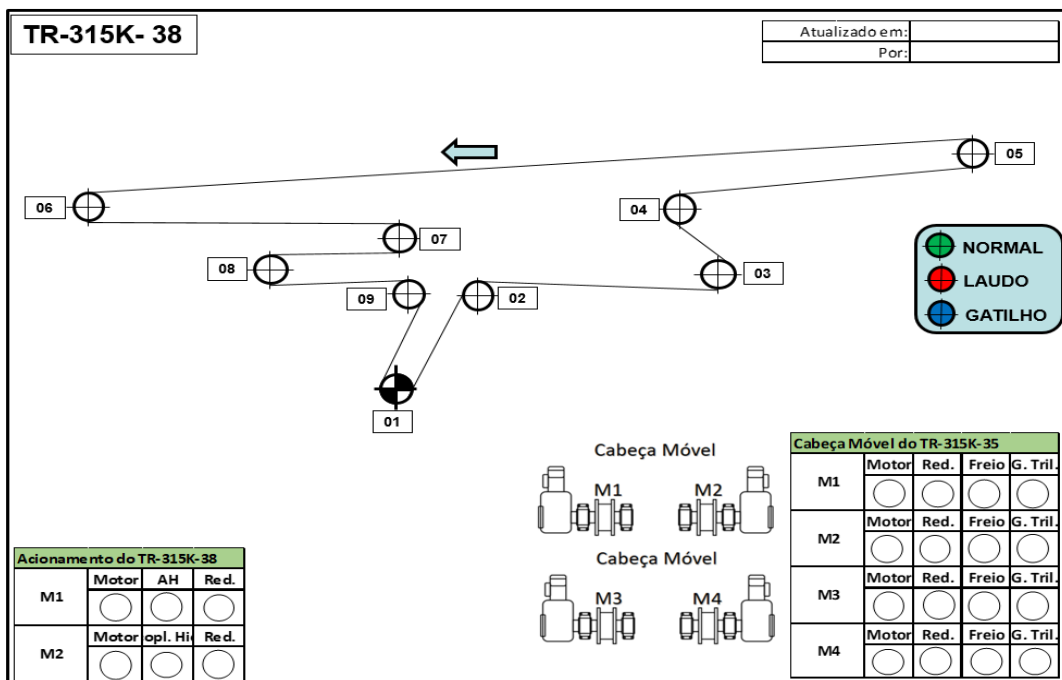


Figura 22: Layout do TR-315K-38

Na figura 22 tem-se a cabeça móvel do TR-315K-38, finalizando a linha de saída do TR-313K-89. Na figura 23, observa-se o layout do TR-313K-88, com o monitoramento dos seus tambores, acionamentos e viradores de correia.

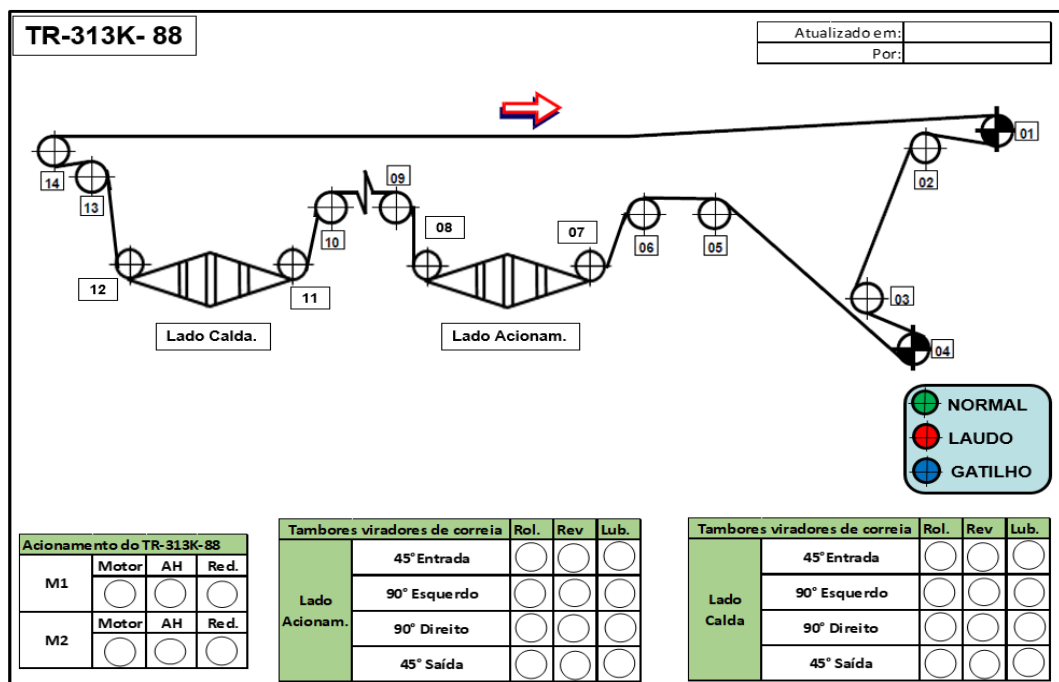


Figura 23: Layout do TR-313K-88

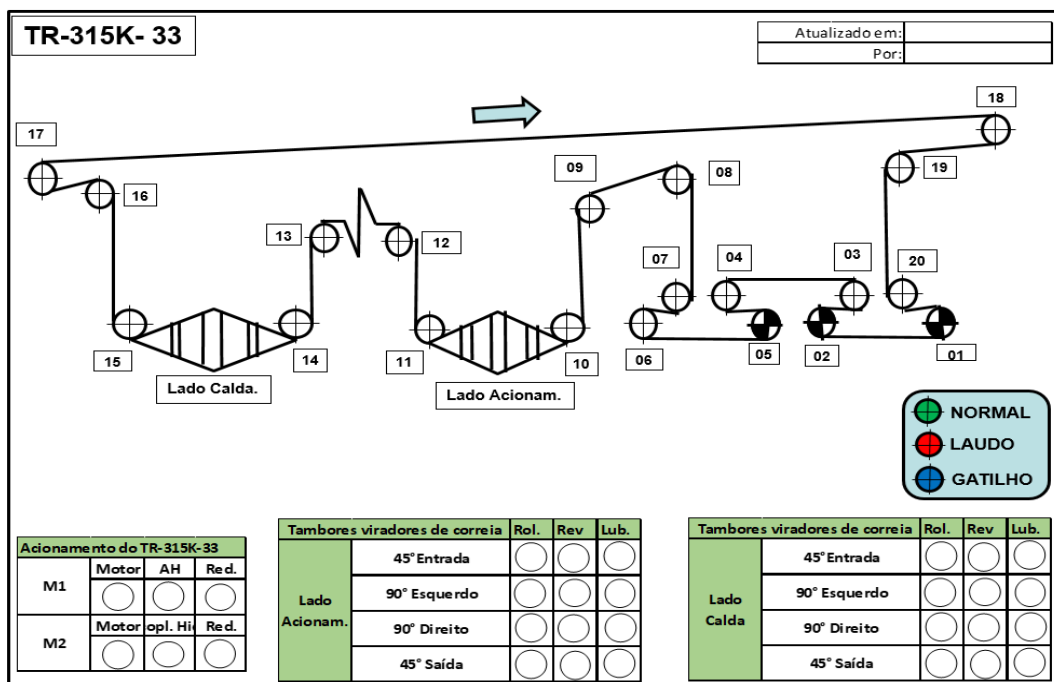


Figura 24: Layout do TR-315K-33

Na figura 24 e 25 são identificados os layouts dos TR-315K-33 e TR-315K-34, que dão prosseguimento a linha de saída do TR-313K-88, bem como o acompanhamento dos seus tambores, acionamentos e viradores de correia.

