



Ministério da Educação
Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas
Departamento de Engenharia de Controle e
Automação



AUTOMAÇÃO EM INSPEÇÕES DE CORREIAS TRANSPORTADORAS APLICADAS À MINERAÇÃO

REGINA TATIANA DE OLIVEIRA

Ouro Preto MG
2019

REGINA TATIANA DE OLIVEIRA

AUTOMAÇÃO EM INSPEÇÕES DE CORREIAS TRANSPORTADORAS APLICADAS À MINERAÇÃO

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau em Bacharel em Engenharia de Controle e Automação.

Orientador: Prof. Dr. Alan Kardek Rêgo Segundo

Ouro Preto - MG
Dezembro de 2019

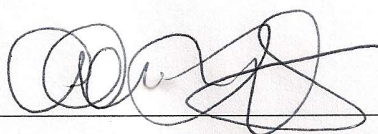
SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

- O48a Oliveira, Regina Tatiana de.
Automação em inspeção de correias transportadoras aplicadas à mineração .
[manuscrito] / Regina Tatiana de Oliveira. - 2019.
47 f.: il.: color..
- Orientador: Prof. Dr. Alan Kardek Rêgo Segundo.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas.
Área de Concentração: Engenharia de Controle e Automação.
1. Correias transportadoras. 2. Correias transportadoras -Inspeção. 3. Manutenção. 4. Controle de processo. I. Rêgo Segundo, Alan Kardek. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

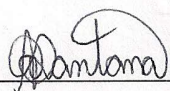
CDU 681.5

Bibliotecário(a) Responsável: ANGELA MARIA RAIMUNDO - SIAPE:1.644.803

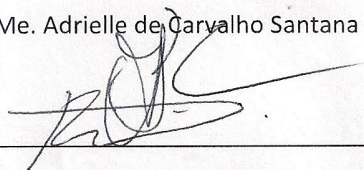
Monografia defendida e aprovada em 19 de dezembro de 2019, pela comissão avaliadora constituída pelos professores:



Prof. Dr. Alan Kardek Rêgo Segundo – Orientador



Profa. Me. Adrielle de Carvalho Santana – Professora Convidada



Prof. Dr. Agnado José da Rocha Reis – Professor Convidado

Este trabalho é dedicado aos meus pais, Pedro (in memoriam) e minha mãe, Ana.

Agradecimentos

Sou grata à Deus pelas bênçãos e pela infinita misericórdia nos momentos que me faltavam forças para insistir na pesquisa. À minha Nossa Senhora por passar à frente do meu caminho e me conduzir por sua mão.

Ao meu pai por seu amor e ensinamentos terem vencido a maior de todas as distâncias. À minha mãe, minha vida, por acreditar e investir nos meus sonhos e por me ensinar que quando se tem fé e coragem se pode ir longe. Às minhas irmãs por serem meu porto seguro, à vocês o maior amor do mundo. Ao meu cunhado, pelo carinho e por me ajudar sempre. Às minhas pequenas por serem meu motivo de ser melhor a cada dia.

Aos meus amigos que suportaram minha ausência quando precisei me desconectar da vida social por um tempinho e me dedicar a esse projeto, amo vocês.

A todos os mestres que me auxiliaram na busca da realização dos meus ideais profissionais, em especial o Prof. Dr. Alan Kardek por me orientar e por me permitir desenvolver esta pesquisa.

Por fim, à Escola de Minas e à Fundação Gorceix por oportunizar meu vislumbre de um horizonte superior.

CUM MENTE ET MALLEO.

Viva a Escola de Minas, Viva, Viva, Viva!!!

"Aquele que tem um porquê para viver pode suportar quase qualquer como"
Friedrich Nietzsche.

Resumo

Com o avanço das tecnologias, a competição entre as empresas está cada vez mais acirrada e as indústrias estão focando na redução de custos de produção. Quando se trata de transporte eficiente e econômico de materiais a granel, as correias transportadoras são, hoje, as mais usuais. Um transportador de correia possui custo alto de instalação, mas, em contrapartida, pode operar 24 horas por dia, o que gera vantagens em comparação aos demais meios de transporte. Para isso é necessário desenvolver um plano de manutenção eficiente que mantenha as instalações em perfeito funcionamento. Nesse cenário, a inspeção cumpre um papel de suma importância. Este trabalho visa utilizar entrevistas para analisar as inspeções de roletes em correias transportadoras na mina de Alegria e Fazendão, Vale SA; e realizar uma pesquisa bibliográfica sobre falhas, manutenção e inspeção de transportadores de correia. Ao longo do trabalho, o foco é voltado para as técnicas mais recentes de inspeção de transportadores de correia com uso no setor de mineração, porém os conceitos que serão abordados podem abranger qualquer tipo de aplicação.

Palavras-chave: transportador de correia, inspeção, manutenção, falhas.

Abstract

With the advance of technologies, competition between companies is increasingly fierce and industries are focusing on reducing production costs. When it comes to efficient and economical bulk material transportation, conveyor belts are nowadays the most common. A belt conveyor has a high installation cost but, on the other hand, can operate 24 hours a day, which has advantages compared to other means of transport. To this end, it is necessary to develop an efficient maintenance plan that keeps the facilities in perfect working order. In this scenario, the inspection plays a very important role. This work aims to use interviews to analyze the inspections of rollers in conveyor belts at the Alegria e Fazendão, Vale S.A. mine; and perform a literature search on belt conveyor failure, maintenance and inspection. Throughout the work, the focus is on the latest belt conveyor inspection techniques used in the mining industry, but the concepts that will be covered may cover any type of application.

Keywords: belt conveyor, inspection, maintenance, failures

Lista de figuras

Figura 1 – Sistema Truckless	5
Figura 2 – Transportador de correias	6
Figura 3 – Transportador de correia plana	8
Figura 4 – Diferentes tipos de angulação que a correia pode operar	8
Figura 5 – Esquemático de um transportador de correias	9
Figura 6 – Esquema das partes que compõe uma correia transportadora	10
Figura 7 – Componentes de um rolo típico	11
Figura 8 – Rolete de carga	13
Figura 9 – Rolete de impacto	13
Figura 10 – Rolete de retorno	14
Figura 11 – Rolete auto-alinhantes	15
Figura 12 – Tambor típico	15
Figura 13 – Componentes de um tambor	16
Figura 14 – Posição de diferentes tambores	16
Figura 15 – Motor elétrico	17
Figura 16 – Motorreductor elétrico	17
Figura 17 – Acoplamento hidrodinâmico ligado ao motor	18
Figura 18 – Visão externa de um chute de minério da Sandvik MGS S/A	18
Figura 19 – Algumas falhas em rolos e suas consequências	23
Figura 20 – <i>Branstorming</i>	25
Figura 21 – Lista de tarefas para inspeção do transportador	26
Figura 22 – Tabelas com a distribuição dos eventos por setores	28
Figura 23 – Gráfico de falhas no setor da mecânica - Alegria	29
Figura 24 – Gráfico de falhas no setor da mecânica - Fazendão	30
Figura 25 – Gráfico de falhas no setor da operação - Alegria e Fazendão	31
Figura 26 – Gráfico de falhas no setor da vulcanização - Alegria e Fazendão	31
Figura 27 – Visão geral do projeto	33
Figura 28 – Motodelo de rotor rígido	34
Figura 29 – Dispositivo robótico atravessando um trilho do trem, locomovendo-se em uma pilha de bolas e subindo escadas	35
Figura 30 – Representação do conceito preliminar da plataforma robótica	36
Figura 31 – Representação do conceito preliminar da disposição dos sensores	37
Figura 32 – Arquitetura integrada proposta para o monitoramento de rolos	38
Figura 33 – Modelo de quadricóptero com seus componentes em destaque	39
Figura 34 – Voo realizado pelo RPA para coletar imagens dos rolos do transportador de correia	39

Figura 35 – Imagem gerada com o algoritmo morfologico melhorado	40
Figura 36 – Esquema da montagem proposto	40
Figura 37 – Comportamento da curva de um sinal filtrado e não-filtrado	42
Figura 38 – Rasgo usado na simulação	42
Figura 39 – Representação 3D do rasgo	43

Lista de abreviaturas e siglas

3D	Terceira dimensão
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CCM	<i>Computerized Management Maintenance System</i>
DBSCAN	Densidade de Aplicações com Ruído
DECAT	Departamento de Engenharia de Controle e Automação
EGP	Equipamento gerador de parada
GLD	Grau de liberdade
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GPVM	Gestão de Produção Vale
Iot	Internet das coisas
km	Quilômetro
MLP	<i>Multilayer Perceptron</i>
MQTT	<i>MQ Telemetry Transport</i>
NBR	Norma Brasileira
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i>
PSD	Densidade Espectral de Potência
RBF	<i>Radial-Basis Function</i>
RMS	<i>Root Mean Square</i>
S11D	Bloco D do corpo geológico S11 (Sul)
SAP	Sistemas, Aplicativos e Produtos para Processamento de dados
SBM	<i>Similarity- Based Modeling</i>
TC	Transportador de correia
UFOP	Universidade Federal de Ouro Preto
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado

Sumário

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Considerações Iniciais	1
1.1.1	Objetivo Geral	2
1.1.2	Objetivos Específicos	2
1.1.3	Justificativa	2
1.1.4	Organização do Texto	3
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1	Transportador de correia	4
2.1.1	História	4
2.1.2	Definição	5
2.1.3	Classificação	6
2.1.4	Componentes	9
2.1.4.1	Correia	9
2.1.4.2	Roletes	11
2.1.4.3	Tambor	15
2.1.4.4	Acionamento	16
2.1.4.5	Chute	18
2.1.4.6	Esticadores	18
2.1.4.7	Sistema de limpeza	19
2.1.4.8	Instrumentação básica	19
2.2	Importância Manutenção	20
2.2.1	Manutenção Preventiva	20
2.2.2	Manutenção Preditiva	20
2.2.3	Manutenção Corretiva	20
2.2.4	Principais Falhas	21
2.2.4.1	Falhas em correias	22
2.2.4.2	Falhas em roletes	22
3	DESENVOLVIMENTO	24
3.1	Entrevistas e <i>Brainstorming</i>	24
3.1.1	Pontos relevantes	26
3.2	Análise de dados coletados	27
4	RESULTADOS	32
4.1	Máquinas rotativas	32

4.1.1	Sinais de vibração	32
4.2	Dispositivo Robótico	35
4.3	Veículos Não Tripulados	37
4.4	Visão computacional	40
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	44
5.1	Conclusão	44
5.2	Trabalhos Futuros	44
	Referências	45

1 Introdução

1.1 Considerações Iniciais

O controle, o planejamento e a operação do fluxo da produção industrial são fatores primordiais para que se tenha uma cadeia produtiva bem sucedida, isso porque a logística se estende desde a obtenção da matéria-prima até a chegada do produto ao destino final. O mercado do século XXI está cada dia mais competitivo, exigente e dinâmico e para que as empresas consigam acompanhar esse ritmo é necessário que o produto chegue em menor tempo possível e que o transporte preserve ao máximo a sua integridade.

Segundo [Buarque et al. \(2008\)](#), ao longo do século XX, a logística passou por uma profunda transformação, deixando de ser uma atividade secundária no sistema econômico para ocupar um papel decisivo na busca da competitividade global. Desde meados da década de 80, vem ganhando espaço como um elemento de diferenciação estratégica das economias.

Os grandes transportadores são utilizados para mover os mais diversos materiais granulados (grãos, areia, brita, minério, entre outros) percorrendo consideráveis distâncias. Em contrapartida, as esteiras de menor porte aplicam-se em processos fabris e no comércio varejista e atacadista.

Os processos de transporte não se limitam apenas a mover materiais de um lugar para outro, mas também estão incorporados conceitos de logística onde há seletividade e prioridade automática de cargas para cada situação apresentada. Portanto, a automação industrial se apresenta como solução aplicada para esses processos ([MAGALHÃES et al., 2008](#)).

As correias transportadoras são usadas em diversos processos que exigem transporte eficiente. Grandes companhias mineradoras utilizam as correias como uma boa alternativa para transportar material em longas distâncias de forma eficaz e produtiva, otimizando assim os processos.

Uma correia transportadora é composta basicamente de roletes, motores, acionadores e uma correia. Os roletes são responsáveis por movimentar as correias. O bom funcionamento desses elementos, em geral, é de suma importância para que o sistema funcione. Uma correia possui muitas características e diversas variáveis não são monitoradas com o devido cuidado, além disso vale destacar a vida útil e a resistência dos roletes que a compõe. Quando algum rolete trava e a correia continua rodando gera-se desgaste em ambos os itens.

A Vale aposta no sistema de transporte de material por correias entre as suas instalações como forma de reduzir custos e minimizar o impacto ambiental. Mas paradas não programadas e falhas inesperadas, além de grandes transtornos na cadeia produtiva, geram alto custo de

manutenção.

Vários são os defeitos que podem ocasionar na falha ou parada parcial do rolete. Sem nenhum instrumento específico para a tarefa de inspeção, os inspetores são expostos a esforços físicos (comprimento extenso das correias) e a ruídos provenientes do processo de beneficiamento do minério. Então, faz-se necessário um sistema eficaz que monitore e detecte todas as possíveis falhas do processo para que haja uma maior confiabilidade nas operações e a diminuição de inspeções e manutenções.

1.1.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem por objetivo geral utilizar entrevistas para analisar as inspeções de roletes em correias transportadoras na Mina de Alegria, Vale SA, e com base nessa análise, realizar uma pesquisa bibliográfica sobre as técnicas mais recentes que estão sendo desenvolvidas na área de inspeções de roletes em correias transportadoras.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Realizar uma revisão dos principais componentes de um transportador de correia;
- Por meio de entrevistas com técnicos gerar embasamento para pesquisa do estado da arte que envolve a temática;
- Fazer uma comparação entre os sistemas que sejam capazes de monitorar e detectar as possíveis falhas do processo para que haja uma maior confiabilidade nas operações e a diminuição de inspeções e manutenções de forma a minimizar a exposição e o retrabalho do usuário, garantindo assim confiabilidade ao uso e manutenção dos roletes;
- Analisar as tecnologias recentes que estão sendo desenvolvidas na área.

1.1.3 Justificativa

Com o advento da quarta revolução industrial, a dita “Indústria 4.0”, a transformação digital e o uso de tecnologias cada dia mais avançadas uma das grandes estratégias de competitividade no mercado. Em setores como a mineração o caminho para a digitalização costuma ser mais tardio por se tratar de um setor mais mecanizado e arcaico. Logo a automação industrial tem papel fundamental para que indicadores da manutenção sejam cada vez melhores, ou seja, que os equipamentos funcionem em perfeita ordem por maior período de tempo possível dentro das condições normais.

Os transportadores de correia transportam toneladas de material por meio de correias que são movimentadas ao longo dos transportadores por meio de rolos, que podem sofrer aquecimento durante a operação, caso haja algum tipo de falha no equipamento. Os pontos de aquecimento são difíceis de ser detectados por se tratar de áreas remotas, o que, em situações mais extremas,

pode resultar em um princípio de incêndio. Daí, os sistemas eficazes de inspeção podem evitar danos materiais e pessoais causados por incidentes com fogo.

