

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE – FURG
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

**ANÁLISE DE CURVAS DE DEGRADAÇÃO DE CORREIAS
TRANSPORTADORAS DO CIRCUITO DA BRITAGEM SEMIMÓVEL 1 (BSM1)
ATRAVÉS DO MODELO DE REGRESSÃO MÚLTIPLA CONSIDERANDO
COVARIÁVEIS INERENTES AO TRANSPORTADOR DE CORREIA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

SANDRO FELIX DE AGUIAR

RIO GRANDE, RS

2020

SANDRO FELIX DE AGUIAR

**ANÁLISE DE CURVAS DE DEGRADAÇÃO DE CORREIAS TRANSPORTADORAS
DO CIRCUITO DA BRITAGEM SEMIMÓVEL 1 (BSM1) ATRAVÉS DO MODELO DE
REGRESSÃO MÚLTIPLA CONSIDERANDO COVARIÁVEIS INERENTES AO
TRANSPORTADOR DE CORREIA**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande-FURG como requisito para obtenção do título de “Mestre em Engenharia Mecânica” – Área de Concentração: Engenharia de Fabricação

Orientador: Prof. Dr. Luciano Volcanodlo

RIO GRANDE, RS

2020

Ficha Catalográfica

A282a Aguiar, Sandro Felix de.

Análise de curvas de degradação de correias transportadoras do circuito da britagem semimóvel 1 (BSM1) através do modelo de regressão múltipla considerando covariáveis inerentes ao transportador de correia / Sandro Felix de Aguiar. – 2020.

77 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Rio Grande/RS, 2020.

Orientador: Dr. Luciano Volcanoglo Biehl.

1. Transportadores 2. Correia 3. Britagem 4. Degradação
5. Mineração I. Biehl, Luciano Volcanoglo II. Título.

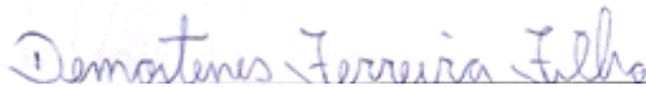
CDU 621

Catálogo na Fonte: Bibliotecário José Paulo dos Santos CRB 10/2344

BANCA EXAMINADORA



Orientador: Professor Luciano Volcanoglo Biehl, Dr
PPMec/FURG



Coorientador: Professor Demostenes Ferreira Filho, Dr
EMC/UFG



Professor Jorge Luiz Braz Medeiros, Dr
PPMec/FURG



Professor José de Souza, Dr
FETLSVC-RS

Dedico este trabalho aos meus pais, Iracema e Manoel, à minha esposa, Patrícia, e aos meus filhos, Pedro Manoel e Arthur Lorenzo, por serem minha inspiração a querer ser melhor a cada dia.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pela vida e por iluminar meus caminhos percorridos até o momento, na certeza que sempre estará ao meu lado.

Aos Amigos Jose Cleber e Nelson Mateus Pippi Lorenzoni pelo incentivo e apoio para ingressar no programa de mestrado em engenharia mecânica na FURG.

Ao professor Dr. Jorge Luis Braz Medeiros pelos direcionamentos e orientações.

Ao professor Dr. Luciano Volcanoglo Biehl meu orientador e amigo no qual sem seus direcionamentos, apoio, orientações e, principalmente paciência e compreensão tornou-se concreto esse momento.

À FURG por ser uma instituição que zela pelo cuidado e compromisso com os alunos, minha gratidão.

Por último, mas não menos importante, quero agradecer à minha família, amigos de vida e de trabalho que de alguma forma me apoiaram e contribuíram direta ou indiretamente para que mais essa conquista fosse alcançada.

RESUMO

No ramo da mineração, os transportadores podem ser utilizados em áreas diversas, tais como nas áreas de extração, beneficiamento, estocagem e embarque de minérios. A maneira com que ela transporta minério para todo o complexo a coloca numa posição importante no processo. Diante disto se faz necessário o desenvolvimento de ferramentas que possam auxiliar na tomada de decisões relativas à troca de correias, componente principal dentre os das correias transportadoras. Para a realização desse trabalho utilizou-se a abordagem quantitativa com o objetivo de realizar modelagem da degradação de correias em transportadores de correias utilizados no circuito da britagem semimóvel 1 (BSM1) como função do tempo e de outras variáveis independentes, que fazem parte do processo de mineração e que influenciam no desgaste das mesmas através do modelo de regressão múltipla. Outros objetivos, os específicos foram identificar quais covariáveis influenciam no desgaste de correias transportadoras do circuito da britagem semimóvel 1 BSM1; desenvolver equações que modelem o processo de desgaste das correias dos circuitos das britagens semimóveis. Como resultado foi possível identificar através do modelo de regressão múltipla a equação do modelo de degradação do circuito e que as covariáveis comprimento, velocidade, produção acumulada e dias operacionais são realmente significativas e influentes e impactam no modelo de degradação. De posse dos modelos das curvas de degradação utilizando o método de regressão múltipla obtivemos o modelo onde o mesmo obteve uma boa representatividade e comprovou que o modelo é fidedigno ao perfil de desgaste estudado neste trabalho.

Palavras-chave: Transportadores. Correia. Britagem. Degradação. Mineração. Manutenção.

ABSTRACT

In the mining industry, conveyors can be used in various areas, such as extraction, processing, storage and shipment of ores. To increase the life time and so that no problems occur in the moving elements of the TC, it is important to make use of cleaning systems so that the material that has adhered to the belt is removed, for this there are some devices to make this cleaning, is the case of scrapers, which consist of a soft rubber that can contain one or two blades along the belt, which when pressed against the belt through a counterweight, make the scraping system. This makes it necessary to develop tools that can help in making decisions regarding the change of belts. Crushing is part of the first stage of particle comminution by the action of compressive forces, carried out through periodic movements with approach and departure from a moving surface with another fixed, or impact, driven by the projection of the particles against elements of the crusher or liner. The general objective of this work is to model the degradation of belts in belt conveyors used in the Semi-mobile Crushing Circuit 1 (BSM1) as a function of time and other independent variables that are part of the mining process and influence their wear (e.g. cycle time, conveyor speed, length and production) through the multiple regression model. The specific objectives are: To make a brief theoretical study on belt transport, the belt itself and crushing and its elements; To identify which covariates influence the wear of conveyor belts in the semi-mobile crushing circuit 1 BSM1; To develop equations that model the process of belt wear in semi-mobile crushing circuits. The methodology used in this research is classified as applied research, since its specific objective is to generate knowledge for practical application aimed at solving a specific problem, which in this work is to develop a probabilistic model (degradation curve) to predict the wear of semi-mobile 1 (BSM 1) crushing circuit belts. Regarding the approach method, it can be classified as a quantitative research.

Keywords: Carriers. Belt. Crushing. Degradation. Mining. Maintenance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-Componentes de uma transportadora de correia.....	16
Figura 2-Transportado de Correia – TC	17
Figura 3-Seção completa de uma correia transportadora composta pelas coberturas e carcaça de tecido têxtil e cabos de aço.....	19
Figura 4-Raspador de correia instalado no retorno da correia.	20
Figura 5-Limpador de correia em formato V e reto.....	21
Figura 6-Raspadores de correias	22
Figura 7-Viradores de correia.....	23
Figura 8-Cálculo para determinação da carga de impacto de material em um ponto de transferência do transportador.	23
Figura 9-Detector de rasgo por indução	27
Figura 10- Sensores fotoelétricos como meio de prevenção para correias transportadoras	28
Figura 11-Sistema de monitoramento através de câmeras.....	29
Figura 12-Processos de gestão de britagem.....	30
Figura 13-Correias transportadoras saindo do britador semimóvel, em direção à usina.....	31
Figura 14-Etapa do circuito de britagem	31
Figura 15-Britador de mandíbulas de dois eixos (Blake).....	32
Figura 16-Britador giratório	32
Figura 17-Britador cônico	33
Figura 18-Método proposto para a pesquisa.....	36
Figura 19- Fluxograma do Circuito de Alimentação da Usina 01	42
Figura 20- Britagem Semimóvel	43
Figura 21-Fluxograma Britagem Semimóvel (BSM 2, 3, 4 e 5)	43
Figura 22-Controle de desgaste via ultrassom.....	45
Figura 23- Medições de desgaste da correia	45
Figura 24- Fluxo de descarga do material	46

Figura 25-Comprimentos dos transportadores em estudo.	48
Figura 26-Velocidade dos transportadores.....	49
Figura 27-Intervalo entre mediações.....	49
Figura 28-Intervalo entre medições acumuladas.....	50
Figura 29-Produção acumulada	51
Figura 30-O perfil de desgaste médio	52
Figura 31-Perfil de desgaste médio acumulado	52
Figura 32- Resultado da Primeira Análise da Regressão	54
Figura 33- Resultado da Segunda Análise da Regressão	55
Figura 34- Resultado da Terceira Análise da Regressão	56
Figura 35-Resíduos do modelo seguem uma distribuição normal.....	57
Figura 36-Comparativo do desgaste real com o previsto pelo modelo para as correias transportadoras em estudo.....	58

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 OBJETIVOS GERAIS	14
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
2.1 TRANSPORTADOR DE CORREIA – CONCEITOS OPERACIONAIS.....	15
2.1.1 POSSÍVEIS DANOS QUE PODEM OCORRER COM AS CORREIAS – CURVAS DE DEGRADAÇÃO	20
2.1.2 ALGUNS SISTEMAS ELETRÔNICOS UTILIZADOS PARA EVITAR DANOS ÀS CORREIAS.....	26
2.2 CIRCUITO DA BRITAGEM SEMIMÓVEL 1 (BSM1)	29
3 MATERIAIS E MÉTODOS	36
3.1 MÉTODO.....	36
3.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA	37
3.3 CARACTERIZAÇÃO DO CENÁRIO.....	37
3.4 DEFINIÇÃO DO TIPO DE PESQUISA E MÉTODO DE ABORDAGEM	37
3.5 DEFINIÇÃO DA ABORDAGEM QUANTITATIVA.....	38
3.5.1 LEVANTAMENTO E PREPARAÇÃO DE DADOS	39
3.6 IMPLEMENTAÇÃO DO MÉTODO QUANTITATIVO	39
3.7 VALIDAÇÃO DO MODELO DE DEGRADAÇÃO.....	40
4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	41
4.1 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO	41
4.2 CARACTERIZAÇÃO DO CENÁRIO.....	41
4.3 PESQUISA E COMPILAÇÃO DOS DADOS	44
4.4 IMPLEMENTAÇÃO DO MÉTODO QUANTITATIVO	53
4.5 VALIDAÇÃO DO MODELO.....	59
4.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
5 CONCLUSÕES.....	60
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	61

7 REFERÊNCIAS	62
7.1 REFERÊNCIAS POR ESTRATO	66
7.2 REFERÊNCIAS POR QUALIS.....	66
7.3 REFERÊNCIAS POR DATAS DOS ARTIGOS	67
APÊNDICE A.....	68
APÊNDICE B	69

1. INTRODUÇÃO

Uma correia transportadora geralmente é usada para transportar materiais brutos (como minérios e grãos) a uma distância de transporte curta ou média, como podem ser usadas para transportar mercadorias a uma distância considerável. Por exemplo, o alto forno é considerado o “coração” em uma planta de produção de ferro, enquanto as correias transportadoras são denominadas de “vasos sanguíneos” da planta. Isso se dá devido a sua simplicidade na construção, flexibilidade na configuração do sistema de transporte e versatilidade no uso (CHOU, LIU e TSENG, 2011).

Os sistemas de transporte de minério através de correias transportadoras são componentes vitais para o processo de mineração, o mesmo tem grande impacto no que diz respeito a volume e custos de produção como também para a segurança. Portanto gerenciar o processo de manutenção de forma adequada é de vital importância para a saúde das empresas (PK STEFANIAK et al., 2014).

Os custos relacionados aos transportadores de correia, não somente em sua aquisição, mas principalmente na operação constituem num dos mais relevantes na indústria mineral. Apesar deste fato, as decisões relacionadas as trocas com trocas e com a própria gestão técnica dos transportadores são, por vezes, tomadas sem critérios bem estabelecidos, em geral são subjetivos (MENEZES et al., 2002).

As correias transportadoras devido a seu alto preço, comprimentos consideráveis, durabilidade relativamente pequena, e alto tempo de paradas para substituição constituem uma das partes mais significativas no que diz respeito aos custos de transporte do transportador de correia (JURDZIAK et al., 1995).

Além dos altos custos envolvidos e grandes impactos em termos de produção, atualmente, em função da alta demanda existente no mercado, o tempo para fornecimento de correias é muito alto, variando de 90 a 180 dias, o que acarreta em altos estoques para minimização de riscos devido a grandes impactos que podem ser causados em situações de imprevistos. Portanto, fica evidente a necessidade de um adequado gerenciamento desses equipamentos, principalmente no que diz respeito às correias (VELOSO, 2014).

Geralmente as correias transportadoras são trocadas em periodicidades fixas ou através da utilização de técnicas de monitoramento, um exemplo de tal técnica é o monitoramento de espessura por ultrassom onde o mesmo permite o acompanhamento da evolução do desgaste da cobertura gerando desta forma a otimização de seu uso (MENEZES et al., 2002).

Apesar do uso do ultrassom um dos grandes problemas é o uso de uma metodologia confiável para a determinação de vida útil e de curva de degradação bem como para determinação de análise e previsibilidade de custos com eventos de troca de correias. Devido a tal fato não há como identificar qual equipamento poderá apresentar desgaste excessivo, permitindo a análise de problemas e indicação de soluções (ABDON, 2015).

Warburton et. al., 1998 relata que as falhas em sistemas mecânicos têm como uma das principais causas o processo de desgaste ao longo do tempo, onde os mesmos estão ligados principalmente ao próprio projeto, ao processo de manufatura e variáveis operacionais.

De acordo com (SARANGA et al, 2000), novos modelos matemáticos para previsão de confiabilidade estão sendo discutidos em que a taxa de degradação do sistema dependa do estado do sistema e do fato de que diferentes parâmetros que causam degradação do sistema podem ser dependentes. (VELOSO, 2014 APUD DANTAS et al. 2010) utilizou um Modelo de Regressão de Weibull para realizar uma modelagem probabilística de dados de falha de equipamentos de sub-superfície em poços petrolíferos, correlacionando diversas variáveis explanatórias. Através do teste de razão de verossimilhança foi possível identificar quais e de que forma algumas características influenciam o tempo até a falha.

Diante dos fatos relatados temos que a forma com que se vem atuando no gerenciamento de correias nos mostra uma grande oportunidade para uma melhora na disponibilidade dos ativos bem como na redução dos custos associados a troca da correia tendo em vista que as mesmas atualmente são direcionadas de acordo com dados históricos e em técnicas de medição de desgaste.

Diante disto se faz necessário o desenvolvimento de ferramentas que possam auxiliar na tomada de decisões relativos à troca de correias. Um fator primordial é conhecer e quantificar quais são as variáveis e como elas influenciam, permitindo

assim, desenvolver modelos probabilísticos mais assertivos, considerando informações baseadas no tempo e o estado de variáveis que podem acelerar ou alterar significativamente o modelo de degradação da correia.

Com definição do modelo probabilístico teremos uma melhor assertividade no momento correto para substituições de correias permitindo assim um planejamento otimizado, o que reduz perdas de produção, otimiza o dimensionamento dos estoques de correias e nos permite uma visão adequada do momento correto de substituição e findar a operação das correias.

1.1 OBJETIVOS GERAIS

O objetivo geral deste trabalho é realizar modelagem da degradação de correias em transportadores de correias utilizados no circuito da britagem semimóvel 1 (BSM1) como função do tempo e de outras variáveis independentes, que fazem parte do processo de mineração e que influenciam no desgaste das mesmas (por exemplo, tempo de ciclo, velocidade do transportador, comprimento e produção) através do modelo de regressão múltipla.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar quais covariáveis influenciam no desgaste de correias transportadoras do circuito da britagem semimóvel 1 BSM1;
- Desenvolver equações que modelem o processo de desgaste das correias dos circuitos das britagens semimóveis.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 TRANSPORTADOR DE CORREIA – CONCEITOS OPERACIONAIS

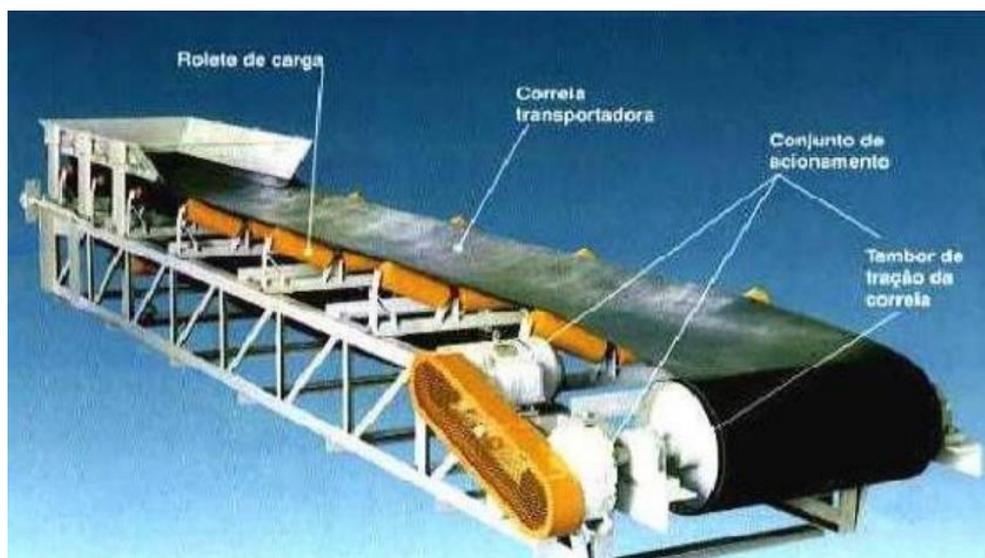
No ramo da mineração, os transportadores podem ser utilizados em áreas diversas, tais como nas áreas de extração, beneficiamento, estocagem e embarque de minérios. De acordo com Veloso (2014) e Ribeiro (2013) o transportador de correia – TC ou transportadores de correias – TCs é um dispositivo disposto na posição horizontal ou inclinado (de modo ascendente ou descendente) em curvas (côncavas ou convexas) ou não, ou ainda da junção destes dois perfis, destinado à movimentação de materiais a granel. Para Zhao e Lin (2011, p. 942) “o transportador de correia é um equipamento comumente usado para transporte contínuo, possui alta eficiência e grande capacidade de transporte, construção mais simples e pouca manutenção”.

