



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E ENGENHARIAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

WILLIA SILVA REIS

**ANÁLISE DE PREVENÇÃO DE PERDAS APLICADA A UM TRANSPORTADOR
DE CORREIA UTILIZADO NA MINERAÇÃO DE FERROSOS**

MARABÁ/PA

2019

WILLIA SILVA REIS

**ANÁLISE DE PREVENÇÃO DE PERDAS APLICADA A UM TRANSPORTADOR
DE CORREIA UTILIZADO NA MINERAÇÃO DE FERROSOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Fabio Gonçalves da Silva

MARABÁ
2019

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Setorial II da UNIFESSPA

Reis, Willia Silva

Análise de prevenção de perdas aplicada a um transportador de correia utilizado na mineração de ferrosos / Willia Silva Reis; orientador, Fabio Gonçalves da Silva. — Marabá : [s. n.], 2019.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Campus Universitário de Marabá, Instituto de Geociências e Engenharias, Faculdade de Engenharia Mecânica, Curso de Engenharia Mecânica, Marabá, 2019.

1. Correia Transportadora. 2. Manuseio e transporte de materiais. 3. Indústria mineral - Manutenção. 4. Indústria mineral – Produtividade. I. Silva, Fabio Gonçalves da, orient. II. Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará. III. Título.

CDD: 22. ed.: 621.31042

WILLIA SILVA REIS

**ANÁLISE DE PREVENÇÃO DE PERDAS APLICADA A UM TRANSPORTADOR
DE CORREIA UTILIZADO NA MINERAÇÃO DE FERROSOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade
de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Sul e
Sudeste do Pará em cumprimento às exigências para
obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica

Data da defesa: ____/____/____

CONCEITO: _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Fabio Gonçalves da Silva
(FEMEC – IGE – UNIFESSPA – Orientador)

Prof. Dr. Cláudio Henrique Cerqueira Costa Basquerotto
(FEMEC – IGE – UNIFESSPA – Membro)

Prof. Dr. Franco Jefferds, dos Santos Silva
(FEMEC – IGE – UNIFESSPA – Membro)

MARABÁ/PA

2019

Dedico este trabalho a minha família, por ser essencial em minha vida e meu presente conforto nas horas de angústia.

Agradeço ao meu glorioso e misericordioso Deus, e a Ns^a Senhora de Nazaré pela vida, sua ampla e grandiosa benção, e por toda proteção a mim concedida durante todos esses anos da minha vida.

Aos meus pais, José Almeida Reis e Normaleide Geremias Silva Reis por sempre estarem presentes nessa importante etapa da minha vida, a todo o apoio, amor e carinho que me proporcionaram chegar até aqui. Por sempre me ajudarem com conselhos e investirem na minha educação.

Ao meu irmão Anderson Silva Reis, por todo apoio e incentivo na minha formação como Eng. Mecânico, pelo companheirismo e amizade, um verdadeiro amigo.

A minha avó Francisca Geremias Silva, por sempre cuidar e se preocupar comigo, pelos conselhos e sabedoria que tem me passado ao longo da vida.

Aos meus padrinhos, Antônio Celso Gemerias Silva e Lazara Cesário, que sempre tiravam um tempo para me visitar em Marabá, e me proporcionavam momentos de diversão, e ótimos almoços, obrigado por todo carinho e amizade ao longo desses anos.

Aos meus tios Raimundo Geremias e sua esposa Dora Gaspar, por todo apoio e companhia que me fizeram durante esses 5 anos no município de Marabá, por sempre me socorrem e me ajudarem em momentos difíceis, é imensa a gratidão que tenho com vocês, obrigado por tudo.

Ao meu amigo e primo Jamerson Geremias, (Piu), não tenho palavras para agradecer todo o seu companheirismo e amizade ao longo desses anos, sempre se preocupou em me levar para sair, almoçar e se divertir em Marabá, nunca mediu esforços para resolver minhas “buchas”, e sempre me ajudou em tudo o que eu precisava, tenho uma dívida de gratidão enorme com você. Muito obrigado primo!

Um agradecimento especial a minha amiga Nathalia Gonçalves por ter me inscrito no curso de Eng. Mecânica, por toda confiança, amizade, carinho e amor ao longo desses anos, pela sua enorme paciência comigo e por sempre ouvir minhas angustias e reclamações. Obrigado por fazer parte da minha história!

A minha namorada Nathalia Andrade, por organizar todas as minhas atividades, pelo apoio, amor carinho e dedicação, e por sempre ter acreditado no meu potencial. Obrigado!

Aos meus amigos, primos e familiares, obrigado por toda diversão e confiança durante toda minha graduação.

Ao Prof. Dr. Silvio Alex Pereira da Mota por ser um excelente profissional e um exemplo de pessoa, obrigado por toda orientação e conhecimento que foram repassados a mim.

Aos meus companheiros de pesquisa, Alessandro e Beatriz, obrigado pelo apoio e auxílio nas diversas análises e procedimentos realizados.

A todos os integrantes do Laboratório de Processos e Transformações de Materiais (LPTM).

Aos companheiros de projeto na empresa Junior, EM&S Jr em especial meu amigo Fábio, fundador da EJ, pelo seu excelente trabalho e empenho.

Aos meus amigos de graduação, Luiz Souza, Victor Ribeiro, Welvis Lima, Allan Gonçalves, Petry William, Francivam Nascimento, Nilson, Luciana, Luan, Pablo, Adriano, Pollyana, e a todos que passaram na minha vida durante essa trajetória.

A todos os professores da Faculdade de Engenharia Mecânica. Por fazerem parte da minha formação profissional e acadêmica.

A Bunge Pedro Afonso Açúcar e Bioenergia por ter me concedido o estágio e aprendizado no setor sucroalcooleiro.

A Vale por ter me concedido o estágio e aprendizado no setor de mineração, em especial a equipe do pcm de expedição e estocagem.

Aos auxiliares da limpeza, pela contribuição e pela máxima organização do espaço onde trabalhávamos, e pelos seguranças, que sempre foram gentis conosco.

Muito obrigado!

“O que importa não é o homem que critica ou aquele que aponta como o bravo tropeçou, ou quando o empreendedor poderia ter atingido maior êxito. Importante, em verdade, é o homem que está na arena, com a face coberta de poeira, suor e sangue; que luta com bravura, erra e, seguidamente, tenta atingir o alvo. É aquele que conhece os grandes entusiasmos, as grandes devoções e se consome numa causa justa. É aquele que, no sucesso, melhor conhece o triunfo final dos grandes feitos e que, se fracassa, pelo menos falha ousadamente, de modo que o seu lugar jamais será entre as almas tímidas, que não conhecem nem a vitória, nem a derrota”

Theodore Roosevelt

RESUMO

O Brasil é classificado entre os maiores produtores de minerais do mundo. A grande capacidade do meio produtivo, faz com que seja necessário o uso de equipamentos que permitem a rápida movimentação de cargas internas na linha de produção, proporcionando um nível satisfatório de produtividade de um parque industrial. O transportador de correia é uma alternativa eficaz e econômica de ampla aplicação no setor de mineração. Este trabalho apresenta um estudo voltado para a análise de falhas de transportadores dentro do circuito de expedição, em uma usina de mineração localizada no sudeste do Pará. Foi realizado uma investigação técnica dos principais problemas que ocasionaram manutenção corretiva dos equipamentos e perdas de produtividade no setor. Aplicando as ferramentas do FMEA (Failure Mode and Effect Analysis – Análise dos Modos e Efeitos de Falha) e 5 Porquês foi possível identificar que nos últimos meses de operação, os equipamentos apresentaram 8 modos de falhas, sendo uma, responsável por 62 % das ocorrências no circuito de expedição da Usina I. Identificado o problema, foi priorizado o equipamento com maior número de intervenções, se tornando objeto de investigação desse trabalho. Para a elaboração do plano de ação, foi utilizado a metodologia dos 5W1H para formalizar todas as ações propostas. E por fim, uma análise comparativa dos indicadores de manutenção, com base nos dados apurados. Contudo a utilização de ferramentas para análise de falhas como o FMEA, 5 Porquês, e 5W1H se mostram fundamentais para elaboração do plano de ação, que busca solucionar a causa raiz dos problemas, aumentando a disponibilidade do ativo na planta.

Palavras-chaves: Manutenção, Transportador de correia, Desalinhamento, Falha.

Comentado [F1]: de ou em

ABSTRACT

Brazil is ranked among the largest mineral producers in the world. The large capacity of the productive environment makes it necessary to use equipment that allows the quick movement of internal loads on the production line, providing a satisfactory level of productivity of an industrial park. The belt conveyor is an effective and economical alternative with a wide application in the mining industry. This final paper shows a study focused on the analysis of conveyor failures within the expedition circuit, in a mining plant located in the southeastern of Pará. A technical investigation of the main problems that used to cause corrective equipment maintenance and productivity losses in the sector was performed. By applying the tools of Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) and “5 Why” it was possible to identify that in the last months of operation, the equipment had 8 failure modes and one of those was responsible for 62% of occurrences in the expedition circuit of Plant I. Once identified the problem, the equipment with the largest number of interventions was prioritized, becoming the object of study in this work. To prepare the action plan, the 5W1H methodology was chosen to formalize all proposed actions. Finally, a comparative analysis of the maintenance indicators, based on the data obtained was made. Nevertheless, the use of fault analysis tools such as FMEA, 5 Whys, and 5W1H are fundamental for the elaboration of the action plan that seeks to solve the root cause of the problems, increasing the availability of the plant asset.

Keywords: Maintenance, Belt Conveyor, Misalignment, Failure.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Componentes de um transportador de correia convencional.	20
Figura 2 - Chute convencional de alimentação.	23
Figura 3 - Esticadores de correia por gravidade e parafuso.	25
Figura 4 - Curva da banheira.	27
Figura 5 - Proposta de modelo para gestão da manutenção de classe mundial.	31
Figura 6 - Fluxograma para elaboração do Diagrama de Causa e Efeito.....	35
Figura 7 - Diagrama de Causa e Efeito.	36
Figura 8 - Método dos 5 "Por Quês".....	37
Figura 9 – Fluxograma da metodologia empregada.	40
Figura 10 - Principais produtos do minério de ferro.	41
Figura 11 - Fluxograma circuito Usina 1.	42
Figura 12 – Total de horas improdutivas por tipo de falha.	43
Figura 13 – Principais falhas nos TR’S.....	44
Figura 14 – Total de desalinhamento em quatro meses.	47
Figura 15 – Número de desalinhamentos mensais.....	47
Figura 16 – Número de desalinhamentos por TR´s.....	48
Figura 17 – Acompanhamento de desgaste da correia - TR-A.	49
Figura 18 – Projeção do final de vida útil da correia.	52
Figura 19 - Aplicação dos 5 Porquês.....	54

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Indicadores de Julho	58
Quadro 2 – Indicadores de Agosto	59
Quadro 3 – Indicadores de Setembro.....	59
Quadro 4 – Indicadores de Outubro.....	59
Quadro 5 – Indicadores ao longo de 4 meses	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Falhas típicas associadas às etapas da Curva da Banheira.	28
Tabela 2 - Construção do FMEA.	34
Tabela 3 - Plano de ação ferramenta 5W1H.....	37
Tabela 4 - Construção do FMEA para transportadores de correia.	45
Tabela 5 - Informações Técnicas da Correia.....	50
Tabela 6 - Desgaste Real Centro Em Relação à Medida.	50
Tabela 7 - Esquema do Transportador	51
Tabela 8 - Plano de ação para a causa N° 1.....	56
Tabela 9 - Plano de ação para a causa N° 2.....	56
Tabela 10 - Plano de ação para a causa N° 3.....	57
Tabela 11 - Plano de ação para a ac causa N° 4.	57

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	OBJETIVOS	19
2.1	OBJETIVO GERAL	19
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
3.1	COMPONENTES DE UM TRANSPORTADOR DE CORREIA;	20
	3.1.1 Correia transportadora	20
	3.1.2 Tambores	21
	3.1.3 Roletes	22
	3.1.4 Conjunto de alimentação.....	23
	3.1.5 Conjunto de descarga	24
	3.1.6 Conjunto de acionamento	24
	3.1.7 Acessórios	25
3.2	CONCEITO DE FALHA	26
3.3	ESTRATÉGIA E TIPOS DE MANUTENÇÃO	28
3.4	INDICADORES DE MANUTENÇÃO	31
3.5	ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHA – FMEA	33
3.6	DIAGRAMA DE ISHIKAWA	35
3.7	MÉTODO DOS 5 “POR QUÊS”	36
3.8	FERRAMENTA 5W1H	37
3.9	KAIZEN	38
4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	39
4.1	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	39
	4.1.1. Quanto a sua natureza.....	39
	4.1.2. Quanto à abordagem do problema	39
	4.1.3. Quanto aos procedimentos técnicos.....	39
4.2	ESTRUTURA DA PESQUISA	40
4.3	SOBRE A EMPRESA	40
	4.3.1 Expedição	41
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	43

5.1	CONSTRUÇÃO E APLICAÇÃO DO FMEA.....	43
5.2	ELABORAÇÃO DO PLANO DE AÇÃO	46
5.2.1	Classificação do problema.....	46
5.2.2	Expansão do problema	47
5.2.3	Definição da meta	48
5.2.4	Acompanhamento de desgaste da correia TR-A.....	48
5.2.5	Aplicação dos 5 Porquês.....	53
5.2.5.1	Possíveis causas do problema.....	55
5.2.6	Aplicação da metodologia 5WIH.....	55
5.2.7	Análise dos indicadores de manutenção	57
6	CONCLUSÃO	62
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63

1 INTRODUÇÃO

O cenário globalizado vivenciado pelas empresas é influenciado pela análise dos métodos e sistemas na qual demandam um empenho constante para a maximização de produtividade e redução de custos, atuando de forma eficaz no armazenamento e movimentação de produtos. A redução das distâncias percorridas durante os processos contribui para a eficiência da produtividade industrial, buscando a sustentabilidade do modelo de negócio a médio e longo prazo, sendo fundamental para a consolidação dos objetivos e desenvolvimento das organizações (ZHANG, XIA, 2010).