É neste contexto que esse trabalho se justifica, uma vez que por meio de uma análise usando a metodologia do Design Thinking se faz uma análise preliminar buscando na raiz do problema e suas possibilidades. No estado da arte se fará referência as descobertas recentemente catalogadas dos instrumentos utilizados para as inspeções dos roletes, bem como todo o assunto que envolve a temática, evitando assim que investigações posteriores partam do zero e sim do pressuposto já averiguado nos postulados anteriores.

1.1.4 Organização do Texto

Durante a apresentação do estado da arte relacionado a este trabalho, a caracterização e explicação técnico-científica se fará em cinco capítulos:

O Capítulo 1 traz uma abordagem muito sucinta do uso de correias transportadoras em grandes mineradoras além dos objetivos que instigaram a produção desse trabalho.

No Capítulo 2, é apresentada uma fundamentação teórica relacionada ao tema da pesquisa, que envolve desde os componentes da correias transportadoras até os últimos estudos tecnológicos na área para dispositivos de inspeção. Trazendo aspectos físicos e construtivos da correia e seu correto dimensionamento, os tipos de manutenções e a rotina que envolve.

O Capítulo 3, apresenta um *brainstorming* baseado em entrevistas em campo e uma análise das principais falhas em duas minas a céu aberto com transportadores fixos de correias.

O Capítulo 4, demonstra o resultado da pesquisa evidenciando os principais dispositivos já desenvolvidos.

O Capítulo 5, traz uma conclusão do trabalho assim como a sugestão de trabalhos futuros.

2 Revisão Bibliográfica

Neste capítulo as duas seções apresentam a revisão da literatura relacionada ao tema de estudo. A primeira traz os conceitos que definem a correia transportadora, o detalhamento das partes de um transportador: roletes e rolos, e na segunda traz a importância da manutenção, as principais falhas e como são feitas as inspeções.

2.1 Transportador de correia

2.1.1 História

As primeiras informações que se tem registro, segundo traduções dos relatos de Susan Dijkhuizen (2017), apontam que no fim do século XVIII, Oliver Evans criou o primeiro moinho automatizado usando as correias transportadas que na época eram bem simples e usadas para transportadas sacos de grão em curtas distâncias.

Com o advento da industrialização, na segunda metade do século XVIII na Inglaterra, as correias transportadoras tornaram-se cada vez mais comuns nas fábricas industriais. Em grande parte motivada, pelos militares, uma ampla gama de indústrias foi equipada com esses sistemas de transporte que economizam tempo e dinheiro, incluindo matadouros e padarias. Provavelmente, a primeira correia transportadora a vapor foi colocada em operação em 1804 pela Marinha Britânica - foi usada para produzir biscoitos de navio extremamente duradouros.

Ransom Eli Olds, fundador da marca Oldsmobile patenteou em 1901 uma linha de montagem contínua usando paletes de madeira de uma etapa a outra e sua empresa foi a primeira a lançar carros de produção em série de alto volume no mercado contrariando aqueles que acreditavam que Henry Ford fosse o primeiro a idealizar esse tipo de montagem já que só em 1913 Henry Ford se tornou o primeiro fabricante de automóveis a usar correias transportadoras na produção do lendário Ford Modelo "T", dez anos após a fundação da Ford Motor Company. Ludwig Roselius, na Europa, foi um dos primeiros a usar correias transportadoras em sua empresa de café Kaffee HAG em 1907. A primeira patente para transportadores de rolos foi concedida em 1908, permitindo o transporte suave de mercadorias por meio de rolamentos de esferas internos (HABASIT, 2017).

Após a Segunda Guerra Mundial houve aumento do uso da tecnologia no desenvolvimento de materiais sintéticos devido à escassez na época de matérias-primas como a borracha e o algodão. Com isso cada vez mais o transporte a longas distâncias vai se transformando e inovando de modo que a garantir cada vez mais a eficiência nos processos e aumento considerável na capacidade e na distância que o material pode ser transportado.

De Atualmente, o transportador mais longo existente no Saara Ocidental, medindo mais de 100 quilômetros de extensão e usado para transportar fosfato de uma operação de mineração para a costa dos continentes (PHC, 2014).

No Brasil tem-se a planta no S11D, onde a Vale inovou ao utilizar o sistema truckless (conjunto de escavadeira, britadores e correias transportadoras, sem o uso de caminhão). Segundo o site da empresa (2019) só de correias transportadoras há cerca de 30 km de correias transportadoras, que levam o produto até a usina de processamento. A Figura 1 mostra as dimensões da correia transportadora com 2,20 metros de largura e espessura de 42 milímetros, medidas que não existem em nenhuma outra operação da Vale no mundo, as correias transportadoras do S11D têm capacidade para transportar 16,7 mil toneladas de minério de ferro por hora. A inovação além de contribuir para rapidez e segurança no processo produtivo ajuda o meio ambiente porque sem os tradicionais caminhões fora de estrada, a Vale consome 70% menos diesel (VALE, 2019).



Figura 1 – Sistema Truckless

Fonte: (VALE, 2019)

2.1.2 Definição

A ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) no disposto da norma regulamentadora NBR 6177 define transportador de correia (como pode-se ver na Figura 2) ou abreviadamente "TC" (*belt conveyor or BC*) como:

Um arranjo de componentes mecânicos, elétricos e estruturas metálicas, consistindo em um dispositivo horizontal ou inclinado (ascendente ou descendente) ou em curvas (côncavas ou convexas) ou, ainda, uma combinação de quaisquer destes perfis, destinado à movimentação ou transporte de materiais a granel, através de uma correia contínua com movimento reversível ou não, que se desloca sobre os tambores, roletes e/ou mesas de deslizamento, segundo uma trajetória predeterminada pelas condições de projeto, possuindo partes ou regiões características de carregamento e descarga (ABNT, 1999).



Figura 2 – Transportador de correias

Fonte: (CSEM, 2019)

No setor minero-metalúrgico, observa-se que as correias transportadoras constituem o meio mais difundido de transporte para grandes quantidades de materiais a granel, reduzindo desta forma, a quantidade de caminhões e o custo deste tipo de serviço (SANTOS; MALAGONI, 2014)

2.1.3 Classificação

A escolha correta do transportador de correia é uma decisão que exige conhecimento técnico nos sistemas de transporte, características operacionais, capacidades e velocidades, e conhecimento econômico de tempos, capacidades, custos operacionais, custos de manutenção, entre outros. (ELETROBRÁS et al., 2009)

A forma construtiva dos transportadores de correia será um fator decisivo para atender a algumas necessidades especiais como terrenos instáveis e íngremes, inclinações elevadas em aclives ou declives, etc. Sendo assim as condições advindas do local onde o equipamento será instalado que ditará as especificações iniciais e básicas do TC.

A NBR 6177 (1999) classifica os TC's da seguinte forma:

- **Transportador de correia portátil (*portable belt conveyor*):** Possui dimensões reduzidas e de fácil locomoção, montado ou não sobre rodas;
- **Transportador de correia móvel (*shuttle belt conveyor*):** Montado sobre rodas apoiadas sobre uma via de rolamento, dotado de movimento de translação, com a finalidade de alimentar vários pontos de carregamento
- **Transportador de correia radial (*radial belt conveyor*):** Contém parte dianteira montada sobre rodas e pivotado em sua parte traseira; é dotado de movimento de rotação com a finalidade de alimentar vários pontos de carregamento ou empilhar o material
- **Transportador de correia de dupla via (*two-way conveyor*):** Permite o transporte de material tanto pelo lado de carga como pelo lado de retorno, individual ou simultaneamente
- **Transportador de correia reversível (*reversible belt conveyor*):** Pode descarregar o material em dois sentidos opostos, invertendo-se o sentido de movimento da correia transportadora
- **Transportador de correia sobre cabos (*rope conveyor*):** Os roletes são apoiados e fixados em cabos de aço dispostos nas laterais do mesmo. Este tipo de transportador geralmente é instalado dentro de minas de extração, onde o nível do solo é irregular e o comprimento do transportador necessita ser alterado frequentemente conforme o desenvolvimento da escavação
- **Transportador de correia tubular (*pipe conveyor*):** A correia plana é conformada por rolos, na forma tubular, na seção intermediária entre o ponto de carregamento e de descarga, tanto no lado de carga como no lado de retorno;
- **Transportador de correia de alta inclinação (*high angle conveyor*):** Provido de correia especial ou dispositivos específicos que permitem o transporte de material com um ângulo de inclinação muito superior ao dos transportadores convencionais;
- **Alimentador de correia (*belt feeder*):** Pequeno comprimento, usualmente de velocidade baixa e variável, localizado sob dispositivos de armazenamento tais como silos, moegas etc., com a finalidade de extrair e regular a taxa de alimentação do material

Já [Eletrobrás et al. \(2009\)](#) ressalta que as duas formas mais comuns de se classificar transportadores de correia de acordo com a forma como operam porque são justamente as duas formas que podemos encontrar facilmente, são elas:

- **Correias planas:** São utilizadas nos dois sentidos para o transporte para transporte de cargas a granel. São constituídas por uma estrutura normalmente treliçada, rolos com eixos e mancais como pode-se observar na Figura 3, sobre os quais se apoia uma correia sem fim.

Seu funcionamento normalmente é suave, apresenta a metade da capacidade das correias abauladas e funciona bem a altas velocidades.

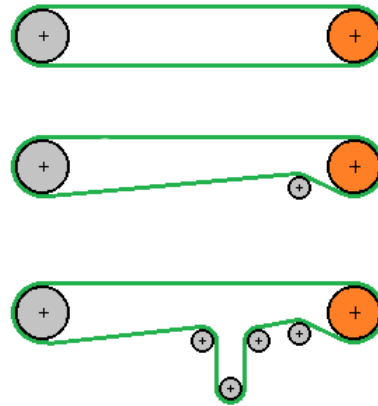


Figura 3 – Transportador de correia plana

Fonte: Adaptado de (CBT, 2019)

- **Correias de seção abaulada** A correia se move sobre roletes dispostos em diferentes ângulos como é mostrado na figura 4, que a fazem tomar uma forma côncava. Alta capacidade de carga, facilidade em carregar, descarregar e, também, na sua manutenção. Podem transportar qualquer tipo de material, com ressalva para materiais com elevada umidade.

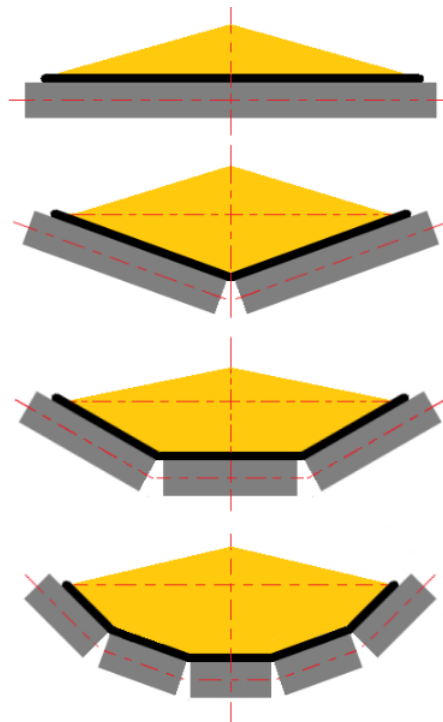


Figura 4 – Diferentes tipos de angulação que a correia pode operar

Fonte: (CBT, 2019)

2.1.4 Componentes

Um transportador de correias por se tratar de equipamento robusto, no caso de grandes aplicações como na mineração, é composto por muitas partes que precisam funcionar em perfeita harmonia para que haja um funcionamento adequado. Como podemos observar na Figura 5, as partes serão descritas no decorrer das seções que se segue.

As correias transportadoras são compostas por elementos de máquinas tais como eixos, mancais e polias, acoplamentos que em conjunto são responsáveis pelo seu bom funcionamento, com a confiabilidade requerida (ELETROBRÁS et al., 2009).

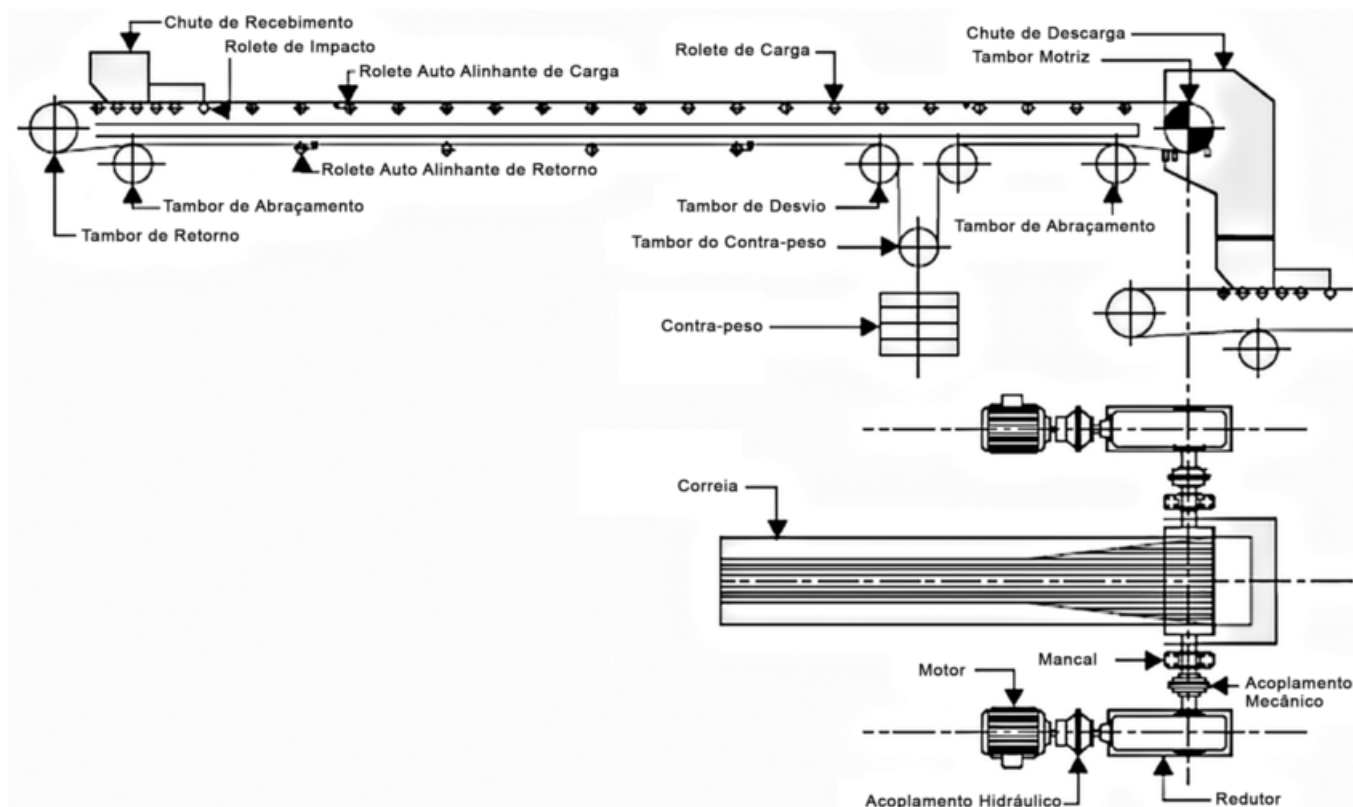


Figura 5 – Esquemático de um transportador de correias

Fonte: (VIEIRA; SANTOS, 2018)

2.1.4.1 Correia

A ABNT (1999) no disposto da norma regulamentadora NBR 6177 define correia transportadora (*conveyor belt*) como: Correia contínua (ou sem-fim), destinada a formar a superfície de sustentação sobre a qual será assentado o material a ser transportado.