O transporte seja de alimentos ou minérios, por exemplo, é transportado através de uma correia contínua com movimento reversível ou não, que se desloca sobre tambores, roletes ou mesas de deslizamento, e tal ação pode fazer parte de um sistema automatizado de beneficiamento ou simples transportes dos materiais (VELOSO, 2014). O uso e a procura pelos TCs têm crescido consideravelmente desde a primeira correia transportadora que de acordo com Ribeiro (2013) foi colocada em serviço a mais de 100 anos. Vivemos na era tecnológica e a cada dia surgem novos equipamentos com elevados níveis de capacidade no mercado, e que apresentam versatilidade e eficiência energética, dentro dos padrões ambientais, com o menor número de mão de obra, o que evita assim, o risco de acidentes de trabalho e de saúde, garantindo dessa forma a redução dos custos operacionais (RIBEIRO, 2013).

De acordo com Morrison (2007 apud Ribeiro, 2013, p. 18), os sistemas de transporte de correias de materiais oferecem potencial para: Reduções significativas na mão de obra da operação da mina; Redução significativa dos custos operacionais; Compensar a escassez de pneus, que pode colocar em risco a continuidade das operações com caminhões. O TC é composto por diversos componentes, e cada um desses componentes possuem sua devida importância e

Como mencionado acima, e pode-se observar, a maioria dos TCs para o manejo de material a granel é composta basicamente por seis elementos que correspondem a: correia, tambores, transmissão, estrutura, sistema de suporte da correia e pontos de transferência. Além desses elementos essenciais, destaca-se, também, alguns equipamentos que servem de auxiliares para que haja a melhoria da operação dos sistemas, são eles: tensores, raspadores, detectores de metal, calhas de transferências, detectores de rasgo de correias, chaves de desalinhamento, chaves de emergência, sistemas de supressão e sistemas de proteção climática (VELOSO, 2014; HICKMANN, 2017).

Figura 2-Transportado de Correia – TC



Fonte: DONINI et. al. (2014, p. 19).

Dos componentes de um TC anteriormente citados, a correia é o componente mais importante, pois, representa uma parte significativa do custo de um transportador, sendo que o sucesso da operação depende do bom funcionamento da mesma, sendo o fator preponderante para o sucesso da produtividade geral de uma usina na qual se encontra o sistema. A correia é o componente mais importante do transportador, e representa uma boa parcela do investimento inicial. É sobre ela que o material se acomoda e com o seu movimento promove o transporte do mesmo

(CARNIZELLO, 2011). Desse modo, a correia deve ser bem selecionada e todas as medidas possíveis para que haja a sua proteção e longevidade de sua utilidade devem ser executadas. As correias utilizadas no sistema podem ser as correias convencionais, correias a cabo, correias em tubo e as correias de alta inclinação (VELOSO, 2014; RIBEIRO, 2013).

Para que haja a seleção correta da correia, diversos fatores devem ser levados em conta, tais como características básicas do material que será transportado, a verificação da capacidade do transportador, que geralmente se mede através das toneladas envolvidas por hora, o tipo de rolete, a largura da correia e tensão máxima presente no transportador (CARNIZELLO, 2011).

Nas indústrias em geral, os TCs têm sido bastante implantadas, de modo especial na construção civil, podendo operar sob diversos ângulos, velocidades e distâncias, e podendo transportar diversos tipos de materiais e de diferentes dimensões (MOINO, 2018; CARNIZELLO, 2011). No entanto, se não houver otimização e um bom sistema de manutenção, os TCs podem apresentar de acordo com Moino (2018), vetores de perda de materiais e desperdício de energia, daí a importância de ter o dimensionamento e parâmetros operacionais, tais como ângulo de inclinação e a velocidade de deslocamento de produtos para que se possa fazer uso com mais segurança e sem interferência na produção diária.

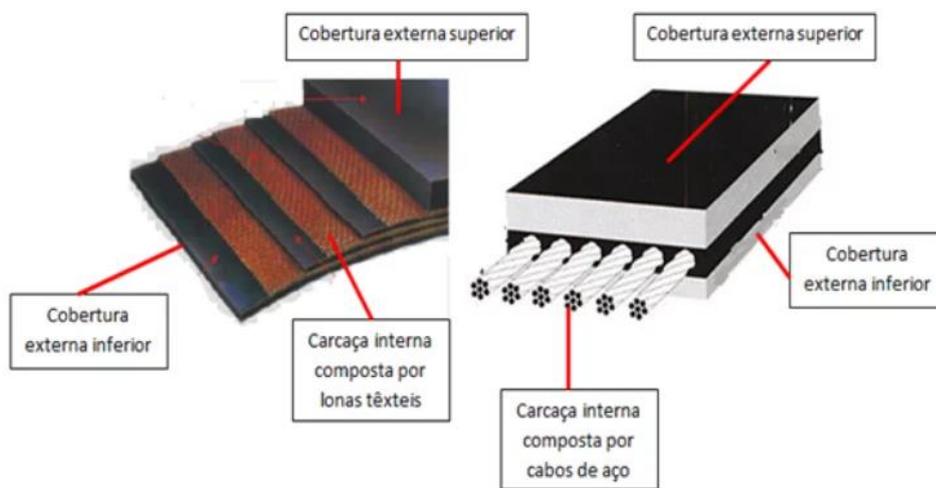
Quanto a constituição física das correias, as mesmas são constituídas por três elementos que se dividem em cobertura superior, a carcaça e a cobertura inferior. Geralmente, as coberturas são confeccionadas de borracha vulcanizada e sua função é fazer a proteção da carcaça para que não haja qualquer dano ou deterioração que porventura possa vir ocorrer no ambiente de trabalho. Cabe a carcaça suportar as tensões causadas durante a partida, parada e movimentação do material transportado, além de que deve suportar o impacto causado pela queda do material durante a alimentação e fornecer a estabilidade para que haja o alinhamento durante todo o curso do transportador (CARNIZELLO, 2011).

A carcaça, de acordo com Veloso (2014) é parte mais importante da correia, haja vista que a mesma tem a função de transmitir toda a tensão necessária para elevar e mover a correia que está carregada e absorver a energia de impacto liberada pelo material ao ser carregado na correia. A carcaça é responsável pela

emissão de adequadas técnicas de emenda, tendo que ser forte suficiente para lidar com forças que ocorrem durante todo o momento do transporte (VELOSO, 2014).

A tensão do transportador que irá definir, de acordo com Carnizello (2011), se a carcaça será de cabo de aço ou de lona. As carcaças de cabo de aço costumam ser mais resistentes às altas tensões, geralmente são utilizadas em transportadores de longa distância ou de alta capacidade. Já as carcaças de lona são mais comuns e economicamente viáveis.

Figura 3 – Seção completa de uma correia transportadora composta pelas coberturas e carcaça de tecido têxtil e cabos de aço.



Fonte: TOLEDO (2020, p. 03)

Para determinar a quantidade de potência consumida pelo motor elétrico tanto no acionamento, quanto durante o funcionamento, existem quatro fatores: o primeiro de que é preciso vencer a inércia dos roletes, tambores e correias, movimentando o transportador sem a carga material; o segundo é fazer o deslocamento horizontal da correia; o terceiro é fazer o deslocamento vertical, para condições de aclave e declive; e o quarto consiste em vencer o atrito dado pelos acessórios, como as guias laterais, os raspadores e limpadores (MOINO, 2018).

Moino (2018) também diz que no caso de transporte simples, os que medem cerca de até 100 metros de comprimento, a potência pode ser determinada pela equação abaixo:

$$N_e = V \cdot \frac{(N_v + N_g) + Q}{100} \cdot (N_1 \pm N_h) \quad (1)$$

Onde:

N_e é a potência efetiva (hp);

N_v a potência para acionar o transportador vazio a uma velocidade de 1,9 m/s (hp);

N_1 a potência para deslocar 100 ton/h de material de uma distância (L) na horizontal (hp);

N_h a potência para elevar ou descer 100 ton/h de material de uma altura H (hp);

N_g a potência para vencer o atrito das guias laterais, à velocidade de 1,0 m/s (hp) (MOINO, 2018, p. 07).

2.1.1 POSSÍVEIS DANOS QUE PODEM OCORRER COM AS CORREIAS – CURVAS DE DEGRADAÇÃO

A correia é um componente importante do TC, no entanto, trocas periódicas precisam ser realizadas. O ideal é que o fim da vida útil coincida com o fim da vida útil da carcaça, no entanto é comum haver o desgaste da cobertura primeiro (VELOSO, 2014). Já em sua fabricação as correias podem apresentar danos caso não sejam fabricadas de forma correta, armazenadas em locais adequados para evitar curvatura para não gerar um futuro desalinhamento (OLIVEIRA, 2019, p. 22).

Para aumentar o tempo de vida e para que não ocorra problemas nos elementos móveis do TC, é importante fazer uso de sistemas de limpeza para que o material que aderiu à correia seja retirado, para isso existem alguns dispositivos para que faça essa limpeza, é o caso dos raspadores, que consistem em uma borracha macia que pode conter uma ou duas lâminas ao longo da correia, que quando pressionadas contra a correia através de um contrapeso, fazem o sistema de raspagem (HICKMANN, 2017).

Figura 4 – Raspador de correia instalado no retorno da correia.



Fonte: MINERATEC (2020)

As correias transportam materiais abrasivos pegajosos e outros. Esses materiais pegajosos podem ficar grudados nos trechos de descarga da correia e ocasionar seu desalinhamento (PROCEL, 2018), daí a importância de fazer uso de equipamentos e sistemas que auxiliem a limpeza das correias para que o seu tempo de vida seja ampliado. O desgaste natural ocorre devido ao excessivo funcionamento com condições de alta exigência, ambientes sujos, calor intenso, umidade baixa, dentre outros, são fatores preponderantes que fazem com que haja o desgaste das correias (BALIEIRO, 2019).

Para auxiliar na limpeza das correias existem os limpadores, os raspadores e o virador de correia. Os limpadores são dispositivos localizados antes dos tambores de esticamento e retorno, e sua função é evitar que o material caia no lado das correias e danifique os tambores, os roletes de carga e a própria correia. Os limpadores são estruturados em aço em forma de V ou em formato reto com uma lâmina de borracha nela adaptada, com extremidades articuladas que agem na correia pela ação do próprio peso.

Figura 5 – Limpadores de correia em V e Diagonal



Fonte: CARNIZELLO (2011, p. 38).

Os raspadores, através do contato retiram o material que fica preso, aderido à correia após sua descarga. No geral, são instalados em torno do tambor de descarga, e são constituídos de uma lâmina de aço com a parte que entra em contato com a correia em borracha ou plástico, sendo acionado por contrapeso ou por molas, fazendo com que ele esteja sempre em contato com a correia (HICKMANN, 2017).

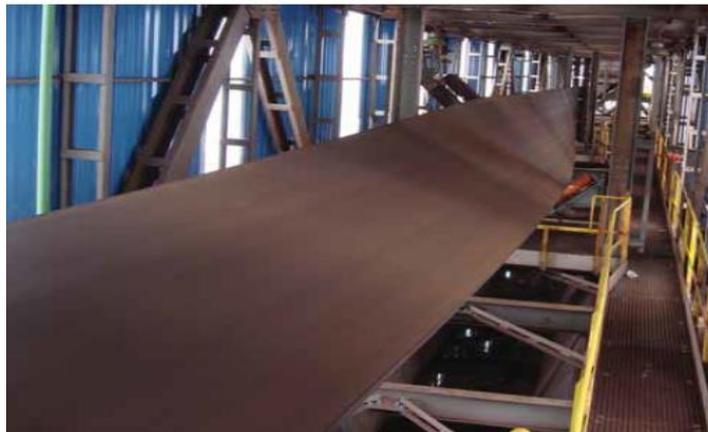
Os viradores de correias consistem em um sistema de rolos especiais com a função de inverter a correia no lado retorno, com o intuito de evitar o desgaste dos rolos de retorno, mantendo a limpeza da área ao longo do transportador. “Considerado um dos melhores meios de limpeza de correia para evitar o contato de impurezas com os elementos de retorno do transportador” (HICKMANN, 2017, p. 28). Os viradores de correia são dispositivos que giram a correia a 180° através de tambores verticais logo após o acionamento.

Figura 6 – Raspadores de correias



Fonte: CARNIZELLO (2011, p. 37)

Figura 7 – Viradores de correia



Fonte: CARNIZELLO, 2011, p. 38.

Dentre os principais tipos de danos que acometem as correias, podemos destacar: Danos por impacto; Danos por material preso; Danos na extremidade da correia; Delaminação da correia; Cobertura superior desgastada; Rasgos e sulcos por objetos estranhos; Danos pelo limpador de correias; Rachadura na cobertura superior; Falhas de emenda; Envergamento da correia; Curvatura da correia (VELOSO, 2014).

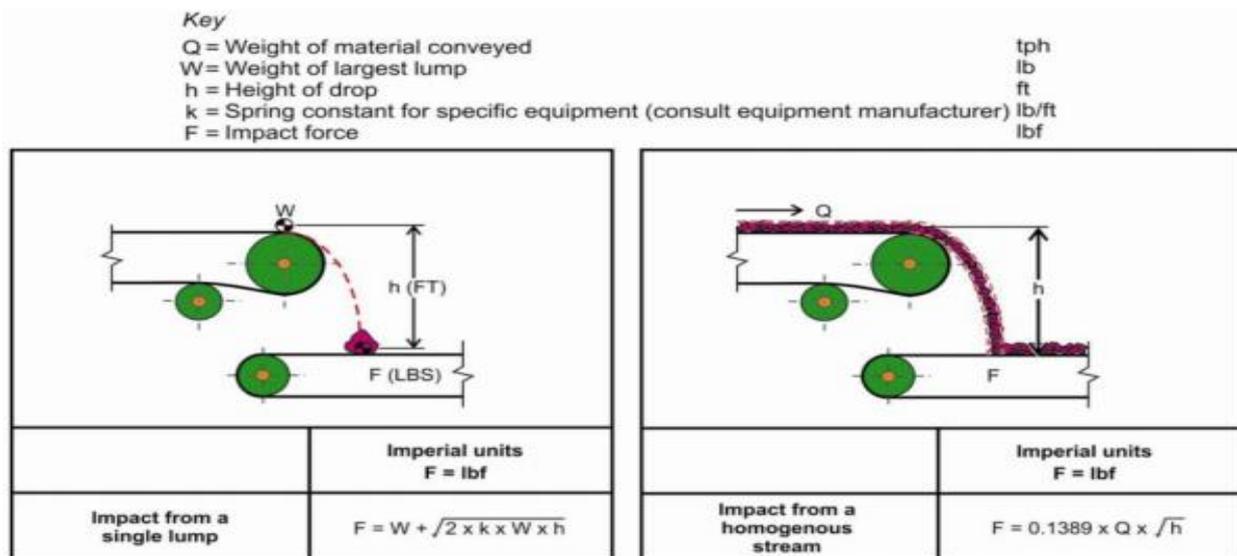
No ramo da engenharia, a degradação é ocorre quando há o acúmulo irreversível de diversos danos ao longo da vida de determinado objeto, sistema ou instrumento. Tal degradação pode ser de cunho natural, mas pode ser provocada

por sucessíveis erros, podendo envolver corrosão, fadiga do material, desgaste por falta de manutenção e fraturamento (LEHMANN, 2009).

O impacto e a velocidade com que os materiais são depositados no ponto de transferência, geralmente materiais grandes e afiados atingem a cobertura superior da correia, provocando assim, arranhões, rasgos, perfurações e cortes na estrutura. Dependendo do impacto pode ocorrer o corte de toda a correia. Há técnicas e equipamentos que tem auxiliado na resolução desses problemas, de acordo com a Norma CEMA Standard 575-2000², ao diminuir a distância da transferência, haverá a diminuição do impacto do material sobre a correia transportadora.

Abaixo, segue a imagem de como fazer o cálculo para determinar a carga de impacto de material em um ponto de transferência do transportador.

Figura 8 – cálculo para determinação da carga de impacto de material em um ponto de transferência do transportador.



Fonte: CECALA et. al., 2012 apud Balieiro, 2019, p. 55.

Outro tipo de danos causados às correias e que podem diminuir o tempo de vida útil da mesma são os danos por materiais presos, que geralmente ocorrem em detrimento de material que fica preso nos sistemas de vedação da correia – as

guias, o que acabam provocando uma compressão do material contra a correia, causando cortes ou abrasão em sua superfície (VELOSO, 2014).