O gerenciamento do processo de manutenção, é destinado a garantir a confiabilidade do ativo e assegurar o desempenho satisfatório das operações. Quando se é estabelecido a rotina do planejamento de manutenções a eficiência, em termos de disponibilidade dos ativos, é alcançada com uma qualidade superior a custos competitivos. Para se alcançar este cenário, é essencial definir uma estratégia de manutenção apropriada para as necessidades específicas da empresa (MÁRQUEZ et al., 2009).

O conceito de confiabilidade, é um entre os principais tópicos associados a manutenção de equipamentos. Tal conceito prove a redução no número de falhas e otimização do tempo normal de operação, trazendo segurança nas operações e um aumento de eficiência significativo além da redução de custos na manutenção.

O setor de mineração começou uma reestruturação de seus processos operacionais, em resposta a crescente demanda pelas commodities. A exploração mineral, que anteriormente era puxada pela demanda dos setores siderúrgicos e bens de consumo, passou a atuar de forma empurrada, onde o volume produzido não era satisfatório para atender ao constante crescimento e a necessidade de mercados emergentes como a China, por exemplo (MATTHIES, 2007).

No Brasil, empresas atuantes no mercado de mineração começaram uma jornada para antecipar ao máximo o aproveitamento de suas reservas, criando um cenário propício para a busca de novas tecnologias destinadas ao aumento da eficiência de operações já instaladas, devido à dificuldade e os altos custos envolvidos na abertura de novas minas (GOLDSTEIN, 1999, apud, FARIA, 2014). Diante deste contexto, os estudos destinados à confiabilidade, passaram a fazer parte da rotina destas empresas, contribuindo para o aprimoramento dos métodos de manutenção.

Comentado [F2]: Idem ao comentário anterior

A Produção Mineral Brasileira (PMB) estudada pelo IBRAM para o ano de 2018 ficou em US\$ 34 bilhões, sendo 6,25% maior do que a apurada em 2017, que foi de US\$ 32 bilhões. Foi observado que as massas de produção das empresas de mineração no Brasil conservaram-se estáveis em sua maior parte, entretanto, a variante positiva do preço internacional das principais commodities ao longo do ano de 2018 contribuíram para que o indicador apresentasse melhor desempenho. Em 2019, o IBRAM acredita na melhoria deste número, estimado em US\$ 35 bilhões, caso seja mantida a alta dos preços das principais commodities minerais no decorrer do ano.

Os transportadores de correia possuem um papel fundamental nos atuais sistemas de transporte contínuo de grande escala BALIEIRO, (2019). Na mineração, além de diminuir os custos associados ao transporte de minério a grandes distâncias, desde o ponto de extração até seu ponto de processamento ou distribuição, em grande parte, por ferrovias. Quando associamos uma logística sem o uso deste equipamento, contabilizamos despesas associadas ao tempo de deslocamento, uso de combustível, risco de falha humana, além dos aspectos ambientais ocasionados pelo uso de caminhões nas etapas de processamento e armazenamento do minério, o que impactaria diretamente no faturamento dessas empresas.

Considerando os fatos apresentados, o presente trabalho busca analisar as intervenções realizadas pela operação envolvendo transportadores de correia do circuito de expedição da usina I aplicando a ferramenta FMEA (Análise dos modos e efeitos da falha) que é um método empregado para prevenir falhas e analisar os riscos de um processo, por meio do reconhecimento de causas e efeitos os quais serão utilizadas para inibir as falhas. O estudo a ser realizado, irá contribuir para elaboração de um plano de ação com objetivo de evitar a reincidência de falhas.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Realizar uma análise de perdas em um transportador de correia utilizado na mineração de ferrosos, levantando as principais falhas do processo, formalizando um plano de manutenção para eliminação desses eventuais problemas, utilizando ferramentas de qualidade para identificação causa raiz.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

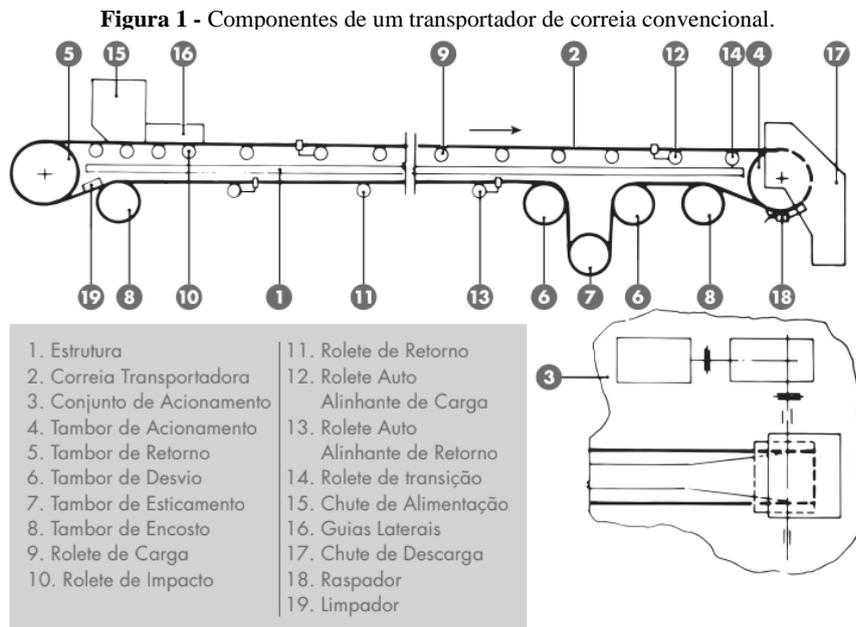
- Identificar os principais problemas apresentados pelos transportadores de correia.
- Realizar a priorização do modo de falha através do Número de Prioridade de Risco (NPR) e identificar o transportador que apresenta o maior grau de criticidade.
- Realizar análise da causa raiz da falha através da ferramenta os “5 Porquês”;
- Elaborar proposta de plano de ação para eliminação da falha utilizando a ferramenta de qualidade 5W1H.
- Realizar um comparativo entre os indicadores de manutenção

Comentado [F3]: Tá muito simples isso, não me parece TCC, faça um comparativo entre duas metodologias de análise acho que fica mais com cara de TCC ou trabalho científico

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 COMPONENTES DE UM TRANSPORTADOR DE CORREIA;

O transportador de correia, é destinado ao transporte ou movimentação de materiais a granel ou volumes através de uma correia contínua, com o objetivo de obter maior agilidade no processo, associado a um baixo custo (SWINDERMAN et al., 2009). Um transportador de correia possui vários elementos, os quais devem ser devidamente analisados para se alcançar um desempenho adequado ao sistema. Seus principais elementos são ilustrados na Figura 1.



Fonte: Manual Técnico Correias Mercúrio, (2015).

3.1.1 Correia transportadora

Sendo o principal elemento do transportador, a correia está sempre em contato com o material a ser transportado. Seu preço está em torno de 30 a 40 % de um transportador, sendo um item relevante para o sistema. De acordo com Sacramento (2010), para se determinar uma

correia, deve-se levar em consideração as seguintes características: o tipo de material a ser transportado, modelo dos roletes, largura da correia, tensão máxima, condições de serviços e a temperatura do material.

A correia transportadora é constituída de duas regiões principais, que são, a carcaça e a cobertura. A carcaça, é o elemento de força da correia, sendo produzida para resistir a carga, tensões e flexões submetidas à correia, durante a movimentação da carga (MERCÚRIO, 2015). A cobertura tem como principal função proteger a correia contra os efeitos danosos causados pelo material transportado. As coberturas podem ser classificadas em lisa ou não lisa, dependendo de sua aplicação. Em transportes horizontais ou planos de menor inclinação, se utiliza o primeiro tipo de acordo com a especificação do fabricante. O segundo é aplicado em situações que envolvem transporte de cargas mais elevadas, sendo projetada de acordo com as condições de trabalho.

3.1.2 Tambores

O tambor tem a função de tencionar a correia durante a operação do transportador, onde o tambor motriz exerce tal função (ELETROBRÁS, 2009). O conjunto de acionamento rotaciona o tambor motriz, ocorrendo a movimentação da correia, tal movimentação é acompanhada por um conjunto de tambores movidos, responsáveis por realizar desvios e dobras na correia. Segundo Sacramento (2010), os tambores são classificados em:

- Tambor de acionamento: usado para transferência de torque, em posições de centro, cabeceira ou retorno, dependendo da aplicação;
- Tambor de retorno: retorna a correia para posição inicial. É utilizado também para tencionar a correia, é posicionado na extremidade oposta ao terminal de descarga;
- Tambor esticador: utilizado para exercer tensão na correia, para o seu adequado funcionamento;
- Tambor de dobra: exerce o desvio de trajetória da correia;
- Tambor aletado: é configurado por aletas radiais para que o material transportado não caia ao lado do retorno, e seja forçado contra correia e a danifique. Em transportadores automáticos verificais, pode ser aplicado como tambor de tensionamento ou retorno;

- Tambor magnético: possui propriedades magnéticas, utilizado na separação de matérias magnéticas dos não magnéticos. Em geral, é posicionado no terminal de descarga;
- Tambor de encosto: localizado no lado inferior do transportador, é utilizado para maximizar a área de contato, possibilitando um melhor desempenho do tambor motriz.

3.1.3 Roletes

Roletes é um conjunto de rolos, geralmente, cilíndricos ligados em suportes, e podem girar livremente em torno do seu eixo. Eles podem ser posicionados em único ou múltiplos rolos. São utilizados para suportar e guiar a movimentação da correia transportadora. Segundo Gavi, (2009) os roletes são classificados em oito tipos:

1. Roletes de impacto: são roletes que possuem corpos revestidos com anéis de borracha entorno de um tubo de aço. São posicionados nos pontos de descarga de material, destinados a absorver o impacto resultante do material sobre a correia;

2. Roletes de carga: são utilizados para sustentação da correia e posteriormente da carga aplicada sobre ela, e ficam posicionados na parte superior do transportador. Podem ser classificados em planos, duplos, triplos, espiralados ou em catenária (3 a 5 rolos) dependendo da sua aplicação;

3. Roletes de retorno: conjunto de rolos de corpos metálicos constituídos por anéis de borracha. Os rolos ficam apoiados no caminho de retorno da correia, e possuem uma maior divisão entre si;

4. Roletes auto alinhador: são rolos configurados com uma espécie de mecanismo giratório, acionado pela correia de forma a controlar o deslocamento lateral da mesma. Podem ser aplicados tanto no trecho de carga quanto no retorno;

5. Roletes de transição: conjunto de roletes posicionados próximos aos tambores de descarga ou na saída dos tambores de retorno. Possuem um ângulo de inclinação nos rolos laterais que auxiliam no equilíbrio de tensões excessivas na correia;

6. Roletes em espiral: é uma espécie de rolete de retorno construído na forma de espiral. Sua finalidade é promover o desprendimento do material aderido à correia;

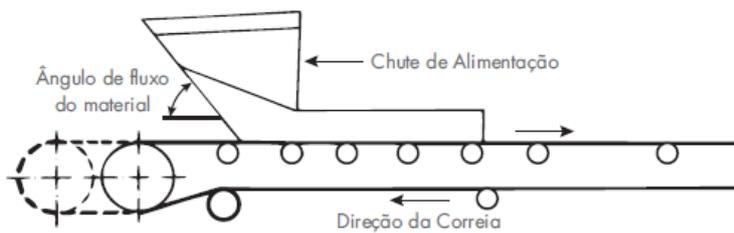
7. Roletes em catenária: são um conjunto de rolos dotados de interligações e articulados entre si. Permitindo uma maior adaptação do formato da correia em relação aos seus deslocamentos;

8. Roletes guias: possuem aplicações semelhantes aos roletes auto alinhadores, utilizado para corrigir o alinhamento da correia principalmente na entrada dos tambores, evitando assim o contato com a estrutura do transportador. Deve possuir baixa utilização no circuito, pois provocam autodestruição das bordas da correia, e cisalhamento das lonas de carcaça.

3.1.4 Conjunto de alimentação

O conjunto possui um chute de alimentação, dispositivo afunilado destinado a receber o material transportado e encaminhá-lo para correia transportadora de forma equilibrada, para que não haja transbordo de material durante seu carregamento. Em geral, são localizados próximo ao tambor de retorno, e recebem o material transportado no mesmo fluxo de alimentação da correia, é ideal que as velocidades de alimentação e fluxo de carga sejam semelhantes, para evitar o desgaste prematuro da mesma. Possui configurações como caixa de pedra, chute com cascata, espiral telescópico, utilizados na transferência de material com comporta regulável, fino ou com peneiramento (ELETROBRÁS, 2009). Na Figura 2 pode-se visualizar um esquema que mostra um chute convencional de alimentação.

Figura 2 - Chute convencional de alimentação.