A correia basicamente é composta por uma cobertura externa e uma carcaça interna. As mais usuais na mineração são as com cabos de aço (como se pode ver na Figura 6) por apresentarem maior resistência e as de lonas sintéticas que com o aprimoramento das fibras que as compõe adquirem alta resistência à tração.



Figura 6 – Esquema das partes que compõe uma correia transportadora

Fonte: Adaptação de (PHOENIX, 2019)

Segundo Carnizello (2011) As coberturas são feitas de borracha vulcanizada e têm a função de proteger a carcaça de qualquer dano ou deterioração que podem ocorrer no ambiente de trabalho. Já a carcaça deve suportar as tensões causadas durante a partida, parada e movimento do material, além de suportar o impacto causado pela queda do material durante a alimentação e promover a estabilidade para que o alinhamento seja mantido durante todo o curso do transportador.

A correia é um dos componentes mais importantes do TC e deve ser escolhida com o devido rigor já que sua escolha que determinará outros componentes como os tambores e roletes. O valor gasto em uma correia representa uma boa parcela da quantia investida. Diversos fatores devem ser levados em conta na hora da escolha correta. Segundo Eletrobrás et al. (2009) para a escolha do tipo de correia é necessário levar em conta:

- Condições de serviço – tipo de empresa, aciaria, fundição, ambiente agressivo, temperatura;
- Características do material – granulometria, temperatura, abrasividade, agressividade, vazão horária;
- Tempo do percurso da correia – podem percorrer grandes distâncias;
- Largura da correia;
- Inclinação dos roletes – secção abaulada ou plana;
- Tensão máxima da correia – com que tracionamento a correia será solicitada para ver se não romperá;
- Temperatura do material – os materiais podem estar à temperatura ambiente ou em temperaturas mais elevadas como, por exemplo, em uma cerâmica.

Outro ponto crucial na resistência da correia é a emenda. Na grande maioria das vezes, a emenda é feita no local onde o transportador irá operar, o que dificulta muito o processo. As

emendas podem ser de 2 tipos: vulcanizada ou mecânica. A emenda vulcanizada possui um custo bem mais elevado e leva mais tempo para ser feita, porém ela garante uma resistência consideravelmente maior que a emenda mecânica, além de uma vida útil muito maior. A emenda mecânica, apesar de ser mais viável economicamente e mais rápida, possui inúmeras desvantagens em relação à emenda vulcanizada: só pode ser aplicada nas correias com carcaça de lona, produz uma superfície áspera, podendo causar danos aos tambores, roletes, raspadores, limpadores, etc. Além disso, ela expõe a correia cortada à umidade e ao material transportado, podendo causar danos à carcaça (CARNIZELLO, 2011).

2.1.4.2 Roletes

A ABNT (1999) no disposto da norma regulamentadora NBR 6177 define rolete (*idler*): Conjunto de um ou mais rolos, devidamente apoiados em um suporte, destinado(s) a suportar, guiar e conformar a correia transportadora. Já o rolo (*idler roll*): Elemento cilíndrico constituído de corpo e eixo, capaz de girar livremente em torno do seu eixo, com a finalidade de apoiar a correia.

O Rolo

O rolo, como pode-se observar na Figura 7, é constituído basicamente de um eixo que é apoiado no suporte de instalação ou cavalete, um sistema de vedação e um rolamento.

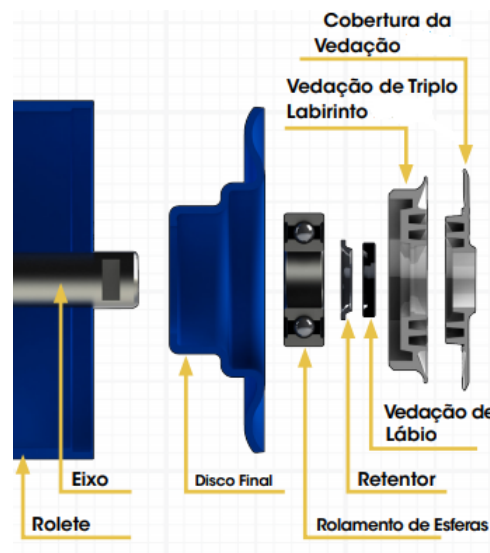


Figura 7 – Componentes de um rolo típico

Fonte: Adaptado de (MARTIN, 2019)

A ausência revestimento ou o revestimento dos rolos depende fundamentalmente da resistência a abrasão exigida pelo projeto. O sistema de vedação é de suma importância para rolos que são usados em instalações com ambientes adversos como a mineração isso porque o minério ao entrar em contato com o rolamento gera um desgaste prematuro das esferas. Além da qualidade de vedação, a vida útil de um rolo depende de fatores como as condições de utilização

que em situações extremas por causa de excesso de material causa danos graves, as condições do ambiente em que o rolo será exposto, as características do material que será transportado, etc.

Seguindo a terminologia normatizada na NBR 6177 (1999) há três diferentes tipos de roletes e estes são separados de acordo com sua geometria, configuração e aplicação. Para fundamentação teórica deste trabalho é mais interessante detalhar os roletes de acordo com sua aplicação por serem mais usuais, antes, a título de conhecimento, serão listados os tipos de roletes segundo o que consta na norma.

Quanto a geometria temos:

- Roleta plano(*flat belt idler*): Mantém a forma integralmente plana da correia e na horizontal não faz nenhum ângulo;
- Roleta inclinado (*troughed idler*): Mantém a forma côncava da correia e na horizontal possui inclinação nos seus rolos laterais;

Quanto à configuração temos:

- Roletes de carga (*carrying idlers*) que se subdividem em:
 - roleta triplo (*three equal rolls idler*): São três rolos dispostos dois inclinados na lateral e na horizontal um rolo central;
 - roleta seletor (*picking idler*): Similar ao triplo, com a mesma disposição, porém o rolo na horizontal central é mais comprido que os da lateral, usualmente este tipo de roleta são empregados em alimentadores de correia;
 - roleta duplo (*two equal rolls idler*): São dois rolos inclinados;
 - roleta plano (*flat belt idler*): Somente um único rolo;
 - roleta quádruplo (*four equal rolls idler*): Similar ao triplo com a diferença que este roleta é possui dois rolos laterais de cada lado ao invés de somente um;
- Roletes de retorno (*return idlers*) que se subdividem em:
 - roleta plano (*flat idler*): Somente um rolo com anéis de borracha ou liso;
 - roleta duplo em "V" (*"V" idler*): Dois rolos inclinados com anéis de borracha ou de aço.
- Roleta de proteção (*protection idler*): um rolo vertical material sintético ou de aço, que, fixado ortogonalmente às bordas da correia, evita o contato entre a correia e a estrutura do transportador;

Quanto à aplicação temos:

- Rolete de carga (*carrying idler*): um conjunto de rolos São responsáveis por suportar o peso da correia e do material transportado. Os roletes de carga podem ter dois tipos de configuração: planos ou inclinados. Atualmente, os roletes inclinados são mais comuns, por conseguir transportar uma quantidade consideravelmente maior de material. Eles são compostos por um rolo central horizontal e por dois rolos laterais geralmente inclinados de 20°, 35° ou 45° como pode-se observar na Figura 8. Os roletes planos são normalmente compostos por um só rolo horizontal sustentado por suportes que são fixados na estrutura do transportador;



Figura 8 – Rolete de carga

Fonte: Adaptado de (MARTIN, 2019)

- Rolete de impacto (*impact idler*): São responsáveis por suportar o impacto da queda do material na seção de alimentação do transportador. São normalmente cilindros de aço revestidos com discos de borracha vulcanizada para absorver o impacto e proteger a carcaça da correia de danos (observa-se na Figura 9);



Figura 9 – Rolete de impacto

Fonte: Adaptado de (MARTIN, 2019)

- Rolete de retorno (*return idler*): São responsáveis por suportar o peso da correia durante o retorno da mesma, não suportam o material transportado. Geralmente, são compostos de um rolo plano horizontal sustentado por suportes fixados na parte inferior da estrutura do transportador. Atualmente, têm sido comumente utilizados roletes de retorno em V, que são compostos por dois rolos que formam um ângulo de 10° com a horizontal (como pode-se observar na Figura 10). Esse tipo de rolete de retorno ajuda a manter o alinhamento da correia;



Figura 10 – Rolete de retorno

Fonte: Adaptado de (MARTIN, 2019)

- Rolete de transição (*transition idler*): Esses roletes possuem rolos laterais com regulação de ângulo e são utilizados para diminuir gradativamente a curvatura da correia conforme ela se aproxima do tambor de descarga ou de retorno (ABNT, 1999).
- Rolete em catenária (*catenary idler*): Conjunto de rolos suspensos, dotados de interligações articuladas, de modo a permitir livre conformação dos mesmos, auxiliando a centralização automática da correia transportadora. Pode ser utilizado tanto no lado de carregamento quanto no lado de retorno da correia (ABNT, 1999).
- Rolete auto-alinhante (*belt training idler*): São responsáveis para atuar no movimento sentido pela correia transportadora, ou seja, garantir o alinhamento da correia. Esses roletes podem ser usados tanto do lado carregado quanto no retorno e são dotados de um mecanismo giratório, além de pequenos rolos perpendiculares à correia. Qualquer desalinhamento da correia fará com que ela toque o rolo vertical, provocando um giro no rolete e formando um certo ângulo em relação à correia. Esse desvio angular cria uma força que obriga a correia a voltar ao seu centro.



Figura 11 – Rolete auto-alinhantes

Fonte: Adaptado de (MARTIN, 2019)

- Rolete helicoidal (*helical idler*): Tipo de rolete de retorno com os rolos em forma helicoidal, destinado a promover o desprendimento do material aderido à superfície da correia

2.1.4.3 Tambor

O tambor, ver Figura 12, também conhecido como polia de retorno e acionamento, é o componente que tem por função transferir potência, ou seja, elemento que serve para dar movimento e apoio à correia seja tracionando, tensionado ou mudando a direção da correia.



Figura 12 – Tambor típico

Fonte: (BLOGSHOP, 2019)

Segundo Gelais (2016) o tambor é composto por cubo elemento responsável por unir o disco lateral ao eixo, eixo, revestimento que é aplicado na parte de fora do cilindro para proteger de desgaste e aumento do coeficiente de atrito com a correia, discos laterais que unem a carcaça do cilindro ao cubo, dispositivos de fixação do eixo no cubo e casca ou cilindro conforme Figura 13. Na ponta do eixo é montado os mancais de rolamentos que proporciona movimento de rotação ao tambor.

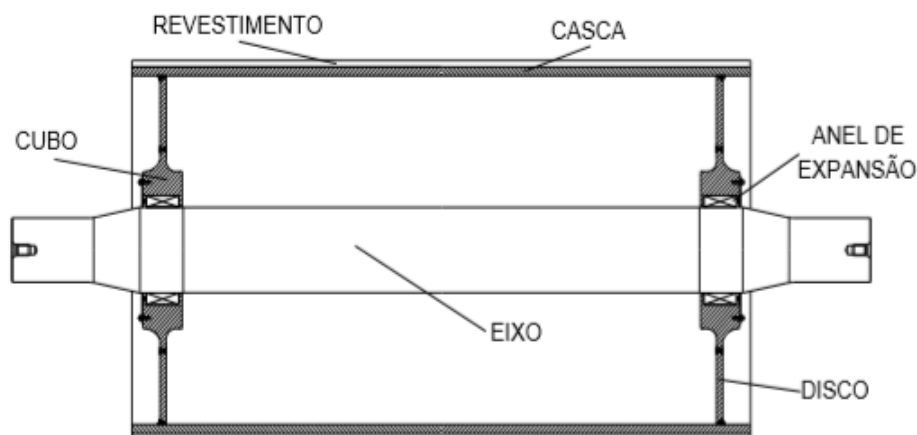


Figura 13 – Componentes de um tambor

Fonte: (GELAIS, 2016)

Carnizello (2011) classificou os tambores como tambor: de esticamento para esticar a correia; o de desvio que é usado somente quando se necessita de curvar a correia; o de encosto que é usado para aumentar o ângulo de abraçamento em outro tambor; movido que não tem torque próprio e para se movimentar recebe um torque de um outro elemento; e motriz que recebe o torque do acionamento e transmite para a correia. Porém segundo a norma técnica há diferentes classificações, mas Marcondes (2011) ressalta que algumas classificações se misturam devido a função que desempenham por exemplo o tambor de descarga é o próprio tambor de acionamento bem como o tambor de retorno usualmente é o tambor de esticamento também. Na Figura 14 mostra uma posição típica dos diferentes tipos de tambores.

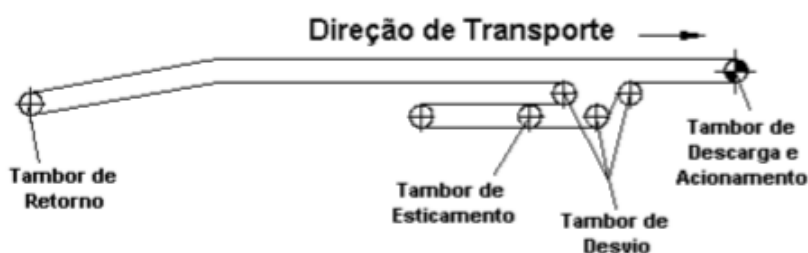


Figura 14 – Posição de diferentes tambores

Fonte: (ABNT, 1999)

2.1.4.4 Acionamento

O conjunto de acionamento tem como função movimentar a correia por meio de disponibilização de tração para o tambor, ou seja, dispõe de torque e potência fundamental para gerar movimento na correia. O conjunto é composto essencialmente por um motor, acoplamentos e um sistema de transmissão.

Motor

O motor elétrico transmite a potência e o torque necessários para o sistema. Para [Eletrobrás et al. \(2009\)](#) os conjuntos de acionamento, os motores elétricos (ver Figura 15) são os mais utilizados, pois têm a vantagem da utilização da energia elétrica (facilidade de transporte, limpeza, simplicidade de comando, custo relativo) com uma engenharia básica de montagem simples e grau de adaptabilidade às várias cargas.

Em conjunto com o motor pode-se acoplar um redutor de velocidade para reduzir a rotação recebida pelo motor e transferi-la para o tambor. Existem sistemas mais compactos usados em Tc's de pequeno porte que de forma mais simples integram o motor, redutor e o acoplamento como pode ser observado na Figura 16.



Figura 15 – Motor elétrico

Fonte: ([WEG, 2019](#))



Figura 16 – Motorredutor elétrico

Fonte: ([WEG, 2019](#))

Acoplamentos

Os acoplamentos são componentes que transmitem potência e torque e podem ser usados para fazer a conexão entre o motor e o redutor em altas rotações ou redutor e tambor em baixas rotações.