Geralmente o desgaste das superfícies das correias, ocorre 80% em sua parte superior, e apenas 20% em suas camadas inferiores, sendo que esse desgaste mais elevado na parte superior está relacionado à abrasividade dos materiais transportados, ou seja, os fatores que exercem influência no desgaste da superfície da correia transportadora, estão relacionados com sua aceleração e o tipo de material transportado.

Observa-se na tabela abaixo a abrasividade de determinados tipos de materiais.

Tabela 2 – Abrasividade de alguns tipos de materiais

POUCO ABRASIVO	ABRASIVO	MUITO ABRASIVO	EXTREMAMENTE ABRASIVO
Cal	Areia	Areia com arestas vivas	Basalto
Carvão vegetal	Bórax	Baixita	Cacos de vidro
Cereais	Carvão mineral	Calcário	Cassiterita
Madeira	Cascalho	Clinquer	Granito
Lenha	Cimento	Coque	Minério de Ferro
Talco	Pedregulho	Dolomita	Minério de Manganês
-	Sal	Escória	Pedra britada
-	-	Minério de cobre	Quartzo
-	-	Rocha de fosfato	-
-	-	Xisto	-

Fonte: Adaptado de PROCEL 2009 apud Balieiro, 2019, p. 56).

A velocidade da correia é outro fator importante e que deve ser observado, principalmente em relação ao material que está sendo transportado. Por exemplo, altas velocidades não são adequadas para materiais finos e secos, pois pode gerar a formação de pó. Já no caso de materiais muito abrasivos e pontiagudos, as altas

velocidades no transporte podem causar abrasões ou danos maiores à cobertura da correia, fazendo com que haja o desgaste de modo mais rápido. Portanto, vale salientar que para cada tipo de transporte há uma velocidade máxima recomendada (BALIEIRO, 2019).

Um tipo de dano à correia que geralmente acontece é o desgaste das extremidades em um dos lados, ou ambos os lados, e geralmente esse tipo de dano ocorre graças ao desalinhamento da correia, que pode ocorrer através de falhas provenientes do próprio equipamento, causadas pela rigidez estrutural, erros nos rolos, a própria qualidade da correia e desalinhamento entre os tambores. Esse tipo de dano também pode ser caracterizado desde falhas na montagem do transportador, causando desalinhamento nos módulos, posição de descarga de material de forma incorreta, bem como falhas na manutenção, falta de limpeza, vibração excessiva e falhas nas emendas (ZHAO; LIN 2011 apud VELOSO, 2014; HICKMANN, 2017).

De acordo com Oliveira (2019) o desalinhamento da correia, bem como o excesso de material, ou qualquer outro motivo que gere acúmulo do material no TC é prejudicial para o prolongamento de vida útil da correia, sendo o sistema de limpeza de relevante importância. No entanto, tal sistema de limpeza se não for executado corretamente, também pode trazer danos à correia, principalmente se houver pressão excessiva ou instalação desalinhada dos raspadores, por exemplo. Dentre as muitas falhas na correia transportadora o desalinhamento tem destaque e pode ocorrer por causa de diferentes fatores (OLIVEIRA, 2019).

Com relação às falhas nas emendas, alguns estudiosos afirmam que a emenda de uma correia pode ser classificada como a parte mais fraca de um TC, e geralmente é causada pelos esforços excessivos que ocorrem em determinada região. Todavia, uma correia sofre diversas sobrecargas difíceis de prever, e que muitas vezes ultrapassa a taxa de carga recomendada pelo fabricante, causando rupturas nas emendas (BRITO, 2014).

O dano causado pela curvatura longitudinal da correia, geralmente é causado pela falha durante a fabricação, principalmente com relação ao armazenamento mal feito ou por tensionamento inadequado da correia. A curvatura faz com que haja o desalinhamento na correia (VELOSO, 2014; HICKMANN, 2017). Não há uma

garantia atualmente que garanta o tempo de vida útil das correias, causando impacto na qualidade de operação e nos custos, nem muito menos garantias que elas trabalhem em condições ideais. A maioria dos danos podem ser evitados, ou, pelo menos minimizados, no entanto, há muitas dificuldades em medir e analisar as variáveis e covariáveis que provocam tais danos.

2.1.2 ALGUNS SISTEMAS ELETRÔNICOS UTILIZADOS PARA EVITAR DANOS ÀS CORREIAS

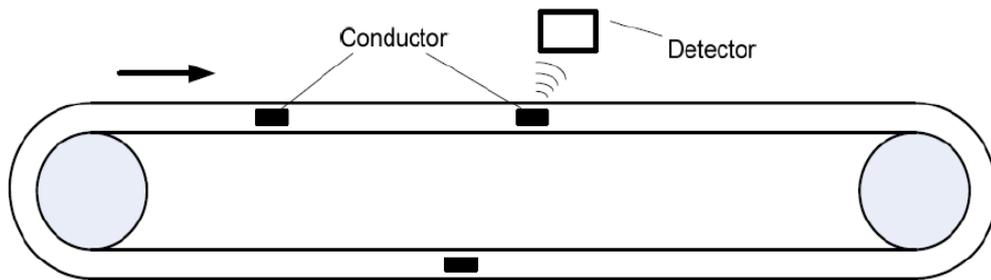
Basicamente existem dois tipos de manutenções com relação a correia transportadora, a manutenção corretiva e a manutenção preventiva.

A manutenção corretiva, está correlacionada a uma atuação de forma emergencial, ou seja, quando há a quebra ou colapso da máquina, entram em cena os recursos e a manutenção com a difícil tarefa de localizar e solucionar o problema, colocando-a novamente em operação. Já a manutenção preventiva, obedece a um critério ou programa previamente elaborado no qual são estabelecidos paradas periódicas para que inspeções e trocas de peças sejam realizadas, de acordo com o pré-dimensionamento de vida útil das referidas peças, baseadas em um trabalho prévio que consiste na coleta de dados e engenharia de confiabilidade (PROCEL, 2018). A manutenção não pode ser apenas eficiente, ela precisa ser eficaz, “não basta apenas, reparar o equipamento ou instalação o mais rápido possível, mas, principalmente, mantê-lo disponível para a operação, evitar nova falha e reduzir os riscos de uma parada de produção não planejada” (DINIZ, et. al., 2016, p. 04).

À estrutura da correia são incorporados componentes que viabilizam a detecção de rasgos, desalinhamento, desgastes, dentre outras nas correias transportadoras. Sistemas baseados no princípio da indução, estão sendo bastante utilizados. Bobinas condutoras vulcanizadas ao longo das correias, colocadas próximas à borda, é estrategicamente posicionado um transmissor que emite ondas eletromagnéticas, forçando uma tensão na bobina, que nesse momento gera um campo magnético alternado. É colocado um receptor na borda posterior do transmissor que terá a função de detectar o campo magnético gerado, logo, se haver algum rasgo ou dano à correia, a bobina imediatamente é danificada, provocando o

fim do sinal entre o transmissor e o receptor, o que fará com que a movimentação da correia pare instantaneamente (BALIEIRO, 2019).

Figura 9 – Detector de rasgo por indução



Fonte: Pang (2010 apud Balieiro, 2019, p. 74).

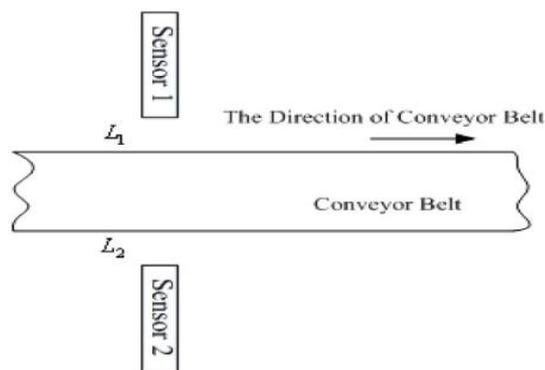
Falhas e degradações nas correias têm sido detectadas graças a dispositivos que operam com a finalidade de prevenir danos maiores às correias. É o caso das ondas de ultrassom. Junto à correia transportadora há um transmissor no rolo central que propaga sinais aos rolos colaterais, se houver um rasgo longitudinal, certamente haverá falhas significativas na potência do sinal, fazendo com que a correia pare imediatamente. No entanto, esse sistema tem um custo elevado em sua manutenção (OLIVEIRA, 2019).

Outro tipo de sistema que envolve tecnologia na manutenção dos TCs é o sistema de raio-X, que consiste na obtenção de imagens por onde a correia transportadora passa a uma velocidade constante com imagens bidimensionais obtidas e guardadas linha por linha. As imagens obtidas pelo raio-X são utilizadas como base para a identificação de falhas em diversos métodos (BALIEIRO, 2019).

Outro tipo de sistema que vem ser mais uma ferramenta para detecção de rasgos e rupturas de emendas de correia transportadora são os sensores fotoelétricos. O detector é constituído por vários sensores que emitem lasers infravermelhos montados aos pares, emissores e receptores posicionados em um

cavalete sob a correia. Materiais que passam pelo sensor, devido a ocorrência do rasgo, são detectados fazendo com que a correia pare de modo instantâneo, evitando que o rasgo seja acentuado ao longo do processo.

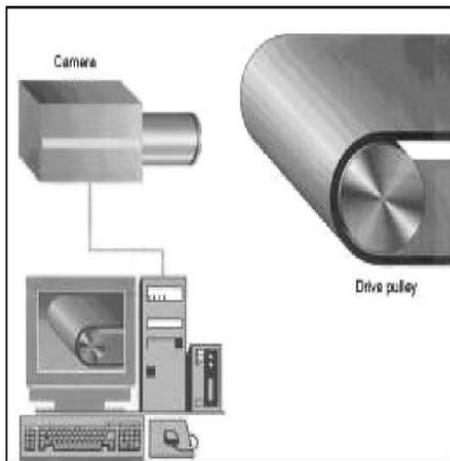
Figura 10 – Posicionamento de sensores de alcance



Fonte: TIE-ZHU et. al. (2011 apud BALIEIRO, 2019, p. 77).

O sistema de monitoramento através de câmeras realiza a análise automática de imagens, no entanto, vale salientar que o processador de imagens precisa de um algoritmo de reconhecimento, capacidade de obter partes da figura salva na memória do processador com altas taxas de processamento aritmético. Todavia, geralmente, as inspeções das imagens podem ser feitas por um operador especialista, por necessitar de um tempo elevado para desenvolver o processamento das imagens, por existirem no mercado, diversos tipos de correias e não haver um sistema de reconhecimento de imagens para cada uma delas e por muitas vezes haver imprecisão dos resultados das análises em detrimento da baixa qualidade de imagem proveniente pela captação ser geralmente em ambientes agressivos em que ocorrem as operações nas correias transportadoras.

Figura 11 – Sistema de monitoramento através de câmeras



Fonte: Pang (2010 apud Balieiro, 2019, p. 85).

Um sistema composto por câmeras 3D's e sensores de vibração já é bastante utilizado por algumas empreiteiras e usinas de minérios. Tal sistema detecta rasgos centrais e das bordas, bem como o desalinhamento da correia transportadora (GARCIA, 2019; BALIEIRO, 2019).

2.2 CIRCUITO DA BRITAGEM SEMIMÓVEL 1 (BSM1)

Ao conjunto de operações de redução de tamanhos de partículas minerais, com controle máximo do tamanho dos produtos e controle para evitar a geração das quantidades excessivas de materiais muito finos, dá-se o nome de cominuição (CHAVES, 2003 apud BASTOS, 2015). Dentro dos processos de cominuição estão a britagem e a moagem, que são diferentes com relação às faixas de tamanho, razão de redução e com relação, também, aos mecanismos de redução de tamanho.

A britagem faz parte do primeiro estágio da cominuição de partículas pela ação de esforços compressivos, realizados através de movimentos periódicos com aproximação e afastamento de uma superfície móvel com outra fixa, ou de impacto, impulsionados pela projeção das partículas contra elementos do britador ou do revestimento (SANTOS, 2019).

Figura 12 – Processos de gestão de britagem



Fonte: Autoria própria

Em uma usina de minérios, as correias podem ser chamadas de artérias da usina, pois, como já vimos, é através das correias que se dá todo o transporte do minério durante as fases do processo, fazendo parte, também, dos processos de britagem semimóvel, britagem primária, britagem secundária e peneiramento secundário (VELOSO, 2014).

De acordo com Veloso (2014, p. 71) “as Britagens Semimóveis – BSMs são instalações destinadas ao processamento primário do minério de ferro, ou seja, constituem o início do processo industrial (similar à britagem primária)”. As BSMs localizam-se nos centros das massas das cavas e ficam em cada local durante o prazo mínimo de 5 anos, e somente após esse período que podem ser deslocadas para outra cava. Nas britagens semimóveis os britadores de mandíbulas reduzem o material. Com o material que fica retido na grelha vibratória é realizada a alimentação do britador. O material da grelha e o britado alimentam o circuito de britagem secundária. Em todos os britadores semimóveis, com exceção do BSM1 que possui apenas uma “boca”, carregadeiras são utilizadas na recuperação do minério dos pulmões e no carregamento que fará em seguida o basculamento no britador. No BSM1 o descarregamento do minério é realizado diretamente de uma carregadeira que recupera o material do pulmão. Após ser britado o minério é

transportado através de correias transportadoras até a área da usina, local em que será feito o beneficiamento (BASTOS, 2015; BRANCO, 2013).

Figura 13 – Correias transportadoras saindo do britador semimóvel, em direção à usina.



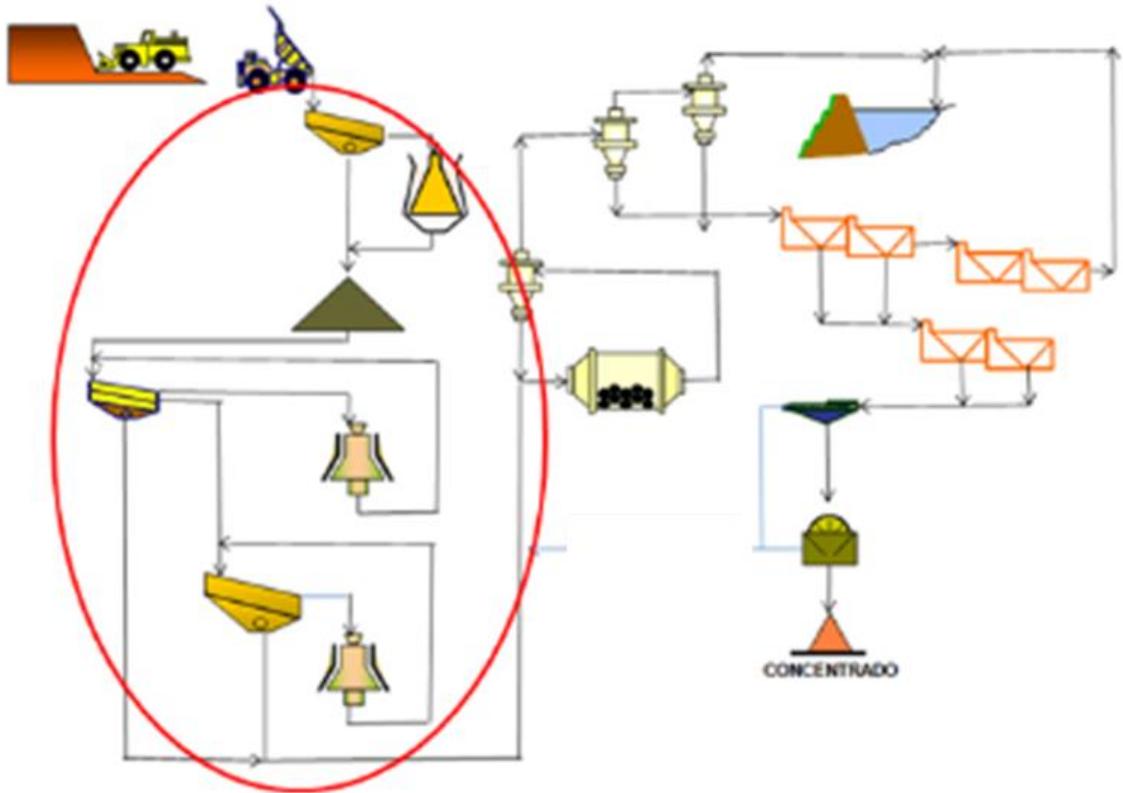
Fonte: Autoria Própria

O minério de ferro, ao chegar à usina, sofre nova britagem para que haja a homogeneização dos diferentes tamanhos de grãos, chamado de granulação, levando em conta a transformação em três produtos diferentes: granulado, *sinter feed*¹ e *pellet feed*². Esses processos de transformação podem ser repetidos em até três vezes para que os tamanhos pré estabelecidos sejam atingidos (BRANCO, 2013).

¹Os minérios finos classificados como sinter feed são destinados às usinas siderúrgicas integradas de aço. (Disponível em <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/paginas/balanco-mineral/arquivos/balanco-mineral-brasileiro-2001-ferro>> Acesso em 31 mai. 2020.

²Minério mais fino e obtido após o processo de flotação.(Disponível em <http://www.csn.com.br/conteudo_pti.asp?idioma=0&tipo=61062&conta=45&prSv=1> Acesso em 31 mai. 2020.