Fonte: Manual Técnico Correias Mercúrio, (2015).

3.1.5 Conjunto de descarga

O sistema de descarga do material transportado pela correia é realizado através do tambor de cabeça, empilhando o material no local previamente determinado. Conforme seja utilizado o chute adequado, o material poderá ser estocado em silos laterais ou desviado para outras correias. Se o projeto contempla o descarregamento do material em locais diversos ao longo do sistema transportador, podem ser utilizados desviadores ou *tripper*.

Os desviadores simples são utilizados para desvio de matérias de baixa granulometria ou livre vão (grãos, areia, etc.). São fabricados de forma simples, geralmente, em chapas ou em barras, em formato de V. Podem ser fixos ou giratórios.

O *tripper* é uma espécie de desviador montado sobre trilhos, pelo qual se movimenta ao longo da correia efetuando descarga do material em diversos pontos localizados na lateral do transportador.

Existem dois tipos de *tripper*, os manuais, que são manivelas utilizadas para descargas simples em baixas altitudes, e os motorizados, que efetuam descargas com maior capacidade de forma automatizada.

3.1.6 Conjunto de acionamento

Sistema responsável pelo deslocamento da correia e de sua carga, consiste em um conjunto contendo motor elétrico, acoplamentos hidráulicos, redutores de velocidade, tambores e dispositivos de segurança, como freios e contra recuos. O conjunto de tambores motrizes, faz a transmissão do movimento e controlam a velocidade do transportador. Podem estar posicionados no retorno, centro, ou na cabeceira do transportador, dependendo das especificações do projeto, que preveem a facilidade de acesso e manutenção, bem como a menor tensão de atuação da correia.

O sistema de segurança é utilizado para impedir a descarga contínua de material após o desligamento do dispositivo. Os contra recuos, são ligados diretamente ao eixo do tambor de acionamento, e utilizados quando o transportador está posicionado em aclave, evitando o retorno da correia e conseqüentemente a descarga desenfreada do material. O freio é utilizado para

controlar a parada da correia ou, em situações emergenciais, podem ser eletro-hidráulicos, eletromecânicos e eletromagnéticos.

3.1.7 Acessórios

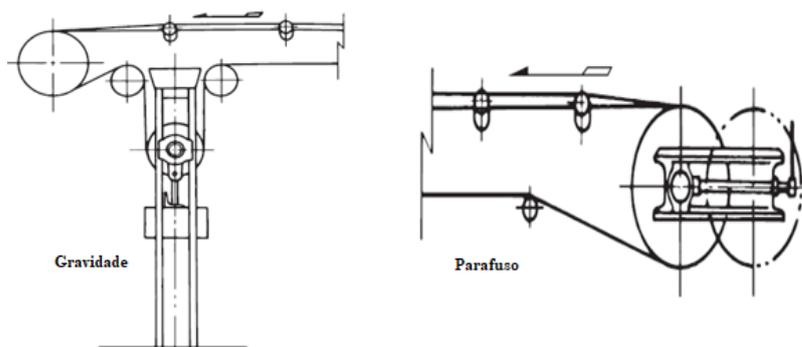
São itens aplicados ao transportador de correia, para facilitar sua utilização implicando a sua manutenção e aumentando sua vida útil.

Esticador de correia

Tem a função de proporcionar a tensão adequada na correia e absorver suas variações de comprimento. As variações são causadas principalmente pelas diferenças de temperatura, tempo de trabalho e variações de carga ao longo da correia.

Os esticadores mais aplicados são os automáticos e por gravidade. Seu funcionamento se dá a partir de um tambor que recebe força de um contrapeso atuando por gravidade, posicionado próximo aos tambores principais; e por meio de um parafuso que se movimenta ao longo do eixo do tambor, através da montagem de duas roscas fixadas no mesmo, proporcionando o esticamento da correia (FAÇO, 1996). Na Figura 3 pode-se observar dois exemplos de esticadores de correia.

Figura 3 - Esticadores de correia por gravidade e parafuso.



Fonte: Manual Técnico Correias Mercúrio, (2015).

Comentado [F4]: Melhorar a imagem

Acessórios de limpeza

Para que não ocorram problemas nos elementos móveis da transportadora de correia, se faz necessário o uso de sistemas de limpeza para retirar o material aderido à correia.

- Limpadores por jato d'água: usam jatos d'água para remover o material aderido ao longo da correia. Usualmente são utilizados na posição de retorno;
- Limpadores Simples: fabricados em aço no formato de "V", são posicionados na parte inferior da correia antes dos tambores de retorno e esticamento, evitando a queda de material nessa região;
- Raspadores: desvia o material residual da correia, para a calha de descarga, evitando danos no sistema de tambores de desvio e roletes de retorno;
- Viradores de correia: seu funcionamento se dá através de um sistema de virador de correia, no qual tambores são posicionados na vertical de forma a girar a posição da correia em 180°, evitando que o material aderido na correia, entre em contato com os componentes de retorno, provocando assim o seu desgaste;
- Guias laterais: evitam o derreamento de material em caso de excesso de vibração no transportador;
- Cobertura: as coberturas são classificadas em inferior e superior. A primeira evita a entrada de qualquer corpo estranho na região limpa da correia. A segunda evita a agressão da luz do sol e de outros elementos atuem diretamente na superfície da correia, acelerando assim a sua degradação;
- Passadiço: são passarelas montadas ao longo da estrutura da correia. Pode ser utilizada para realizar inspeção e manutenção dos equipamentos contidos na correia.

3.2 CONCEITO DE FALHA

A definição de falha segundo Moubray (2000) é a incapacidade do ativo realizar uma função desejada, ou seja, um estado físico incomum de um sistema que seja uma ameaça em potencial para o mesmo. Com base na anomalia, podemos definir desvios de parâmetros mensuráveis dos limites que o projeto aconselha como normal.

Lafraia (2001), define três tipos básicos de modo de falhas, baseado na sua evolução ao longo do tempo:

- Falhas Precoces - Infância (Mortalidade Infantil): estão relacionados a anormalidades ocorridas durante a fabricação, projeto que apresentam defeitos, aplicações indevidas associadas a um uso intenso. As falhas precoces podem ser eliminadas realizando um controle rigoroso durante o processo de fabricação e através da realização de testes antes do envio do produto (*brun-in*);
- Falhas Casuais (Vida Útil): são falhas que ocorrem de maneira imprevista, a intervalos de tempos irregulares. Tais falhas são ocasionadas por picos de concentrações de tensões aleatórias sobre algum ponto frágil resultando na quebra. Existem técnicas que preveem o acompanhamento desses componentes, porém não é uma tarefa fácil;
- Falhas por Desgaste (Velhice): a falha acontece devido ao envelhecimento do ativo, sendo causada, geralmente, por um desgaste real, onde ocorre perdas ou degeneração das suas características de projeto como (solubilidade, elasticidade, entre outras). Em alguns casos, pode-se recuperar ou reduzir o efeito das falhas por desgaste, realizando ações de revitalização e prevenção.

Os tipos de falhas apresentados acima, estão representados na curva da vida (Figura 4), também conhecida como Curva da Banheira (*Bathtub Curve*).

Figura 4 - Curva da banheira.



Fonte: Moubray, (2000).

Na Tabela 1 é apresentada a descrição das etapas da curva da banheira.

Tabela 1 - Falhas típicas associadas às etapas da Curva da Banheira.

Falhas Prematuras	Falhas Casuais	Falhas por Desgaste
Processo de fabricação deficiente	Interferência indevida tensão / resistência	Envelhecimento
Controle de qualidade deficiente	Fator de segurança insuficiente	Desgaste/abrasão
Mão-de-obra desqualificada	Cargas aleatórias maiores que as esperadas	Degradação de resistência
Amaciamento Insuficiente	Resistencia menor do que a esperada	Fadiga
Pré-teste insuficiente	Defeitos abaixo do limite de sensibilidade dos ensaios	Fluência
<i>Debugging</i> insuficiente	Erros humanos durante o uso	Corrosão
Materiais fora de especificação	Aplicação indevida	Deterioração mecânica, elétrica, química ou hidráulica
Componentes não especificados	Abusos	Manutenção insuficiente ou deficiente
Componentes não testados	Falhas não detectáveis pelo programa de manutenção preventiva	Vida de projeto muito curta
Componentes que falharam devido a estocagem /transporte indevido	Falhas não detectáveis durante o <i>Debugging</i>	-
Sobrecarga no primeiro teste	Causas inexplicáveis	-
Contaminação	Fenômenos naturais imprevisíveis	-
Erro humano	-	-
Instalação imprópria	-	-

Fonte: Oliveira, (2017).

3.3 ESTRATÉGIA E TIPOS DE MANUTENÇÃO

Estratégia de manutenção resume-se na metodologia utilizada para sistematização das tarefas de manutenção buscando aprimorar a confiabilidade e regularidade de operação dos sistemas produtivos (ADEYERI et al., 2011). A manutenção deve garantir a disponibilidade dos equipamentos e instalações (ativos). A realização de estratégias de manutenção é fundamental para garantir o desempenho em sistemas industriais. Seu principal objetivo é elaborar estratégias e otimizar tomadas de decisão entre os riscos da operação e os gastos associados a manutenção, maximizando os lucros gerados pela operação (WANG, 2002).

A existência de limitações em tempos de manutenção, recursos humanos e financeiros, tecnologia entre outros, devem ser considerados ao se elaborar uma estratégia de manutenção, contemplando a realidade da operação industrial existente. Os princípios básicos de manutenção de ativos perseguem a inovação e estão sempre ligados ao uso de tecnologias e processos eficientes estabelecendo os princípios de atuação para correção ou prevenção da ocorrência de falhas nos equipamentos ou sistemas operacionais.

As estratégias de manutenção existentes baseiam-se em um único princípio, de manter o sistema produtivo operando por um maior tempo possível, e realizando o reestabelecimento do mesmo em um menor prazo (PÉRÈS e NOYES, 2003). Segundo Kardec e Nasci (2012), a manutenção pode ser classificada, geralmente, em cinco grandes divisões com base nos seguintes critérios:

1. **Manutenção Corretiva:** trata-se da atuação imediata para correção de falhas ou desempenho abaixo do esperado. Quando uma organização executa a maior parte da sua manutenção na classe corretiva não planejada em seus equipamentos, apresentam uma queda significativa no desempenho dos mesmos, causado por falhas aleatórias;
2. **Manutenção Corretiva Planejada:** trata-se da correção da falha por uma decisão gerencial, ou quando o equipamento apresenta o desempenho menor do que o esperado. Tal decisão gerencial é baseada nos parâmetros e condições apresentados pela manutenção preditiva (KARDEC e NASCI, 2012). Sua principal característica é fundada nas informações obtidas mediante o acompanhamento do equipamento, mesmo que a decisão seja deixar o equipamento funcionando até que ocorra a falha, o planejamento já tem uma estratégia definida para facilitar a sua manutenção;
3. **Manutenção Preventiva:** é estabelecida pela intervenção realizada com o objetivo de reduzir ou evitar as probabilidades de falha, ou baixo desempenho do equipamento, com base em um plano previamente elaborado em intervalos definidos de tempo. Ao se elaborar um plano de manutenção preventiva, aspectos como as condições operacionais e ambientais devem ser levados em consideração, pois influem de modo significativo na degradação dos equipamentos. A manutenção preventiva se torna eficiente, quando o sistema apresenta simplicidade na sua reposição, por um outro lado é necessário um conhecimento prévio dessas ações, de tal forma que o gerenciamento dos recursos e atividades sejam realizados de maneira assertiva, se tal critério não for obedecido, esse tipo de manutenção se torna ineficiente e irá ocorrer uma série de falhas nos

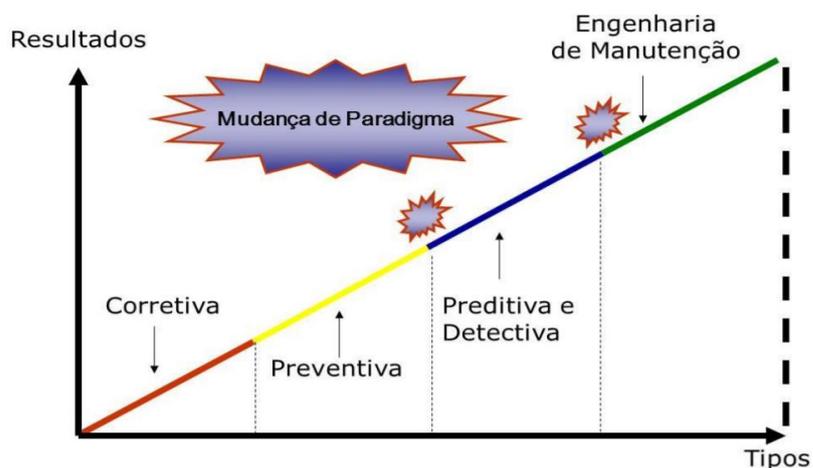
equipamentos devido à falta de sobressalentes, contaminações, danos ocasionados por falha humana, e consequentemente falhas nos procedimentos de manutenção;

4. **Manutenção Preditiva:** também conhecida como manutenção condicional trata-se da intervenção com base no estado do equipamento monitorado por sensores, cujo acompanhamento obedece a uma sistemática que envolve a substituição de componentes ou correção de defeitos, relacionados à segurança pessoal e operacional, redução do custo entre outros. Os dados monitorados revelam informações para tomada de decisão baseada na tendência de evolução do defeito, assim a equipe técnica responsável consegue atuar no equipamento antes que ocorra a falha, levando a uma redução de custos ocasionados por falhas catastróficas;
5. **Manutenção Detectiva:** trata-se da atuação realizada em sistemas de proteção, comando e controle, em busca de falhas ocultas ou não perceptíveis à operação e manutenção. A manutenção detectiva, faz uso de sistemas sofisticados de aquisição de dados que conduzem a segurança de um processo através da identificação de possíveis falhas (alta vibração, deslocamento, temperatura elevada entre outros) protegendo o equipamento se o mesmo sair da sua faixa de operação segura, intervindo através de *shut-downs* (desligamento) e *trip* (parada) do sistema. Tais sistemas de segurança são projetados para atuar automaticamente ao identificar um desvio, garantindo a confiabilidade e otimização da produção.