Gelais (2016) os tipos mais utilizados em TC's são os hidrodinâmicos (ver Figura 17) usados sempre em alta rotação, os elásticos podem ser usados em alta e baixa rotação e rígidos similar aos elásticos, porém suportam cargas de flexão.



Figura 17 – Acoplamento hidrodinâmico ligado ao motor

Fonte: (HENFEL, 2019)

2.1.4.5 Chute

O Chute , segundo ABNT (1999) pode ser considerado um elemento do transportador e é responsável pela carga e descarga do material que será transportado. São compostas essencialmente por chapas de aço (ver Figura 18) revestidas por um material com boa resistência ao desgaste.



Figura 18 – Visão externa de um chute de minério da Sandvik MGS S/A

Fonte: (GELAIS, 2016)

2.1.4.6 Esticadores

Esticadores fornecem a tensão capaz de dar condições a correia de transportar e suportar a carga do material. É o sistema de esticamento que possibilita que seja feita a transmissão de torque na saída do tambor de acionamento para a correia. Essencialmente os esticadores podem

ser fixos que são barras roscadas e o por gravidade que são massas suspensas ligadas por roldanas e cabos de aço ao tambor de esticamento.

2.1.4.7 Sistema de limpeza

Excesso de material, desalinhamento da correia ou qualquer outro motivo que gere acúmulo de material em um determinado ponto do transportador é prejudicial para a integridade do equipamento e por isso o sistema de limpeza é de suma importância para manter a vida útil do TC. Para fazer a limpeza existem alguns dispositivos que auxiliam na limpeza como os raspadores que raspam o material que por ventura esteja garrado na correia, os limpadores que retiram corpos estranhos e os viradores de correia garantem que mesmo que o raspador não tenha conseguido retirar todo o material garrado na correia que o lado sujo sempre esteja virado pra cima para evitar que o material grudado danifique algum componente.

2.1.4.8 Instrumentação básica

A seleção da instrumentação correta afeta diretamente o desempenho, a segurança, a flexibilidade da operação, a eficiência, a confiabilidade e os custos gerais do ciclo de vida de qualquer sistema de transporte. Para que o transportador seja eficaz, medições como peso, volume, temperatura, vibração, posição e espessura da correia, etc. devem ser realizadas da maneira correta. Para que o transportador funcione de forma segura para os colaboradores envolvidos é preciso utilizar alguns instrumentos e acessórios específicos, dentre eles podemos citar: - Balança: Mensurar e monitorar a quantidade de material que está sendo transportado;

- Chave de emergência: dispositivo que obrigatoriamente precisa estar em toda a extensão da correia que consiste em um dispositivo elétrico ligado por cabos de aço, para caso algo de errado for percebido por um colaborador ao puxar o cabo automaticamente a correia para de se movimentar;

- Detector de velocidade: são geralmente sensores elétricos para identificar a velocidade da correia e caso algo esteja errado o dispositivo elétrico desliga o sistema;

- Detector e extrator de sucata: é um campo magnético de baixa intensidade instalado em uma chapa de aço para identificar corpos estranhos metálicos e descarta-los assim que forem identificados no processo;

- Sensores: Vários são os sensores que podem ser usados em um transportador de correia, os mais comuns são o sensor de entupimento do chute que garante a carga e a descarga do material de forma eficiente e detector de desalinhamento que é um sensor elétrico que identifica o desalinhamento da correia.

2.2 Importância Manutenção

A NBR 5462 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"(ABNT, 1994).

Em seu livro [Kardex e Nascif \(2009\)](#) narram a história da manutenção e segundo eles no início da industrialização os equipamentos em sua maioria eram superdimensionado e a preocupação com manutenção era voltada somente com reparos de equipamentos que apresentaram alguma falha ou que pararam de funcionar, mas com o passar do tempo o perfil da manutenção mudou e atualmente a manutenção é baseada na Engenharia da manutenção e a análise de falhas se tornou uma metodologia consagrada.

Todo sistema para que funcione de acordo com a normalidade é preciso que manutenções sejam feitas periodicamente de modo a garantir a integridade do processo ou até mesmo quando algum pane impossibilite o equipamento de funcionar que sejam tomadas medidas de contenção e solução do problema. É necessário que se monte programas de manutenção bem estruturados e pautados nas informações técnicas de cada equipamento que compõe o transportador.

Basicamente temos três principais tipos de manutenção, apresentadas nas subseções a seguir:

2.2.1 Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva é uma intervenção pré-determinada para prevenir danos e ocorrência de falhas nos processos/equipamentos. O tempo entre uma manutenção e outra é determinado de acordo com as normas técnicas específicas do equipamento

Todo fabricante define orientações quanto a periodicidade de planos de manutenção preventiva porém o ambiente no qual o equipamento é instalado irá influenciar diretamente nesses prazos então é necessário se rever os planos e os adequar ao ambiente.

2.2.2 Manutenção Preditiva

A manutenção preditiva atua na preservação e disponibilidade física do equipamento pois atua na prevenção de falhas, defeitos ou para evitar queda no desempenho, mas diferentemente da preventiva, só há intervenção quando algo é percebido por técnicas de análise, o que aumenta a probabilidade de defeito no equipamento.

2.2.3 Manutenção Corretiva

A manutenção corretiva atua na reparação ou correção de defeitos e falhas, ou atuar em reparação do baixo rendimento em equipamentos ou processos. A ocorrência de uma falha exige uma manutenção emergencial e é necessário uma manutenção corretiva sem planejamento e que

gera um alto custo pela parada da produção e por demandar mão de obra e material emergencial, mas quando o sistema apresenta baixo desempenho é sinal que também precisa ser corrigido e nem sempre é feita uma manutenção imediata pois pode depender de decisões gerenciais pois uma vez que o equipamento apresenta rendimento abaixo do esperado ou em níveis muito baixos cabe ao gestão da área decidir o melhor momento para parar o equipamento .

2.2.4 Principais Falhas

Todo equipamento ao ser projetado tem todas as suas especificações voltadas para situações prováveis, mas quando há instalação em determinados ambientes é possível existir interação com outros equipamentos e componentes improváveis que podem causar inadequações, além disso existe a presença do ser humano na operação, Falhas humanas e erros na manipulação do equipamento pode comprometer seriamente o equipamento.

A falha geralmente ocorre por um motivo, em algumas exceções não há como chegar em um parecer quanto a definição exata da causa da falha mas em muitas delas podem ser previstas e evitadas a tempo de garantir a integridade do equipamento . Essa previsibilidade pode ser feita por meio análises de falhas que contam com observações, verificações, controle e histórico de anormalidades, etc.

A análise de falha tem foco em aumentar a performance do processo produtivo, ocorre quando o processo já está em operação e apresenta dados que podem ser analisados e controlados, o que significa que não necessariamente para que haja análise de falha é preciso que o equipamento apresente realmente algum defeito ou uma parada total, isso porque ao menor sinal de anormalidade é possível estudar dados e até mesmo fazer uso informações de outros equipamentos submetidos a processos e ambientes semelhantes para gerar medidas de prevenção.

Em geral, a manutenção nos sistemas de transportadores de correia se divide em inspeção ou monitoramento de condições do sistema total e substituição e/ou reparo de seus componentes. Não é trivial acessar o status de componentes que às vezes se movem de um transportador de correia e além disso, várias podem ser as falhas que o equipamento pode apresentar, isso se deve a quantidade de partes que o compõe e ao ambiente onde são instalados. Na área da mineração, po exemplo, há exposição a condições muito adversas.

Um problema enfrentado pela inspeção ou monitoramento das condições dos componentes dos transportadores de correia, incluindo a correia, polias e rolos intermediários, assim como de máquinas rotativas é que eles giram. A condição normal de componentes como rolos e tambores só pode ser avaliada quando estão em operação ou seja, estarão girando, somente sistemas de monitoramento de condições baseados em análise de vibração ou monitoramento acústico podem ser utilizados. A condição da correia só pode ser inspecionada quando o sistema de transporte de correia não está funcionando.

O conceito básico do monitoramento de condições em transportadores é identificar mu-

danças sutis na operação, como níveis de vibração aumentados, aumento do ruído que indicam que um problema mecânico (ou elétrico) está começando a aparecer. Esses sinais iniciais fornecem mais tempo para planejar o devido reparo da máquina mas geram problemas na hora da inspeção. De qualquer maneira, um inspetor precisa percorrer todo o comprimento do transportador para inspecionar seus componentes. Um problema associado ao TC é sua grande extensão.

A escolha da técnica adequada de captura de dados tem um grande impacto na eficiência da manutenção. Medições boas e confiáveis, bem como análises adequadas dos resultados dessas medições, são essenciais para ações confiáveis do sistema de manutenção. Para componentes rotativos, na maioria das vezes, um sistema de monitoramento de condição baseado em sinal é aplicado com base em técnicas de medição de vibração e/ou acústica. Outra opção é usar medições de força e torque como base para o monitoramento de condições.

A análise espectral é uma ferramenta importante no monitoramento de condições com base em vibrações. A análise de vibração é uma das formas de monitoramento de condições frequentemente aplicada na indústria. A densidade espectral dos níveis de vibração de um bom componente de trabalho geralmente será baixa. Quando o desgaste ocorre ou quando cargas aparecem em componentes específicos, algumas mudanças pequenas, mas notáveis, ocorrem no comportamento dinâmico do componente. Ao tornar essas alterações visíveis e analisá-las, um diagnóstico do problema pode ser feito.

Na literatura a maioria das falhas estão relacionadas a falhas nos roletes e na correia do transportador. Vamos subdividir em dois grupos para descrever as principais falhas.

2.2.4.1 Falhas em correias

Já em sua fabricação as correias podem apresentar danos caso não sejam fabricadas de forma correta, armazenadas em locais adequados para evitar curvatura na vibração para não gerar um futuro desalinhamento. Vários são os danos que uma correia sofre ao longo de sua utilização, por estar em contato direto com o material a ser transportado as correias podem sofrer com o atrito, o impacto, desgaste da superfície, o deslocamento irregular do material pode causar desgaste unilateral, e ainda a correia está exposta ao contato com os rolos, tambores, viradores e pode sofrer com danos pelo contato com essas partes rotativas. Sem falar na tensão e tração que a correia está submetida e pode sofrer danos em sua estrutura. Dentre as muitas falhas na correia transportadora o desalinhamento tem destaque e pode ocorrer por causa de diferentes fatores.

2.2.4.2 Falhas em roletes

Os roletes por se tratarem de dispositivos rotativos podem sofrer danos principalmente em sua estrutura, carcaça e revestimento, por desgaste propiciado pelo contato com outras partes e danos em seu rolamento que pode ser causado por acúmulo de material, ausência de lubrificação. Na figura 19 observa-se falhas que segundo [Carvalho Júnior \(2018\)](#) podem ser descritas como:

- Na Figura 19a pode-se observar que tubo externo do rolo travado foi lixado pela correia até se tornar uma "navalha";
- Na Figura 19b é possível ver o desgaste provocado na correia pelo rolo da Figura 19a, em que o atrito da correia com o tubo externo do rolo o transformou em uma "navalha";
- Na Figura 19c pode-se ver o acúmulo de minério no suporte do rolo que irá travá-lo quando a correia parar e esse material endurecer;
- Na Figura 19d observa-se que quebra do rolamento levou o tubo externo do rolo a cortar o seu próprio suporte;
- Na Figura 19e observa-se que a quebra do rolamento superaqueceu o rolo e suas partes em borracha foram incendiadas;
- Na Figura 19f pode-se ver o dano que o rolo superaquecido da Figura 19e gerou nos demais rolos.



Figura 19 – Algumas falhas em rolos e suas consequências

Fonte: (CARVALHO JÚNIOR, 2018)

3 Desenvolvimento

O desenvolvimento do trabalho está dividido em três partes. Na primeira apresenta-se as entrevistas e o *brainstorming* para as causas das falhas mais aparentes. Na segunda, é feita uma análise dos dados coletados durante o ano de 2019 na empresa Vale, tendo em vista as maiores paradas operacionais. Na terceira e última parte apresenta-se conceitos da manutenção e as principais falhas em transportadores segundo a literatura.

3.1 Entrevistas e *Brainstorming*

Antes de iniciar uma pesquisa nos principais veículos de circulação de pesquisas científicas e trabalhos acadêmicos na área optou-se por realizar um estudo prático, ou seja, uma imersão na área para esgotar o conhecimento prático dos colaboradores que trabalham diretamente na inspeção de transportadores de correias. Essa imersão gera para o projeto uma visão do processo de diferentes ângulos e pontos de vistas, uma vez que ao interagir diretamente com a pessoa envolvida é possível descobrir além do que é dito por meio de gestos, expressões e sentimentos e, com isso pode-se compreender os temas centrais que permeiam a temática.

Uma pesquisa exploratória em campo, a imersão, foi capaz de contextualizar a respeito do tema e gerar características que definem peculiaridades e o perfil dos inspetores. A técnica é baseada em entrevistas aplicadas por meio de uma observação interveniente, ou seja, a cada afirmação e/ou ação são levantados vários questionamentos que envolvem o contexto do projeto e há interação entre o observador e o observado.

A entrevista foi fundamentada na metodologia do *Design Thinking*, mais especificamente na fase de imersão, pois a entrevista é um método que procura obter informações por meio de perguntas. Para [Vianna \(2012\)](#) as informações buscadas permeiam o assunto pesquisado e os temas centrais da vida dos entrevistados, instigam as interações e perguntas serão elaboradas. Seguindo orientações da metodologia do *Design Thinking*, o entrevistador deve estimular o participante a explicar os porquês desses relatos para que se consiga compreender o significado do que está sendo dito ([VIANNA, 2012](#))

Antes de passar para a fase de elaboração das perguntas propriamente dito, precisou-se avaliar todas interações com os inspetores e fazer-se uso de expressões muito similares as usadas do método dos "5 Porquês" que consiste em uma metodologia baseada na técnica de repetições do "por que" para descrever a natureza do problema e avaliar a causa raiz de um problema e/ou incidente. Usar expressões exploratórias similares às do "5 Porquê" é aplicável por se tratar de um problema que envolve fatores humanos.

Já na fase de elaboração das perguntas, o pesquisador analisa a rota de inspeção e quais

são os riscos que envolvem o ambiente para tomar ciência de todas as medidas de proteção e quais equipamentos de proteção deve ser usados. Depois disso, ele vai até o local onde são feitas as inspeções e conversa sobre assuntos pertinentes ao tema seguindo uma sequência pré-estruturada, mas que pode ser flexibilizada de acordo com o desenrolar da conversa, já que as respostas aos questionamentos nortearão a elaboração de outras perguntas.

Dentre muitas outras, as seguintes perguntas eram feitas inicialmente:

- Como são feitas as inspeções? Existe um procedimento?
- Tem algum instrumento específico que auxilia na inspeção?
- Com que frequência são feitas as inspeções?
- Quais são as maiores falhas do transportador de correia?

Para facilitar o procedimento da entrevista e torná-lo mais dinâmico, as respostas foram gravadas para serem analisadas posteriormente, de modo a não prejudicar o ritmo da entrevista e não interromper nenhum raciocínio. Com base nas entrevistas de diversos colaboradores foi possível montar um painel com as principais queixas e observações do processo feitas pelos inspetores, como pode ser vista na Figura 20. Além disso, foram destacados os argumentos mais relevantes. A montagem do painel foi baseada nos preceitos básicos de um *Brainstorming*: a qualidade e a assertividade das ideias geradas se atingem por meio da quantidade e atenção no foco em aprimorar e produzir conteúdo (VIANNA, 2012).