Figura 14 – Etapa do circuito de britagem



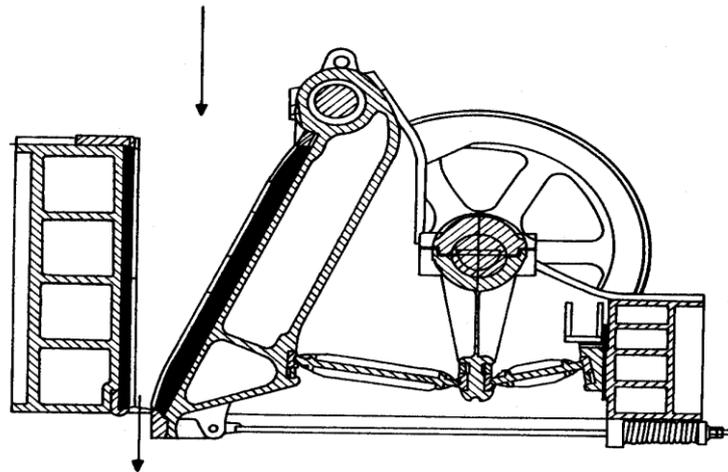
Fonte: BASTOS, 2015, p. 13

Geralmente o circuito de britagem é composto por dois ou três etapas, e uma das principais funções da britagem é a granulometria para que a moagem não fique sobrecarregada, sendo essa uma das etapas de maior consumo energético do processo de tratamento de minérios. Uma outra função da britagem é o aumento da área específica do minério para que assim haja o aumento da eficiência na etapa de moagem e no processo de lixiviação (BASTOS, 2015).

O funcionamento de um britador é periódico com cada período consistindo de uma ação de quebra e uma ação de abertura. De acordo com Santos (2019) “durante o período de abertura no ciclo o material se move para baixo no britador e o material se desloca para baixo pela gravidade”. Os equipamentos considerados para os padrões de britagem na indústria mineral são os britadores de mandíbulas, giratórios, cônicos, britador de impacto e o de rolos dentado, todavia, como cada

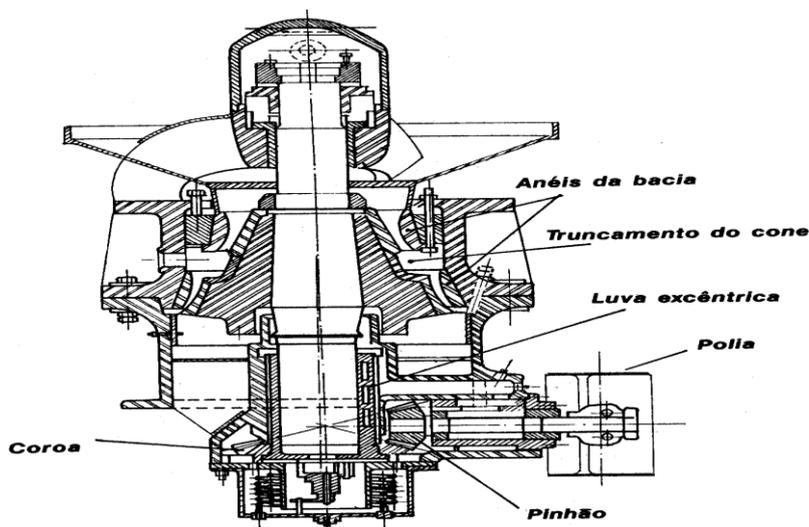
minério possui diversas diferenças físico-químicas, com teores empobrecidos e, com a busca cada vez mais acentuada por baixos custos, há no mercado atual uma grande variedade de britadores para atender a demanda do mercado mineral (BASTOS, 2015).

Figura 15 – Britador de mandíbulas de dois eixos (Blake).



Fonte: FIGUEIRA; LUZ; ALMEIDA (2010, p. 164)

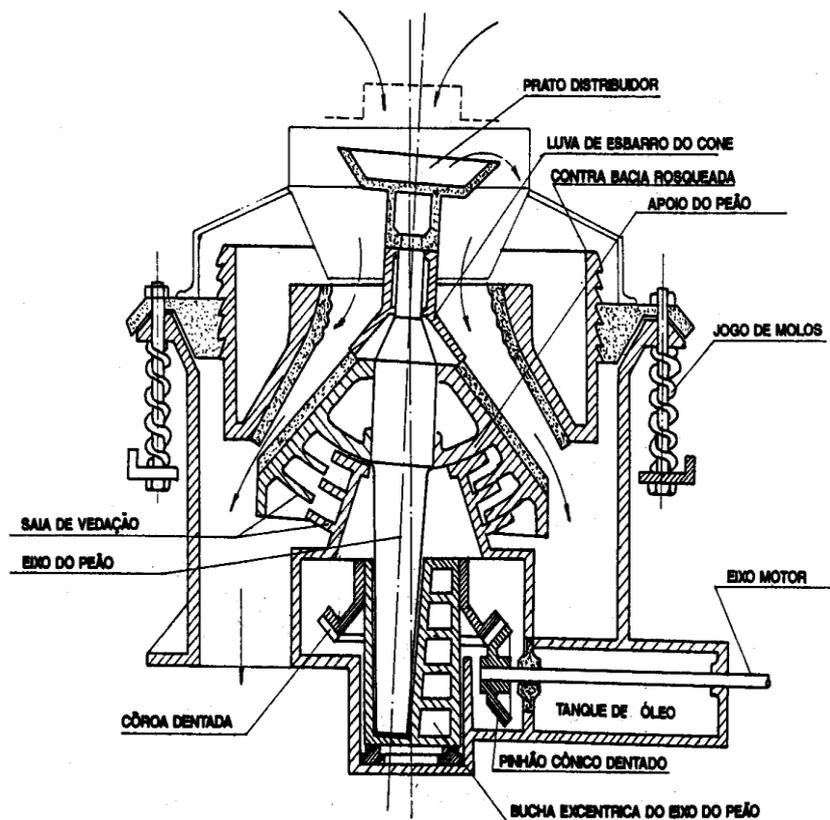
Figura 16 – Britador giratório



Fonte: FIGUEIRA; LUZ; ALMEIDA (2010, p. 165)

O britador de mandíbula é o equipamento que realiza a britagem primária em blocos de elevadas dimensões e com grandes variações de tamanho na alimentação. O britador giratório é utilizado na britagem primária quando existe uma grande quantidade de material a ser fragmentado, e é considerado mais operacional do que o britador de mandíbula, podendo ser alimentado de qualquer lado, além de permitir uma pequena armazenagem no seu topo. Já o britador cônico que possui o mesmo princípio de operação do britador giratório, com a diferença que no britador cônico, o manto e o cone apresentam longas superfícies paralelas, uma garantia de que haja um tempo maior de retenção das partículas nessa região. No britador giratório a ação da gravidade dita a descarga, enquanto no cônico a descarga é condicionada ao movimento do cone (FIGUEIRA; LUZ; ALMEIDA, 2010).

Figura 17 – Britador cônico



Fonte: FIGUEIRA; LUZ; ALMEIDA (2010, p. 168).

2.3 MODELO DE REGRESSÃO MÚLTIPLA

Precisar e afirmar até quando durará uma correia transportadora não é algo possível, levando em consideração que são muitas variáveis operacionais que envolvem o seu tempo de vida, o que pode afetar o seu desempenho, daí a importância de se fazer um planejamento sério e ter confiabilidade nas operações, para que as substituições e manutenções ocorram no momento certo.

Com relação as análises de confiabilidade é algo bastante complexo, principalmente partindo do pressuposto de que nem todas as partes coletadas sobre determinado problema possuem as mesmas condições, ou seja, partes de um equipamento podem sofrer variações e podem ser impactadas por diferentes ambientes, ou ainda apresentar tempo de vida diferente, que podem modificar a condição atual do equipamento. Desse modo, na maioria dos casos reais, a função de risco de um equipamento recebe influências ligadas a diferentes fatores de risco. Em situações como essas, é imprescindível se ter maior precisão na análise, sendo importante fazer o isolamento dos efeitos de cada fator, estimando dessa forma sua influência (VELOSO, 2014). Daí a importância de identificar e saber a quantidade dos fatores através das variáveis numéricas, as quais são chamadas de covariáveis, variáveis explanatórias ou concomitantes, que servem para retratar “parâmetros ou situações intrínsecas do material ou parâmetros exteriores que tenham efeito significativo no tempo de vida do equipamento” (VELOSO, 2014, p. 46).

O modelo de regressão consiste em um conjunto de métodos e técnicas que servem para estabelecer uma equação matemática que descreve o relacionamento entre duas variáveis, ou seja, uma variável que será dependente por precisar estar relacionada a uma ou mais variáveis independentes através de uma equação linear que normalmente é demonstrada através de uma reta. Este modelo geralmente é utilizado com o propósito de prever um valor que não se consegue precisar inicialmente (CASTRO, 2019).

“O número de covariáveis em um modelo de regressão linear pode facilmente aumentar quando termos não lineares e interações entre covariáveis são introduzidas para reduzir possíveis vieses na modelagem” (VELOSO, 2014). Para melhorar a previsibilidade e para dar uma descrição ponderada entre a resposta e as covariáveis, na prática é comum incluir apenas variáveis importantes no modelo.

Segundo (VELOSO, 2014) para situações onde temos grande volume de dados disponíveis, existência de dados reais de desgaste monitorados ao longo do tempo, a relação de covariáveis ao longo do tempo é fixa e há existência de covariáveis que são contínuas e também daquelas que variam ao longo do tempo temos que a regressão múltipla é o método mais adequado para esta situação.

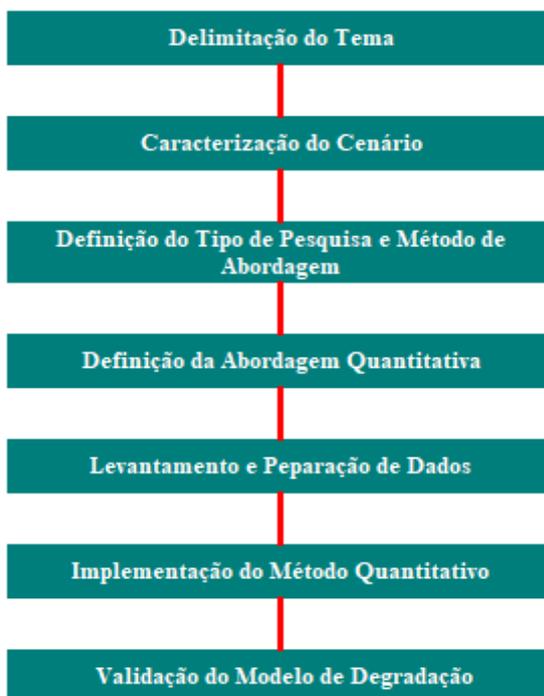
3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MÉTODO

Este capítulo teve por objetivo apresentar o método utilizado para a modelagem de curvas de degradação de correias transportadoras, utilizando covariáveis que são inerentes ao transportador através do modelo de regressão múltipla para o circuito da britagem semimóveis 1 (BSM 1).

Para este trabalho foi utilizado uma abordagem quantitativa, onde o trabalho foi desenvolvido de acordo com o método proposto, o mesmo será dividido conforme a figura abaixo.

Figura 18 – Método proposto para a pesquisa



Fonte: Autoria Própria

3.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Inicialmente segundo o método proposto deve ser definido a identificação do problema a ser tratado bem como sua abrangência.

A definição da abrangência foi realizada através da coleta de informação considerando as especificidades na qual os transportadores de correia dos circuitos das britagens semimóveis estão inseridos e assim definindo o escopo a ser abordado.

As informações foram coletadas através do histórico do sistema informatizado de manutenção e operação, como também confrontar com informações oriundas de pesquisas bibliográficas, permitindo assim aprofundar o conhecimento sobre o assunto em questão, no caso, a degradação de correias.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DO CENÁRIO

Um ponto importante no trabalho foi a caracterização do cenário no qual o trabalho foi desenvolvido. Esta etapa consistiu em uma análise detalhada da localidade onde os TCs estão instalados, bem como de suas peculiaridades, como dados de projeto e condições operacionais, de modo a permitir a correta contextualização. Esta etapa foi realizada em conjunto com a delimitação do trabalho, pois fornecerá informações importantes que auxiliarão nesta definição.

Estes dados foram coletados a partir dos projetos dos TCs e manuais de operação dos equipamentos.

3.4 DEFINIÇÃO DO TIPO DE PESQUISA E MÉTODO DE ABORDAGEM

O presente trabalho classificou-se como uma pesquisa aplicada, pois sua natureza tem como objetivo específico gerar conhecimentos para aplicação prática direcionada à solução de um problema específico, que neste trabalho foi

a elaboração de um modelo probabilístico (curva de degradação) para previsão do desgaste das correias das do circuito da britagem semimóvel 1 (BSM 1).

A partir das covariáveis relacionadas ao estudo (Dias Operacionais, Dias Operacionais Acumulado, Produção, Produção Acumulada, Velocidade e Comprimento do Transportador), é possível definir qual a metodologia mais adequada para a abordagem quantitativa.

Em relação ao método de abordagem, o mesmo foi classificado como uma pesquisa quantitativa. A abordagem quantitativa é usada para tratar os dados relativos às variáveis, relacionando-as juntamente com a variável de resposta (degradação de correias), de modo a possibilitar a utilização de uma regressão múltipla para verificar quais variáveis realmente tem efeito significativo sobre a variável resposta.

3.5 DEFINIÇÃO DA ABORDAGEM QUANTITATIVA

A abordagem quantitativa caracterizou-se por apresentar uma boa definição de processos para a análise de dados, permitindo a utilização do método por diferentes especialistas e a obtenção de previsões idênticas (LEMOS, 2006). A abordagem será realizada considerando as covariáveis utilizadas inerentes ao transportador para a obtenção de uma curva de degradação das correias.

Para obtenção de curvas de degradação foi necessário utilizar modelos matemáticos que permitiram obter uma correlação entre os valores obtidos de desgaste com as covariáveis elencadas. Para tanto utilizaremos a técnica de regressão múltipla.

O método de previsão de degradação deve propiciar um modelo que represente o menor erro possível a situação real em estudo. O método utilizado deve preferencialmente permitir uma previsão estruturada, com passos sistemáticos e detalhados, que possam ser descritos e replicados.

Para aplicação do modelo priorizou-se a utilização de técnicas quantitativas simples, com poucas variáveis e relações simples entre elas, pois estas tendem a ser menos tendenciosas, fazem uso mais eficiente dos dados,

ajudam no entendimento e aceitabilidade do método, e reduzem erros. (VELOSO,2014 apud LEMOS, 2006).

3.5.1 LEVANTAMENTO E PREPARAÇÃO DE DADOS

A coleta de dados teve por objetivo gerar informações consistentes à realização da etapa de análise de dados. Os pontos relevantes para esta etapa do trabalho diz respeito a coleta de dados históricos nos sistemas informatizados, coletar dados técnicos dos transportadores e realizar uma análise prévia dos dados para caracterização de não conformidades nos dados obtidos.

No que se refere a coleta de dados foi definido primeiramente o período de tempo para a coleta dos dados históricos, após tal definição temporal foram coletados os dados das covariáveis referente a tal período e ordenados.

A coleta de dados técnicos deve ser realizada a partir de coleta nos arquivos técnicos, tais dados devem estar atualizados e refletirem a realidade das características dos transportadores em campo. Para situações de falta de dados devem ser efetuadas medições de campo para a obtenção dos dados.

Após a coleta de dados foi realizada análise prévia verificado se os mesmos possuem inconsistências, expurgando os dados que possuem desvios para que possamos ter dados fidedignos para a obtenção do modelo que retrate a degradação das correias em estudo.

3.6 IMPLEMENTAÇÃO DO MÉTODO QUANTITATIVO

A implementação do método foi realizado através da utilização de softwares específicos ou genéricos que permitem a efetuação das análises e a obtenção das equações que irão formular o modelo.

Neste momento foram estimados os parâmetros do modelo, onde será avaliado a contribuição de cada covariável no processo de degradação da correia. Nesta etapa o processo se torna interativo para a obtenção do modelo com as covariáveis que melhor representam o processo de degradação. Neste momento do trabalho foram inicialmente efetuados a tabulação

dos dados das covariáveis levando em conta que as mesmas já passaram pelo processo de análise de inconsistências, evitando assim erros no modelo. Em seguida foi realizado simulações para obtenção do modelo de modo que o mesmo venha a ter uma maior aderência à as medições de degradações reais.

A validação das covariáveis foram realizadas em conjunto com as simulações considerando a significância das mesmas apresentada no modelo.

3.7 VALIDAÇÃO DO MODELO DE DEGRADAÇÃO

A validação do modelo de degradação foi necessária para assegurar que o modelo que retrata o processo de degradação funcione adequadamente. Esta etapa tem por objetivo avaliar a eficiência do método utilizado e do seu potencial de utilização futura (LEMOS, 2006).

Para situações onde se utiliza um modelo matemático para realizar previsões, é importante submeter os resultados a especialistas que conheçam o fenômeno sendo modelado para que eles possam fazer uma avaliação para verificar se os resultados fazem sentido, se há algum evento no futuro que possa interferir na previsão e que não apareça nos dados históricos (não podendo, assim, ser capturado pelo modelo) fazendo com que o modelo venha a dar uma previsão que não tenha sentido prático (VELOSO, 2014).

Portanto para validação do modelo o mesmo foi validado através de teste específico de acordo com seu nível de significância além da avaliação e validação por especialista.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

No presente capítulo será apresentado a aplicação da metodologia proposta para a obtenção de curvas de degradação para correias transportadoras do circuito de transportadores da britagem semimóvel 1.