Kardec e Nasci (2012) relatam ainda sobre a engenharia da manutenção, que é uma prática que necessita de mudança cultural. Através de técnicas modernas visando aumentar a confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos, implantação de melhorias, consolidação da rotina entre outros aspectos, a engenharia da manutenção reúne uma série de dados coletados na manutenção preditiva para realizar análises e proposição de melhorias, gerando uma otimização nos custos da manutenção à medida que as técnicas são inseridas no sistema, resultando em um aumento significativo da produtividade.

Na Figura 5 é mostrada uma proposta modelo para a gestão da manutenção de classe mundial.

Figura 5 - Proposta de modelo para gestão da manutenção de classe mundial.



Fonte: Kardec e Lafraia (2002).

3.4 INDICADORES DE MANUTENÇÃO

Os indicadores de manutenção são utilizados na elaboração de metas e objetivos a serem alcançados. Com isso, eles reúnem informações e características que possam trazer ganhos a empresa VIANA, (2008). Zen (2008) aponta alguns indicadores que são utilizados como referência na gestão da manutenção:

- Hora de parada ou hora indisponível: indica a disponibilidade do equipamento/máquina para o processo produtivo;
- Hora de espera: é o intervalo de tempo entre a comunicação da indisponibilidade da máquina até o início da manutenção. Mede-se a capacidade de atendimento e organização da equipe;
- Hora de impedimento: mede-se o tempo perdido por motivos que impedem a ação da equipe de manutenção, como a falta de bloqueio de energia no equipamento, de material (suprimentos), entre outros motivos, levando em consideração o empenho de equipes auxiliares para o reparo da falha;
- Disponibilidade operacional: refere-se à viabilidade do equipamento estar disponível em um dado momento, ou seja, se a manutenção garante as condições mínimas de controle exigidas para o atendimento à produção;

Segundo Kardec e Nascif (2009), disponibilidade pode ser definida como a relação entre o tempo médio entre falhas (TMEF) e o tempo médio para reparo (TMPR), conforme a equação a seguir:

$$[\text{Disponibilidade Física}] \quad DF = \frac{TMEF}{TMEF + TMPR} \quad (1)$$

Custo de manutenção: é o somatório dos custos que envolvem a manutenção, incluindo os de perdas da produção;

MTBF (Mean Time Between Failure) / TMEF (Tempo médio entre falhas): é a relação entre a diferença do tempo total de horas trabalhadas de um equipamento, e o número total de horas de manutenção. O mesmo é calculado de acordo com a equação 2.

$$[\text{Tempo médio entre falhas}] \quad TMEF = \frac{T1 + T2 + T3 \dots TN}{N} \quad (2)$$

Onde:

T é o tempo total de horas trabalhadas.

N é a quantidade total de horas.

MTTR (Mean Time to Repair) /TMPR (Tempo médio para reparo): é o tempo médio utilizado para reparar um sistema ou equipamento. Quanto menor esse tempo, mais efetiva é a sua manutenção.

$$[\text{Tempo médio para reparo}] \quad TMPR = \frac{R1 + R2 + R3 \dots Rn}{N} \quad (3)$$

Onde:

R é a somatória dos tempos de reparo;

N é a quantidade total de paradas;

Confiabilidade: é a probabilidade de que uma máquina funcione normalmente em condições de projeto durante um determinado período de tempo preestabelecido.

Manutenibilidade: é a probabilidade de um item que apresente falhas possa ser reestabelecido em seu estado normal de funcionamento em dado intervalo de tempo.

A equação 4 apresenta a fórmula para calcular a confiabilidade. Onde $R(t)$ é probabilidade de que um evento T ocorra no intervalo de tempo

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (4)$$

Taxa de falhas é a taxa instantânea de falha em um determinado tempo.

A equação 5 apresenta a fórmula para calcular a taxa de falhas.

$$\lambda(t) = \frac{1}{MTBF} \quad (5)$$

3.5 ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHA – FMEA

A análise dos modos e efeitos de Falha (FMEA) foi desenvolvida com o intuito de identificar e priorizar potenciais falhas que podem ocorrer em sistemas, equipamentos ou processos. Essa técnica de confiabilidade ajuda a identificar formas de diminuir a ocorrência dessas falhas, permitindo assim, tomadas de decisões mais assertivas gerando melhores resultados para o processo (FOGLIATO e RIBEIRO, 2009).

Para Kardec e Nascif (2013), o FMEA hierarquiza as falhas em potenciais e fornece ações corretivas identificando seus efeitos e determinando cada um dos seus pontos críticos. Tal técnica faz a utilização de três elementos para determinar a sua ordem de priorização, avaliando a probabilidade de ocorrência, sua severidade e nível de detecção. De acordo com Houland e Rausand apud Schneider (2001), os objetivos do método FMEA são os seguintes:

- Definir quais os potenciais de falhas e possíveis efeitos;
- Fazer com que os modos de falhas sejam considerados, sem exceção;
- Estabelecer prioridades em todas as ações corretivas, definindo suas bases;
- Identificar todas as formas para realizar os testes requeridos que certifiquem um projeto.

O FMEA aplica-se inicialmente de forma qualitativa, ao longo do levantamento sistemático dos modos de falhas, seus efeitos e dos componentes que possuem falhas críticas durante sua operação. Em seguida, é realizada uma análise quantitativa para priorizar a

probabilidade de falha ou a confiabilidade do equipamento, através do número de prioridade de risco (NPR) definida pela multiplicação dos valores determinados para os critérios de ocorrência, severidade e detecção (NPR = ocorrência x severidade x detecção). Loureiro, (2013), descreve os critérios de falha da seguinte forma:

- Ocorrência: é determinada conforme a frequência em que a falha ocorre, os sistemas de controles de prevenção são considerados, caso existente;
- Severidade: é apontada como a resultante do efeito potência das falhas de cada componente contido no sistema;
- Detecção: é a probabilidade de detecção do modo de falha, com base na capacidade dos métodos existentes em identificar a falhas.

Ao se construir um FMEA verifica-se os critérios citados dispostos na Tabela 2.

Tabela 2 - Construção do FMEA.

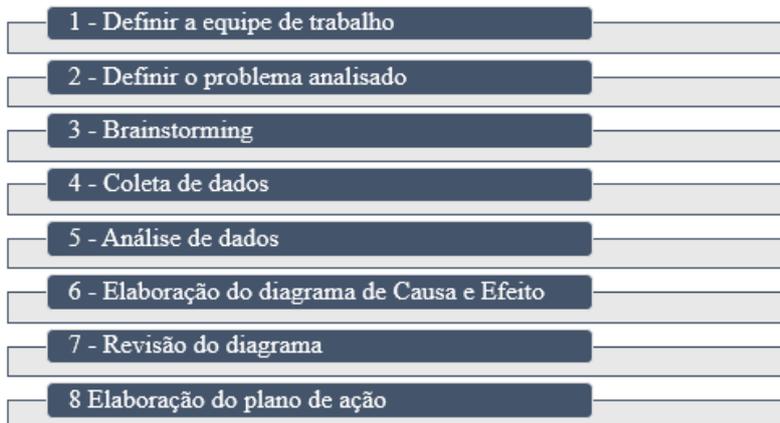
Índice	Ocorrência	Severidade	Detecção
1	Chance Remota de Falha	Efeito não detectável no sistema	Detecção quase certa do modo de falha
2	Frequência muito baixa: 1 vez a cada 5 anos	Baixa severidade causando aborrecimento leve no cliente	Probabilidade muito alta de detecção
3	Pouco frequente: 1 vez a cada 2 anos		Alta probabilidade de detecção do modo de falha
4	Frequência baixa: 1 vez por ano		Moderadamente alta probabilidade de detecção do modo de falha
5	Frequência ocasional: 1 vez por semestre	Severidade moderada: cliente hora insatisfeito com perda de desempenho perceptível	Moderada probabilidade de detecção do modo de falha
6	Frequência moderada: 1 vez por mês		Baixa probabilidade de detecção do modo de falha
7	Frequente: 1 vez por semana	Severidade alta com alta insatisfação do cliente	Probabilidade muito baixa de detecção do modo de falha
8	Frequência elevada: algumas vezes por semana		Probabilidade remota de detecção do modo de falha
9	Frequência muito elevada: 1 vez ao dia	Severidade muita alta: risco potencial de segurança e problemas graves de não-conformidades	Probabilidade muito remota de detecção do modo de falha
10	Frequência máxima: várias vezes ao dia		Não é possível detectar o modo de falha

Fonte: Silveira (2018).

3.6 DIAGRAMA DE ISHIKAWA

O Diagrama de Ishikawa, conhecido popularmente como diagrama de causa e efeito, ou diagrama de espinha de peixe, é um instrumento que permite organizar o raciocínio em discussões de um problema prioritário, em diversos tipos de processos. O diagrama apresenta a relação existente entre o “efeito” e os possíveis fatores que levaram a sua “causa” com o objetivo de organizar o conhecimento que leva para um determinado efeito (DALE et al., 2007). Na Figura 6 é apresentado um fluxograma com os principais passos para a criação do diagrama de causa e efeito.

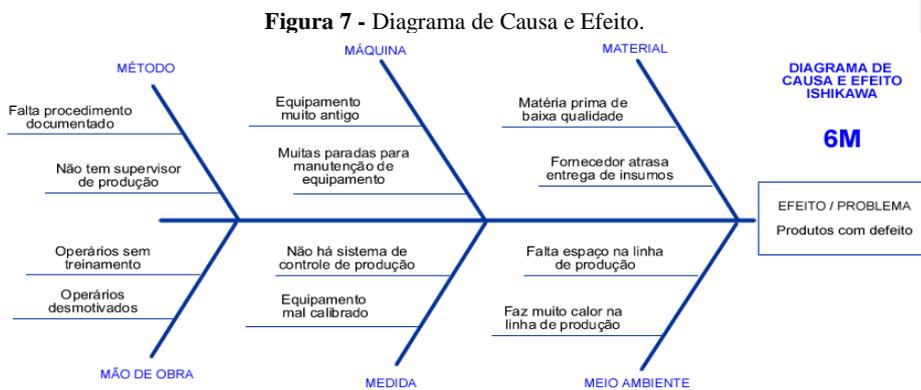
Figura 6 - Fluxograma para elaboração do Diagrama de Causa e Efeito.



Fonte: Autor (2019).

Primeiramente define-se a equipe para realização da atividade através da criação de uma turma multidisciplinar. Os integrantes devem estar cientes a respeito do processo. O problema deve ser exposto para que seja feito um estudo. A equipe irá realizar um *brainstorming* com o objetivo de descobrir as causas relacionadas ao problema. Após isso, é realizado uma coleta e análise de dados com o intuito de obter informações que ajudem a solucionar o problema.

Para construção do diagrama, é necessário que uma espinha dorsal seja desenhada no sentido horizontal. A partir dela, segue-se um fluxo, onde as espinhas menores serão traçadas abaixo das causas primárias que são: métodos, máquinas, matéria-prima, meio ambiente, mão de obra e medidas. Tais fatores serão utilizados para o desencadeamento do problema a partir de outras causas secundárias e terciárias, razões que devem ser desdobradas pela equipe de estudo. O exemplo do esquema está representado na Figura 7.



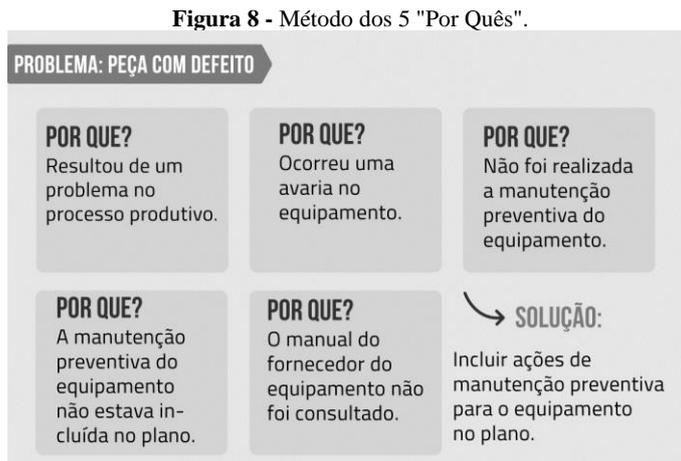
Fonte: Wikipédia, (2019).

3.7 MÉTODO DOS 5 “POR QUÊS”

A utilização do método dos 5 “Por Quês” procura as causas dos problemas, até encontrar a causa raiz, e elabora um plano de ações que sejam adequadas para impedir possíveis reincidências. A análise de falhas que determina a causa é simples quando comparada a outros processos (KARDEC e NASCIF, 2009).