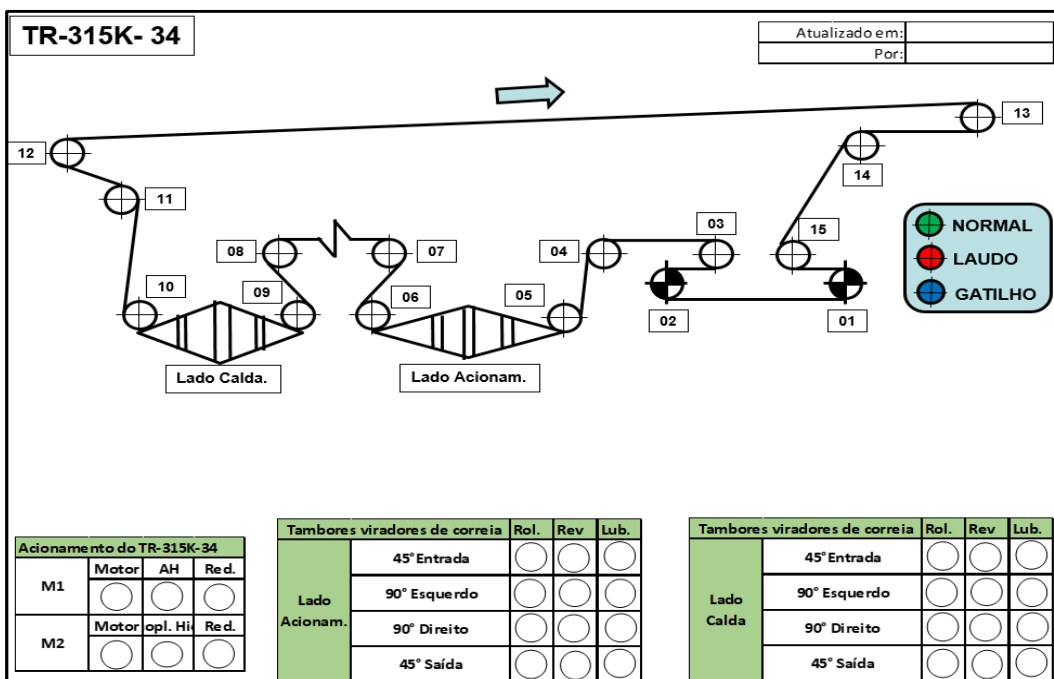


Figura 25: Layout do TR-315K-34

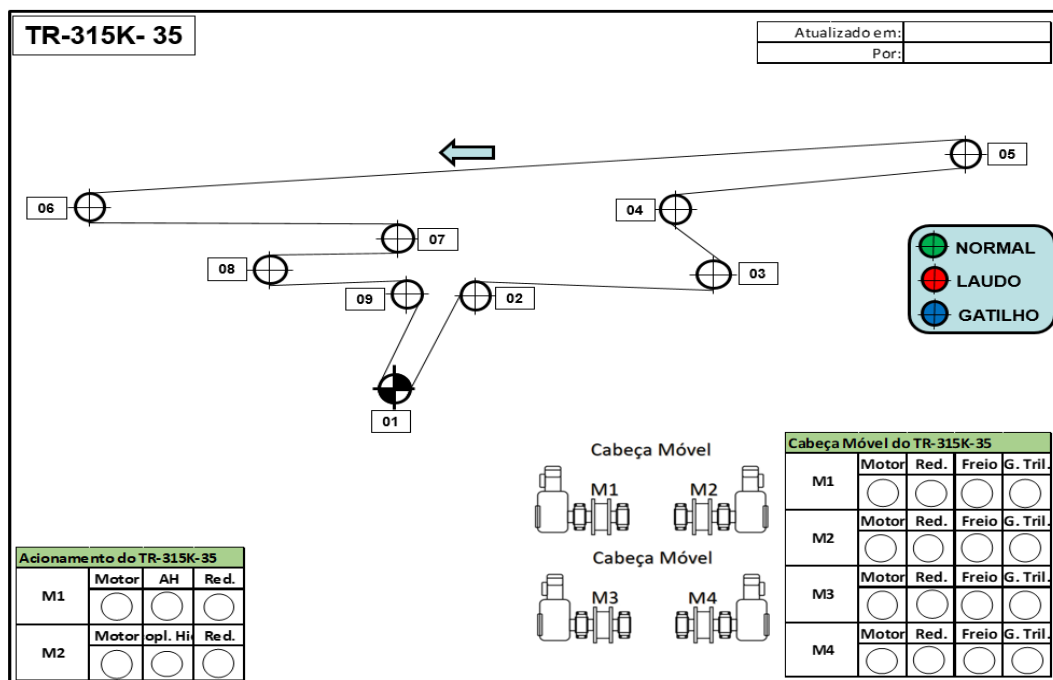


Figura 26: Layout do TR-315K-35

Na figura 26 é mostrado a cabeça móvel do TR-315K-35, finalizando a linha de saída do TR-313K-88.

### 6.1.3 Levantamento Topográfico

A partir da identificação de um gatilho em algum tambor, é preciso avaliar se o mesmo está alinhado com os tambores mais próximos. Desta forma, se faz necessário fazer um levantamento topográfico para obter uma medida precisa quanto as distâncias entre os tambores e em relação a estrutura do transportador, como evidenciado abaixo nos tambores 10 e 11 do TR-315K-33. Embora haja uma pequena diferença de aproximadamente 3mm entre os tambores, não é suficiente para se justificar o desalinhamento, como visto na figura 27.

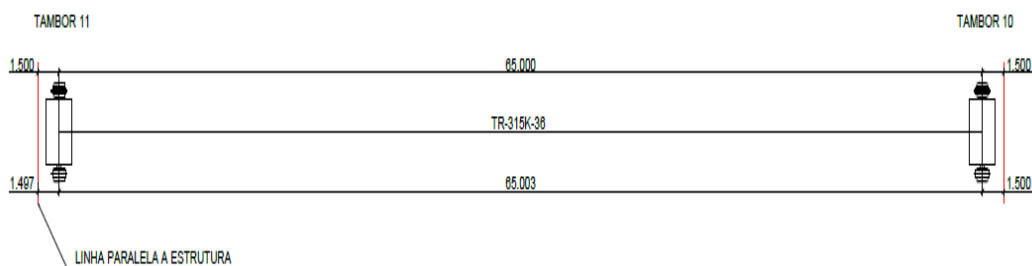


Figura 27: Levantamento topográfico dos tambores 10 e 11 do TR-315K-33



Tabela 4: Dados dos TR-313K-88 e TR-315K-33

Transportador	Capacidade de Projeto (t/h)	Capacidade Nominal (t/h)	Largura (mm)	Velocidade (m/s)	Diâmetro do Tambor (mm)
TR-313K-88 (Alimentação)	22.000	-	2.200	4,17	1.800
TR-315K-33 (Receptor)	20.000	16.000	2.200	4,17	

No modelo do chute apresentado na figura 29, é possível observar as duas partes do chute: capota e bota. Existem três caixas de pedra fixas (mortos), destacadas em vermelho. A altura do chute, entre correias, é de 5.831mm.

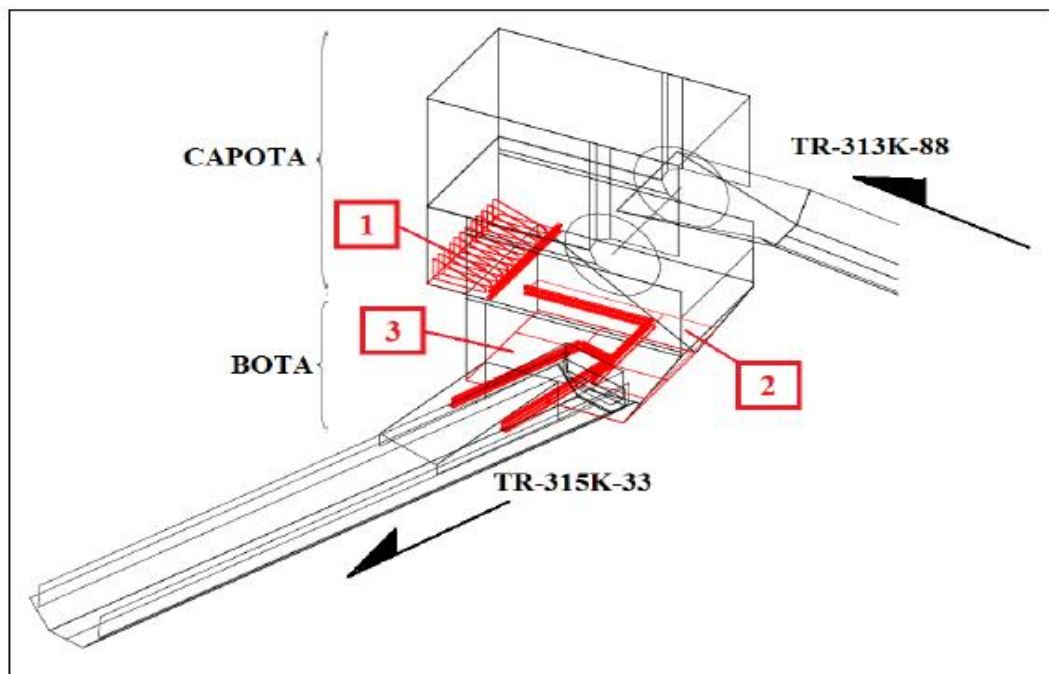


Figura 29: Vista geral do chute

Para a simulação foi utilizado o software Bulk Flow Analyst – BFA, versão 1.2630, que permite a modelagem de escoamento de partículas através do Método dos Elementos Discretos (DEM – Discrete Element Method).

A simulação consiste, primeiramente, em analisar a geometria do chute considerando somente as taxas nominais das correias. Com base na análise, a geometria do chute pode ou não receber sugestões de modificação. Após essa etapa, a condição final (com ou sem modificação) será avaliada com a taxa nominal e a taxa de projeto.

### 6.1.5.1 Escoamento através do chute na condição nominal – original

As figuras 30, 31 e 32 apresentam uma visão geral do escoamento para um tempo de simulação de 60 (sessenta) segundos.