Figura 20 – *Brainstorming*

Fonte: (QUEIROGA, 2018)

3.1.1 Pontos relevantes

Vale ressaltar que com a experiência e vivência prática do processo, o observador pôde constatar que o problema que envolve a inspeção dos TC's vai muito além de somente falhas na estrutura física e nos componentes que a constitui. O problema tem muito a ver com controle de ativos/gestão dos estoques, armazenamento não normatizado, rotina de inspeções, etc. Por exemplo: na Figura 21 encontra-se um exemplo de trecho de uma rota de inspeção de um TC disponível no sistema de gestão interna da Vale, o SAP (Sistemas, Aplicativos e Produtos para Processamento de dados, em português), onde observa-se uma lista de tarefas a serem cumpridas. Na prática o que se vê é que muitas dessas tarefas são executadas de forma ineficiente por falta de um instrumento adequado para a medição, pela presença de barreiras de segurança em locais que oferecem algum tipo de risco para os colaboradores e locais que não foram dimensionados para circulação de pessoa.

INSPECAO IB04-TC02	INSPECAO IB04-TC02
Inspeccionar Quanto A:	
Vazamento Chute de Descarga;	Tambor De Desvio do Esticamento Posterior;
Vedação Dos Mancais do Tambor Tensor	Tambor De Desvio Do Esticamento Anterior;
Motriz;	Alinhamento De Correia;
Mancal Lado Tambor Tensor Motriz;	Correia Transportadora;
Vedação Tambor Tensor;	Ruído E Travamento De Roletes De Retorno;
Mancal Lado Tambor de Acionamento;	Suporte De Roletes De Retorno;
Vedação Tambor Acionamento;	Cavaletes Autoalinhantes De Retorno;
Freio Contra Recuo;	Cavaletes Autoalinhantes de Carga;
Desgaste Sistema de Frenagem;	Roletes de Carga;
Vibração Sistema de Frenagem;	Fixação dos Cavaletes de Carga;
Vibração do Acoplamento De Baixa;	Fixação Guia Lateral;
Eixo De Saída do Redutor;	Desgaste da Guia Lateral;
Eixo Intermediário do Redutor;	Fixação do Chute de Alimentação;
Eixo De Entrada do Redutor;	Vazamento do Chute de Alimentação;
Limpeza Acionamento;	Desgaste e Ajuste do Raspador em V;
Vazamento de Óleo no Redutor;	Mancal Lado Tambor de Retorno;
Vazamento de Óleo no Acoplamento de Alta;	Lado Tambor do Contrapeso;
Vibração Acoplamento de Alta;	Estrutura do Transportador;
Fixação e Vibração no Motor;	Chumbadores das Trelças;
Suporte dos Cabos e Emergências;	Inspeccionar Corrosão na Estrutura;
	Escadas e Plataformas.

Figura 21 – Lista de tarefas para inspeção do transportador

Fonte: (SAP, 2019)

Dentre os muitos pontos de vista levantados pelos inspetores é mais relevante para a pesquisa destacar e listar abaixo as queixas e os argumentos mais recorrentes somente para as falhas e deixar as demais vertentes para uma pesquisa operacional posterior.

- A inspeção do transportador deve ser feita durante a operação e se deve inspecionar proteções de partes móveis de todos os ativos da rota quanto a: existência, instalação, condição, fixação; e abrir ordem de serviço no sistema para efetuar correções encontradas;
- Toda inspeção, exceto na aferição da temperatura, é sensorial. As falhas e a percepção de anomalia é feita usando sentidos humanos: audição e visão e em casos que o sistema esteja bloqueado o tato;
- O único dispositivo que é disponibilizado é uma termômetro de laiser, que mede a temperatura de um determinado rolete, que é escolhido por um motivo importante, porém não existe uma padronização de temperatura anormal porque ela vai depender de fatores externos como a temperatura ambiente no entorno. O valor da temperatura anormal é avaliado partindo do pressuposto que a temperatura para ser considerada normal se aproximar da média aritmética simples entre a temperatura dos roletes imediatamente anterior e posterior ao que está sendo aferido. Ao indicar temperatura superior a 60° C é acionado a equipe da preditiva para investigar se há problema no rolamento;
- Há sempre incerteza em relação ao que causou o travamento do rolete e observa-se que há muito travamento de rolete por acúmulo de material;
- Furos internos nos roletes não podem ser percebidos;
- Os cavaletes são trocados em sua maioria só em caso de extrema oxidação porque estão diretamente ligados ao projeto estrutural do transportador;
- Os transportadores são extensos.

3.2 Análise de dados coletados

Para enriquecer os requisitos que embasaram a pesquisa na literatura, apresenta-se a análise dos dados gerados pelos relatórios com as paradas operacionais por meio de dados reais. Serão analisados dados registrados as paradas de duas unidades distintas: a mina de Alegria e de Fazendão entre os dias 01/01/2019 às 00:00 horas até 29/11/2019 às 00:00.

Os relatórios foram gerados pelo sistema interno de gestão da produção da empresa Vale, o GPVM, que faz a leitura de dados da produção na usina e na lavra, envia os tempos em que os eventos ocorreram tanto em equipamentos fixos quanto móveis e a estrutura de forma a apresentar para o usuário. O relatório é disponibilizado em forma de planilha no Excel e tem 53 colunas e em cada coluna uma informação acerca da parada (especificação do local, equipamento gerador da

parada (EGP), setor, horário de início e fim, classificação da hora e do impacto, responsável da área entre outros). Vai-se ater somente nas informações dos transportadores de correia que dizem respeito ao: setor, causa, falha, classe do EGP e a duração do evento.

Na mina de Alegria foram registradas aproximadamente **1835,9 horas** de paradas nos transportadores fixos de correias, já na mina do Fazendão foram registradas **1716,0 horas**. As horas podem ser classificadas em hora ociosa interna, manutenção corretiva, manutenção preventiva não sistemática e manutenção preventiva sistemática, porém para a análise não foi levado em conta a categoria da hora e todas foram analisadas da mesma forma, já que o objeto de estudo são os defeitos, as paradas e seus impactos no sistema produtivo. Como pode-se observar na Figura 22 as paradas mais relevantes estão ligadas a área da Operação e da mecânica, como se esperava, afinal são os setores responsáveis pelo controle da produção e pela estrutura física do transportador.

Mina de Alegria		Mina de Fazendão	
Área	Horas paradas	Área	Horas paradas
Operação	1742,98	Operação	1409,44
Mecânica	69,12	Mecânica	119,22
Vulcanização	10,54	Preventiva	75,60
Elétrica	7,08	Elétrica	68,16
Instrumentação	4,83	Vulcanização	35,37
Processo	1,09	Automação	4,75
Automação	0,25	Engenharia	3,40

Figura 22 – Tabelas com a distribuição dos eventos por setores

Fonte: Elaborada pela autora

Segue abaixo uma listagem das principais falhas ligadas a cada setor:

- Mecânica: Bases e estruturas, balança, cavaletes, mangueira, chapa de desgaste, chute de alimentação e descarga, correia do transportador, fixações, guia de material, inspeção, proteção, raspador, roletes, tambores, sistema de lubrificação, vedação, detector de metal,
- Operação: Acúmulo de material, obstrução no chute, parada operacional, proteção atuada como detector de metais e sobrecarga;
- Vulcanização: Correia como rasgos, defeito na emenda, cortando tira na correia e grampeamento da correia;
- Elétrica: Componentes de comando, proteção e controle e ao painel elétr. (CCM, gaveta, força, comando, etc) como proteção atenuada, bloqueio e desbloqueio, chave de vazão, falhas na botoeira, sensor de velocidade, chave de nível, chave de emergência, comunicação, risco de carga atmosférica

- Instrumentação: Componentes de controle e medição como ajuste e calibração de balanças e sensores de nível;
- Processo: Teste de processo como coleta de amostras;
- Automação: Rede de automação, ao PLC e Remota como falha de comunicação da rede, erro de parâmetros;
- Engenharia: Intervenções como testes e modificações na planta;
- Preventiva: Manutenção preventivas como preventivas de equipamento, de oportunidade e geral.

Vai-se ater ao que é relevante para a pesquisa e para isso detalharemos melhor o setor da mecânica, operação e vulcanização. As Figuras 23 e 24 mostram as dez maiores falhas que foram geradas no setor da mecânica nas duas minas.

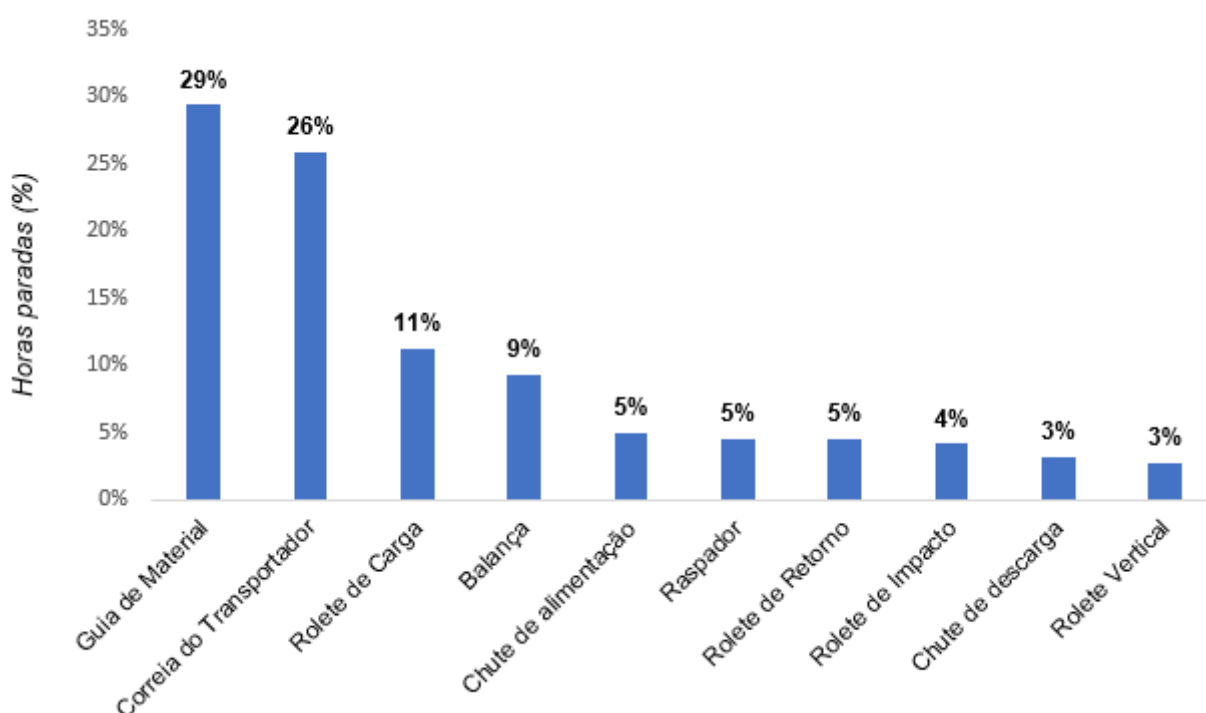


Figura 23 – Gráfico de falhas no setor da mecânica - Alegria

Fonte: Elaborada pela autora

Observa-se que em Fazendão as maiores paradas, que juntas somam cerca de 75% do total das horas paradas nesse setor, estão ligadas a:

- Correia do transportador que apresentou falhas de afrouxamento e desalinhamento;
- Chute de alimentação e descarga com falhas na fixação, furos, vazamento, desgaste e revestimento solto;

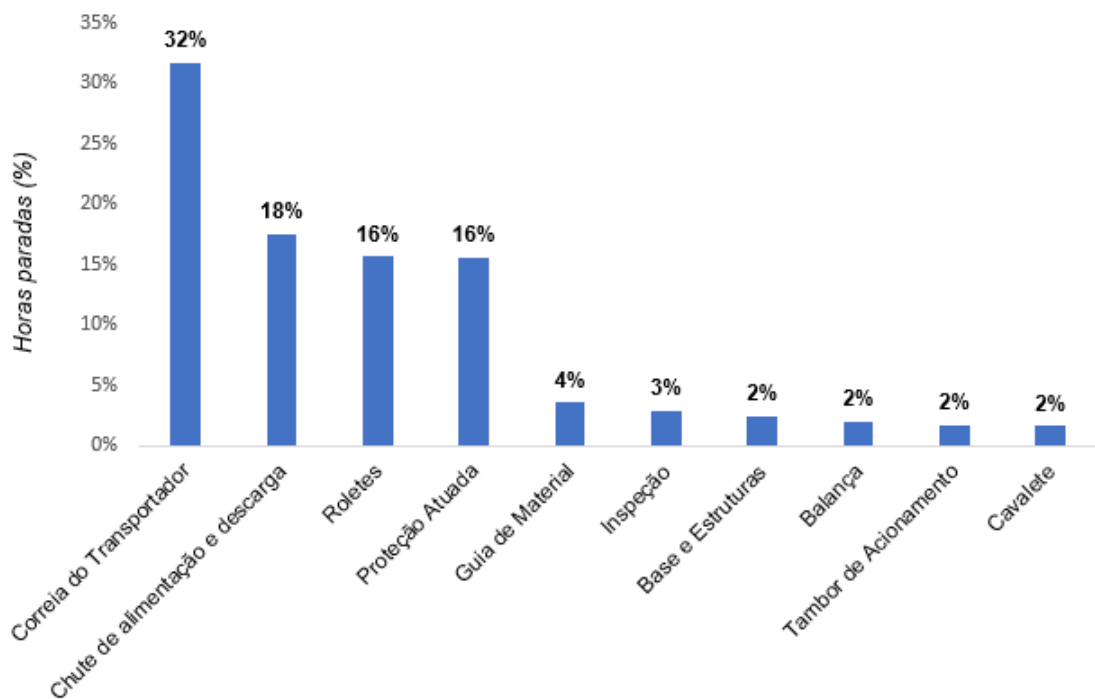


Figura 24 – Gráfico de falhas no setor da mecânica - Fazendão

Fonte: Elaborada pela autora

- Rolete (Carga, guia, impacto, vertical) com falhas na fixação, desgaste, travamento e quebra;

- Proteção atuada acusou baixa velocidade;

- Guia de material fixação, ajuste, defeito ou falha na lateral da borracha, vazamento;

Já na mina de Alegria, as cinco maiores falhas somam 80%, pode-se observar um comportamento parecido quanto ao tipo de falha porém com a ressalva da balança com falhas no desnivelamento do cavalete e desgaste no rolete.

A figura 25 apresenta-se as falhas significativas que foram geradas no setor da operação nas duas minas. Nota-se a considerável representatividade das paradas operacionais (84,9% e 73,4%, em Fazendão e Alegria, respectivamente), quando se estratifica os dados verifica-se que cerca de 95% dessas falhas estão ligadas a nível de alto da pilha.