4.1 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

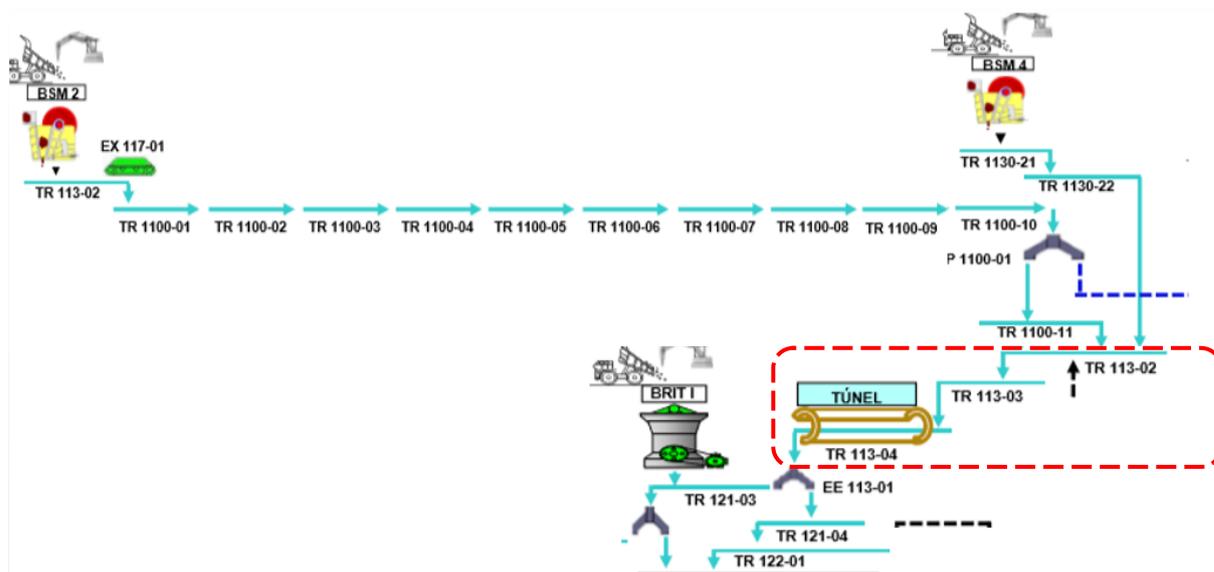
O trabalho foi desenvolvido utilizando-se dados relativos às correias transportadoras instaladas no Circuito da Britagem Semimóvel 1(BSM 1) em uma Usina de Beneficiamento de Minério de Ferro, localizado em Parauapebas, no sudeste do Pará.

O trabalho foi focado na degradação proveniente do desgaste da cobertura superior das correias, não sendo considerado no trabalho em estudo itens como falha em emendas, trincas e desgaste na cobertura inferior da correia entre outros itens que são difíceis de quantificar o que tornaria inviável o trabalho.

4.2 CARACTERIZAÇÕES DO CENÁRIO

O circuito de transportadores considerados para o estudo recebe alimentação de duas plantas de britagens semimóveis sendo elas a BSM 2, BSM 4, o mesmo corresponde ao principal circuito de alimentação da Usina 01 devido ao fato de que em uma parada deste circuito, toda a mina de N4WN, para de alimentar a Usina 01, gerando um impacto produtivo expressivo no Complexo. A figura 19 apresentam a vista geral do circuito de transportadores que fazem parte do processo de Cominuição da Usina I, onde a mesma é a principal fonte de alimentação de Minério, dentro do Complexo.

Figura 19 – Fluxograma do Circuito de Alimentação da Usina 01



Fonte: Mapa de Processo da usina do complexo minerador de Carajás -2019

Britagem Semimóvel (BSM)

O início do beneficiamento do Minério de Ferro acontece nas Britagens Semimóveis – BSMs que são acomodações destinadas ao processamento primário do minério.

Hoje em dia encontram-se instaladas quatro estruturas de britagem semimóveis com características parecidas, que são responsáveis por 90% da alimentação da usina; são elas: BSM 2, BSM 3, BSM 4 e BSM 5 localizadas respectivamente nas minas de N4E, N5E e N4WN. As realocações dessas estruturas acontecem devido a mudança do centro de massa da mina.

Esses quatro pontos de alimentação, com a britagem primária, respondem pelo processo de britagem inicial de todo minério alimentado na usina de beneficiamento.

Segundo Ribeiro (2013) existem uma série de vantagens na utilização de estruturas de britagem semi moveis no processo de mineração tais como: Redução na distância do transporte, segurança na mina, Baixa Emissão de CO2.

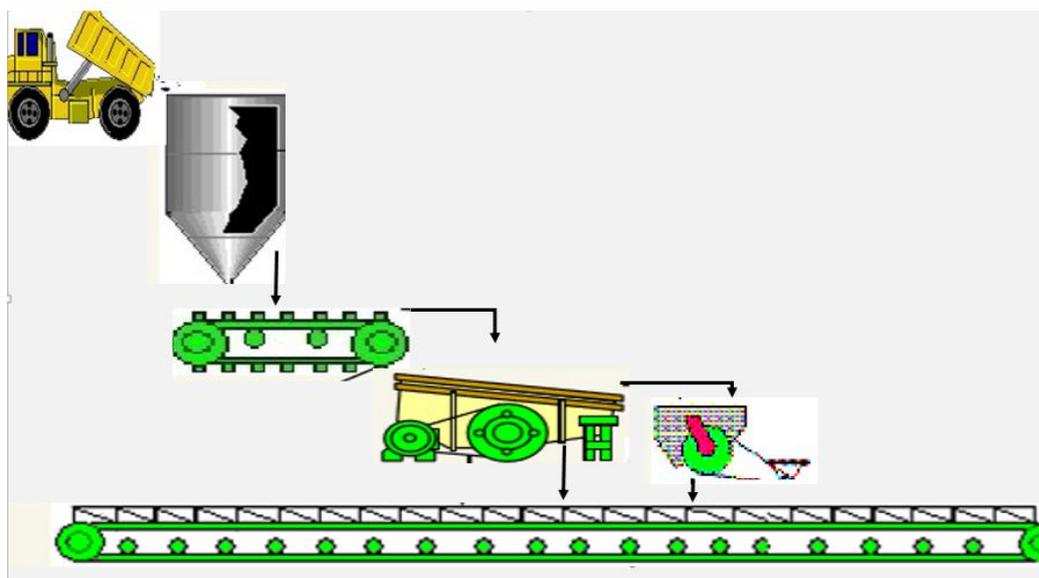
As britagens semimóveis (BSM's) 2 e 4 alimentam os transportadores dos seus respectivos circuitos onde temos que o circuito da BSM 4 tem capacidade para 8 mil toneladas por hora enquanto o circuito da BSM 2 tem capacidade de 7,6 mil toneladas por hora, portanto temos que o circuito em estudo recebendo alimentação dos circuitos mencionados acima em caso de uma indisponibilidade deixará de ofertar ao sistema produtivo mais de 15 mil toneladas por hora de minério de ferro para beneficiamento.

Figura 20 – Britagem Semimóvel



Fonte: VELOSO, 2014, p. 72

Figura 21 - Fluxograma Britagem Semimóvel (BSM 2, 3, 4 e 5)



Fonte: Adaptado Descritivo operacional da usina do complexo minerador de Carajás -2019

As BSMs são implantadas nos centros de massa das cavas e permanecem em cada local durante um período mínimo de 5 anos, quando então podem ser deslocadas para outra cava. As britagens semimóveis possuem britadores de mandíbulas que reduzem o material abaixo de oito polegadas. A alimentação do britador é realizada a partir do material que fica retido em uma grelha vibratória. O passante da grelha e o material britado alimentam os circuitos de transportadores de correia.

4.3 PESQUISA E COMPILAÇÃO DOS DADOS

Segundo Lemos 2006 a análise de Regressão é um dos modelos de previsão mais assertivos. No Caso da Regressão Múltipla utilizada onde há uma variável Y, para ser prevista diversas variáveis explanatórias ($x_1, x_2, x_3 \dots x_8$) o objetivo é relacionar Y com as demais variáveis que a influenciem.

Para o presente estudo foi utilizado as covariáveis dias de operação, dias acumulados de operação, produção, produção acumulada, velocidade e comprimento do transportador.

Os dados de dias de operação e dias acumulados de operação foi considerado o intervalo entre as medições realizadas por ultrassom, da mesma forma que a produção e a produção acumulada foram consideradas as produções transportadas pelas correias transportadoras em estudo registradas pelas balanças nos períodos entre as medidas de desgaste da correia transportadora.

Para que se possa realizar a análise de regressão, faz-se necessário ter dados referentes ao desgaste das correias (variável dependente ou de resposta). Tais dados foram obtidos a partir do controle de desgaste da cobertura das correias via ultrassom, que é realizado pela área de inspeção da usina. As medições de ultrassom ocorrem em sua maioria a cada 30 dias (este período pode alterar em função de fatores diversos como mudança nas datas de paradas preventivas e indisponibilidade de mão de obra).

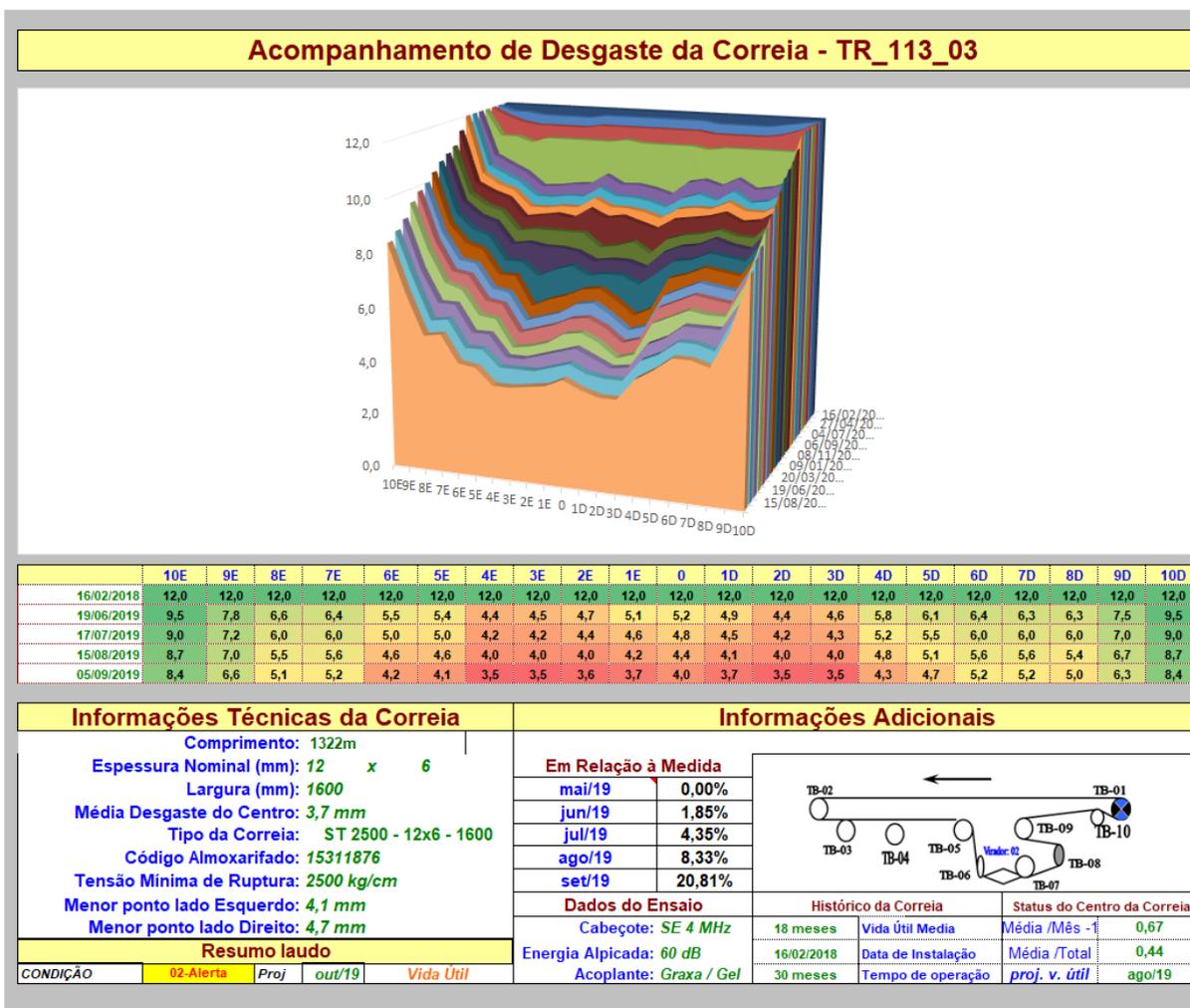
O procedimento de monitoramento por ultrassom é bastante utilizado pelo setor de manutenção e inspeção detectiva para mensurar a espessura das

coberturas da correia e acompanhar de que forma ocorre sua degradação (MENEZES et al., 2002).

Normalmente ocorre um desgaste maior na cobertura superior devido à ação abrasiva ocasionada pelo carregamento do minério. É utilizada como princípio a emissão e recebimento de ondas ultrassônicas para realizar a leitura no interior das peças que estão sendo mensuradas. Nas correias transportadoras essas medições são realizadas geralmente de forma transversal, ou seja, através da sua largura para medir sua espessura (CASTRO, 2019).

Na figura 22, tem-se um exemplo de controle de desgaste via ultrassom.

Figura 22 – Controle de desgaste via ultrassom.



Fonte: Autoria Própria

A partir da Figura 23 observa-se que a correia transportadora foi subdividida em 21 pontos de medição em sua seção transversal, que foi realizada independente da largura da correia. Logo após houve a divisão em três setores, o lado direito (LD) corresponde aos pontos do 5D ao 10D, lado esquerdo (LE) do ponto 5E ao 10E e a região central (RC) correspondendo ao intervalo do 4D ao 4E.

Figura 23 - Medições de desgaste da correia

	10E	9E	8E	7E	6E	5E	4E	3E	2E	1E	0	1D	2D	3D	4D	5D	6D	7D	8D	9D	10D
16/02/2018	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0
19/06/2019	9,5	7,8	6,6	6,4	5,5	5,4	4,4	4,5	4,7	5,1	5,2	4,9	4,4	4,6	5,8	6,1	6,4	6,3	6,3	7,5	9,5
17/07/2019	9,0	7,2	6,0	6,0	5,0	5,0	4,2	4,2	4,4	4,6	4,8	4,5	4,2	4,3	5,2	5,5	6,0	6,0	6,0	7,0	9,0
15/08/2019	8,7	7,0	5,5	5,6	4,6	4,6	4,0	4,0	4,0	4,2	4,4	4,1	4,0	4,0	4,8	5,1	5,6	5,6	5,4	6,7	8,7
05/09/2019	8,4	6,6	5,1	5,2	4,2	4,1	3,5	3,5	3,6	3,7	4,0	3,7	3,5	3,5	4,3	4,7	5,2	5,2	5,0	6,3	8,4

Fonte: Autoria Própria

De posse dessas definições foram calculados os desgastes médios da região central (DMRC) de acordo com estratificações definidas. A Figura 23 traz uma visão das Médias de Degastes.

Na figura 24 temos o Fluxo de descarga do material pois é nesta região onde temos a incidência na alimentação de material na correia conforme figura abaixo.

Figura 24 - Fluxo de descarga do material



Fonte: Martin Engineering, Fundations quarta edição

O desgaste médio da região central (DMRC) foi definido como diferença entre o valor atual em relação ao anterior dos pontos da região central de medição (dos pontos 4E ao 4D), conforme equação abaixo:

$$DMRC = (D4Em-1 - D4Eat + D3Em-1 - D3Eat + D2Em-1 - D2Eat + D1Em-1 - D1Eat + D0m-1 - D0at + D4Dm-1 - D4at + D3Dm-1 - D3Dat + D2Dm-1 - D2Dat + D1Dm-1 - D1at) / \text{Quantidade de pontos (9 pontos)}. \quad (2)$$

onde $Dnm-1$ equivale ao valor da medição referente desgaste anterior e $Dnat$ o valor do desgaste atual (os valores em sua totalidade devem estar em mm).

A partir da obtenção dos valores de $DMRC$, obteve-se também o desgaste médio acumulado ($DMARC$), definido pela equação abaixo:

$$DMARCat = DMRC + DMARcm-1 \quad (3)$$

onde $DMARcm-1$ refere-se ao desgaste médio acumulado da região central anterior e $DMARCat$ refere-se ao atual.

A partir dessas definições, foi obtido o banco de dados com a consolidação de todas as informações para posterior utilização na regressão e obtenção do modelo de degradação. A Tabela 3 traz uma visão parcial do banco de dados.