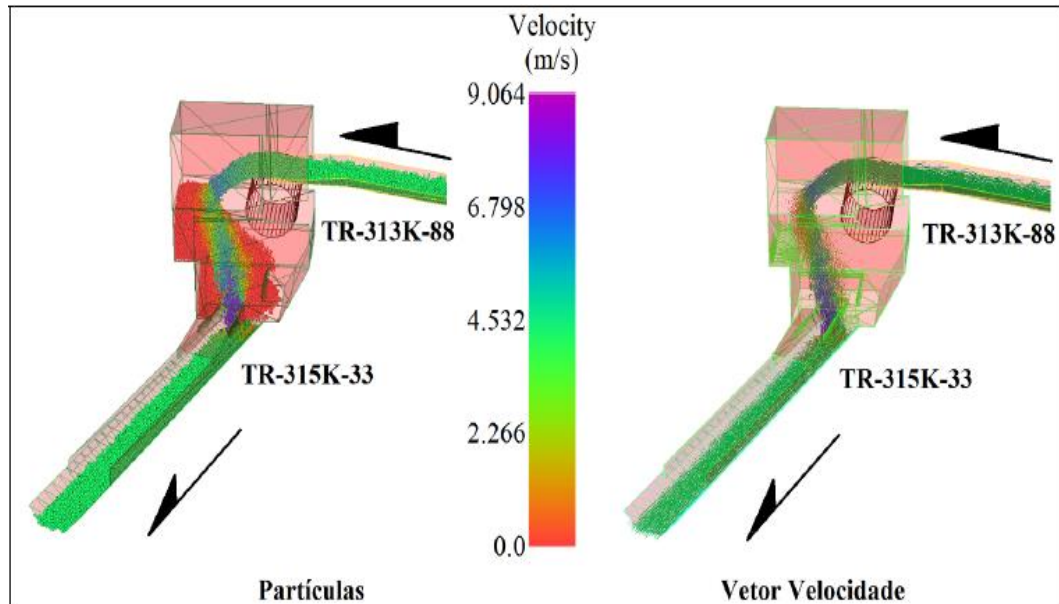


Figura 30: Vista geral do escoamento no chute de alimentação do TR-315K-33

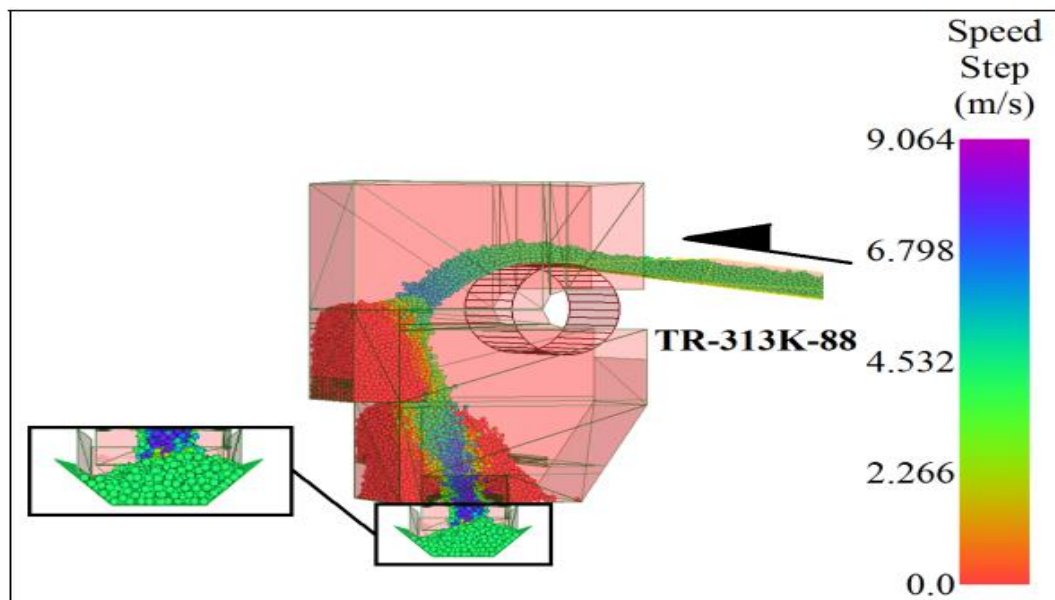


Figura 31: Vista frontal a correia do escoamento no chute de alimentação do TR-315K-33



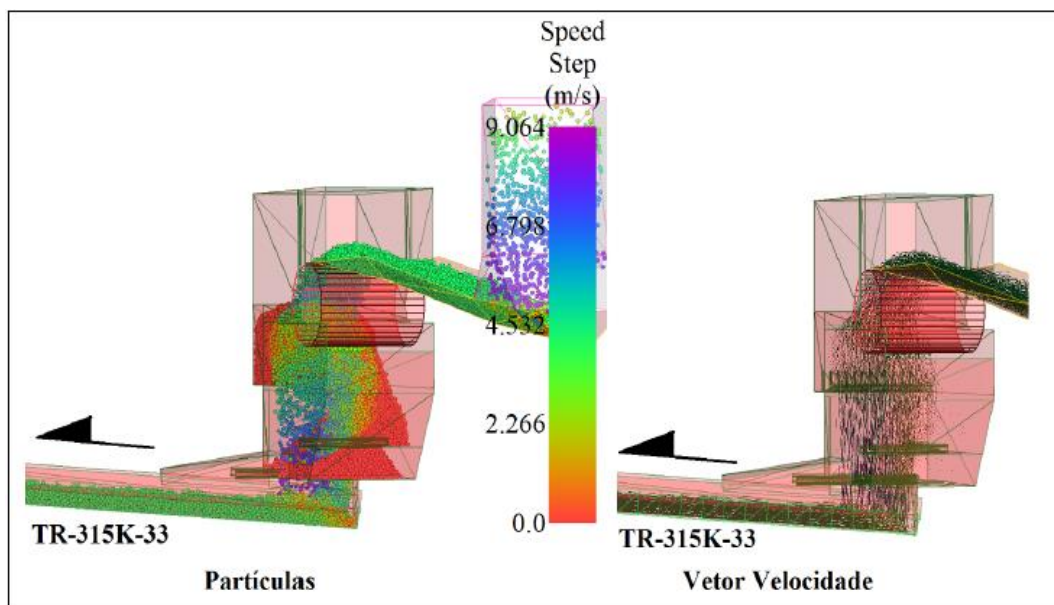


Figura 32: Vista lateral a correia do escoamento no chute de alimentação do TR-315K-33

Nota-se que, apesar das partículas preencherem as três caixas de pedra (mortos), o sistema de caixas de pedra não é suficiente para direcionar o escoamento de tal forma que o fluxo de minério chegue na correia receptora, centralizado e com velocidade aproximada.

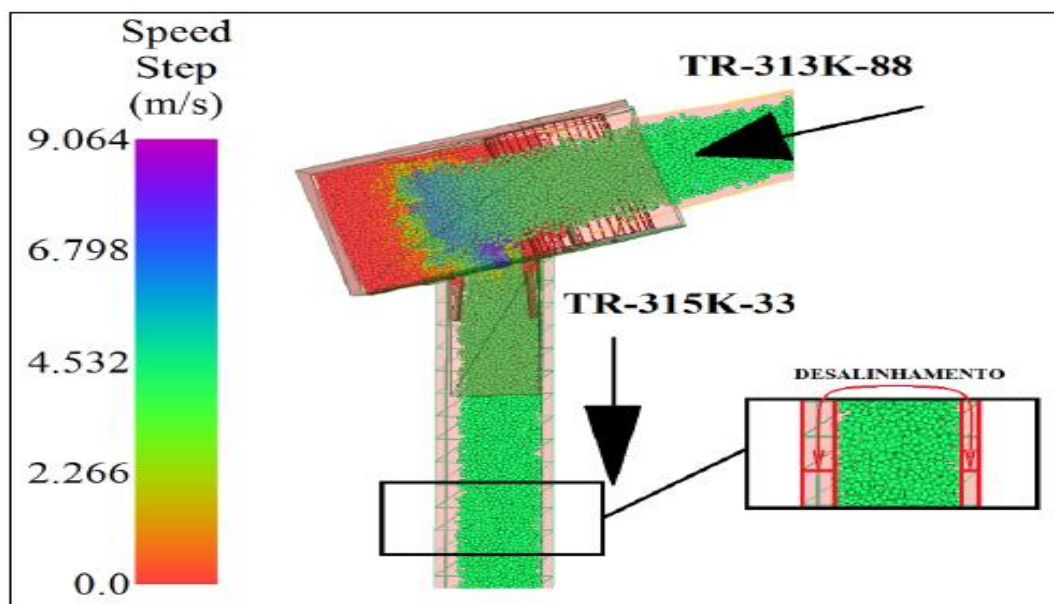


Figura 33: Vista de topo do escoamento no chute de alimentação do TR-315K-33

### 6.1.5.2 Tendência ao entupimento

O gráfico 5 apresenta a evolução do número de partículas na correia do TR-315K-33, mostrando que o mesmo não tem tendência a entupir e que, o escoamento entra em regime permanente em aproximadamente 21(vinte e um) segundos.