A figura 26 apresenta-se as falhas relevantes que foram geradas no setor da vulcanização nas duas minas. Nota-se que mesmo com uma alternância quanto a maior porcentagem das falhas entre defeito na emenda na correia e o rasgo da correia nas duas plantas conclui-se que esse tipo de falha é recorrente mas não tão expressivos quando comparados aos setores da mecânica e operação.

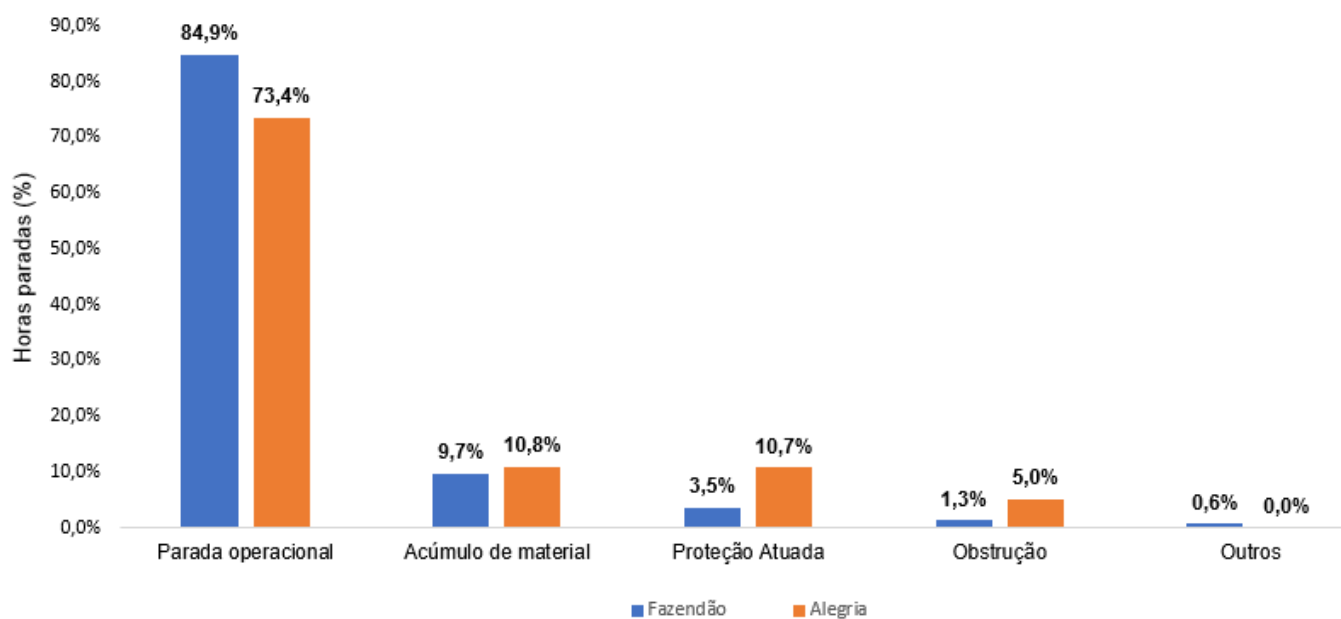


Figura 25 – Gráfico de falhas no setor da operação - Alegria e Fazendão

Fonte: Elaborada pela autora

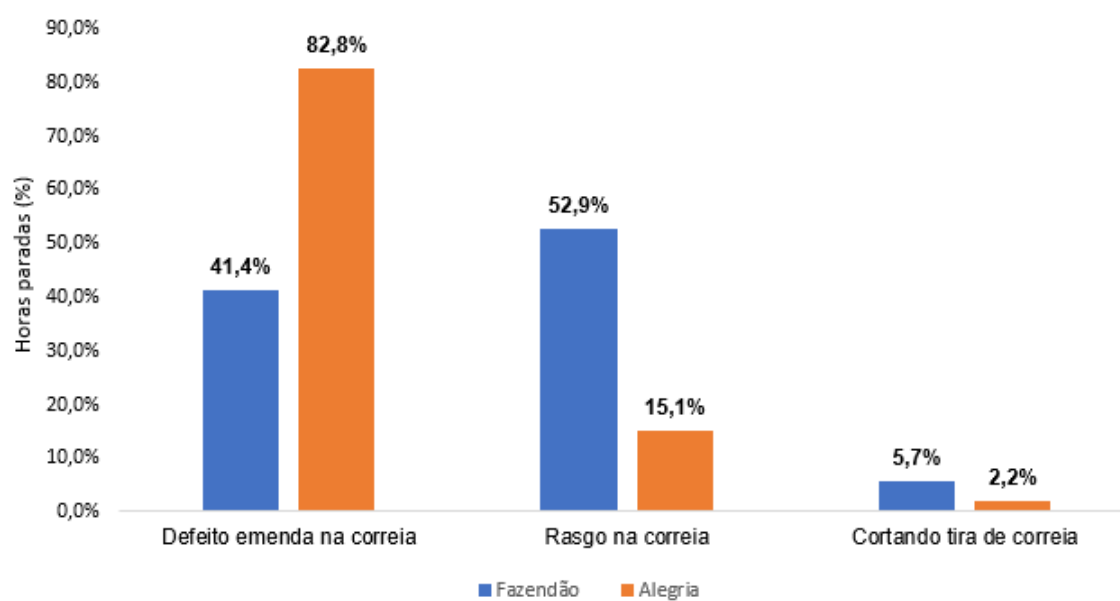


Figura 26 – Gráfico de falhas no setor da vulcanização - Alegria e Fazendão

Fonte: Elaborada pela autora

4 Resultados

Os resultados do trabalho apresentam-se em forma de um estudo da arte. As entrevistas juntamente com a análise dos dados coletados foram usadas como um norteador para a pesquisa. O capítulo está dividido em quatro seções. Na primeira há o detalhamento dos estudos ligados à máquinas rotativas, na segunda parte há a descrição dos dispositivos móveis de inspeção, na terceira aborda-se o uso de veículos não tripulados e na última apresenta-se a abordagem da visão computacional e o apredizado de máquinas aplicados a inspeção de transportadores de correia.

Foi descartado desse capítulo a descrição detalhada de sensores fixos pois as pesquisas que se tem catalogadas voltados para esse tema são escassas, e os custos de aplicação de sensores individualizados é inviável devido a quantidade de rolos e as condições adversas em que se encontram. O uso de fibra ótica para detecção de falhas está sendo estudada como uma opção viável e tem-se perspectiva de instalação em São Luiz no próximo ano.

4.1 Máquinas rotativas

Nessa seção apresenta-se os principais estudos e práticas que envolvem os rolamentos em correias transportadoras, já que defeitos internos e travamento nos roletes são um problema muito recorrente e que por não estar no campo superficial de visão ou até mesmo pela localização do rolete no TC dificulta a percepção da falha.

4.1.1 Sinais de vibração

De modo geral, os rolamentos estão submetidos a cargas radiais, de forma que à medida que os elementos rotativos entram e saem da região de carga podem ser observadas vibrações dos rolamentos. Os defeitos mecânicos em componentes dos rolamentos internos às máquinas rotativas se manifestam como batimentos periódicos sobrepostos a vibrações de baixa frequência do equipamento inteiro (LOURES, 2010). Para diagnósticos e prognósticos é preciso gerar sinais com características bem definidas.

Loures (2010) em sua pesquisa desenvolve um sistema automático de detecção de falhas em rolamentos de roletes de correias transportadoras. Para tal a metodologia utilizada é um sistema de inferência nebulosa. Os modelos das falhas foram obtidos por meio de uma bancada de testes que lê, condiciona e converte os sinais analógicos para digitais e dispõe ao usuário. Para isso, a bancada é composta por sensores(aceleração, temperatura e proximidade), placa de aquisição de dados, circuitos eletrônicos de condicionamento de sinais e computadores. O sistema tem como entradas parâmetros no domínio do tempo (valor RMS do sinal temporal) e no domínio da frequência (análise de frequências características de defeito por meio da estimativa de

densidade espectral de potência do envelope modulante do sinal temporal de falha) obtidos por meio da análise de sinais de vibração simulados e sinais reais de falhas comumente encontradas em rolamentos.

Na Figura 27 é possível observar os subsistemas do projeto: O rolete que é o objeto de estudo, o modelo matemático que definirá um padrão para as falhas, a coleta de dados reais para se gerar uma base consistente para os testes do sistema, envelope do sinal Temporal para captura das frequências características de defeitos, PSD e as incertezas para cálculo da estimativa de PSD e separação para definir a relevância dos picos das estimativa, máquina de inferência Nebulosa que é a implementação da ferramenta via investigação dos sinais das vibrações e verificação dos resultados gerados.

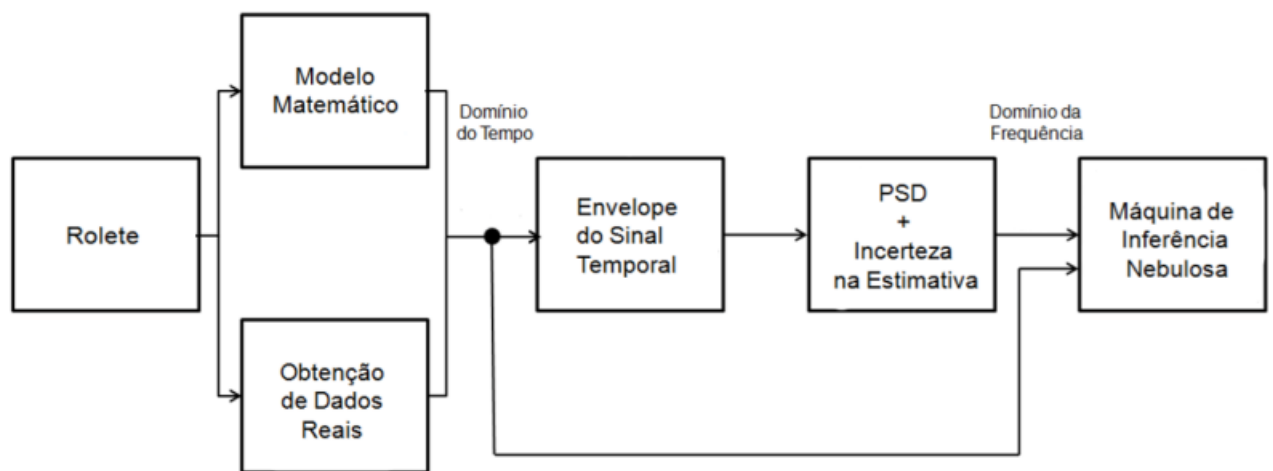


Figura 27 – Visão geral do projeto

Fonte: Adaptado de (LOURES, 2010)

Pode-se separar, segundo a Loures (2010), em três as áreas principais para definir a estrutura do projeto, são elas: modelagem matemática, processamento de sinais e inteligência computacional que serão descritas abaixo para esclarecer a metodologia proposta.

- **Modelagem matemática:** O modelo de roleta foi baseado no modelo de Vance(1988) como pode ser visto na Figura 28 como um rotor rígido apoiado em dois mancais de rolamentos. A aceleração será a variável medida, os impulsos gerados por defeitos em rolamentos serão a entrada do sistema. Ao comparar sinais de defeitos induzidas e sinais simulados observou-se que os picos significativos estão localizados em faixas idênticas, e o sinal-ruído nota-se uma piora no sinal de falha induzida do que o sinal simulado;
- **Processamento de Sinais:** O processamento dos sinais foi feito utilizado o PSD do envelope do sinal temporal. As falhas que os especialistas provavelmente classificariam equivocadamente, foram classificadas pelo sistema de forma correta graças a inclusão de



Figura 28 – Motodelo de rotor rígido

Fonte: Modificado de (VANCE, 1988)

dois parâmetros essenciais para ajudar na decisão no momento da classificação da falha e minimizar o subjetivismo da análise, são eles:

- Uma comparação de uma estimativa PSD de ruído branco pertencente aos dados com a relevância do valor RMS encontrado;
- Uma avaliação da chance, em percentual, de um dado valor da densidade espectral de potência, que foi reconhecido como máximo local, ser realmente um valor de pico.

Nos sinais com baixa relação sinal-ruído, o sistema não foi capaz de classificar corretamente somente em poucos casos, isso se deve ao fato que os picos estarem muito próximos do valor do ruído de fundo estimado.

- **Inteligência computacional:** O sistema que compôs a máquina de inferência nebulosa foi desenvolvido essencialmente pelos subsistemas: Tempo, Faixa e Detecta.
 - **Tempo** foi utilizado para a análise no domínio do tempo, detectando não somente falhas em rolamentos, mas quaisquer variações bruscas no sistema, indicando outros tipos de falhas.
 - **Faixa e Detecta** representaram a análise no domínio da frequência. Com estes subsistemas foi possível obter a classificação das falhas de acordo com sua localização (pistas interna e externa ou esfera) (LOURES, 2010) .

Loures 2010 em sua pesquisa pode agregar valor as pesquisas na área ao comprovar que é possível realizar a detecção de falhas em roletes usando um sistema de inferência nebulosa isso porque o sistema encontrou frequências características esperadas para os defeitos mapeados. Práticas usadas em redes neurais tipo *fuzzy* podem ser usadas em trabalhos futuros como uma forma de otimizar os parâmetros das funções de pertinência e aumentar os dados amostrais reais do sistema.

Na literatura existem diversos trabalhos que envolvem detecção automática de falhas em máquinas rotativas por meio de análise de vibração.

Marins (2016) em seu trabalho propõe um sistema composto por um bloco de pré-processamento para extrair das *features* a serem usadas, o SBM(*Similarity-Based Modeling*) um método não paramétrico baseado em similaridade; e como classificador, um *Random Forest*.

Em seu trabalho Marins (2016) usa uma bancada experimental para simular as falhas mais frequentes em máquinas rotativas operando em condições normais. Por meio dos sensores cria-se uma base de dados que serão submetidos à algumas técnicas de pré- processamento para descrever melhor o sinal e, por consequência, aumentar o desempenho na etapa de classificação.

4.2 Dispositivo Robótico

Em busca de um dispositivo que fosse capaz de verificar a condição dos rolos do transportador e de sanar, principalmente, o problema da exposição ao risco que os inspetores são submetidos Garcia (2019) realizou em seu trabalho a criação de um manipulador robótico composto por um braço manipulador, uma plataforma móvel e um conjunto de sensores.

O dispositivo criado possibilita que seja mensurado mesmo em ambientes adversos, com pouca iluminação e difícil acesso características de componentes do transportador como a temperatura, o ruído e vibração. Na Figura 29 observa-se algumas das dificuldades que o dispositivo enfrenta na rotina de inspeção como escadas, material depositado, piso irregular, etc.



Figura 29 – Dispositivo robótico atravessando um trilho do trem, locomovendo-se em uma pilha de pelotas e subindo escadas

Fonte: (GARCIA et al., 2018)

O manipulador móvel seguindo uma rotina pré-definida inspecionará periodicamente toda a extensão dos transportadores capturando imagens termográficas e sinais acústicos e em casos mais específicos irá medir a vibração. Como esse tipo de inspeção precisa ser feita com o transportador em funcionamento, gera-se um problema na hora de medir a vibração, pois partes em movimento como os roletes e a correia não podem ser tocados em locais onde há movimento. Para sanar este problema o manipulador conta com um sistema de mapeamento preciso que gera um mapa em nuvem de pontos em três dimensões que definirá onde a ponteira de toque poderá

tocar, ou seja, o local do cavalete que a ponteira encostará para medir a vibração por meio de um acelerômetro.