Tabela 3 – Visão do banco de dados

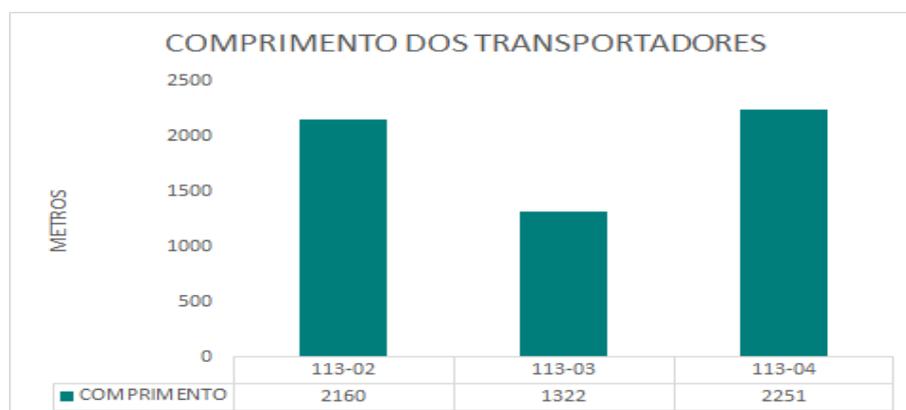
Transportador (TRC)	Desgaste Médio (DMC)	Desgaste Médio Acumulado(DMCA)	DIAS (DO)	Dias Acumulado (DOAC)	Produção (PRO)	Produção Acumulada (PROA)	Velocidade (VEL)	Comprimento (COM)
113-02	0,40	0,40	42	42	5.912.414	5.912.414	4,15	2160
113-02	0,43	0,83	28	70	4.381.748	10.294.162	4,15	2160
113-02	0,36	1,19	58	128	7.741.555	18.035.717	4,15	2160
113-02	0,44	1,63	33	161	3.048.715	21.084.432	4,15	2160
113-02	0,41	2,04	28	189	5.622.860	26.707.292	4,15	2160
113-02	0,29	2,33	29	218	5.898.420	32.605.712	4,15	2160
113-02	0,40	2,73	21	239	4.210.756	36.816.468	4,15	2160
113-02	0,60	3,33	51	290	10.734.122	47.550.590	4,15	2160
113-02	0,23	3,56	21	311	1.337.154	48.887.744	4,15	2160
113-03	0,81	0,81	42	42	5.912.414	5.912.414	4,15	1322
113-03	0,44	1,25	28	70	4.381.748	10.294.162	4,15	1322
113-03	0,32	1,57	58	128	7.741.555	18.035.717	4,15	1322
113-03	0,42	1,99	33	161	3.048.175	21.083.892	4,15	1322
113-03	0,36	2,35	28	189	5.622.860	26.706.752	4,15	1322
113-03	0,32	2,67	29	218	5.898.420	32.605.172	4,15	1322
113-03	0,47	3,14	21	239	4.210.756	36.815.928	4,15	1322
113-03	0,36	3,50	35	274	7.912.832	44.728.760	4,15	1322
113-03	0,24	3,74	21	295	1.337.154	46.065.914	4,15	1322
113-04	0,25	0,25	42	42	5.912.414	5.912.414	4,28	2251
113-04	0,33	0,58	28	70	4.381.748	10.294.162	4,28	2251
113-04	0,34	0,92	58	128	7.741.555	18.035.717	4,28	2251
113-04	0,20	1,12	33	161	3.048.175	21.083.892	4,28	2251
113-04	0,34	1,46	28	189	5.622.860	26.706.752	4,28	2251
113-04	0,28	1,74	29	218	5.898.420	32.605.172	4,28	2251
113-04	0,22	1,96	21	239	4.210.756	36.815.928	4,28	2251
113-04	0,44	2,4	35	274	6.271.888	43.087.816	4,28	2251
113-04	0,33	2,73	34	308	6.360.637	49.448.453	4,28	2251
113-04	0,21	2,94	21	329	1.337.154	50.785.607	4,28	2251

Fonte: Autoria Própria

De posse do banco de dados consolidado foi possível realizar uma análise na distribuição dos valores das respectivas covariáveis permitindo assim ter uma visão geral de seus comportamentos.

Conforme abaixo podemos identificar na figura 25 os comprimentos dos transportadores em estudo.

Figura 25 – Comprimentos dos transportadores em estudo.

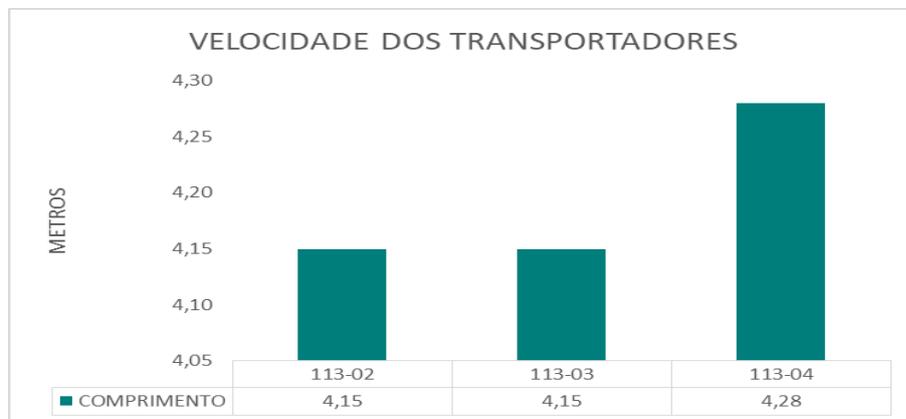


Fonte: Autoria Própria

Na figura 26 representamos o perfil da variável velocidade. Balieiro 2019 relata que a velocidade da Correia é um fator bastante relevante em relação ao material que está sendo transportados. Velocidades Altas podem causar abrasão ou danos maiores a cobertura da Correia e seu rápido desgaste.

Observa-se que diferente do que aconteceu com o comprimento os transportadores TR 113 02 e a TR 113 03 possui a mesma velocidade, e uma maior velocidade na TR 113 04. Outra conclusão que se pode afirmar é que não possuem o mesmo tempo de ciclo (comprimento/velocidade) das três correias são distintos.

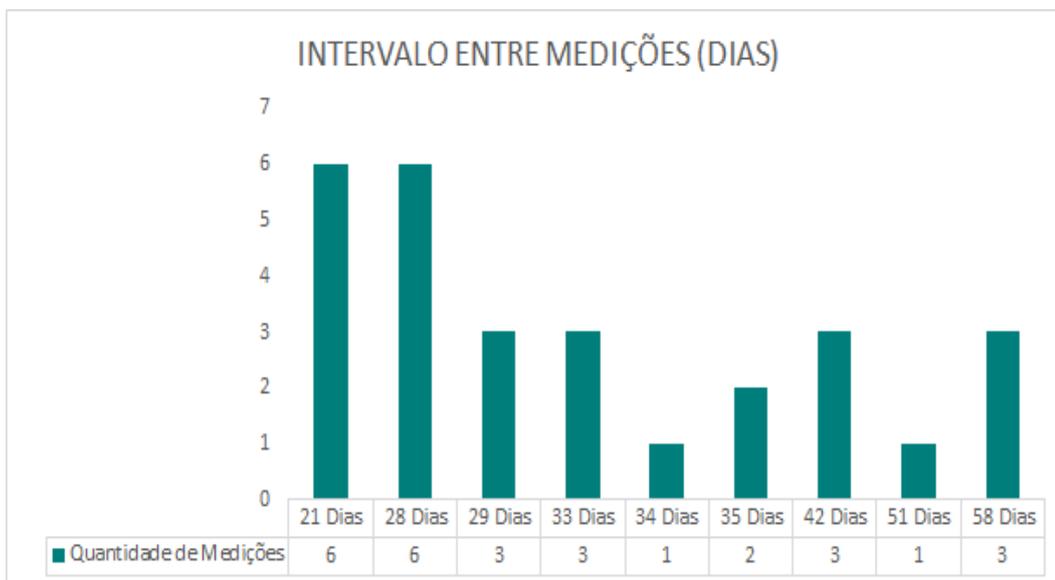
Figura 26 – Velocidade dos transportadores



Fonte: Autoria Própria

A figura 27 traz o período que foi obtido a partir do controle de desgaste de correias via ultrassom de cada correia, percebe-se que 75% do total dos dados das amostras se constitui de medições tomada durante um período que varia de 21 a 35 dias (o que já era esperado devido ser este o intervalo das paradas de manutenção da usina e consequentemente os intervalos das medições via ultrassom).

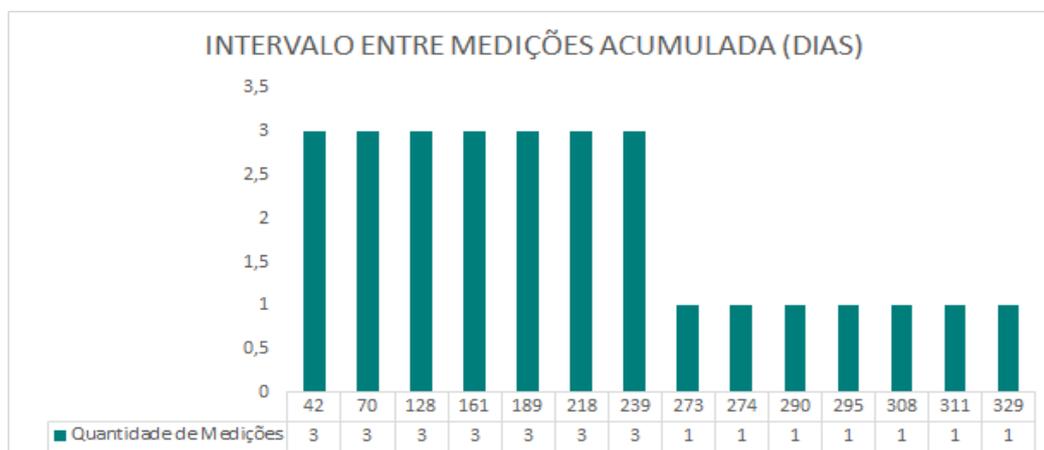
Figura 27 – Intervalo entre mediações



Fonte: Autoria Própria

O perfil referente a quantidade de dias acumulados a partir da primeira medição é indicado na figura abaixo:

Figura 28 – Intervalo entre medições acumuladas

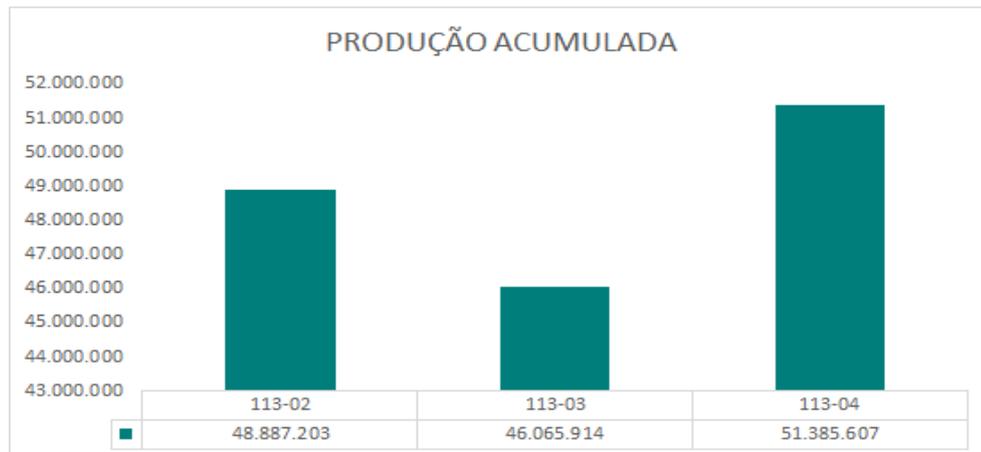


Fonte: Autoria Própria

Observando a figura anterior, pode-se verificar que grande parte das observações se encontram com no máximo 239 dias, após este período tivemos intervenções relacionadas a troca de correia nos transportadores TR 113 02 e TR 113 03 por acidente e fim de vida útil respectivamente.

A figura 29 nos traz o perfil da variável produção acumulada, que representa a produção total acumulada em toneladas de minério de ferro, no período da observação, transportada pela correia.

Figura 29 – Produção acumulada

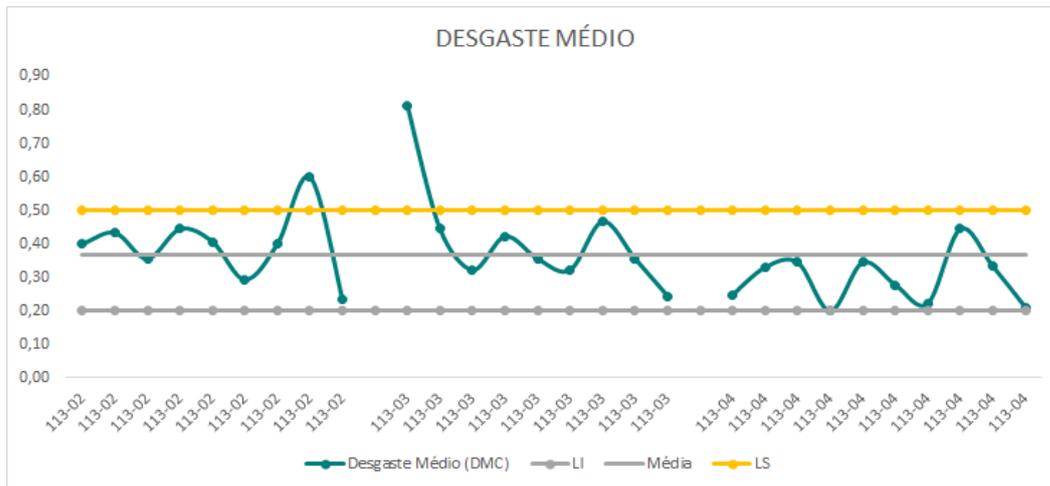


Fonte: Autoria Própria

Após análise no gráfico acima temos que os três transportadores em estudo operaram entre 46 e 51 milhões de toneladas durante o ano de 2019, como os mesmos fazem parte do mesmo circuito teríamos que a material transportado passou pelos três transportadores, porem em função da troca dos transportadores mencionados anteriormente e o fato de não medirmos a correia quando a mesma é substituída temos tal redução na quantidade de material transportado nesta campanha.

A figura 30 representa o perfil de desgaste médio, em análise realizada nos dados temos que 93% do desgaste médio observado na correia transportador fica entre 0,2 à 0,5 mm/medição apresentando um desgaste médio para o circuito da britagem semimóvel 1(BSM1) de 0,37 mm/medição.

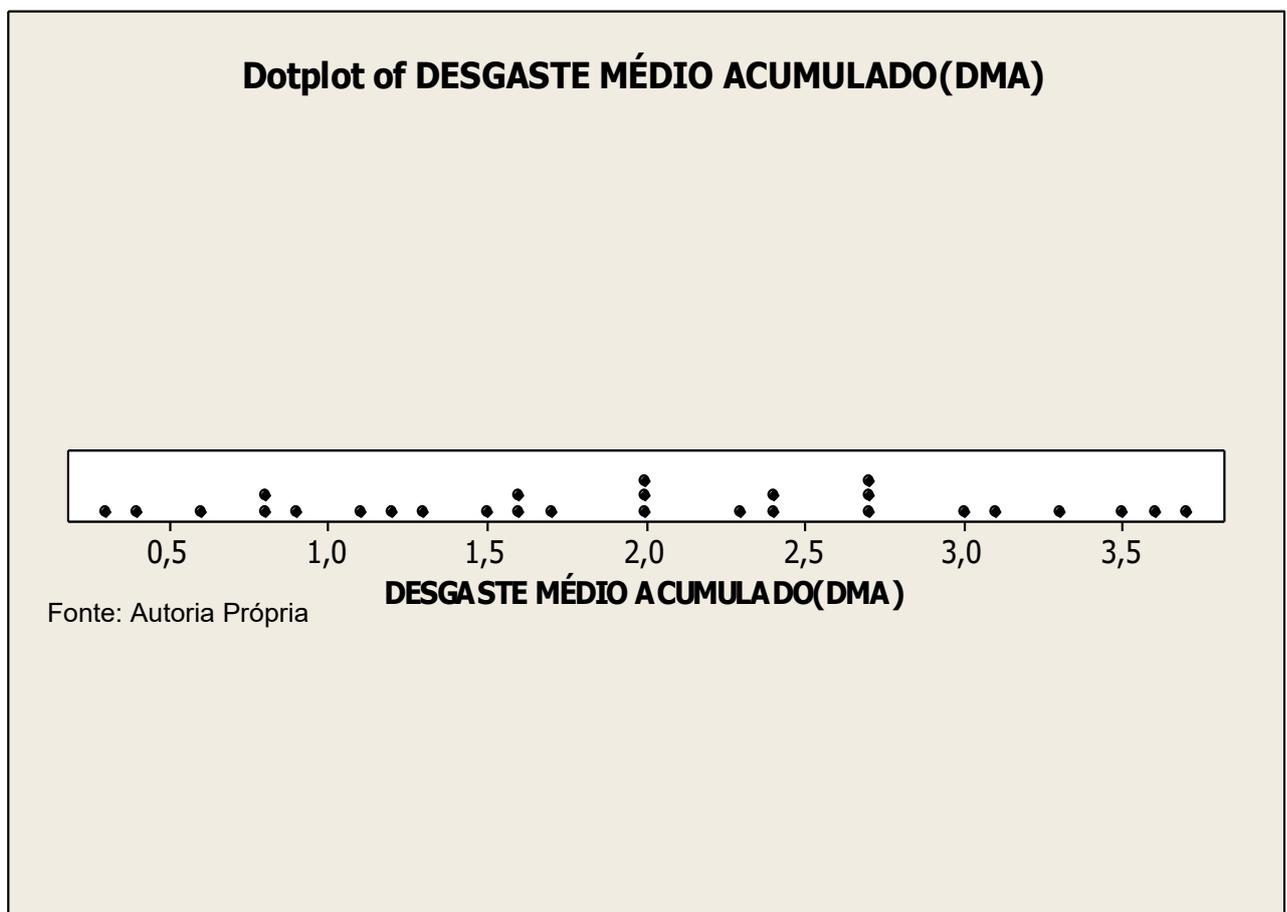
Figura 30 - O perfil de desgaste médio



Fonte: Autoria Própria

A figura 31 representa o perfil de desgaste médio acumulado, esta variável corresponde a variável resposta da regressão, das amostras que compõem a base de dados.