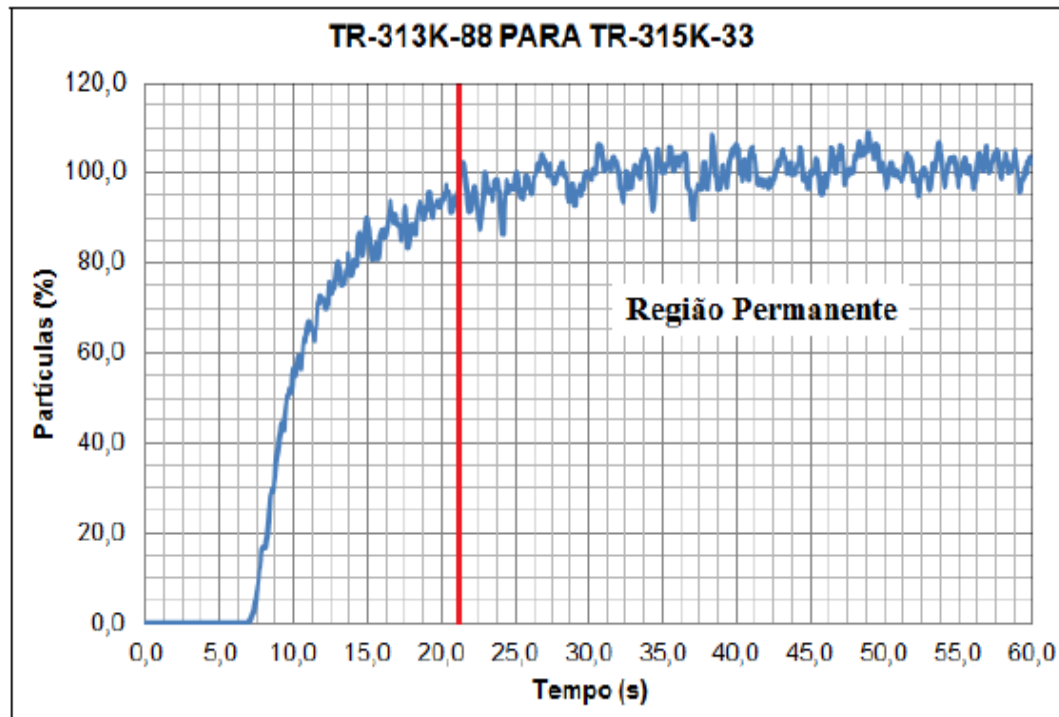


Gráfico 5: Evolução das partículas na correia do TR-315K-33

### 6.1.5.3 Fator de desalinhamento

O gráfico 6 mostra quantitativamente o fator de desalinhamento da correia receptora (TR-315K-33). O fator de desalinhamento obtido foi de 24,9%, acima dos limites aceitáveis que são de 0 a 10%, identifica-se a causa raiz do desalinhamento como sendo o escoamento de fluxo de material do chute, por exceder os valores toleráveis.



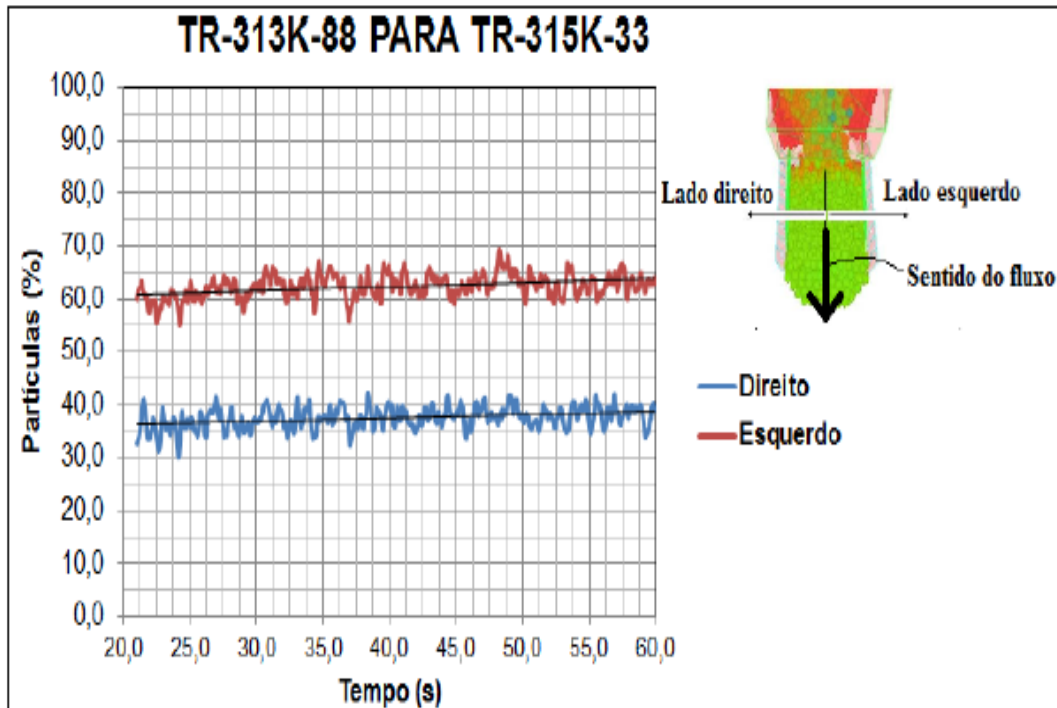


Gráfico 6: Fator de desalinhamento na correia do TR-315K-33

Verificando assim, que o projeto do chute analisado, não desempenha sua função de forma satisfatória, pois a correia apresenta um fator de desalinhamento acima do tolerável, sendo necessário a aplicação de melhorias no chute, readequando suas caixas de pedras (mortos), para diminuição do desalinhamento, partindo da premissa que o escoamento ocorra de forma satisfatória, ou seja, de forma centralizada, no mesmo sentido e com velocidade aproximada ao da correia receptora.

### 6.1.6 A3 de Solução de Problemas – Desalinhamento

Para reforçar o plano de ação realizado através do método do PDCA, será correlacionado com outro método, o A3 de solução de problemas, partindo de um pressuposto comum: retratar causas e soluções.

Como pode ser observado no Apêndice A, foi identificado no primeiro passo, o objetivo final, que é manter o transportador em operação sem desalinhamento, onde o problema (Gap) encontrado foi o desalinhamento do transportador.

No segundo passo, foi desdobrado o problema, verificando que a queda de material descentralizada no chute e o comprimento da correia com medidas acima do padrão de projeto, influenciariam diretamente na causa desse desalinhamento.

Pode ser observado que o desgaste excessivo nas chapas defletoras do chute seriam o ponto de ocorrência do problema priorizado, seguindo o fluxo do processo após a identificação na inspeção.

No terceiro passo foi estabelecido a meta para reduzir a frequência de eventos de desalinhamento, com a troca sistemática das chapas defletoras sendo a contenção do problema.

No quarto passo foi feita a análise da causa raiz, onde foi verificado no campo de material o desgaste prematuro das chapas defletoras e no método a falha na identificação durante o processo de inspeção. Sendo a causa raiz identificada como o material fugitivo pelo desgaste nas chapas do chute.

No passo cinco e seis foi desenvolvido a contramedida de programar pitstop (paradas mais curtas) de limpeza da região do chute, para facilitar a inspeção e as ações são para mapear e trocar as chapas defletoras desgastadas.

No passo 7 foi verificado que o processo está funcionando de acordo com as contramedidas. Enquanto no passo 8, foi definido que será padronizado a rotina de pitstop de limpeza para todos os transportadores do pátio.

### **6.1.7 FMEA – Desalinhamento**

Conforme observado no Apêndice B, foi aplicado o FMEA para o modo de falha de desalinhamento nos transportadores de correia, apontado as medidas, o que deverá ser feito, por que deverá ser feito, como será feito e onde será feito, com um responsável por cada medida, um status de acompanhamento, os resultados alcançados por cada medida, os pontos problemáticos decorrentes de cada medida, as propostas de novas ações e o número de prioridade de risco.