A estrutura física do manipulador, como pode ser observada na Figura 30, é composta por uma plataforma móvel que possui em suas extremidades dois pares de braços de alavanca rotacionais usada para transpor obstáculos e variar a altura da plataforma. Dois motores distintos acionam individualmente as alavancas. Estes conjuntos também possuem esteiras, com acionamento solidário ao sistema de esteiras laterais. No topo da plataforma está instalado um manipulador robótico de longo alcance e com 6 graus de liberdade (GDL), capaz de posicionar e orientar o conjunto de sensores em diferentes poses de acordo com os requisitos da aquisição de dados (GARCIA, 2019).

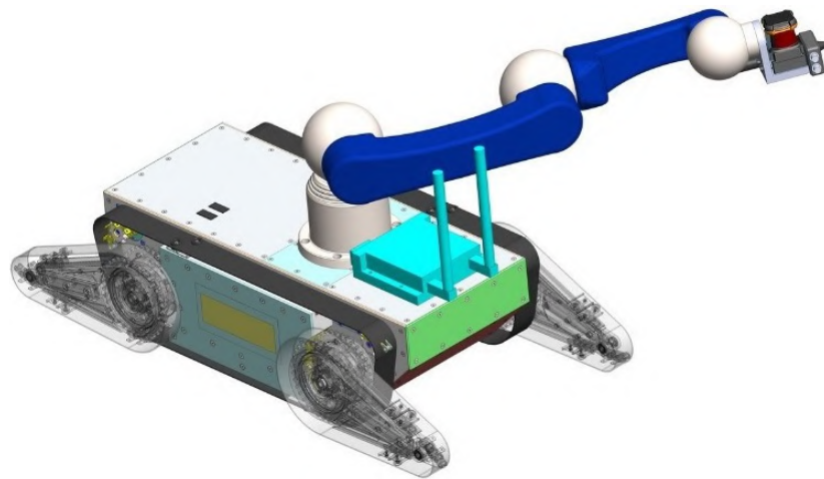


Figura 30 – Representação do conceito preliminar da plataforma robótica

Fonte: (GARCIA, 2019)

Os sensores instalados e embarcados na estrutura (ver Figura 31) são: um microfone para captura de sinais acústicos e os comparar com padrões normais de sinais; a câmera térmica RGB, que captura imagens termográficas dos rolos; um acelerômetro, dotado de uma ponteira de toque para mensurar a vibração; uma unidade inercial e um GPS, para fazer a localização do robô no espaço. Baseado no modelo cinemático do manipulador móvel, foi apresentada uma estratégia de controle e simulações onde o dispositivo robótico é comandado considerando seu corpo completo (GARCIA et al., 2018).

Manipuladores robóticos como o descrito nessa seção representam um grande ganho para a atividade de inspeção uma vez que garante de forma segura a aferição de variáveis do processo e acesso a locais com acesso bem acidentado. A presença da ponteira para o toque destaca-se como uma grande vantagem e traz para o projeto uma maior confiabilidade.

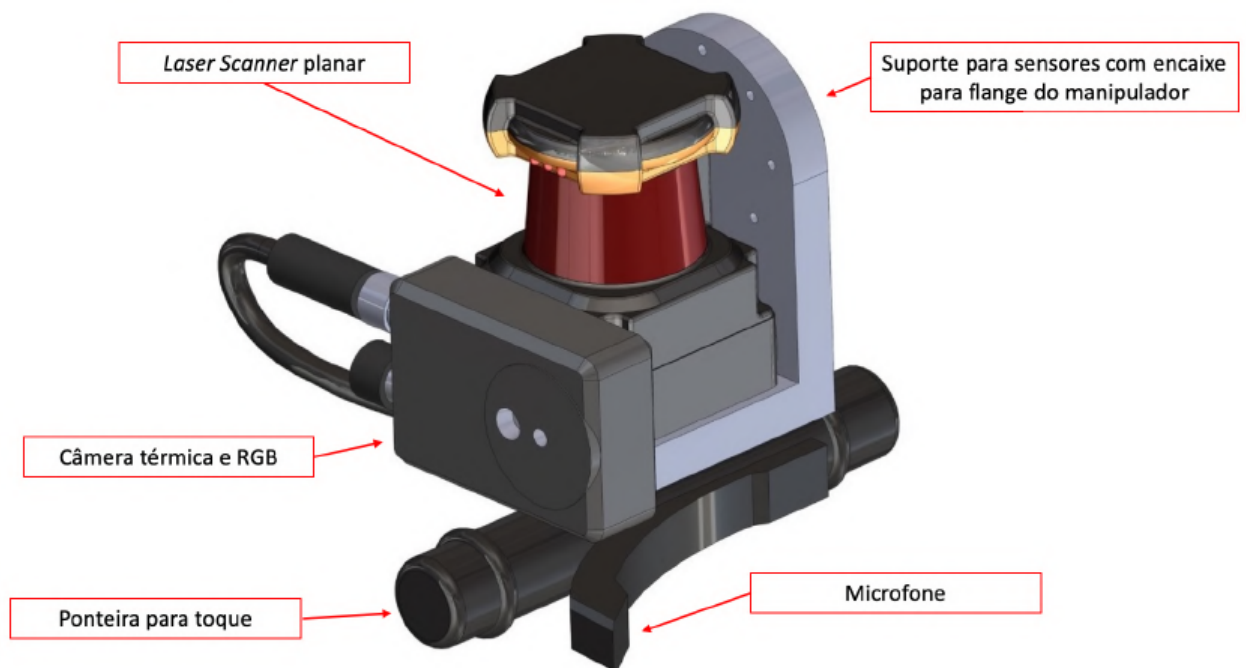


Figura 31 – Representação do conceito preliminar da disposição dos sensores

Fonte: (GARCIA, 2019)

4.3 Veículos Não Tripulados

Um dos grandes problemas que envolve a inspeção em transportadores está ligado ao acesso muito difícil às instalações do equipamento, por isso Nascimento (2018) em sua pesquisa apresenta uma plataforma de inspeção com uso de VANTs (Veículos aéreos não tripulados) que conta com uma estrutura de sensoramento móvel e independente do transportador.

Para que os dados coletados pelos sensores possam ser disponibilizados para os sistemas de gestão a plataforma conta com uma arquitetura integrada com diferentes camadas internas e externas. Cada uma das camadas possui um ou vários componentes que, quando aplicados individualmente ou de forma combinada, suportam o desempenho de funções que contribuem para solucionar o problema das inspeções. Essa contribuição se reflete no fluxo de dados mostrado na Figura 32. À medida que eles fluem das camadas inferiores para as superiores da arquitetura, sua quantidade diminui, mas sua relevância aumenta (NASCIMENTO, 2018).

A arquitetura proposta evolui de diferentes formas em cada camada, isso porque a combinação delas pode gerar resultados em diferentes áreas como o uso dos VANTs e de robôs terrestres. O projeto se baseia na integração da plataforma de inspeção com o sistema de gestão da empresa para assim permitir a recepção e armazenamento de dados e posterior tratamento e proposição de métodos de detecção de falhas inovadores.

Para verificar e validar a arquitetura proposta foram usados dois protótipos, para isso foram usados veículos aéreos do tipo quadricópteros. A Figura 33 mostra as partes de um modelo

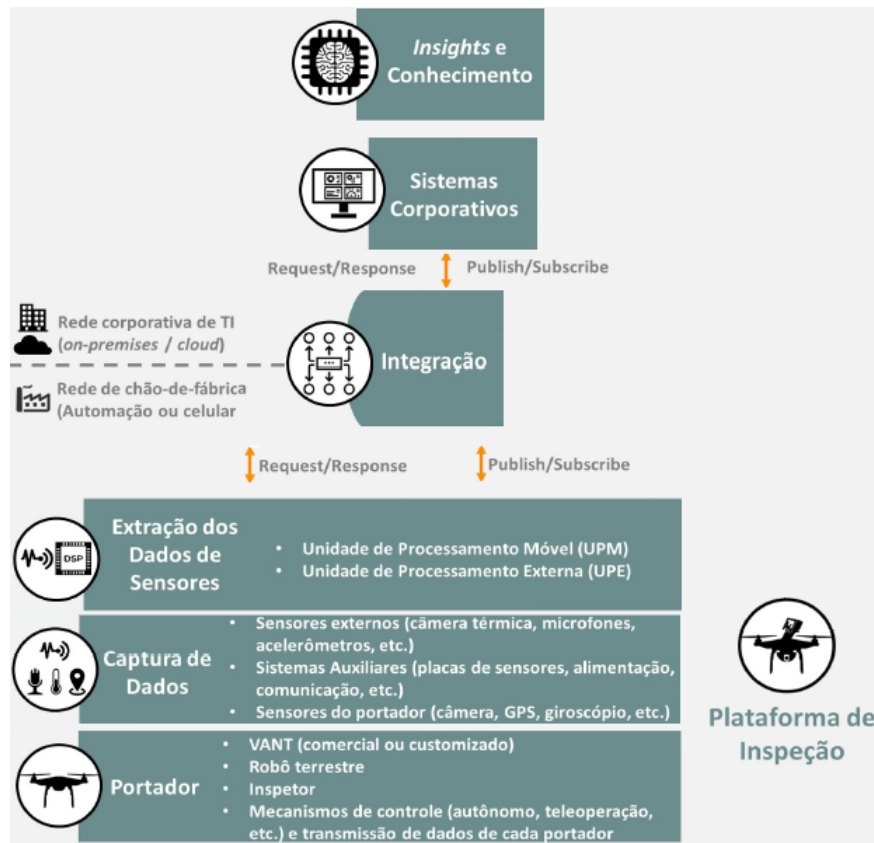


Figura 32 – Arquitetura integrada proposta para o monitoramento de rolos

Fonte: Adaptado de (NASCIMENTO, 2018)

típico de um veículo aéreo do tipo quadricópteros.

O primeiro protótipo permite a troca de mensagens com aplicação móvel em Android para propiciar ao inspetor criar o mapa que forma a rota de inspeção. Os dados que são coletados, por se tratar de vídeos, sons e imagens, são publicados via MQTT (*MQ Telemetry Transport*) e por meio de interfaces são disponíveis ao usuário. No segundo protótipo o foco é o envio automático de defeitos para viabilizar o monitoramento. Os defeitos são enviados para os CCMS (Computerized Management Maintenance System), que são as unidades onde o sistema de manutenção é gerido.

Para suportar os fluxos de dados, a arquitetura proposta posicionou uma camada de Integração como elemento central, onde foram avaliadas diferentes técnicas e protocolos apropriados aos tipos de interações entre a Plataforma de Inspeção e Sistemas Corporativos: *Request-Response* e *Publish-Subscribe*. Em ambos os casos, defendeu-se o uso de um Barramento de Integração para absorver grande parte da complexidade de comunicação entre essas partes, como as diferenças de protocolos e de conectividade (NASCIMENTO, 2018).

A grande vantagem vista nesse tipo de projeto é a integração entre os sistemas e a disposição dos dados para o usuário, de forma a dar autonomia aos responsáveis pelo tratamento de dados de analisa-los de forma assertiva, remota e com uma maior confiabilidade.

Seguindo essa mesma vertente com veículos não tripulados na inspeção de transportado-



Figura 33 – Modelo de quadricóptero com seus componentes em destaque

Fonte: (NASCIMENTO, 2018) apud (LIANG, 2019)



Figura 34 – Voo realizado pelo RPA para coletar imagens dos rolos do transportador de correia

Fonte:(CARVALHO JÚNIOR, 2018)

res, mas em uma outra abordagem, [Carvalho Júnior \(2018\)](#) caracteriza um método que identifica os defeitos usando um RPA (Aeronaves Remotamente Pilotadas) do tipo quadricóptero similar ao da [Figura 33](#) com uma câmera térmica embarcada. Na [figura 34](#) pode-se observar o voo de uma das RPA para teste e validação do sistema

O processamento das imagens é realizado no Matlab com o auxílio do módulo de processamento de imagens e também com o uso de algumas funções do OpenCV. O processamento morfológico identificou defeitos a nível de pixels (ver [Figura 35](#)), [Carvalho Júnior \(2018\)](#) adaptou algumas abordagens e desenvolveu um algoritmo que detecta as regiões onde estão dispostos os rolos nas imagens e chegou a uma eliminação de falsos positivos e falsos negativos das imagens com ótimos níveis de aceitação.

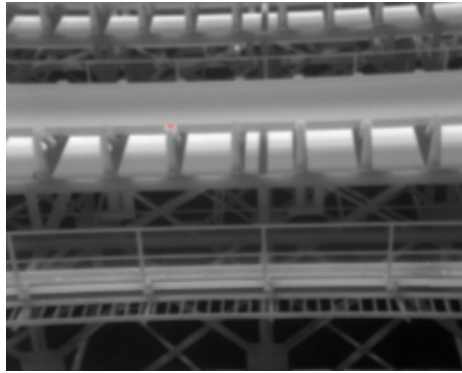


Figura 35 – Imagem gerada com o algoritmo morfológico melhorado

Fonte:(CARVALHO JÚNIOR, 2018)

4.4 Visão computacional

Com advento da Internet das coisas (Iot), cada vez mais técnicas de detecção baseada na visão e aprendizado de máquina para correias de transportadores torna-se objeto de estudos. As técnicas de monitoramento das condições da correia, baseadas na visão e aprendizado de máquinas está caminhando, mas ainda falta velocidade de processamento das imagens de confiabilidade da identificação de falhas nas condições adversas onde geralmente se encontra correias transportadoras.

Yang et al. (2014) propôs um sistema de inspeção composto basicamente pela aquisição de imagem por uma câmera com feixe de captação em linha, subsistemas de transmissão de imagem, processamento de imagem e diagnóstico de rasgos. Na Figura 36 fica evidenciado que o feixe de luz linear, o laiser, é posicionado em direção do movimento da correia.

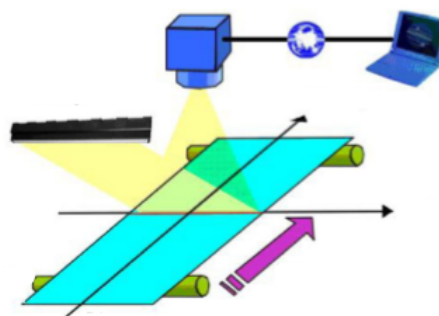


Figura 36 – Esquema da montagem proposto

Fonte:Adaptado de (YANG et al., 2014)

Primeiro, a imagem da correia capturada é pré-processada para melhorar a imagem e eliminar ruídos. Como o feixe da câmera é linear precisa que se identifique onde são as bordas da correia para que seja cortada a imagem corretamente e somente a região da correia seja analisada. A imagem aprimorada da correia é segmentada para obter uma imagem binária. Os pontos identificados como desvio são extraídos da imagem binária e mostram onde estão os

defeitos. Nessa proposta são usados mais de um feixe de luz linear para o dispositivo de captura de imagem .