De acordo com Xenos (2004), durante a tomada das ações corretivas voltadas para manutenção, é necessário perguntar “Por quê?” diversas vezes até que as causas reais e fundamentais possam ser identificadas. O método é formado por essa maneira de investigar as causas fundamentais sendo muito utilizado para a resolução de anomalias que envolvem fatores humanos e suas interações, a ausência desse método resulta em uma busca superficial, que não possibilita a identificação da causa raiz.

Conforme Pereira (2009), a simplicidade de aplicação é a grande vantagem do método, permitindo a rápida identificação das causas fundamentais. A Figura 8 um exemplo funcional do método para identificação da causa fundamental.



Fonte: Adaptado de LinkedIn (2019).

3.8 FERRAMENTA 5W1H

Marshall et al. (2006), descrevem uma ferramenta importante para análise de falhas, seu principal objetivo é realizar a formalização de todas as ações que foram realizadas em métodos anteriores com a elaboração de um plano de ação, que consiste na 5W1H, as quais são as iniciais de perguntas no inglês. Na Tabela 3 é possível visualizar um modelo de plano de ação elaborado a partir da ferramenta 5W1H.

Tabela 3 - Plano de ação ferramenta 5W1H.

O quê? (What?)	Quem? (Who?)	Quando (When?)	Onde (Where?)	Por que? (Why?)	Como? (How?)
Relacionar as ações a serem realizadas.	Identificar as pessoas responsáveis pelas ações.	Determinar o prazo para a execução da ação.	Identificar onde será realizada a ação.	Justificar a necessidade da ação.	Descrever como será e o que será feito para alcançar a ação.

Fonte: Adaptado de Marshall et al. (2006).

Com base nas análises feitas anteriormente, é necessário traçar um plano de ação para combater as causas fundamentais que são motivos de falhas do equipamento. Segundo Xenos (2004), o objetivo é evitar todas as reincidências seguindo um plano de ações preventivas.

3.9 KAIZEN

Para Sharma e Moody (2003), *Kaizen* é um termo japonês que significa mudança para melhor, mas com o tempo a palavra acabou sendo traduzida para melhoria contínua. Tal metodologia de trabalho pode ser aplicada em processos de qualquer tipo, seu principal objetivo é identificar, eliminar ou reduzir os desperdícios, voltado para qualquer atividade que consuma tempo ou recursos, seja ele material, ou operacional sem modificar a estrutura do produto, ou processo. A *Kaizen* realiza melhorias através das pessoas que exercem ou se beneficiam de uma determinada atividade, todos devem estar envolvidos na utilização desta técnica, desde os gerentes, supervisores funcionários, clientes externos e internos.

A melhoria contínua deve ser orientada por uma metodologia, visando buscar a excelência nos processos mediante o aumento da produtividade, eliminação dos desperdícios, redução de estoques e incentivo da gestão a vista, se tornando parte da rotina das empresas é importante destacar que a metodologia é um processo contínuo que desperta nas pessoas um hábito diário de buscar melhorias em seus devidos processos. Após a realização de um *Kaizen*, as melhorias geradas devem ser padronizadas.

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Comentado [F5]: NESTE VC TEM DE DISSER COMO FARÁ A CAPTAÇÃO DOS DADOS E DE QUE FORMA SERAM TRATADOS. INFORMAR QUAIS E COMO UTILIZAR AS TÉCNICAS

A metodologia utilizada para o desenvolvimento desse estudo, encontra-se composta pela análise de problemas apresentados por correias transportadoras que fazem parte do circuito de expedição de uma mineradora localizada na região sudeste do Estado do Pará.

4.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

4.1.1. Quanto a sua natureza

A pesquisa é considerada de natureza aplicada, pois o intuito é a aplicação prática da solução encontrada a partir dos dados que foram coletados e tratados.

4.1.2. Quanto à abordagem do problema

O estudo proposto será de natureza exploratória, a qual, de acordo com Vieira (2012), busca reunir informações e problemáticas que podem ser utilizadas para pesquisas futuras. O trabalho visa propor melhorias para solução de falhas através da elaboração de um plano de ação.

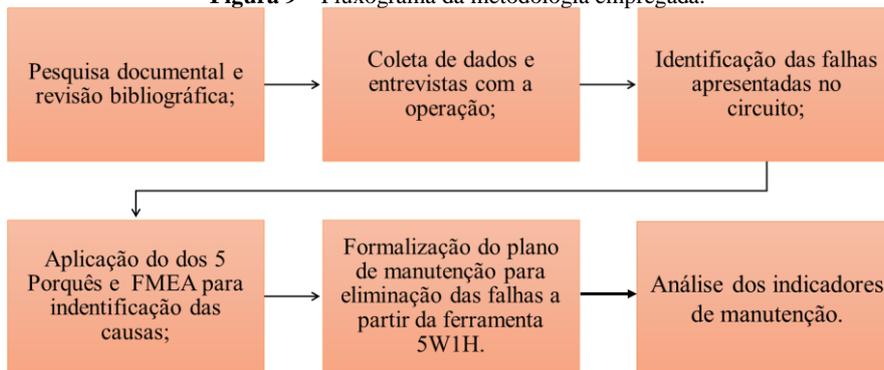
4.1.3. Quanto aos procedimentos técnicos

Procuramos compreender, explorar e descrever falhas encontradas no processo, e assim encontrar uma solução integrada para a temática apresentada, a pesquisa fundamenta-se em um estudo de caso.

4.2 ESTRUTURA DA PESQUISA

Na Figura 9 está ilustrado o fluxograma que sintetiza a metodologia utilizada nesta pesquisa.

Figura 9 – Fluxograma da metodologia empregada.



Fonte: Autor (2019).

Os dados para identificação das falhas, foram baseados na pesquisa documental dentro da empresa. O FMEA será aplicado para o levantamento dos modos de falhas e suas possíveis causas. A partir da definição das causas e da priorização do equipamento, utilizaremos a metodologia dos 5 Porquês com o objetivo de obter as possíveis causas da origem do problema, e assim aplicar as ações corretivas para a eliminação da falha.

Para finalização do estudo, ocorrerá a aplicação da ferramenta 5WIH, com o intuito de desenvolver um plano de ação para combater as causas fundamentais da falha, evitando a reincidência do problema, seguido de uma análise dos indicadores de manutenção, com base nos dados de disponibilidade física dos equipamentos que foram fornecidos pela empresa.

4.3 SOBRE A EMPRESA

Sendo uma das maiores empresas de mineração em escala global. Com sede no Brasil está presente em cerca de 30 países com diferentes operações e atividades, empregando cerca de 110 mil funcionários entre próprios e terceiros permanentes. Atuante na área de ferrosos, metais básicos e carvão, tem como seu principal negócio os produtos de minério de ferro e de

níquel, atingindo cerca de 364,6 Mt de minério de ferro e 244,6 Mt de níquel produzidas no ano de 2018 se consagrando como a maior produtora de minério de ferro e níquel no mundo.

4.3.1 Expedição

O sistema de expedição é uma parte do processo destinada para realizar movimentação do produto final. Os principais produtos comercializados pela empresa são o *Pellet Feed* (partículas < 0.150 mm), *Sinter Feed* (partículas de 6.3 mm-0.150 mm) e o Granulado (partículas de 50 mm a 6.3 mm). Na Figura 10 são ilustrados os principais produtos.

Figura 10 - Principais produtos do minério de ferro.

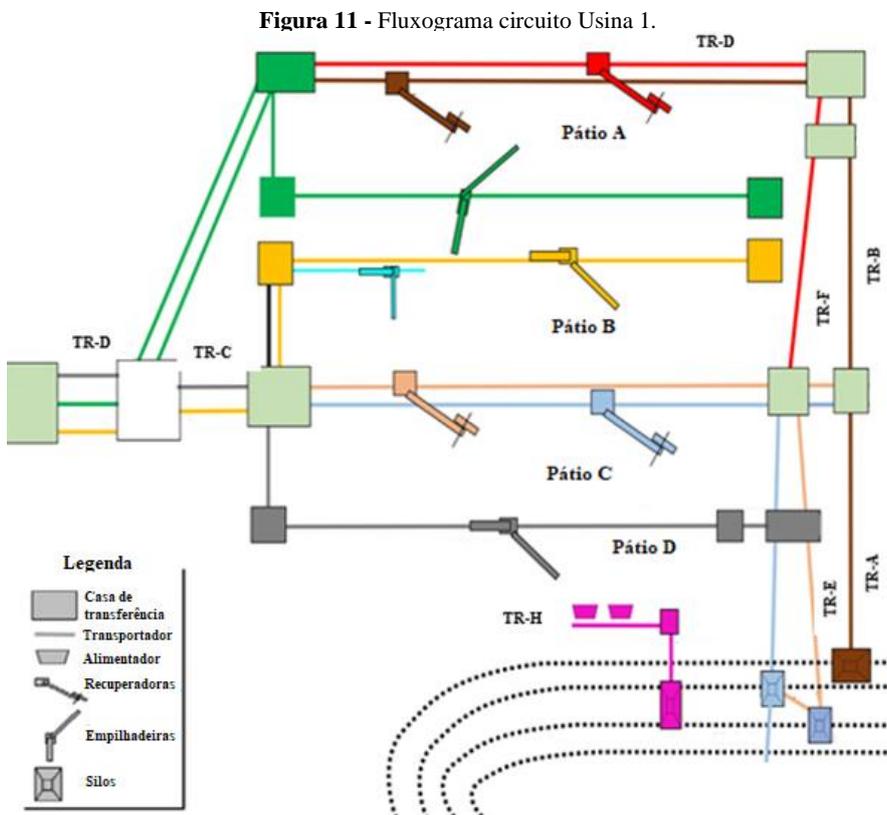


Fonte: CSN (2019).

A disposição desses elementos ocorre por meio se da formação de pilhas. Sua movimentação é efetuada por equipamentos de grande porte, destinados exclusivamente para mineração, como escavadeiras, caminhões, pás mecânicas e transportadores de correia. No sistema analisado para realização deste trabalho, o minério de ferro é armazenado em pátios específicos para este fim, onde sua movimentação e exercida através de empilhadeiras, recuperados, correias transportadoras e silo de carregamento. O transporte final desse processo é desempenhado por trens de carregamento.

Empilhadeiras são equipamentos destinados a formar pilhas de minério, para formação do estoque. Recuperadoras são equipamentos responsáveis por recuperar as pilhas formadas e transferir o produto o sistema de transportadores de correia. Transportadores de correia são equipamentos destinados a realizar o transporte desse material, entre pontos fixos. O silo de carregamento é utilizado realizar a transferência do minério, para os vagões do trem, sua construção se dá a partir de uma estrutura metálica utilizada para o depósito do minério, e comportas de abertura acionados por cilindros hidráulicos, efetuando a descarga de minério nos vagões. Os vagões se movimentam abaixo dos silos, sendo puxado pelas locomotivas.

Na empresa em estudo, a expedição da usina I é formada por quatro recuperadoras e três silos, relacionado por um conjunto envolvendo doze transportadores de correia. O sistema possui casas de transferência, local onde o material é desviado para transportadores de correias secundários, permitindo a alta flexibilidade do sistema de tal forma que qualquer uma das recuperadoras, pode direcionar material para os três silos de carregamento, de acordo com o limite de capacidade de cada correia. Na Figura 11 é mostrado o fluxograma desse sistema.



Fonte: Preservada.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

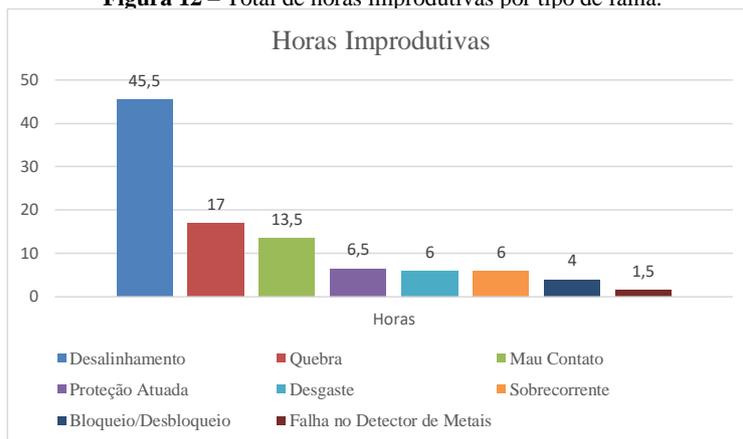
Comentado [F6]: Não faz sentido a análise da LM isolada

5.1 CONSTRUÇÃO E APLICAÇÃO DO FMEA

A metodologia (FMEA) transforma as informações em dados quantitativos, podendo ser aplicado em diversos equipamentos com o objetivo de prevenir e evitar riscos potenciais. (Kardec e Nascif, 2013)

Para realizar o levantamento das informações foi avaliado dados sobre interversões realizadas no circuito de expedição da usina I nos meses de julho, agosto, setembro e outubro. Na Figura 12 e 13 é apresentado o total de horas improdutivas e as principais falhas.

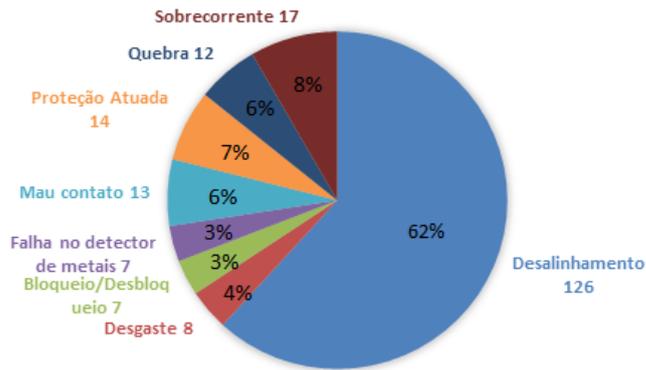
Figura 12 – Total de horas improdutivas por tipo de falha.