## 6.2 TROCA DE ROLOS

Para troca de rolos deve-se iniciar o planejamento com a identificação do que levou ao desgaste prematuro do rolo para que o mesmo seja trocado, a partir disso pode-se definir o plano de ação na tabela 5:

Tabela 5: Plano de ação (PDCA) – Troca de rolos

<b>Planejar</b>	<b>Ação</b>	Identificar rolos desgastados	Verificar acúmulo de materiais	Verificar presença e eficiência de raspadores	Verificar guias dos chutes	Realizar troca do rolo
	<b>Prioridade</b>	1	1	2	2	1
	<b>Benefício</b>	Evitar danos a correia	Aumentar vida útil dos rolos	Evitar acúmulo de material sobre os rolos	Evitar acúmulo de material sobre os rolos	Evitar danos a correia
<b>Fazer</b>	<b>Responsável</b>	Inspeção	Inspeção	Inspeção	Inspeção	Manutenção
	<b>Início</b>	Rotina	Rotina	Rotina	Rotina	Rotina
	<b>Fim</b>	Rotina	Rotina	Rotina	Rotina	Rotina
	<b>Status</b>	Concluído	Concluído	Concluído	Concluído	Concluído
<b>Checar</b>	<b>Riscos</b>	Rolo quebrar e avariar a correia	Material desgastar revestimento do rolo ou travá-lo	Acumular material sobre os rolos	Acumular material sobre os rolos	Rolo com desgaste pode rasgar a correia
	<b>Estratégias</b>	Realizar rotina de inspeção	Realizar limpeza frequente nos pontos de acúmulo de material	Posicionar os raspadores estrategicamente para que desempenhem bem a sua função	Realizar a troca das guias assim que apresentarem desgaste	Tentar trocar a maior quantidade de rolos em preventiva, desde que não ofereçam risco para a correia
<b>Agir</b>	<b>Lições aprendidas e ações corretivas</b>	Aproveitar oportunidades para troca de rolos em preventiva	Providenciar mudanças para eliminação de áreas com acúmulo de material	Verificar fixações dos raspadores para que os mesmos não danifiquem a correia	Posicionar adequadamente as guias para que a correia não se desgaste prematuramente	Evitar trocar rolos que não oferecem risco para a correia

### 6.2.1 Revisão dos Planos de Inspeção

Após a execução do plano de ação, percebeu-se que a quantidade de inspeções com foco em itens de desgaste, não estava sendo suficiente para identificar os rolos que precisavam ser trocados, antes de evitar algum dano a correia ou um aumento de temperatura de forma que evitasse princípios de incêndio.

Os itens a seguir foram revisados e readaptados dos planos de inspeção existentes para que as ocorrências fossem evitadas. Onde as seguintes questões devem ser verificadas:

#### **Inspeção de Desgaste dos Rolos:**

- Condições inadequadas de limpeza:
- Ruído anormal:
- Vibração excessiva:
- Travamento, avarias e/ou ausência de rolos de carga, retorno e impacto:
- Corrosão, avarias e/ou ausência de cavaletes de carga, retorno e impacto:
- Parafusos, arruelas e porcas de cavaletes de carga, retorno e impacto folgados, avariados e/ou ausentes:
- Ausência, corrosão, deformações, empenos, trincas, defeitos em cordões de solda e/ou avarias em telas e/ou chapas de proteção instaladas na região de retorno:
- Parafusos, arruelas e porcas externas folgados, avariados e/ou ausentes de telas e/ou chapas de proteção instaladas na região de retorno:
- Incompatibilidade de dimensões e/ou componentes de telas e/ou chapas de proteção instaladas na região de retorno com especificações de projeto:
- Cavaletes auto-alinhantes de carga e de retorno com altura inadequada em relação aos cavaletes fixos:
- Distância entre cavaletes de impacto:
- Travamento, avarias e/ou ausência de rolos de proteção de estrutura:
- Corrosão, avarias e/ou ausência de suportes de rolos de proteção de estrutura:
- Parafusos, arruelas e porcas de suportes de rolos de proteção de estrutura folgados, avariados:

Após a inspeção desses itens, o inspetor deverá fazer observações gerais de cada anomalia identificada e inserir o número da nota de manutenção para sanar o problemas.

### **Inspeção de Rolos Desaguadores e Suportes:**

- Condições inadequadas de limpeza de rolos desaguadores e de seus suportes:
- Regulagem:
- Ruído anormal:
- Vibração excessiva:
- Travamento, avarias e/ou ausência de rolos desaguadores:
- Corrosão e/ou avarias de cavaletes suportes de rolos desaguadores:
- Parafusos, arruelas e porcas de suportes de rolos desaguadores folgados, avariados e/ou ausentes:

### **6.2.2 Gráfico de evolução de temperatura dos rolos das mesas de impacto**

Foi identificado a partir de uma análise mais detalhada das falhas, uma grande quantidade de eventos de troca de rolos devido a princípios de incêndio nas mesas de impacto. Para evitar novos casos, aumentou-se a quantidade de inspeções termográficas e gerou o gráfico 7 de evolução da temperatura dos rolos, daqueles que apresentassem alguma variação significativa, dessa forma pode-se verificar que em casos com material acumulado próximo aos rolos, o mesmo levava em média quatro semanas até apresentar sinais de temperatura elevada, sendo necessário a troca imediata.

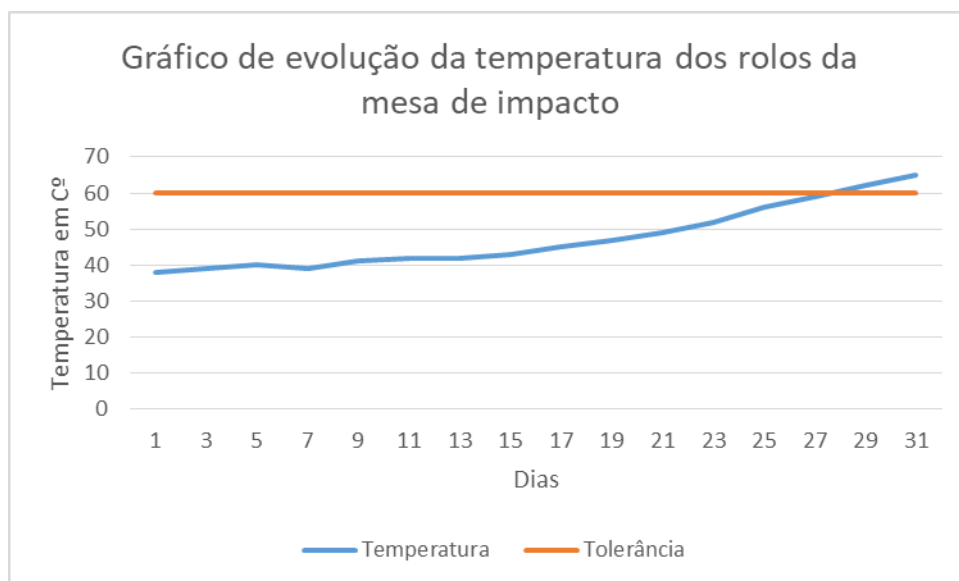


Gráfico 7: Evolução da temperatura dos rolos da mesa de impacto

### 6.2.3 Sistema de Gestão de Rolos

Para controlar os gastos com troca de rolos, foi desenvolvido um sistema de gestão de rolos, uma planilha que serviria para mapear falhas e criar um histórico de todas as trocas de rolos realizadas. Ela consiste no número da ordem de manutenção, o ativo (transportador), o tipo de rolo, o número da baliza, do cavalete e a posição do rolo, se é necessário a montagem de andaime ou realizar limpeza no local da troca, o status da falha, a data de abertura da nota, para acompanhar a criticidade da falha e o tempo para a tratativa, o fabricante, caso seja preciso acionar a garantia, se a troca foi feita em manutenção corretiva (P0), manutenção de oportunidade (P1) ou manutenção preventiva (P2), quando será a previsão para a troca do rolo e a data de atualização do controle por cada inspetor, sendo estabelecido uma rotina de atualização semanal, sendo observado na tabela 6.

Tabela 6: Sistema de Gestão de Rolos

## SGR - SISTEMA GESTÃO DE ROLOS

Ordem de Manutenção	Ativo	Tipo	Baliza	Cavalete	Posição	Andaime	Limpeza	Status	Data da Abertura da Ordem	Fabricante	P0/P1/P2	Previsão para Próxima Troca	Atualizado em:
201801619813	TR-315K-36	RET LISO EM 'V'	01	02	DIREITO	SIM	NÃO	REVESTIMENTO	13/03/2019	Sandvik	P2	26/03/2019	21/03/2019
201900215225	TR-315K-36	IMPACTO	02	08	DIREITO	NÃO	SIM	ROLAMENTO	14/03/2019	Parcan	P2	26/03/2019	21/03/2019
201900215566	TR-315K-36	RET LISO EM 'V'	02	02	DIREITO	SIM	NÃO	ROLAMENTO	15/03/2019	Sandvik	P2	26/03/2019	21/03/2019
201900214283	TR-315K-36	RET LISO EM 'V'	11	03	DIREITO	SIM	NÃO	QUEBRADO	15/03/2019	Sandvik	P2	26/03/2019	21/03/2019
201900215555	TR-315K-36	GUIA	12	12	ESQUERDO	NÃO	NÃO	QUEBRADO	11/03/2019	Parcan	P1	26/03/2019	21/03/2019
201804215323	TR-315K-36	RET LISO EM 'V'	13	06	ESQUERDO	SIM	NÃO	CAÍDO	06/03/2019	Sandvik	P0	06/03/2019	21/03/2019
201900287274	TR-315K-36	RET LISO EM 'V'	16	05	ESQUERDO	SIM	NÃO	TRAVADO	13/03/2019	Sandvik	P2	26/03/2019	21/03/2019

### 6.2.4 A3 de Solução de Problemas – Troca de Rolos

Conforme o Apêndice C, montou-se o A3 de Solução de Problemas, onde definiu-se no primeiro passo o objetivo final que é eliminar a troca de rolos em manutenção corretiva e identificando o problema (Gap) como os eventos com princípio de incêndio em rolos das mesas de impacto.