Figura 31 – Perfil de desgaste médio acumulado



Fonte: Autoria Própria

Pela Figura 31 pode-se verificar que as observações apresentam desgaste médio acumulado entre 0,8 e 2,7 mm; acima e abaixo destes valores, a quantidade de observações vem a cair.

4.4 IMPLEMENTAÇÃO DO MÉTODO QUANTITATIVO

De posse dos dados conforme demonstrado anteriormente foi possível implementar o método escolhido, a regressão múltipla. Para tal, utilizou-se o software Minitab Statistics Version 16.

A etapa inicial se deu na dinâmica de lançar todos os dados no software e tentar obter um único modelo de regressão que representasse todos os transportadores. A metodologia utilizada foi a backward, onde o método caracteriza-se por incorporar todas as variáveis e após percorrer várias etapas, uma variável por vez pode ser eliminada. Se em uma determinada etapa não houver eliminação de alguma variável, o processo é então interrompido e as variáveis restantes definem o modelo final. (Karam, 2006 apud Charnet et al, 2000). Inicialmente foram observadas todas as variáveis no modelo e analisado seus resultados considerando a significância de cada variável. A cada rodada da metodologia foram sendo retiradas as variáveis que apresentaram menor significância, considerando um valor limítrofe de significância $P \leq 0,05$ como critério de manutenção da variável no modelo. A Figura 32 traz o resultado do primeiro ciclo de análise.

Figura 32 – Resultado da Primeira Análise da Regressão

Regression Analysis: DESGASTE MÉD versus DIAS OPERACI; DIAS OPER. A; ...

The regression equation is

$$\text{DESGASTE MÉDIO ACUMULADO (DMA)} = 17,0 - 0,00377 \text{ DIAS OPERACIONAIS (DO)} \\ + 0,00087 \text{ DIAS OPER. ACUMULADOS (DOAC)} \\ - 0,000000 \text{ PRODUÇÃO (PRO)} \\ + 0,000000 \text{ PRODUÇÃO ACUMULADA (PROA)} \\ - 3,77 \text{ VELOCIDADE (VE)} - 0,000438 \text{ COMPRIMENTO (CO)}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	16,991	1,898	8,95	0,000
DIAS OPERACIONAIS (DO)	-0,003775	0,003521	-1,07	0,296
DIAS OPER. ACUMULADOS (DOAC)	0,000873	0,002812	0,31	0,759
PRODUÇÃO (PRO)	-0,00000001	0,00000002	-0,39	0,700
PRODUÇÃO ACUMULADA (PROA)	0,00000006	0,00000002	3,45	0,002
VELOCIDADE (VE)	-3,7735	0,4690	-8,05	0,000
COMPRIMENTO (CO)	-0,00043773	0,00007034	-6,22	0,000

S = 0,124646 R-Sq = 98,8% R-Sq(adj) = 98,5%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	6	27,5700	4,5950	295,76	0,000
Residual Error	21	0,3263	0,0155		
Total	27	27,8963			

Source	DF	Seq SS
DIAS OPERACIONAIS (DO)	1	4,7316
DIAS OPER. ACUMULADOS (DOAC)	1	18,7960
PRODUÇÃO (PRO)	1	0,0318
PRODUÇÃO ACUMULADA (PROA)	1	0,1599

Fonte: Autoria Própria

Em análise para avaliação do nível de significância das variáveis que constam na figura 33, verificou-se que nesta primeira análise temos as seguintes variáveis com $P > 0,05$, dias operacionais, dias operacionais acumulados e produção. Desta forma vamos eliminar a que se encontra com o maior valor P, de acordo com a seleção de variáveis pelo método Backward que estamos utilizando.

A variável que possui o maior valor P é eliminada da regressão, resultando em um modelo com X-1 variáveis. As variáveis subsequentes são retiradas do modelo empregando a mesma sistemática de eliminação, portanto devemos excluir

a variável dias operacionais acumulados (STEIN et al, 2014 apud MONTGOMERY e RUNGER, 2007).

Figura 33 - Resultado da Segunda Análise da Regressão

Regression Analysis: DESGASTE MÉD versus DIAS OPERACI; PRODUÇÃO(PRO; ...

The regression equation is

$$\text{DESGASTE MÉDIO ACUMULADO(DMA)} = 17,0 - 0,00360 \text{ DIAS OPERACIONAIS (DO)} \\ - 0,000000 \text{ PRODUÇÃO (PRO)} \\ + 0,000000 \text{ PRODUÇÃO ACUMULADA (PROA)} \\ - 3,78 \text{ VELOCIDADE (VE)} - 0,000438 \text{ COMPRIMENTO (CO)}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	17,016	1,857	9,16	0,000
DIAS OPERACIONAIS (DO)	-0,003597	0,003403	-1,06	0,302
PRODUÇÃO (PRO)	-0,00000001	0,00000002	-0,56	0,584
PRODUÇÃO ACUMULADA (PROA)	0,000000006	0,000000000	35,48	0,000
VELOCIDADE (VE)	-3,7752	0,4593	-8,22	0,000
COMPRIMENTO (CO)	-0,00043759	0,00006887	-6,35	0,000

S = 0,122059 R-Sq = 98,8% R-Sq(adj) = 98,6%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	5	27,5685	5,5137	370,09	0,000
Residual Error	22	0,3278	0,0149		
Total	27	27,8963			

Source	DF	Seq SS
DIAS OPERACIONAIS (DO)	1	4,7316
PRODUÇÃO (PRO)	1	1,5581
PRODUÇÃO ACUMULADA (PROA)	1	17,4272
VELOCIDADE (VE)	1	3,2503
COMPRIMENTO (CO)	1	0,6014

Fonte: Autoria Própria

Em análise referente a segunda rodada percebe-se uma melhora nos valores correspondentes ao valor P, porém estamos com duas variáveis com níveis de significância $P > 0,05$, são elas dias operacionais e produção. Desta forma devemos eliminar a que se encontra com o maior valor P, que nesta segunda rodada é a variável produção

Figura 34 - Resultado da Terceira Análise da Regressão

Regression Analysis: DESGASTE MÉD versus DIAS OPERACI; PRODUÇÃO ACU; ...

The regression equation is

$$\text{DESGASTE MÉDIO ACUMULADO (DMA)} = 17,0 - 0,00502 \text{ DIAS OPERACIONAIS (DO)} \\ + 0,000000 \text{ PRODUÇÃO ACUMULADA (PROA)} \\ - 3,77 \text{ VELOCIDADE (VE)} - 0,000438 \text{ COMPRIMENTO (CO)}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	16,994	1,828	9,30	0,000
DIAS OPERACIONAIS (DO)	-0,005021	0,002206	-2,28	0,032
PRODUÇÃO ACUMULADA (PROA)	0,00000006	0,00000000	37,48	0,000
VELOCIDADE (VE)	-3,7679	0,4521	-8,33	0,000
COMPRIMENTO (CO)	-0,00043777	0,00006783	-6,45	0,000

S = 0,120212 R-Sq = 98,8% R-Sq(adj) = 98,6%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	4	27,5639	6,8910	476,86	0,000
Residual Error	23	0,3324	0,0145		
Total	27	27,8963			

Source	DF	Seq SS
DIAS OPERACIONAIS (DO)	1	4,7316
PRODUÇÃO ACUMULADA (PROA)	1	18,9850
VELOCIDADE (VE)	1	3,2454
COMPRIMENTO (CO)	1	0,6019

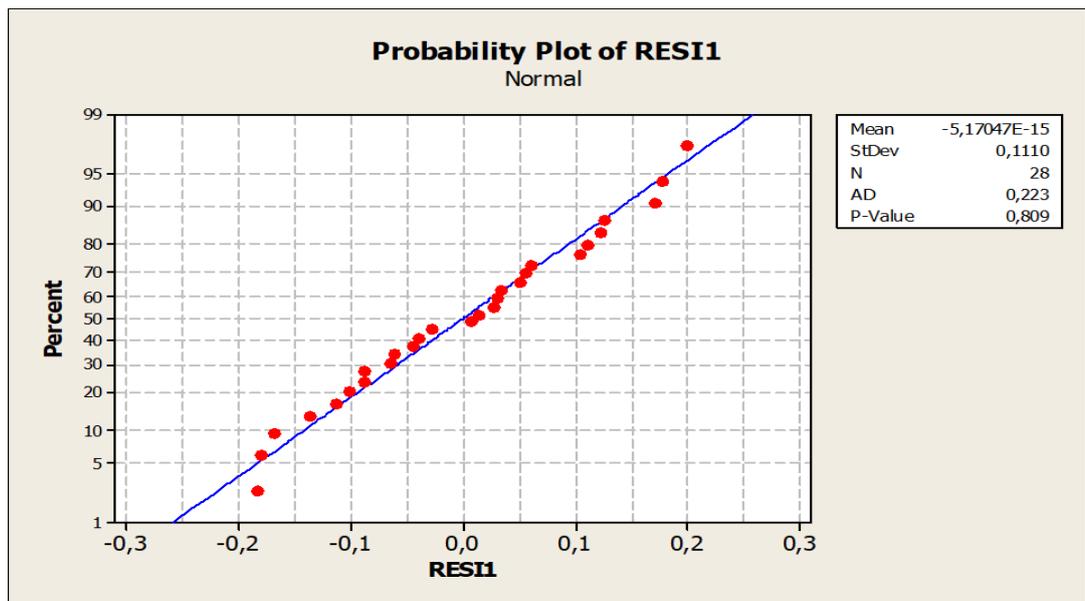
Fonte: Autoria Própria

Analisando a figura 34, percebe-se que nenhuma das variáveis apresentou $P > 0,05$; portanto podemos considerar estes itens como Dias Operacionais, Produção Acumulada, Velocidade e Comprimento como as Covariáveis determinantes para o modelo de degradação.

Segundo Gujarati (2006) um dos pressupostos necessários para o enquadramento dos resultados da análise da regressão é a apresentação da distribuição normal do conjunto dos resíduos produzidos em todo o intervalo das observações.

Para verificar se a variável resposta apresenta distribuição de probabilidade normal, aplicou-se o teste de Anderson-Darling (AD) a um nível de significância α (alpha) de 5% (p -valor $< 0,05$). A partir deste teste, constatou-se que os dados possuem distribuição normal, conforme evidenciado na (Figura 35).

Figura 35 – Resíduos do modelo seguem uma distribuição normal.



Fonte: Autoria Própria

De acordo com valor P maior que 0,05 temos que os resíduos seguem uma distribuição normal.

Desta forma, portanto temos que ao término do processo de seleção das variáveis descrito acima, obteve-se o modelo de regressão na equação 4.

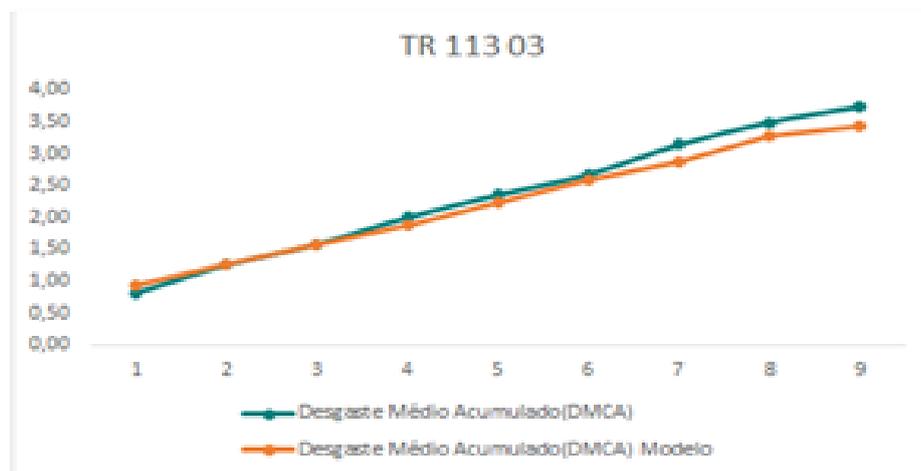
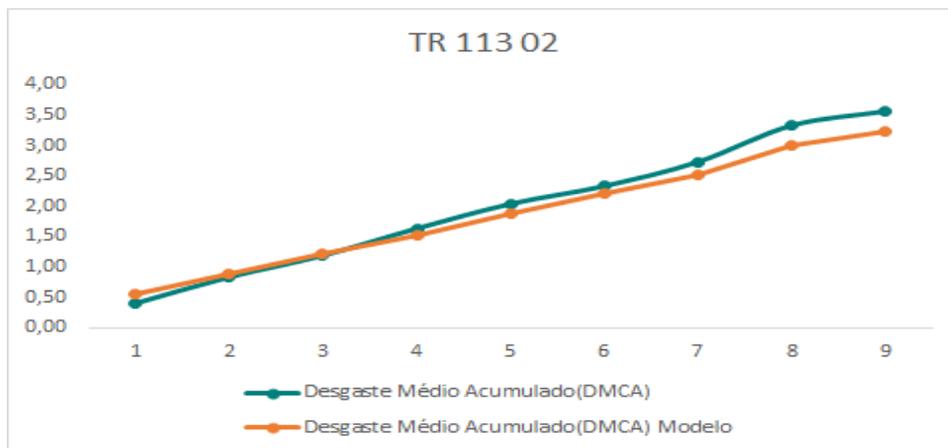
$$DMARC = 16,994 - 0,00502DO + 6,0 \times 10^{-8}PROA - 3,7679VE - 0,0004378CO \quad (4)$$

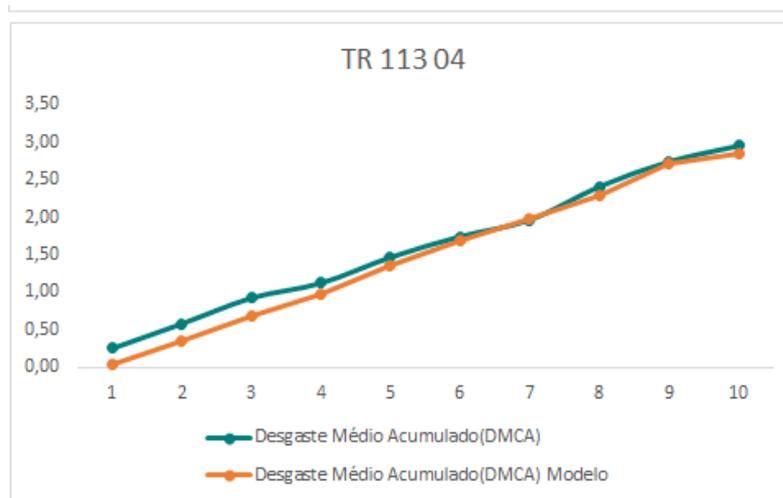
Conforme podemos ver na figura 36 temos que a equação 4 possui os termos estatisticamente significativos como também temos o valor do de R^2 ajustado do modelo resultante foi de 0,986 que pode ser considerado que o modelo apresenta

uma boa representatividade de modo assertivo o comportamento de degradação das correias.

Isto pode ser melhor retratado na figura 36, onde se tem o comparativo do desgaste real com o previsto pelo modelo para as correias transportadoras em estudo.

Figura 36 – Comparativo do desgaste real com o previsto pelo modelo para as correias transportadoras em estudo.





Fonte: Autoria Própria

Desta forma, pode-se dizer que um modelo global para representar o *DMARC* das correias do circuito da britagem semimóvel 1(BSM1). Pela análise das figura 36 verifica-se uma boa aderência para o modelo, ou seja, os mesmos representam de modo fidedigno o desgaste das correias.

4.5 VALIDAÇÃO DO MODELO

A partir dos resultados obtidos na seção 4.4, foi realizada a validação de modelo através da análise do modelo de regressão múltipla e por parte de especialistas da área de vulcanização da Usina de Beneficiamento.

Para esta validação foi realizada um fórum com a participação da equipe de Vulcanização e Inspeção Detectiva onde foram apresentados os resultados e discutido a correlação dos mesmos. Foi apresentado além disso simulações com o intuito de comparar o intervalo de tempo até a degradação das correias (momento de se efetuar uma troca, o que corresponde à vida da correia) previstos pelos modelos em relação ao tempo esperado pelos especialistas.

4.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste presente capítulo foi identificado quais covariáveis influenciam no desgaste de correias transportadoras do circuito da britagem semimóvel 1 (BSM1), do trabalho, foi constatado que as variáveis produção acumulada, comprimento, velocidade da correia e tempo de operação potencialmente impactariam na degradação de correias. Já com o uso da regressão multivariada, constatou-se que as mesmas realmente são significativas e influentes.

Constatamos que através da modelagem das curvas de degradação utilizando o método de regressão múltipla obtivemos o modelo onde o mesmo obteve uma boa representatividade obtendo um $R^2_{AJUSTADO} = 0,986$, demonstrando que o modelo é fidedigno ao perfil de desgaste estudado neste trabalho.

5. CONCLUSÕES

A partir da presente pesquisa conclui-se que:

Foi possível identificar quais covariáveis tem influência onde através da simulação com o modelo de regressão linear e a aplicação da metodologia de backward constatou-se que as covariáveis dias operacionais acumulado e produção (mensal) não são representativas para o modelo de degradação enquanto as covariáveis dias operacionais, produção acumulada, velocidade e comprimento obtiveram uma representatividade no modelo de degradação.