Fonte: Autor (2019).

Figura 13 – Principais falhas nos TR'S.

PRINCIPAIS FALHAS NOS TR'S



Fonte: Autor (2019).

A partir dos dados observados acima, foi realizado um estudo detalhado por meio da elaboração do FMEA. Tal estudo levou em consideração nove transportadores de correia responsáveis pelo transporte de minério na usina I. As informações coletadas estão inseridas na Tabela 4.

Tabela 4 - Construção do FMEA para transportadores de correia.

Equipamento	Função	Modo (s) de Falha	Efeito Potencial de Falha	Ocorrência	Severidade	Detecção	NPR	Ação Recomendada
Transportador de Correia	Transporte e movimentação de cargas	Desalinhamento	Parada do equipamento	9	7	5	315	Investigar as principais causas do desalinhamento.
		Desgaste	Fuga do material	5	8	4	160	Efetuar a troca da correia.
		Bloqueio/Desbloqueio	Parada do equipamento.	5	6	2	60	Verificar se as botoeiras de emergência estão acionadas. Verificar a existência de bloqueio na subestação.
		Falha no detector de metais	Contaminação de material	5	8	2	80	Realizar inspeção diária nos removedores de sucata.
		Mau contato no cabo de acionamento do equipamento	Parada do equipamento	5	7	7	245	Realizar inspeção semanal nos acionamentos da TR's, e realizar substituição dos cabos (caso necessário).
		Proteção atuada (Painel elétrico, comando)	Parada do equipamento	5	5	3	75	Realizar rescisão do procedimento operacional, junto com a equipe de operação
		Quebra (Componente)	Parada do equipamento	5	10	3	150	Realizar análise de vibração/termográfica mensalmente.

Fonte: Autor (2019).

Para uma melhor compreensão do impacto prático dos resultados, foram classificadas faixas de valores relacionadas a riscos baixos ($NPR \leq 120$), intermediários ($121 \leq NPR \leq 250$) e altos ($NPR \geq 251$).

Os resultados do FMEA afirmam que, dos sete modos de falhas que foram encontrados nos transportadores de correia do circuito de expedição, apenas um teve o NPR acima de 300. Aderindo a esse indicador como base para tomada de decisão prioritária, deve ser traçado um plano de ação para eliminação da referida falha.

Os outros modos de falhas mapeados que tiveram seu NPR abaixo de 300 podem ser tratados como causas comuns, pois já ocorreram dentro da unidade, e não apresentam uma alta frequência de ocorrências como ilustrado na Figura 13.

Por meio dos dados apurados, foi verificado que durante os 4 meses o circuito de expedição apresentou 126 ocorrências relacionadas a desalinhamento correspondente a 62 % das falhas, ocasionando prejuízos para a usina. Pereira (2015) em levantamento realizado na Vale Carajás, argumenta que, na usina I no período de 1º/10/2013 a 31/12/2013, houve 2076 paradas, sendo 359 preventivas, 265 elétricas e 1452 paradas mecânicas. O transportador de correia foi o equipamento com o maior número de paradas mecânicas, somando um total de 831 registros.

Diante desses fatores, será elaborado um plano de ação para encontrar e solucionar a causa raiz deste problema.

5.2 ELABORAÇÃO DO PLANO DE AÇÃO

5.2.1 Classificação do problema

A partir da análise FMEA foi identificado através do número de prioridade de risco (NPR) = 315 que, o desalinhamento era o problema que mais impactava negativamente em toda a operação envolvendo transportadores de correia. Segundo (METSU, 2016; ARRUDA, 2015) caso o desalinhamento não seja identificado e corrigido em tempo hábil, pode ocasionar o contato da correia na estrutura do transportador, tal situação tende a causar desgastes ou rasgos de suas bordas. A severidade dos danos pode afetar a capacidade nominal de transporte através da redução da largura da correia, levando a sua inutilização.

5.2.2 Expansão do problema

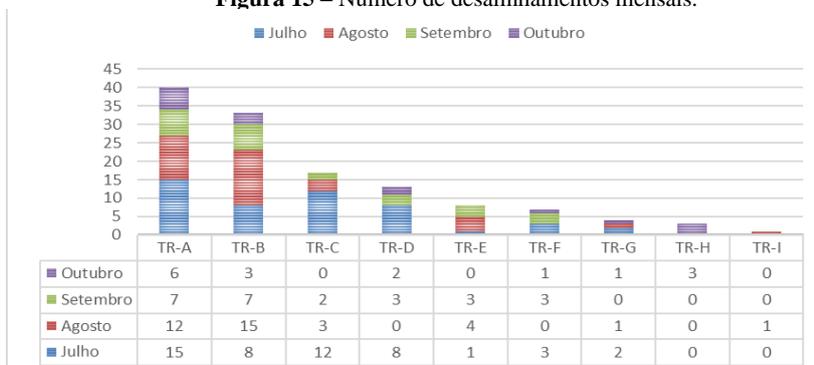
Nesta etapa iremos desdobrar o problema através dos dados disponibilizados pela empresa de mineração no período analisado, conforme as Figuras 14 e 15.

Figura 14 – Total de desalinhamento em quatro meses.



Fonte: Autor (2019).

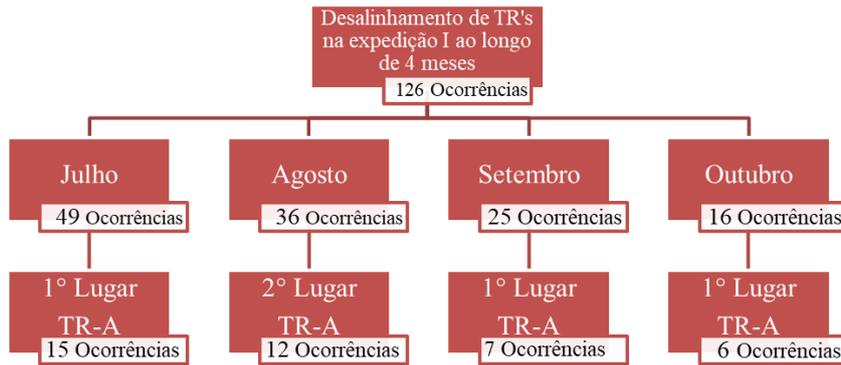
Figura 15 – Número de desalinhamentos mensais.



Fonte: Autor (2019).

Em seguida foi montado um organograma a fim de melhor visualizar a definição do problema, conforme mostrado na Figura 16.

Figura 16 – Número de desalinhamentos por TR's



Fonte: Autor (2019).

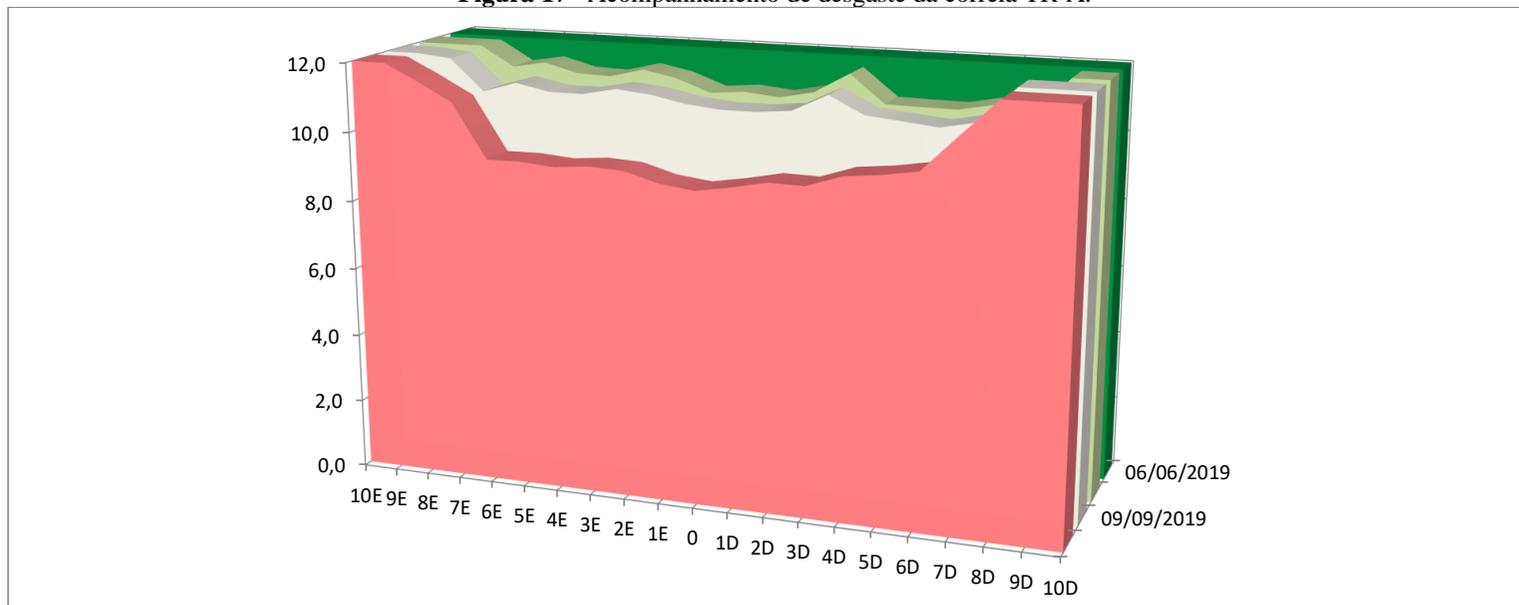
5.2.3 Definição da meta

Com o organograma montado, é possível enxergar com clareza que o principal transportador de correia afetado por desalinhamento é o TR-A, portanto iremos atuar diretamente nele. A meta estabelecida é, elaborar um plano de ação para eliminar as paradas operacionais ocasionadas por desalinhamento no transportador.

5.2.4 Acompanhamento de desgaste da correia TR-A

Para dar início a resolução do problema, foi analisado o laudo de acompanhamento de desgaste da correia TR-A fornecido pela empresa conforme a Figura 17. A correia foi analisada pela técnica de ultrassom, Segundo (Gupta, 2014) o método é destinado a analisar sua eficiência em função da vida útil, influenciada por desgaste natural de uso e outros fatores.

Figura 17 - Acompanhamento de desgaste da correia TR-A.



	10E	9E	8E	7E	6E	5E	4E	3E	2E	1E	0	1D	2D	3D	4D	5D	6D	7D	8D	9D	10D
06/06/2019	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0
16/07/2019	12,0	12,0	12,0	11,4	11,6	11,3	11,3	11,6	11,4	11,0	11,1	11,0	11,2	11,8	11,0	11,0	11,0	11,2	11,0	12,0	12,0
09/09/2019	12,0	12,0	11,9	11,0	11,3	11,1	11,1	11,3	11,2	11,0	10,9	10,9	11,0	11,5	11,0	10,9	10,8	11,0	12,0	12,0	12,0
15/10/2019	12,0	12,0	11,5	11,0	9,4	9,5	9,4	9,5	9,4	9,1	9,0	9,2	9,4	9,4	9,7	9,8	10,0	11,0	12,0	12,0	12,0

Fonte: Autor (2019).

Tabela 5 - Informações Técnicas da Correia.

Comprimento (m)	710,00 m
Produtividade da correia (ton/h)	15700 ton/h
Largura (mm)	2200 mm
Tipo da Correia	ST-2200 12X6 2200mm
Tensão Mínima de Ruptura (kg/cm)	2200 kg/cm
Média Desgaste do Centro (mm)	9,3 mm
Menor ponto lado Esquerdo (mm)	9,4 mm
Menor ponto lado Direito (mm)	9,8 mm

Resumo laudo

Condição	03 - Normal	Proj.	01/06/2020	Vida útil
----------	-------------	-------	------------	-----------

Tabela 6 - Desgaste Real Centro Em Relação à Medida.

Desgaste Real Centro Em Relação à Medida	
jun/19	0,00 %
jul/19	6,23 %
set/19	7,50 %
out/19	22,19 %

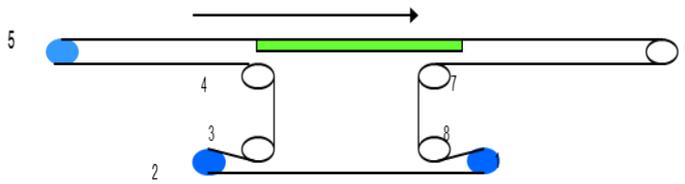
Dados do ensaio

Cabeçote	SE 4 MHz
Energia Aplicada	60 dB
Acoplante	Graxa / Gel

Fonte: Autor (2019).