No passo dois, ao se desdobrar o problema, verificou-se que o desgaste prematuro dos rolos estava ocorrendo devido a qualidade dos mesmos e acúmulo de material.

No terceiro passo definiu-se a meta de reduzir a zero a quantidade de eventos com princípio de incêndio mesas de impacto, verificando que o problema pode ser descrito pela má qualidade dos rolos trocados, das fabricantes Sandvik e Nepean. Gerou-se uma ação para a engenharia fazer uma análise acerca da especificação dos rolos disponibilizados por esses fabricantes, levando em consideração o eixo dos rolos, rolamentos, processo de vulcanização e o material da borracha de revestimento, juntamente com o laudo do fabricante.

No quarto passo, na análise da causa raiz, identificou-se no campo de material, a pouca disponibilidade de rolos para troca, a má qualidade da vulcanização dos rolos dos fabricantes citados e o armazenamento inadequado durante as manutenções e no campo de método verificou-se o manuseio inadequado dos rolos durante as manutenções.

No passo cinco e seis definiu-se as contramedidas de bloquear a entrada de rolos destes fabricantes no porto, aumentar a frequência de inspeções termográficas e substituir rolos com revestimento de borracha por rolos de impacto de ferro. A ação gerada foi a especificação correta dos rolos que atendam às exigências do porto.

No passo sete verificou-se que o processo está funcionando de acordo com as contramedidas e a meta de reduzir a quantidade de eventos com princípio de incêndio nas mesas de impacto a zero foi atingida.

No oitavo passo definiu-se a padronização para todas as rotas que utilizam rolos de impacto de 800x219x42mm e a divulgação da análise do fabricante por parte da engenharia.

### **6.2.5 FMEA – Troca de Rolos**

Conforme observado no Apêndice D, foi aplicado o FMEA para o modo de falha de troca de rolos nos transportadores de correia, apontado as medidas, o que deverá ser feito, por que deverá ser feito, como será feito e onde será feito, com um responsável por cada medida, um status de acompanhamento, os resultados alcançados por cada medida, os pontos problemáticos decorrentes de cada medida, as propostas de novas ações e o número de prioridade de risco.

## 7. CONCLUSÃO

A partir dos conceitos estudados e das tratativas dos problemas encontrados, é possível ver a eficácia dos planos de ação empregados e suas respectivas contramedidas. Dessa forma é possível replicar as ações para os demais transportadores, com o intuito de tratar as anomalias encontradas através das metodologias de qualidade exploradas, utilizando os planos do PDCA e do A3 para alcançar resultados imediatos.

Desta forma, pode-se utilizar o FMEA como ferramenta de manutenção para prevenir possíveis falhas de desalinhamento e troca de rolos prematuras em outros transportadores e até mesmo para as máquinas recuperadoras de minério e empilhadeiras.

Evitando que novas ocorrências aconteçam e dando tratativas mais rápidas e eficazes para algum gatilho pontual, é possível aumentar a confiabilidade dos ativos estudados, reduzindo gastos, tempo e utilizando a mão de obra de maneira mais adequada.

Reduziu-se a quantidade de eventos de princípios de incêndio em mesas de impacto de quatro para zero e diminuí-se os gastos com troca de rolos em corretiva em 12% no primeiro trimestre de 2019 em relação ao mesmo período de 2018 ao acionar a garantia de rolos trocados prematuramente.

Em relação as horas de PO causadas pelo desalinhamento no TR-315K-33, reduziu-se em 28,13% no primeiro trimestre de 2019 em relação ao mesmo período de 2018.

Gerando disponibilidade física para o equipamento de forma que ele execute suas atividades sem imprevistos, atingindo metas e conseqüentemente alavancando a produção, dando mais lucros e tornando a empresa mais competitiva no mercado.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, F. F. **O Método de Melhorias PDCA**. 2003. 157 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462**: confiabilidade e manutenibilidade: terminologia. Rio de Janeiro, 1994.

BLOOM, N. **Reliability Centered Maintenance: implementation made simple**. New York: McGraw-Hill, 2006.

CERTO, S. C. **Administração Moderna**. 9ª ed. Pearson, 2003.

COSTA, A. F. B.; EPPRECHT, E.K.; CARPINETTI, L.C.R. **Controle estatístico de qualidade**. São Paulo: Atlas, 2003.

DHILLON, B. S. **Engineering maintenance: a modern approach**. 2ª. ed. Florida: CRC Press, 2002.

FALCONI, V. **O PDCA focado nos resultados**. Edição 271, BQualidade, Janeiro de 2015.

FERREIRA, A. B. D. H. **Novo dicionário de língua portuguesa**. 3ª. ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1997

FILHO, G. B. **A Organização, o Planejamento e o Controle da Manutenção**. 1. ed. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2008.

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

GUTIÉRREZ, A. M. **Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios: enfoque sistémico kantiano**. 1. ed. Colômbia: AMG, 2005.

HANSEN, R, C. **Eficiência Global dos Equipamentos: uma poderosa ferramenta de Produção/Manutenção para aumento dos lucros**. ISBN 0-8311-3138-1, 2002.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION'S. **IEC 60812**: Analysis techniques for system reliability – procedure for failure mode and effects analysis (FMEA). Switzerland, 2006.

MORTELARI, D.; SIQUEIRA, K.; PIZZATI, N. **O RCM na Quarta Geração da Manutenção de Ativos**. 1. ed. RG Editores, 2011.

MOUBRAY, J. **Manutenção Centrada em Confiabilidade**. 2. ed. Lutterworth: AladonLtd, 2000.

OLIVEIRA, D. P. R. **Planejamento estratégico: conceitos, metodologias e práticas**. 19 ed. São Paulo: Atlas, 2003.

RAPOSO, J. L. O. **Manutenção Centrada em Confiabilidade aplicada a Sistemas Elétricos**: uma proposta para uso de análise de risco no diagrama de decisão. 2004. 149 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2004.

SAE STANDART. **Potential Failure Mode and Effects Analysis in Design (Design FMEA), Potential Failure Mode and Effects Analysis in Manufacturing and Assembly Processes (Process FMEA)**. SAE Standard. Surface Vehicle Recommended Practice SAE J1739. 2000.

SIQUEIRA, I. P. **Manutenção Centrada na Confiabilidade - Manual de Implementação**. 1. ed. Rio de Janeiro, Qualitymark, 2005.

SOBEK II, D. K.; SMALLEY, A. **Entendendo o pensamento A3**. 1. Ed. Bookman, 2010.

STREBEL, M. G. **Foundations. Guia Prático para um Controle mais Limpo, Seguro e Produtivo de Pó e Material**. 4º ed. Martin Engineering Company. Illinois, EUA, 2009.

UBQ (União Brasileira da Qualidade – MG). **Coletânea dos Estudos de Caso apresentado na 7º Convenção Mineira de TPM / 4º Convenção Brasileira de TPM**. Belo Horizonte, 2007.

XENOS, H. G. **Gerenciando a Manutenção Produtiva**. 1 ed. EDG – Editora de Desenvolvimento Gerencial, 2004.

**ZAIONS, D. R. Consolidação da Metodologia de Manutenção Centrada em Confiabilidade em uma Planta de Celulose e Papel.** 2003. 219 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

## APÊNDICE A – A3 DE SOLUÇÃO DE PROBLEMAS: DESALINHAMENTO

**1º Passo: Clarificar o Problema**

**Objetivo Final:** Manter transportador em operação sem desalinhamentos

Transportador sem apresentar desalinhamento

Situação Ideal

**Relação com o indicador chave do processo:**

Transportador operando com desalinhamento

Situação atual

Desalinhamento no Transportador.

Problema (Gap)

---

**2º Passo: Desdobrar o Problema**

Desalinhamento no Transportador

Queda descentralizada de material no chute

Desgastes excessivo das chapas da bancada

Falha na priorização das demandas de manutenção

Desgaste excessivo das chapas defletoras

Desgaste do revestimento do tambor

Falha na priorização das demandas de manutenção

Acúmulo de material na mesa de impacto

Travamento dos rolos, causando desgaste na correia

Falha na rotina de limpeza

Comprimento da correia com medidas acima do padrão de projeto

Baixa velocidade de operação

Baixa eficiência no sistema de esticamento

Avaria nas bordas da correia

**Processo: Ponto de Ocorrência do Problema Priorizado**

Feito a inspeção

➔

Acionado a cadeia de ajuda

➔

Inspeção conjunta com a liderança

➔

Detectado desgaste das chapas defletoras

➔

Troca em preventiva das chapas defletoras

➔

Correia alinhada

---

**3º Passo: Definir a Meta**

**Descrição do Problema**

Devido a desgaste das chapas defletoras, a correia veio a desalinhar perdendo borda.