BALIEIRO, FLAUZINO e MORAES (2014) propuseram em seu trabalho um método de identificação de falhas em correia transportadora usando processamento de imagens combinadas com técnicas de escaneamento 3D a laser e aprendizagem de máquinas (redes neurais e SVM (*Support Vector Machine*)). O método defendido é parecido com o de Yang 2014 porém faz uso de somente um laser e conta com uma rede neural para extração e classificação das amostras. Nessa pesquisa o pré-processamento e geração de banco de imagens foi criado por meio de simulações, já a extração e classificação das amostras foram feitas com uso de uma rede neural e SVM, por meio do Matlab.

A averiguação experimental foi efetuada em duas etapas: a primeira etapa inicia-se com a aquisição, o pré-processamento e a geração do banco de imagens; a segunda com a extração e a classificação das amostras. O vetor de características foi submetido a dois classificadores: rede neural do tipo *Perceptron* Múltiplas Camadas (com 15 topologias candidatas) e um classificador SVM, variando sua função kernel: linear, quadrática, polinomial, gaussiano, RBF (Radial-Basis Function) e MLP (Multilayer Perceptron) (BALIEIRO; FLAUZINO; MORAES, 2014).

Já Netto (2019) em seu trabalho propõe um método de visão computacional mas usando uma câmera e um único laser que emite um feixe horizontal para detectar defeitos na correia do transportador. O projeto se baseia com colocar uma câmera e o laser em pontos estratégicos onde geralmente a correia está vazia e mais plana possível para que não interfira nos dados coletados.

Para que o sistema adquira um padrão foi proposto uma simulação que seja capaz de encontrar o padrão dos defeitos. Todo o código usado no projeto foi escrito em linguagem de programação *Phyton* com aplicações em tempo real e eficiência computacional. O sistema usa a câmera para capturar as imagens dos feixes e descrever um formato, mas como o ambiente da mineração é muito adverso é preciso que seja usado filtro para retirar os maiores ruídos, a custo de processamento a região gerada é convertida em uma região unidimensional.

Por meio de análises estatísticas definiu-se quais pontos agrupados seriam possíveis defeitos. Para o agrupamento fez-se uso de técnicas de aprendizado de máquina conhecida como agrupamento Espacial Baseado em Densidade de Aplicações com Ruído (DBSCAN), que consiste em um algoritmo para identificar os agrupamentos de acordo com a densidade das observações e em concomitância com esse método o sinal é filtrado no domínio da frequência para se chegar a curvatura característica mais adequada. Na Figura 37 pode-se observar o instante de tempo onde há possível defeito e como um ruído mostra o comportamento dos sinais filtrados e não filtrados.

As simulações reais foram feitas usando um pedaço de correia para gerar simular dados reais não sendo necessário inserir uma taxa de aquisição de dados, porém, em uma situação real a taxa de aquisição deve ser compatível com a velocidade e a extensão da correia, isso porque processar tantos dados em um curto espaço de tempo requer muito do hardware e do software.

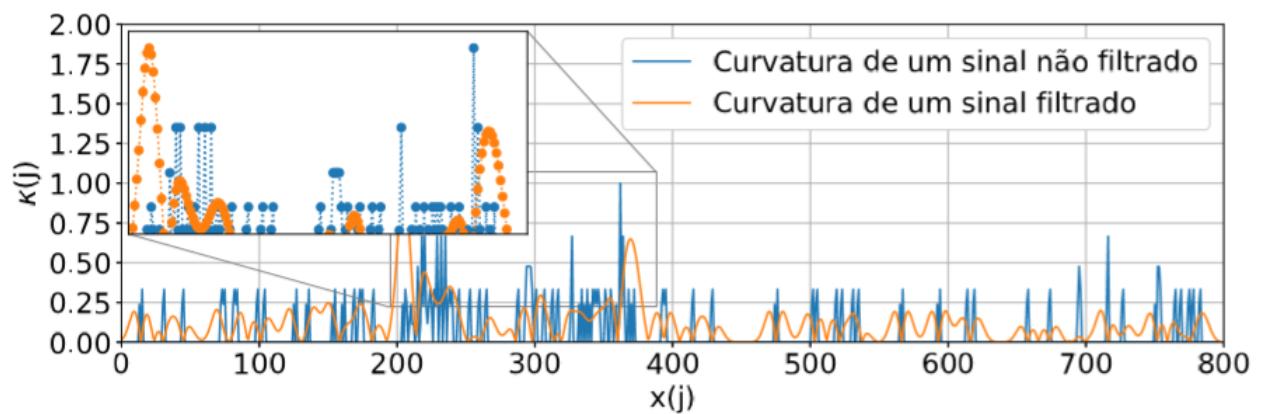


Figura 37 – Comportamento da curva de um sinal filtrado e não-filtrado

Fonte:(NETTO, 2019)

A partir dos dados já tratados é possível criar um formato em segunda dimensão do defeito por meio da matriz de defeitos com os pontos já descritos. Usando no domínio da frequência o sinal filtrado pode-se obter uma imagem em 3D do defeito. Na Figura 38 mostra o rasgo que foi usado na simulação e na Figura 39 mostra o resultado em 3D



Figura 38 – Rasgo usado na simulação

Fonte:(NETTO, 2019)

O processamento de imagens com o advento da internet das coisas (*Iot*) está se modernizando e se tornando cada vez mais rápido. Com isso o ramo para desenvolvimento de novas arquiteturas integradas como essas só tende a crescer.

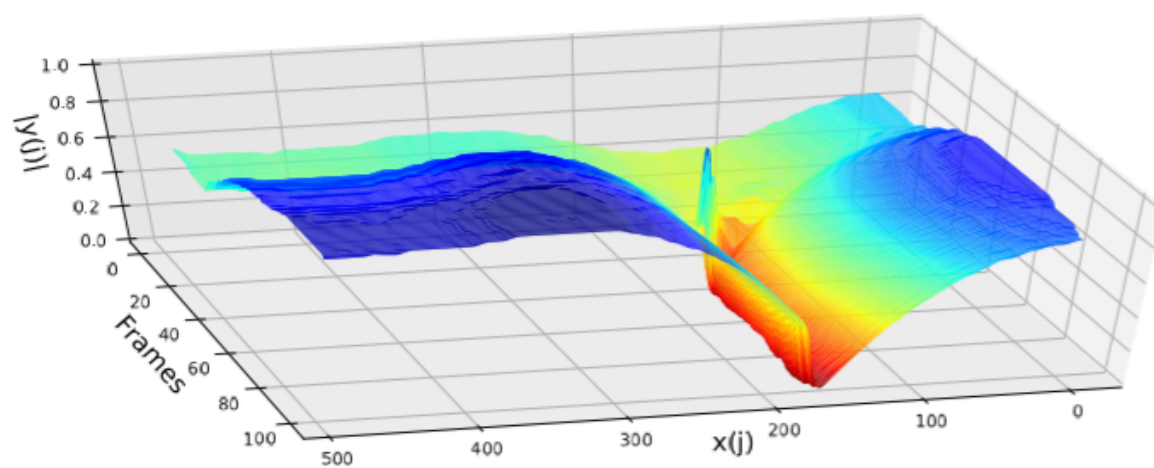


Figura 39 – Representação 3D do rasgo

Fonte:(NETTO, 2019)

5 Considerações Finais

5.1 Conclusão

O presente trabalho apresentou quais foram as últimas e mais relevantes pesquisas na área de automatização da inspeção de transportadores de correia e serve de base teórica para novas pesquisas partindo dos pressupostos expostos. Foram investigados diferentes tipos de abordagens e foco em soluções em diferentes partes do transportador. Por meio de uma imersão com profissionais da área pode-se ter noção de quais eram os riscos que envolvem todo o processo de inspeção e pode-se observar variantes do processo, o que deu a pesquisa um olhar voltado para os problemas reais e factíveis a soluções inovadoras. As falhas mais recorrentes em roletes e na correia são os campos de pesquisa mais explorados, seja na aplicação de manipuladores robóticos, uso de veículos não tripulados ou do aprendizado de máquinas por meio de análise de imagens. A pesquisa foi pautada em trabalhos que principalmente estavam sendo desenvolvidos em ambientes onde o teste em campo era possível e que apresentaram bons resultados.

Mesmo com o avanço da tecnologia, no campo de processamento de imagens, aprendizado de máquinas, dispositivos robóticos, o monitoramento por meio de sensores fixos e uma instrumentação individualizada em cada componente ainda não é uma realidade viável por não se ter estudos concretos da utilização de tais instrumentos em ambientes adversos como a mineração porém, há um vasto leque de opções para se desenvolver dispositivos a partir de desenvolvimento de novas tecnologias que envolvam a internet das coisas.

5.2 Trabalhos Futuros

Como o trabalho desenvolvido foi voltado para uma análise qualitativa dos ganhos com os dispositivos, para trabalhos futuros sugere-se a inserção de valores quantitativos para se mensurar os ganhos e perdas em valores reais.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5462: Confiabilidade e manutenibilidade*. Rio de Janeiro, 1994. 37 p. 20
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6177:: Transportadores contínuos - transportadores de correia - terminologia*. Rio de Janeiro, 1999. 32 p. 6, 9, 11, 12, 14, 16, 18
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10520: Informação e documentação - apresentação de citações em documentos*. Rio de Janeiro, 2002. 7 p.
- BALIEIRO, R. L.; FLAUZINO, R. A.; MORAES, D. R. Método de sistemas dinâmicos a laser e visão computacional para monitoramento e controle de falhas na detecção de danos em correias transportadoras. 2014. 41
- BLOGSHOP. *Dispositivos de Segurança - Correia Transportadora*. 2019. Disponível em: <<http://engenharia24h.blogspot.com/>>. Acesso em: 19 de Novembro de 2019. 15
- BUARQUE, S. et al. Cadeia produtiva logística: cenários econômicos e estudos setoriais. 2008. 1
- CARNIZELLO, D. C. Transportador de correia: componentes e cálculos básicos para seu dimensionamento. Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2011. 10, 11, 16
- CARVALHO JÚNIOR, J. R. d. Processamento digital de imagens para a identificação automática de falhas em rolos dos transportadores de correias. 2018. 22, 23, 39, 40
- CBT. *Classificação das correias transportadoras*. 2019. Disponível em: <<https://www.ctborracha.com/borracha-sintese-historica/aplicacoes/correias-transportadoras/classificacao-das-correias-transportadoras/>>. Acesso em: 23 de Novembro de 2019. 8
- CENTRO SUÍÇO DE ELETRÔNICA E MICROTECNOLOGIA. *Mineração 4.0: IOT em esteiras inteligentes para transportede minério*. 2019. Disponível em: <<https://csebrasil.com.br/mineracao-4-0-iot-em-esteiras-inteligentes-para-transporte-de-minerio/>>. Acesso em: 24 de Novembro de 2019. 6
- ELETROBRÁS et al. Correias transportadoras : Guia básico. *Brasília: IEL/NC*, 2009. 6, 7, 9, 10, 17
- GARCIA, G. C. Novo procedimento para inspeção de rolos de transportadores de correia utilizando um dispositivo robótico. 2019. 35, 36, 37
- GARCIA, G. C. et al. Modelagem e controle de um dispositivo robótico para inspeção de rolos de transportadores de correias. 2018. 35, 36
- GELAIS, M. A. Cálculo dinâmico de transportadores de correia: uma análise comparativa ao cálculo estático corroborada por medições de campo. UFMG, 2016. 15, 16, 18
- HABASIT. *The history of the conveyor belt*. 2017. Disponível em: <<http://blog.habasit.com/2017/12/history-conveyor-belt/>>. Acesso em: 23 de Novembro de 2019. 4

- HENFEL. *ACOPLAMENTOS HIDRODINÂMICOS COM ÁGUA COMO MEIO DE ACIONAMENTO*. 2019. Disponível em: <<https://www.henfel.com.br/produtos/acoplamentos-hidrodinamicos>>. Acesso em: 30 de Novembro de 2019. 18
- KARDEC, A.; NASCIF, J. *Manutenção-função estratégica*. [S.l.]: Qualitymark Editora Ltda, 2009. 20
- LOURES, M. M. Sistema automático de detecção de falhas em rolamentos de roletes de correias transportadoras. UFMG, 2010. 32, 33, 34
- MAGALHÃES, F. R. P. D. et al. Correias transportadoras: Um estudo de eficiência energética para o acionamento a velocidade variável. 2008. 1
- MARCONDES, M. de A. Desenvolvimento de um programa para cálculo de componentes mecânicos e estruturais para transportadores de correia. Universidade Federal de Minas Gerais, 2011. 16
- MARINS, M. A. Classificação de falhas em máquinas rotativas utilizando métodos de similaridade e random forest. *Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ*, 2016. 35
- MARTIN. *Roletes CEMA C, D, E*. 2019. Disponível em: <<http://sopetra.com.br/view/catalogo/roletes-catalogo.pdf>>. Acesso em: 23 de Novembro de 2019. 11, 13, 14, 15
- NASCIMENTO, R. S. d. Inspeção de transportadores de correia: arquitetura integrada para uma plataforma de inspeção com uso de vants. 2018. 37, 38, 39
- NETTO, G. G. Método de visão computacional baseado em laser para monitoramento de defeitos em correias transportadoras. 2019. 41, 42, 43
- OSCAR LIANG. *Quadcopter Hardware Overview – Every Component Explained*. 2019. Disponível em: <<https://oscarliang.com/quadcopter-hardware-overview/>>. Acesso em: 6 de junho de 2018. 39
- PHOENIX CBS GMBH. *Correias transportadoras com cabo de aço*. 2019. Disponível em: <https://www.phoenix-conveyorbelts.com/pages/products/steel-cord/phoenocord/phoenocord_pt.html>. Acesso em: 23 de Novembro de 2019. 10
- PRODUCT HANDLING CONCEPTS. *The history of conveyors*. 2014. Disponível em: <<https://www.phcfirst.com/words-in-motion/2014/6/30/the-history-of-conveyors>>. Acesso em: 23 de Novembro de 2019. 5
- QUEIROGA, B. Q. Melhorias no processo de inspeção de roletes: uma aplicação da metodologia de design thinking. Universidade Federal de Ouro Preto, 2018. 25
- SANTOS, D.; MALAGONI, R. Projeto de correias transportadoras: um estudo computacional de comparação dos métodos cema e prático. *HOLOS*, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, v. 3, p. 358–369, 2014. 6
- VALE. *Complexo S11D Eliezer Batista*. 2019. Disponível em: <<http://www.vale.com/hotsite/pt/paginas/AvancoTecnologico.aspx>>. Acesso em: 23 de Novembro de 2019. 5
- VANCE, J. M. *Rotordynamics of turbomachinery*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 1988. 33, 34
- VIANNA, M. *Design thinking: inovação em negócios*. [S.l.]: Design Thinking, 2012. 24, 25

VIEIRA, C.; SANTOS, D. Comparative analysis of the behavior of steel cord conveyor belt splices. 07 2018. 9

WEG. *Linha HGF*. 2019. Disponível em: <https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Motores-Elétricos/Trifásico---Baixa-Tens~ao/Uso-Geral/HGF/Linha-HGF/p/MKT_WMO_BR_3PHASE_LV_TEFC_HGF>. Acesso em: 19 de Novembro de 2019. 17

YANG, Y. et al. On-line conveyor belts inspection based on machine vision. *Optik-International Journal for Light and Electron Optics*, Elsevier, v. 125, n. 19, p. 5803–5807, 2014. 40, 41