Tabela 7 – Esquema do Transportador

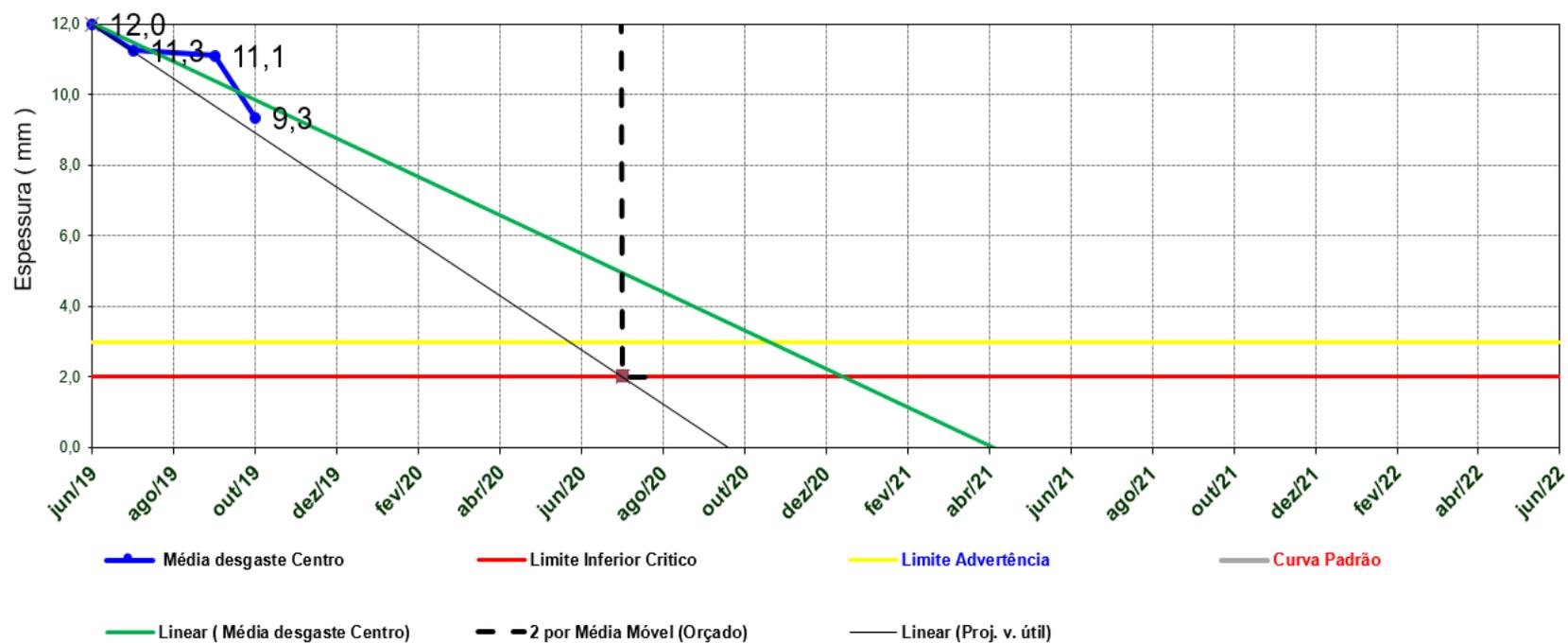
Esquemático do transportador



Histórico da correia		Status do Centro da Correia	
12 meses	Vida útil média	Média /Mês -1	1,47
06/06/2019	Data de instalação	Média /Total	0.61
4 meses de operação	Tempo de operação	Proj. Vida útil	Maior/2020

Fonte: Autor (2019).

Figura 18 – Projeção do final de vida útil da correia.



Fonte: Autor (2019).

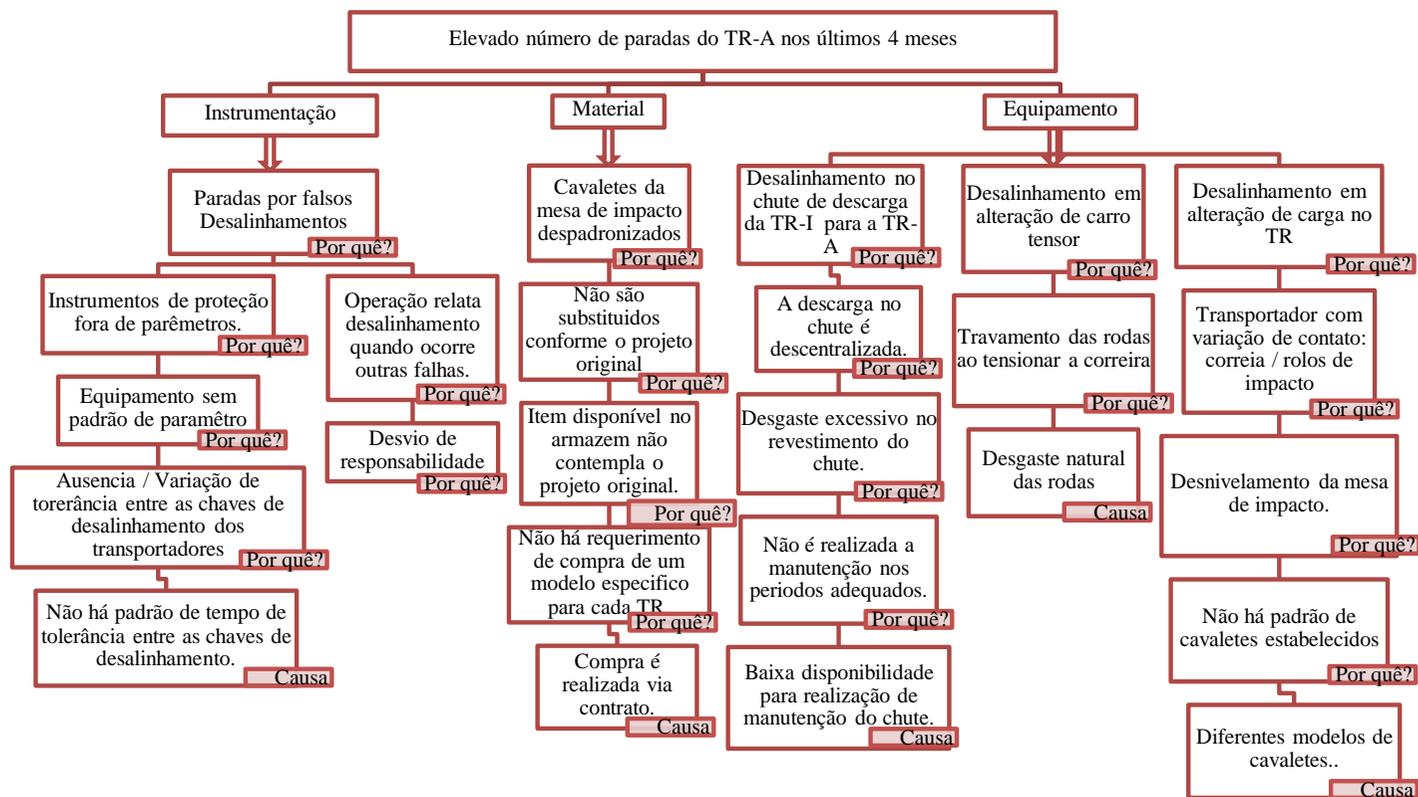
O cálculo de vida útil é baseado na regressão linear, conforme a figura (17) que mostra um registro das medições contendo 20 pontos medidos, ao longo da seção transversal da correia. O controle iniciou-se no dia 06/06/2019 com a instalação de uma correia nova com 12 mm de espessura, e a última medição foi realizada no dia 15/10/2019. Através da análise do perfil do gráfico visto na figura (17) é possível notar, que a característica da espessura de borda, mantém-se constante, dispensando a probabilidade de rasgos na correia e por consequência o seu desalinhamento. Pois segundo TIE-ZHU et al. (2011) a espessura da borda em operação é constante, e se altera somente na presença de rasgo.

A correia instalada no TR-A está operando a 4 meses, e apresenta uma média de desgaste central de 0.61 pontos ou seja 7.32% ao mês. A figura 18 mostra a projeção do final de vida útil da correia, sendo instalada em seis de junho de 2019, tem sua previsão para alcançar o limite da cobertura superior de 4 mm em maio de 2020 completando 330 dias de operação. Sua última medição realizada em outubro, indica um desgaste central em torno de 22,19%.

5.2.5 Aplicação dos 5 Porquês

A utilização desta ferramenta é fundamental para elaboração do diagnóstico. De acordo com Pereira (2009), a simplicidade de aplicação é a grande vantagem do método. Para isso é necessário ter uma informação assertiva de porque o problema aconteceu, permitindo a rápida identificação das causas fundamentais. Contudo, foi construído um segundo organograma que está ilustrado na Figura 18. Tal organograma foi esquematizado com base em causas relacionadas a instrumentação, materiais e equipamento.

Figura 19 - Aplicação dos 5 Porquês



Fonte: Autor (2019).

5.2.5.1 Possíveis causas do problema

- Causa Nº 1. Não há padrão de tempo de tolerância entre as chaves de desalinhamento: foi detectado pela inspeção, que, as chaves de desalinhamento não seguiam um padrão de tolerância, ocasionando paradas por falso desalinhamento;
- Causa Nº 2. Compras são realizadas via contrato: a compra de equipamentos realizada pela empresa, prevê apenas o modelo orçado em contrato, que difere do modelo aplicado no projeto original do TR;
- Causa Nº 3. Baixa disponibilidade para realização de manutenção do chute: a TR-A é a principal rota de alimentação do Silo 3, sendo estabelecidas poucas janelas de abertura para sua manutenção, diante deste cenário, foi identificado desgaste excessivo nas placas de revestimento do chute, o que ocasiona a distribuição de carga irregular na mesa de impacto;
- Causa Nº 4. Diferentes modelos de cavaletes: através da inspeção visual no transportador, foi detectado o uso de diferentes modelos de cavalete na mesa de impacto, gerando o desnivelamento da mesma.

5.2.6 Aplicação da metodologia 5W1H

Para identificar as ações e responsabilidades de quem irá executar, foram elaborados quatro planos de ação (um para cada uma das possíveis causas) com base na metodologia 5W1H e estes estão dispostos nas Tabelas 8, 9, 10 e 11 a seguir.

Tabela 8 – Plano de ação para a causa N° 1.

Causa N° 1	O quê?	Exercer a padronização do tempo de atuação das chaves de desalinhamento do pátio
	Quem?	Supervisão de Instrumentação
	Quando?	06/01/2020
	Onde?	Ao longo do TR-A
	Por quê?	Evitar o desarme do TR-A por falso desalinhamento
	Como	Será realizado em parada oportuna, do circuito a partir da data estabelecida.

Fonte: Autor (2019).

Tabela 9 - Plano de ação para a causa N° 2.

Causa N° 2	O quê?	Realizar compra de equipamentos conforme o projeto
	Quem?	Supervisão de Suprimentos
	Quando?	06/01/2020
	Onde?	TR-A
	Por quê?	Evitar não conformidades de projeto
	Como	Será fornecido o projeto da TR-A, para a realização da compra de equipamentos.

Fonte: Autor (2019).

Tabela 10 - Plano de ação para a causa N° 3.

Causa N° 3	O quê?	Executar a substituição de placas do revestimento do chute
	Quem?	Planejamento e Controle da Manutenção (Expedição I)
	Quando?	16/12/2019
	Onde?	Chute de descarga TR-A
	Por quê?	Evitar a distribuição irregular de carga na mesa de impacto
	Como	Será realizado em parada programada. Substituindo 12 placas de revestimento liso

Fonte: Autor (2019).

Tabela 11 – Plano de ação para a ac causa N° 4.

Causa N° 4	O quê?	Efetuar a padronização de cavaletes na mesa de impacto.
	Quem?	Planejamento e Controle da Manutenção (Expedição I)
	Quando?	16/12/2019
	Onde?	Mesa de impacto TR-A
	Por quê?	Evitar o desnivelamento da mesa, o que pode levar ao desalinhamento e desgaste prematuro da correia
	Como	Será realizado em parada programada. Substituindo os modelos que se encontram divergentes.

Fonte: Autor (2019).

5.2.7 Análise dos indicadores de manutenção

A disponibilidade representada pela equação (1) (item 3.4) é utilizada para avaliar o desempenho dos equipamentos reparáveis no sistema, sendo uma tarefa fundamental para a equipe de planejamento e controle da manutenção, a disponibilidade de um equipamento é calculado a partir do tempo médio entre falhas (MTBF) e do tempo médio de reparo (MTTR).

A NBR – 5462 diz que, a confiabilidade é a capacidade de um item executar uma função requerida durante um dado instante ou intervalo de tempo determinado. Para se medir a confiabilidade, é necessário levantar as seguintes informações como a MTBF e a taxa de falhas. A confiabilidade é dada em função do tempo, não é um número definido, sendo calculada pela equação (4) (item 3.4). Com base nesses dados foi realizada uma análise dos indicadores de manutenção em toda linha da TR-A e feito um comparativo. Os resultados estão dispostos nos Quadros a seguir.

Quadro 1 – Indicadores de Julho

Julho	Horas Calculadas (HC) (h)	744	Eliminando os Desalinhamentos	Horas Calculadas (HC) (h)	744
	Duração de Paradas (h)	339,31		Duração de Paradas (h)	332,67
	Eventos (n)	32		Eventos (n)	17
	Tempo de Reparo (h)	10,22		Tempo de Reparo (h)	3,58
	Horas Trabalhadas - HT (h)	404,69		Horas Trabalhadas - HT (h)	411,33
	MTBF (h)	12,65		MTBF (h)	24,20
	MTTR (h)	0,32		MTTR (h)	0,21
	DF (%)	97,54%		DF (%)	99,14%
	Taxa de Falhas (λ)	0,079		Taxa de Falhas (λ)	0,041
	Falhas por dia	1,90		Falhas por dia	0,99
	Confiabilidade (31 dias)	8,62%		Confiabilidade (31 dias)	27,77%

Fonte: Autor (2019).