↔

**Definição da Meta**

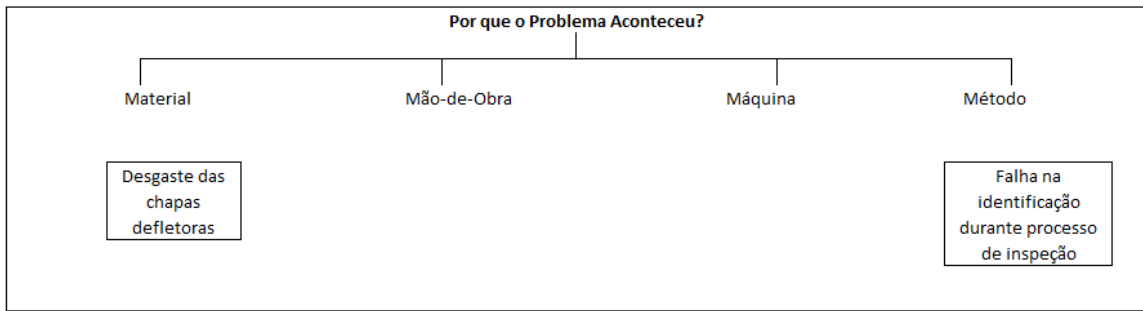
Reduzir a frequência dos eventos de desalinhamento de um total de 37 para 5 até 30/10/2019

**Contenção do Problema:** São necessárias ações para conter (eliminar ou reduzir) o efeito do problema?  Sim  Não (Se sim, descrever abaixo)

Troca sistemática das chapas defletoras, evitando queda de material na mesa de impacto.

---

**4º Passo: Analisar Causa Raiz**



Descrição da Causa Raiz:

Material fugitivo pelo furo (desgaste) do chute, causando acúmulo de material nos rolos da mesa de impacto e desgaste do revestimento do tambor, ocasionando avarias na correia (perda de borda e de massa pelo retorno).

**5º e 6º Passos: Desenvolver, Implementar e Acompanhar Contramedidas**

O Melhora      X Piora      Δ Não interfere

Contramedidas Potenciais		Avaliação das Contramedidas					
		Seg	Qual	L/T	Custo	Geral	Comentários
1	Programar PitStop de limpeza da região do chute para facilitar a inspeção.	O	O	Δ	Δ		
2							
3							
4							
5							

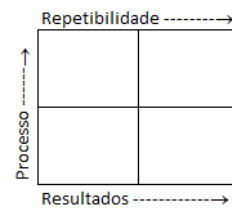
Ação		Prazo	Responsável	Status
1	Mapear chapas defletoras desgastadas dos transportadores do pátio sul	31/07/2019	Inspeção Pátio Sul	Em andamento
2	Trocar chapas defletoras desgastadas dos transportadores do pátio sul	30/10/2019	Manutenção Preventiva	Em andamento
3				
4				

**7º Passo: Avaliar Processo e Resultado**

O Melhora      X Piora      Δ Não interfere

- O processo está funcionando de acordo com as contramedidas? Sim
- A meta foi atingida?

Comentários: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_



**8º Passo: Padronizar e Replicar (processos bem sucedidos)**

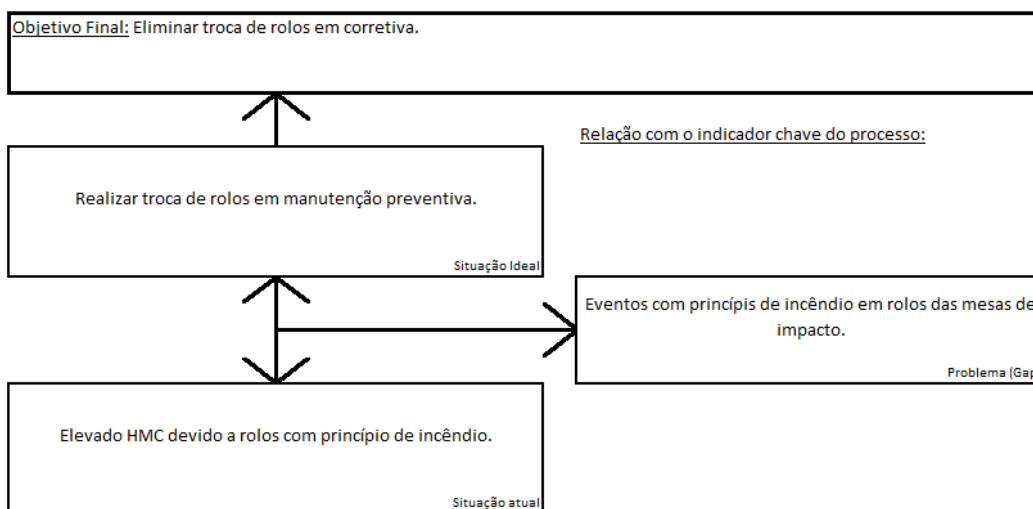
	Sim	Não	Comentários
a) Padronizar?	X		PitStops de limpeza e inspeção no chute de todos os transportadores de pátios.
b) Divulgar e/ou Replicar?	X		Divulgado entre a equipe do pátio norte a importância de verificar este componente da máquina.
c) Novas rodadas de Kaizen?		X	

APÊNDICE B – FMEA: DESALINHAMENTO

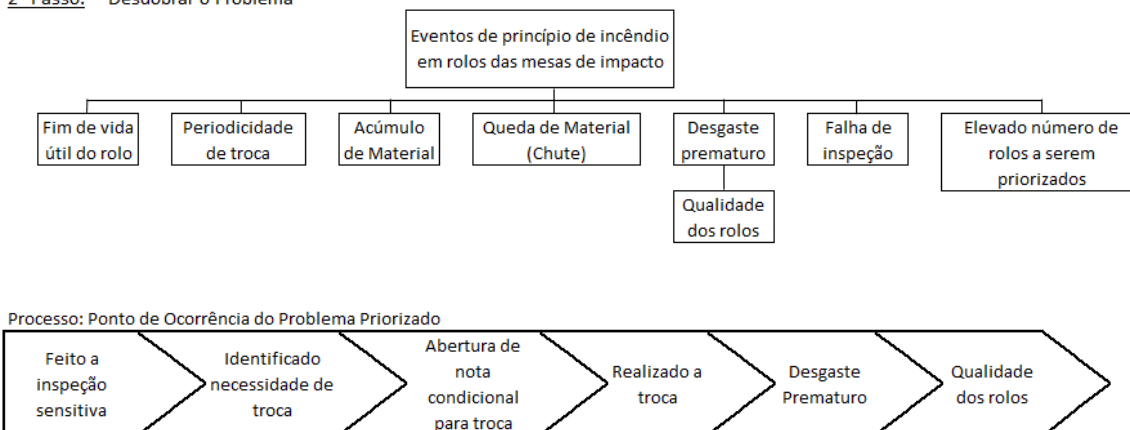
FMEA												
EQUIPAMENTO	MODO DE FALHA	MEDIDAS	O QUE	POR QUE	COMO	ONDE	RESPONSÁVEL	STATUS	RESULTADOS ALCANÇADOS	PONTOS PROBLEMÁTICOS	PROPOSTA DE NOVAS AÇÕES	NPR
Transportador de correia	Desalinhamento	Identificar pontos de desalinhamento	Acompanhar gatilhos de desalinhamento	Para evitar que o desalinhamento se agrave e trate a causa raiz	Fazendo o preenchimento dos layouts de identificação dos transportadores	Em todos os transportadores	Inspetores	Concluído	Tratativas realizadas nos locais de maior incidência de desalinhamento			16
		Verificar alinhamento de roletes	Medir a distância de ambos os lados dos cavaletes em relação ao próximo da mesma baliza	Padronizar distância entre roletes	Medindo e ajustando os cavaletes	Em todos os transportadores	Inspeção e manutenção	Em andamento	Diminuição da quantidade de eventos de desalinhamento	Dificuldade de reposicionar os cavaletes, através do uso de marreta	Desenvolver novos dispositivos ou adquirir novas ferramentas para esta atividade	18
		Verificar a presença de rolos guias	Verificar se os rolos guias estão posicionados corretamente, para direcionar a correia	Repor rolos ausentes e reposicionar os que estiverem com o eixo em contato com a correia	Identificar na inspeção e programar atividades para a manutenção	Em todos os transportadores	Inspeção e manutenção	Em andamento	Diminuição da quantidade de eventos de desalinhamento	Rolos guias colidindo com algumas estruturas		36
		Verificar a condição de cavaletes auto-alinhantes	Verificar se os cavaletes auto-alinhantes estão com seu movimento livre para direcionar a correia	Para que os princípios de desalinhamento sejam corrigidos imediatamente	Verificando as estruturas dos cavaletes auto-alinhantes e soltando todas as travas que possam estar presentes	Em todos os transportadores	Inspeção e manutenção	Em andamento	Diminuição da quantidade de eventos de desalinhamento	Grande quantidade de cavaletes auto-alinhantes amarrados ou soldados		64
		Verificar alinhamento dos tambores	Verificar as distâncias dos tambores em relação as estruturas do transportador	Para identificar se há alguma discrepância entre o posicionamento dos tambores	Utilizar análise topográfica para maior precisão das medidas	Em todos os transportadores	Inspeção	Em andamento	Diminuição da quantidade de eventos de desalinhamento	Dificuldade de reposicionar tambores, devido ao peso do mesmo	Desenvolver novos dispositivos ou adquirir novas ferramentas para esta atividade	98
		Verificar condições da correia	Verificar se há regiões com perda de borda ou desgaste acentuado	Para identificar pontos com perda de massa	Através de medição da espessura da correia	Em todos os transportadores	Inspeção	Em andamento	Diminuição da quantidade de eventos de desalinhamento	Necessidade de trocar algumas correias, sendo inviável devido ao orçamento		128
		Verificar escoamento de material nos chutes	Comparar medidas de projeto e da área, para realizar simulação do escoamento de material	Para analisar a eficiência dos mortos no direcionamento do fluxo de material	Através de simulações no software BFA	Em todos os transportadores	Inspeção	Em andamento	Diminuição da quantidade de eventos de desalinhamento	Dificuldade de redimensionar os mortos internos dos chutes	Utilizar outros softwares para dimensionamento dos mortos do chute	216

## APÊNDICE C – A3 DE SOLUÇÃO DE PROBLEMAS: TROCA DE ROLOS

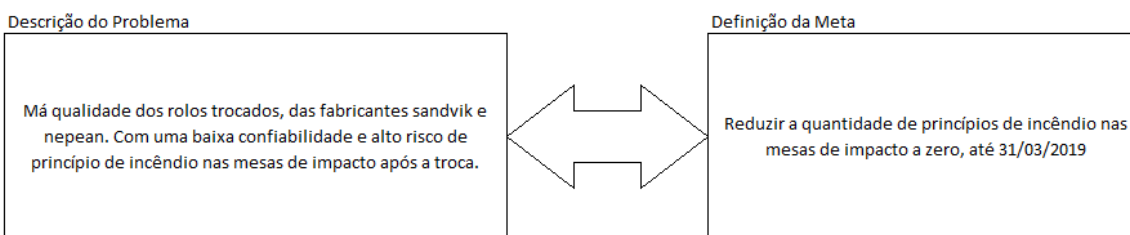
### 1º Passo: Clarificar o Problema



### 2º Passo: Desdobrar o Problema



### 3º Passo: Definir a Meta



#### Contenção do Problema:

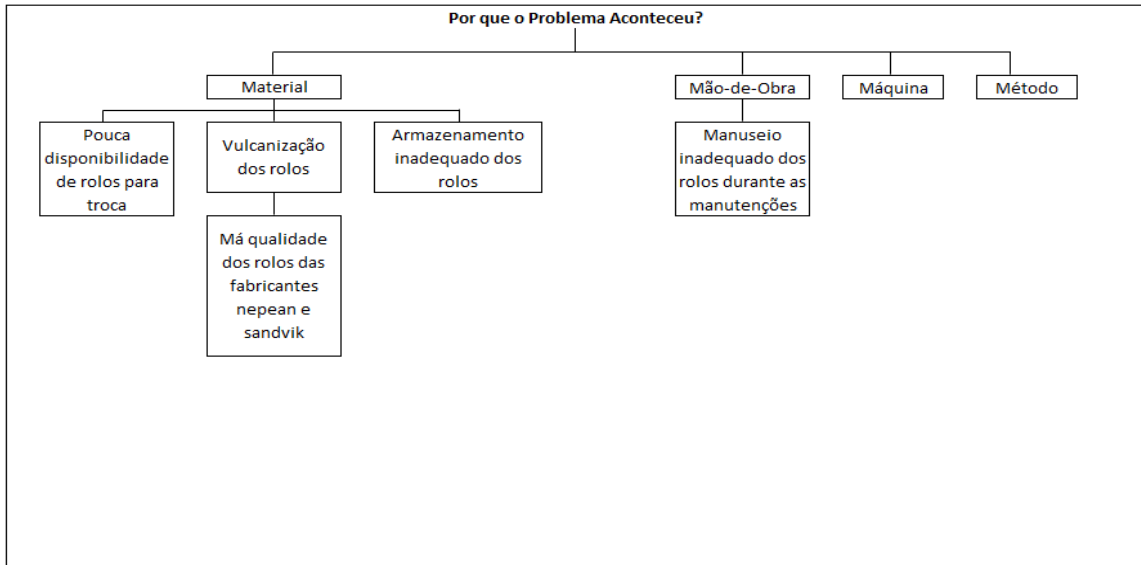
São necessárias ações para conter (eliminar ou reduzir) o efeito do problema?

Sim Não

(Se sim, descrever abaixo)

Gerou uma ação para a Engenharia fazer uma análise acerca da especificação dos rolos disponibilizados pelos fabricantes citados, levando em consideração eixo dos rolos, rolamentos, processo de vulcanização e material da borracha. Aguardando o laudo do fabricante.

**4º Passo:** Analisar Causa Raiz



Descrição da Causa Raiz: **Vulcanização inadequada dos rolos.**

**5º e 6º Passos:** Desenvolver, Implementar e Acompanhar Contramedidas

O Melhora      X Piora      Δ Não interfere

Contramedidas Potenciais		Avaliação das Contramedidas					
		Seg	Qual	L/T	Custo	Geral	Comentários
1	Foi bloqueado a entrada do fabricante no terminal	O	O	Δ	Δ	O	
2	Aumentar a frequência de inspeção termográfica	O	Δ	X	Δ	O	
3	Substituição dos rolos com revestimento de borracha por rolos de impacto de ferro	O	O	Δ	X	O	
4							
5							

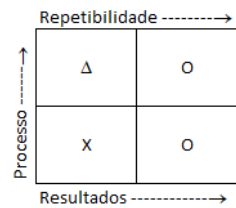
Ação	Prazo	Responsável	Status
1 Especificação correta de rolos que atendam a exigência do terminal	31/03/2019	Engenharia	Pendente
2			
3			
4			

**7º Passo:** Avaliar Processo e Resultado

O Melhora      X Piora      Δ Não interfere

- O processo está funcionando de acordo com as contramedidas? Sim
- A meta foi atingida? Sim

Comentários: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_



**8º Passo:** Padronizar e Replicar (processos bem sucedidos)

	Sim	Não	Comentários
a) Padronizar?	X		Padronizar para todas as rotas que usam rolos de impacto de 800x219x42mm
b) Divulgar e/ou Replicar?	X		Divulgação por parte da engenharia/sobressalente ao final da análise do fabricante.
c) Novas rodadas de Kaizen?		X	



FMEA												
EQUIPAMENTO	MODO DE FALHA	MEDIDAS	O QUE	POR QUE	COMO	ONDE	RESPONSÁVEL	STATUS	RESULTADOS ALCANÇADOS	PONTOS PROBLEMÁTICOS	PROPOSTA DE NOVAS AÇÕES	NPR
Transportador de correia	Troca de Rolos	Evitar quebra de revestimento dos rolos	Identificar desgastes acentuados no revestimento do rolos	Evitar que a parede do revestimento venha romper	Aumentando a frequência das inspeções	Em todos os transportadores	Inspetores	Concluído	Diminuição de eventos que danificam a correia		Controlar vida útil dos rolos e acionar a garantia	48
		Evitar quebra de rolamento dos rolos	Identificar pontos em que a carga não está distribuída de forma equivalente entre os rolos	Evitar esforço excessivo de algum rolamento	Verificar o alinhamento da correia	Ao longo dos transportadores	Inspetores	Em andamento	Diminuição de casos de rolos com temperaturas elevadas		Controlar vida útil dos rolamentos e acionar a garantia	96
		Evitar acúmulo de material sobre os rolos	Identificar os pontos de acúmulo de material sobre os rolos	Evitar desgaste do revestimento e esforço excessivo no rolamento	Aumentando a eficiência dos raspadores	Em todos os transportadores	Inspetores	Em andamento	Diminuição de pontos com acúmulo de material	Falta de mão de obra de manutenção em raspadores	Aumentar a quantidade de raspadores em locais estratégicos	160
		Evitar que rolos danificados avariem a correia	Identificar rolos que oferecem risco a correia	Proteger a correia, evitando que a mesma entre em contato com rolos danificados	Parando o equipamento em PO para troca imediata dos rolos danificados	Em todos os transportadores	Manutenção	Em andamento	Diminuição de casos de rasgos na correia	Diminuição da produção, caso o número de paradas seja elevado	Utilização de ferramentas e dispositivos para diminuição do tempo de manutenção	240