Em julho foram registradas 15 ocorrências de desalinhamentos, o que ocasionou um impacto de 6,64 horas no tempo de reparo total, que neste caso foi de 10,22 horas. Analisando os dados desconsiderando os desalinhamentos seriam contabilizados 17 eventos, o que acarretaria um impacto de apenas 3,58 horas de tempo de reparo. Verificando a disponibilidade física do equipamento, perceberam-se que a mesma subiu de 97,54% para 99,14 % e a confiabilidade do equipamento no período de 31 dias subiu de 8,62% para 27,77 %.

Quadro 2 - Indicadores de Agosto

Agosto	Horas Calculadas (HC) (h)	740	Eliminando os Desalinhamentos	Horas Calculadas (HC) (h)	744
	Duração de Paradas (h)	280,78		Duração de Paradas (h)	277,2
	Eventos (n)	48		Eventos (n)	36
	Tempo de Reparo (h)	13,34		Tempo de Reparo (h)	9,76
	Horas Trabalhadas - HT (h)	463,22		Horas Trabalhadas - HT (h)	466,8
	MTBF (h)	9,65		MTBF (h)	12,97
	MTTR (h)	0,28		MTTR (h)	0,27
	DF (%)	97,20%		DF (%)	97,95%
	Taxa de Falhas (λ)	0,104		Taxa de Falhas (λ)	0,077
	Falhas por dia	2,49		Falhas por dia	1,85
	Confiabilidade (31 dias)	4,03%		Confiabilidade (31 dias)	9,16%

Fonte: Autor (2019).

No mês de agosto foram registrados 48 eventos de manutenção, o que impactou em um tempo de reparo de 13,34 horas. Dos eventos ocorridos, 12 foram por desalinhamentos, o que levou a um tempo de reparo de 3,58 horas. Analisando o mesmo período e não contabilizando as a ocorrências de desalinhamento, é possível perceber que a disponibilidade física aumentou de 97.20% para 97,95% e a confiabilidade aumentou de 4,03% para 9.16%

Quadro 3 - Indicadores de Setembro

Setembro	Horas Calculadas (HC) (h)	720	Eliminando os Desalinhamentos	Horas Calculadas (HC) (h)	720
	Duração de Paradas (h)	298,86		Duração de Paradas (h)	295,28
	Eventos (n)	24		Eventos (n)	17
	Tempo de Reparo (h)	11,71		Tempo de Reparo (h)	8,13
	Horas Trabalhadas - HT (h)	421,14		Horas Trabalhadas - HT (h)	424,72
	MTBF (h)	17,55		MTBF (h)	24,98
	MTTR (h)	0,49		MTTR (h)	0,48
	DF (%)	97,29%		DF (%)	98,12%
	Taxa de Falhas (λ)	0,057		Taxa de Falhas (λ)	0,040
	Falhas por dia	1,37		Falhas por dia	0,96
	Confiabilidade (30 dias)	18,09%		Confiabilidade (30 dias)	30,10%

Fonte: Autor (2019).

Em setembro foram registrados um total de 24 reparos e foi percebido que deste total, 7 foram por desalinhamentos. Impactando 3,58 horas de tempo de reparo, que para este período foi de 11,71 horas. Analisando os eventos sem contabilizar os desalinhamentos tem-se 17

ocorrências com um tempo de 8,13 horas. Durante o período analisado foi possível verificar que a disponibilidade física teve um leve aumento de 97,29% para 98,12% e que a confiabilidade também houve aumento de 18,09% para 30,10%.

Quadro 4 - Indicadores de Outubro

Outubro	Horas Calculadas (HC) (h)	744	Eliminando os Desalinhamentos	Horas Calculadas (HC) (h)	744
	Duração de Paradas (h)	317,27		Duração de Paradas (h)	313,47
	Eventos (n)	32		Eventos (n)	26
	Tempo de Reparo (h)	9,75		Tempo de Reparo (h)	5,95
	Horas Trabalhadas - HT (h)	426,73		Horas Trabalhadas - HT (h)	430,53
	MTBF (h)	13,34		MTBF (h)	16,56
	MTTR (h)	0,30		MTTR (h)	0,23
	DF (%)	97,77%		DF (%)	98,64%
	Taxa de Falhas (λ)	0,075		Taxa de Falhas (λ)	0,060
	Falhas por dia	1,80		Falhas por dia	1,45
Confiabilidade (31 dias)	9,78%	Confiabilidade (31 dias)	15,38%		

Fonte: Autor (2019).

Dos 32 de eventos registrados em outubro 6 foram por desalinhamentos, isso impactou em 3,80 horas o tempo de reparo que foi de 9.75. Com a ausência dessa falha seriam contabilizados 26 eventos com apenas 5,95 horas de tempo de reparo. Avaliando o efeito causado por desalinhamento na disponibilidade do circuito percebe-se uma diferença de 0.87%, onde ela aumentou de 97,77% para 98.64%

Quadro 5 – Indicadores ao longo de 4 meses

Ao longo dos 4 meses	Horas Calculadas (HC) (h)	2352	Eliminando os Desalinhamentos	Horas Calculadas (HC) (h)	2352
	Duração de Paradas (h)	1236,22		Duração de Paradas (h)	1218,62
	Eventos (n)	136		Eventos (n)	96
	Tempo de Reparo (h)	45,02		Tempo de Reparo (h)	27,42
	Horas Trabalhadas - HT (h)	1115,78		Horas Trabalhadas - HT (h)	1133,38
	MTBF (h)	8,20		MTBF (h)	11,81
	MTTR (h)	0,33		MTTR (h)	0,29
	DF (%)	96,12%		DF (%)	97,64%
	Taxa de Falhas (λ)	0,122		Taxa de Falhas (λ)	0,085
	Falhas por dia	2,93		Falhas por dia	2,03
Confiabilidade (123 dias)	0,00%	Confiabilidade (123 dias)	7,24%		

Fonte: Autor (2019).

Durante o período de estudo foram verificados um total de 40 paradas por desalinhamentos no transportador de correia, isso acarretou um total de 17.6 horas de indisponibilidade do equipamento na operação, impactando a confiabilidade em 7.24%, durante esse mesmo tempo, percebe-se que o tempo médio entre falhas aumentou 3.61 horas, verificou-se ainda que, a disponibilidade teve uma ligeira diferença de 96.12% para 97.64%, no entanto ainda se manteve alta, uma vez que valores para disponibilidade acima de 90% são muito bons para equipamentos industriais se enquadrando na classe mundial.

Considerando que o preço do minério de ferro em 08/12/2019 que está em torno de US\$ 89,00 por tonelada, e a produtividade diária do TR-A seja de 9 mil ton/h, pode-se relacionar o possível ganho de produtividade com o tempo período durante os reparos causados por desalinhamentos ocorridos no período de quatro meses. Durante esse tempo houve 17.6 horas de paradas, onde poderiam ser expedidos 158.4 mil toneladas de minério, tendo potencial para uma geração de renda de US\$ 140,097 milhões de dólares.

6 CONCLUSÃO

A ferramenta de análise dos modos e efeitos de falha foi explorada e aplicada em um transportador de correia, pois é um dos principais equipamentos responsáveis pela expedição de minério na usina. Tal equipamento apresentou graves problemas de desalinhamento, apontando um NPR maior que 300, sendo responsável por 62 % das falhas ocorridas em transportadores da usina ao longo de 4 meses. Com base nesses dados, foi classificado o TR-A para tomada de decisão prioritária sendo elaborado um método de ação para solucionar seus problemas. Desse modo, o plano nasceu a partir da utilização de ferramentas, buscando a identificação da causa raiz, aplicando o método dos “5 Porquês”, posteriormente a isto, foi utilizada uma nova ferramenta de qualidade que consiste na metodologia 5W1H para realizar a formalização de todas as ações que foram propostas anteriormente através de um plano de ação.

Conclui-se assim que, a utilização das ferramentas de qualidade associadas a um histórico de manutenção confiável, favorecem a identificação das causas e efeitos de falha, auxiliando na tomada de decisão com base no grau de risco apresentado, oferecendo sugestões para eliminação das irregularidades encontradas no transportador de correia. A aplicação deste método, contribui para o tratamento de perdas em equipamentos utilizados nos setores de manutenção industrial. Quando aplicadas de forma correta, proporcionando um aumento na disponibilidade dos ativos, gerando ganho de produtividade e redução de custo para a empresa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ARAÚJO, R. **Aumento da confiabilidade em correias transportadoras por manutenção preventiva e corretiva**. 2010. Monografia (Pós-graduação em Engenharia Mineral) Universidade Federal de Ouro Preto, 2010.

ARRUDA, G. Alinhamento necessário. **Revista Minérios & Minerale**s, v. 369, p. 8-14, 2015

BALIEIRO, R. **Desenvolvimento de abordagem baseada em técnicas de visão computacional e de aprendizado de máquinas para monitoramento e controle de falhas em correias transportadoras**. 2019. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) Universidade de São Paulo, 2019

DALE, B. G.; VAN DER WIELE, A.; VAN IWAARDEN, J. *Managing Quality*. 5ª ed. **Oxford: Blackwell Publishing Ltd**. p. 610, 2007.

FARIA, P. H. L. **Estudos de confiabilidade de manutenção em sistemas de expedição de produtos de mineração**. Tese (Pós-Graduação em Engenharia de Produção) -Faculdade de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul. p. 102, 2014.

FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, J. L. D. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. ed. São Paulo: Campus-Elsevier, 2009.

GOLDSTEIN, A. Brazilian Privatization in International Perspective: The Rocky Path from State Capitalism to Regulatory Capitalism. **Industrial and Corporate Change**, v. 8, nº. 4, December, 1999.

GOODYEAR – Produtos de Borracha Ltda. Catálogo: **Correias Transportadores e Elevadoras 2012**. Disponível em:

<http://www.vulcatec.com.br/img/site/uploads/parceiros/59baef667bbc4baa912206980a00020f.pdf>. Acesso em: 25/11/2019.

Gupta, A. (2014). **Analysis for Controlling Belt Deviation in Conveyor System**. Journal of Mechanical and Industrial Engineering Research, Vol. 3

IBRAM – INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Relatório Anual de Atividades Julho de 2018 - junho de 2019**. Disponível em: <http://portaldaminerao.com.br/ibram/wp-content/uploads/2019/07/relatorio-anual-2018-2019.pdf>. Acesso 07/12/2019

KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção: Função Estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora: 4ª ed., 2012.

LAFRAIA, J. R. B. **Manual de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora: Petrobrás, 2001.

LANGUI, C. A. **Pontes Rolantes - A importância do equipamento nas áreas de produção industrial - Pontes rolantes**. Monografia (MBA em Gerência Empresarial) - Departamento de Economia, Contabilidade, Administração e Secretariado, Universidade de Taubaté, Taubaté, 2001.

LOUREIRO, R. G. **Aplicação das ferramentas a prova de falha "Poka-Yoke" como ações resultantes de FMEA de processo em unidades produtivas do setor automobilístico**. Monografia (Engenharia de Produção) - Fundação Eurípides Soares da Rocha, Marília. p. 71, 2013.

MÁRQUEZ, A. C.; DE LEÓN P. M.; FERNÁNDEZ J. F. G.; MÁRQUEZ C. P.; CAMPOS M. L. The maintenance management framework: a practical view to maintenance management. **Journal of Quality in Manintenance Engineering**, v. 15, nº. 2, p. 167-178, 2009.

MATTHIES, K. Slower Price Rises in Commodity. **MarketsIntereconomics**, v. 42, nº. 2, p. 109- 112, 2007.

METSO. Correias Transportadoras. **Metso Service Tips** 4th ed. 2008. Catalog

MOUBRAY, J. **Manutenção Centrada em Confiabilidade**. 2ª Ed., Aladon Ltda, 2000.

OLIVEIRA, R. W. H. **Introdução ao transporte e pavimentação**. v. 1. Ouro Preto: Editora da UFOP, 2017.

PEREIRA, A. Aumento de disponibilidade em transportador de correia com redução de paradas. **Revista Minérios & Minerales** v. 370, p. 28-29, 2015

SACRAMENTO, R. C. F. **Apostila de Transportadores de Correia**. Universidade Federal da Bahia (UFBA), p. 20 – 47, Salvador - BA, 2010.

TIE-ZHU.; FU-QIANG, W; XIAO-YU, L. (set de 2011). Research on Online Monitoring Method for Longitudinal Rip of Steel-Core Belt. **Emerging Research in Artificial Intelligence and Computational Intelligence: International Conference, AICI** p; 141-146, 2011.

VIEIRA, J. G. S. **Metodologia de pesquisa científica na prática**. Programa de Pós-graduação em EAD e novas tecnologias. Lapa: Editora Fael, 2012.

VIANA, H. R. G. **Planejamento e Controle da Manutenção**. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora Ltda., 1ª ed., p.192, 2002.

WANG, H. A survey of maintenance policies of deteriorating systems. **European Journal of Operational Research**, v. 139, p. 469-489, 2002.

XENOS, H. G. P. **Gerenciando a manutenção produtiva: O caminho para eliminar falhas nos equipamentos e aumentar a produtividade**. Ed. Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços Ltda., p. 302, 2004.

ZHANG, T.; NAKAMURA. M. Reliability-based optimal maintenance scheduling by considering maintenance effect to reduce cost. **Quality and Reliability Engineering International**. v. 21, p. 203-220, 2005.