A equação 4 representa o fielmente o modelo de degradação, onde com a mesma se obteve um $R^2_{ajustado}$ do modelo resultante foi de 0,986.

Enfim foi alcançado o objetivo geral deste trabalho a modelagem de degradação de correias do circuito da britagem semimóvel 1 o que foi obtido a partir do modelo pela regressão múltipla, com isso poderemos trabalhar com uma maior previsibilidade para o processo pois conseguiu-se provar de forma fidedigna o comportamento das principais variáveis que impactam no comportamento do desgaste das correias transportadoras do circuito em estudo.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com a elaboração deste trabalho, verificou-se que existem outras perspectivas as quais podem ser abordadas em novas pesquisas. A seguir algumas possibilidades sugeridas:

- I. Desenvolvimento de sistema para gestão da degradação de correias baseada na comparação da evolução do desgaste real com o previsto, de modo a se detectar possíveis desvios e permitir a elaboração de ações de correção, visando minimizar a degradação acelerada e maximizar a vida útil das correias.
- II. Modelagem da degradação das correias para os circuitos de classificação, estocagem e expedição.
- III. Desenvolvimento modelo de degradação com a utilização de sistema para alimentação das covariáveis relacionadas a produção e tempo de operação em tempo real.

7. REFERÊNCIAS

BALIEIRO, Ricardo Luis. **Desenvolvimento de abordagem baseada em técnicas de visão computacional e de aprendizado de máquinas para monitoramento e controle de falhas em correias transportadoras.** Tese (Doutorado em Ciências), Universidade de São Paulo – USP, Escola de Engenharia de São Carlos, Programa de Engenharia Elétrica, São Paulo – SP, 2019. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18153/tde-02102019-142926/publico/Ricardo.pdf>> Acesso em 29 mai. 2020.

BASTOS, Patrícia Cardoso. **Análise comparativa entre o uso de métodos convencionais e o uso de softwares para a seleção de britadores e peneiras.** Trabalho de Conclusão de Curso – TCC (Especialização em Engenharia de Recursos Minerais), Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia de Minas, Belo Horizonte – MG, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUBD-A2NGAS/1/monografia__patr_cia_bastos___trabalho__final_.pdf> Acesso em 31 mai. 2020.

BRANCO, Najmat Celene Nasser Medeiros. **Planejamento Operacional de Lavra de Minério de Ferro no Estado do Pará:** Proposta de Simulação-Otimização de Recursos Logísticos na Etapa Mina. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Pontifícia Universidade Católica – PUC-RJ, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção do Departamento de Engenharia Industrial, Rio de Janeiro – RJ, 2013. Disponível em <<https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/22865/22865.PDF>> Acesso em 31 mai. 2020.

BRITO, João Tomás Mendes Vítor Villa de. **Sistemas de Centragem de Correias Planas em Atividades de Transporte.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Lisboa, Portugal, 2014. Disponível em: <https://run.unl.pt/bitstream/10362/14732/1/Brito_2014.pdf> Acesso em 30 mai. 2020.

CHOU, C.-S.; LIU, C.-L.; TSENG, C.-S. **Optimum conditions for field vulcanizing a fabric conveyor belt with a better capability of elongation.** Materials & Design, vol. 34, p. 279-284, ago 2011.

CARNIZELLO, Daniel Cardoso. **Transportador de correia:** componentes e cálculos básicos para seu dimensionamento. Trabalho de Conclusão de Curso – TCC (Graduação em Engenharia Mecânica), Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, 2011. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/118549/carnizello_dc_tcc_guar_a.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acesso em 28 mai. 2020.

CASTRO, Willian. **Como estimar a vida útil de uma correia transportadora por regressão linear e determinar sua curva de confiabilidade e risco.** Artigo. 2019.

Disponível em: <<https://www.linkedin.com/pulse/como-estimar-vida-%C3%BAtil-de-uma-correia-transportadora-por-castro>> Acesso em 02 jun. 2020.

Diniz, A. G.; Dutra, D. C.; Oliveira, C. G. de; Braga, G. G. **Análise dos modos e efeitos das falhas – FMEA** em um transportador de correia. In IX Congresso Nacional de Engenharia Mecânica – CONEM 2016, Fortaleza – CE, 2016.

Disponível em:

<https://www.researchgate.net/publication/316731520_ANALISE_DOS_MODOS_E_EFEITOS_DAS_FALHAS_-_FMEA_EM_UM_TRANSPORTADOR_DE_CORREIA> Acesso em 31 mai. 2020.

Donini, C. A.; Felisardo, D. S. F.; Conceição, E. da R.; Moreira, E. E.

Esteira Transportadora Automatizada. Centro Paula Souza, São Paulo – SP, 2014. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/darasignoretti/tcc-esteira-transportadora>> Acesso em 07 jun. 2020.

FIGUEIRA, Hedda Vargas O.; LUZ, Adão Benvindo da; ALMEIDA, Salvador Luiz Matos de. **Britagem e Moagem**. Centro de Tecnologia Mineral - CETEM, Ministério da Ciência e Tecnologia Coordenação de Processos Minerários – COPM, Rio de Janeiro, 2010. Disponível em:

<<http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/732/1/CCL00260010.pdf>> Acesso em 31 mai. 2020.

GUJARATI, D. N.. **Econometria Básica**. Tradução Maria José Cyhlar Monteiro. Rio de Janeiro: Editora Elsevier, 2006

GARCIA, Gabriel Carvalho. **Novo procedimento para inspeção de rolos de transportadores de correia utilizando um dispositivo robótico**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Controle e Automação), Universidade Federal de Ouro Preto e do Instituto Tecnológico Vale, Programa de Pós-Graduação em Instrumentação, Ouro Preto – MG, 2019. Disponíveis em: <http://www.itv.org/wp-content/uploads/2019/12/dissertacao_final_compressed.pdf> Acesso em 31 mai. 2020.

HICKMANN, Guilherme Scheffer. **Dimensionamento de um transportador de correia para o transporte de britagem**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica), Centro Universitário UNIVATES, Curso de Engenharia Mecânica, Lajeado – SC, 2017. Disponível em:

<<https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/1671/1/2017GuilhermeSchefferHickmann.PDF>> Acesso em 28 mai. 2020.

JURDZIAK, L.; HARDYGÓRA, M. **Determination of the distribution function of conveyor belt operating time**. Mine Planning and Equipment Selection, p. 427-430, 1995.

Stefaniak, P. K.; Wyłomańska, A.; Obuchowski, J.; Zimroz, R.; **Procedures for Decision Thresholds Finding in Maintenance Management of Belt Conveyor System – Statistical Modeling of Diagnostic Data** - Proc. of the 12th Int. Symp Continuous Surface Mining - Aachen 2014

LEHMANN, Axel. **14 modelos de tempo de falha com base em processos de degradação**. Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig, Departamento de Ciência da Computação, Matemática e Ciências Naturais, Universidade de Ciências Aplicadas, Leipzig, Alemanha, 2009.

LEMOS, F. D. O. **Metodologia para seleção de métodos de previsão de demanda**. [S.l.]: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006.

Karam, Karine de Almeida; da Silva, **Regressão Logística: Um Modelo de Risco de Cancelamento de Clientes**. Rio de Janeiro, 2006. 98p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Administração de Empresas, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

MINERATEC, 2020. Disponível em: <<https://www.mineratec.com.br/raspadores-de-correia>> Acesso em 07 jun. 2020.

MENEZES, I. M. DE; ALMEIDA, M. DE L.; CASTRO, C. H.; CRUZ, M. M. **Tecnologias inovadoras para maximizar a vida econômica de correias transportadoras**. 1o Congresso Mundial de Manutenção. Anais..., p. 19, 2002.

MOINO, Carolina Ceci. **Determinação da potência consumida em unidade piloto de correia transportadora, em função da velocidade e do ângulo de inclinação**. MOINO Cecilia, Universidade Santa Cecília - UNISANTA, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Santos – SP, 2018. Disponível em: <https://unisanta.br/arquivos/mestrado/mecanica/dissertacoes/Dissertacao_CAROLINACECIMOINO337.pdf> Acesso em 28 mai. 2020.

OLIVEIRA, Regina Tatiana de. **Automação em inspeções de correias transportadoras aplicadas à mineração**. Trabalho de Conclusão de Curso – TCC (Bacharel em Engenharia de Controle e Automação), Universidade Federal de Ouro Preto, Departamento de Engenharia de Controle e Automação, Ouro Preto – MG, 2019. Disponível em: <https://monografias.ufop.br/bitstream/35400000/2493/1/MONOGRAFIA_Automa%C3%A7%C3%A3oInspe%C3%A7%C3%B5esCorreias.pdf> Acesso em 31 mai. 2020.

PROCEL, **Correias transportadoras**: guia básico. Brasília : IEL/NC, 2009. 177 p. Disponível em: <<https://bucket-gw-cni-static-cms-si.s3.amazonaws.com/media/uploads/arquivos/correiasetransportadoras.pdf>> Acesso em 29 mai. 2020.

RIBEIRO, Breno Gonçalves Cardozo. **Estudo de viabilidade econômica para a implantação de correias transportadoras de ROM de minério de ferro. Estudo de caso da Mina Fábrica em Congonhas, Estado de Minas Gerais.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral), Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Departamento de Engenharia de Minas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral – PPGEM, Ouro Preto – MG, 2013. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/3447/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_EstudoViabilidadeEcon%C3%B4mica.pdf> Acesso em 28 mai. 2020.

SARANGA, H.; KNEZEVIC, J. **Reliability analysis using multiple relevant condition parameters.** Journal of Quality in Maintenance Engineering, v. 6, nº 3, p. 165-176, 2000.

SANTOS, Mário Sérgio dos. **Aplicação de Simheuristic para operação eficiente de um circuito de britagem.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Controle e Automação), Universidade Federal de Ouro Preto – Escola de Minas, Associação Instituto Tecnológico Vale – ITV, Programa de Pós-graduação em Instrumentação,.

STEIN, M.; ANZANELLO, M. J.; KAHMANN, A. **Sistemática para identificação das variáveis preditivas mais relevantes em um processo do setor metal – mecânico.** Revista Gestão Industrial, v. 10, n. 01: p. 120-135, 2014.

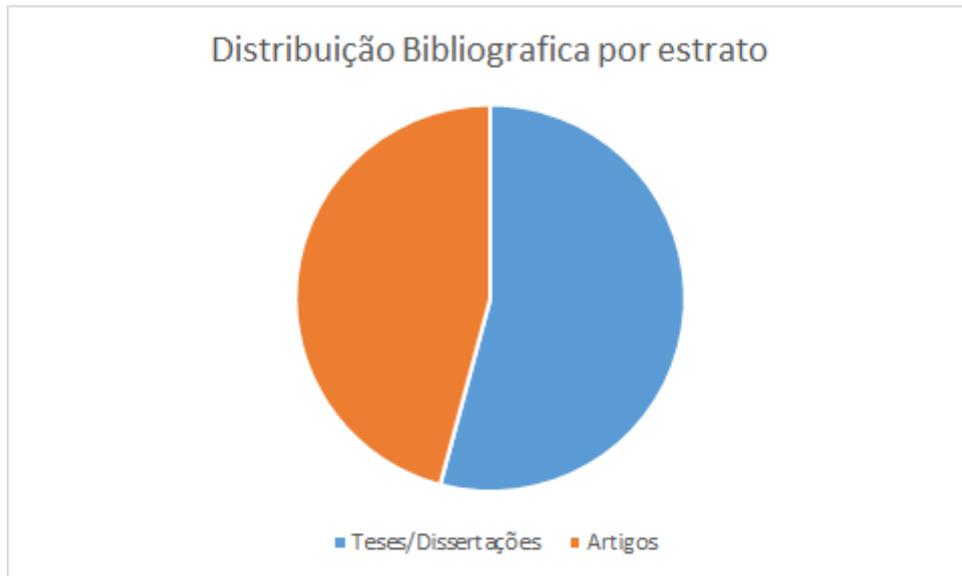
TOLEDO, William de Castro. **Correia Transportadora – Histórico e Características Construtivas: Coberturas e Carcaça.** JW Engenharia, 2020. Disponível em: <<https://www.jwservice.com.br/noticias/correia-transportadora-historico-e-caracteristicas-construtivas-coberturas-e-carcaca/>> Acesso em 07 jun. 2020.

VELOSO, Ricardo Campos. **Modelagem de curvas de degradação de correias transportadoras com base em covariáveis inerentes ao processo de mineração.** Tese (Doutorado em Engenharia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Porto Alegre – RS, 2014. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/127780/000970150.pdf?sequence=1>> Acesso em 27 mai. 2020.

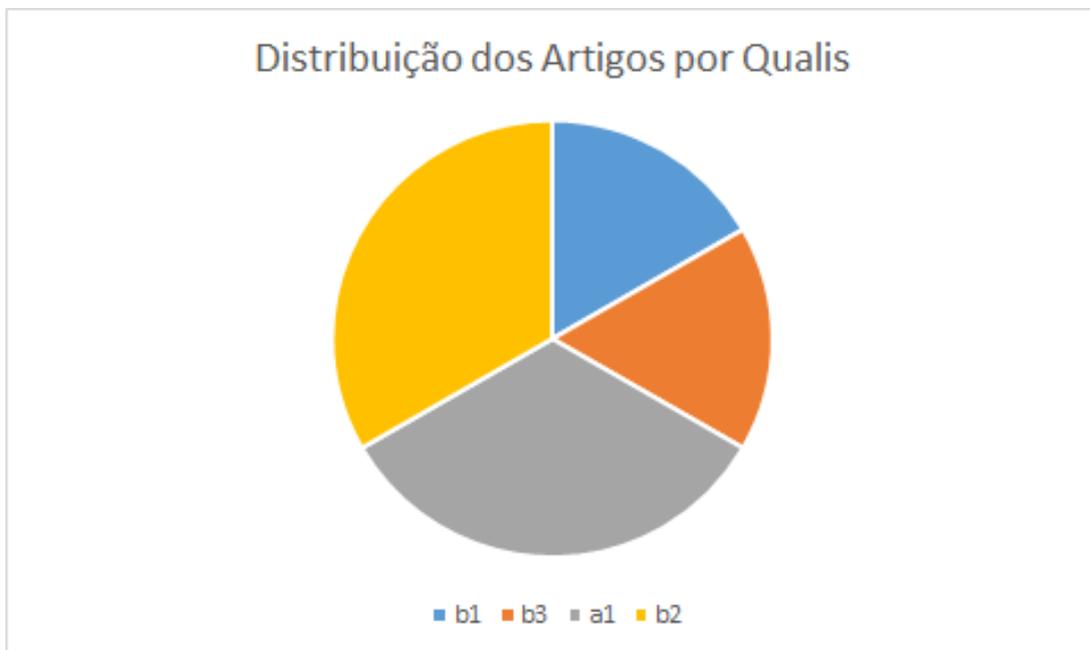
ZHAO, Lihua; LIN, Yin. **Análise típica de falhas e processamento do transportador de correia.** Revista Elsevier, Procedia Engineering, 2011, 942-946.

WARBURTON, D.; STRUTT, J. E.; ALLSOPP, K. **Reliability prediction procedures for mechanical components at the design stage.** Process Mechanical Engineering, v. 212, nº 4, p. 213-224, 1 jan 1998.

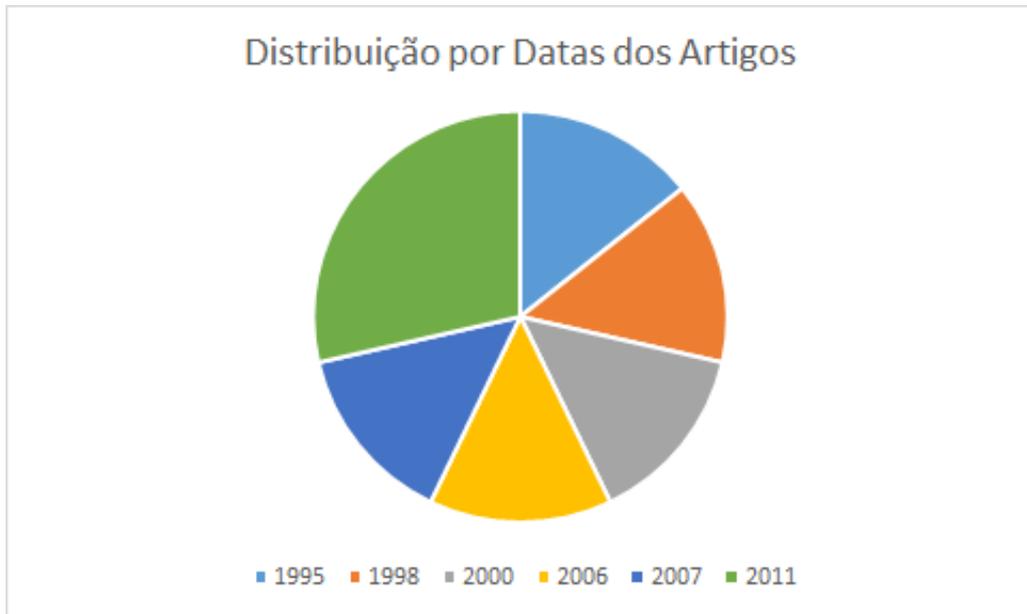
A. REFERÊNCIAS POR ESTRATO



B. REFERÊNCIAS POR QUALIS



C. REFERÊNCIAS POR DATA DOS ARTIGOS



APÊNDICE A.

Dados do volume de produção transportado pelo circuito de transportadores em estudo.

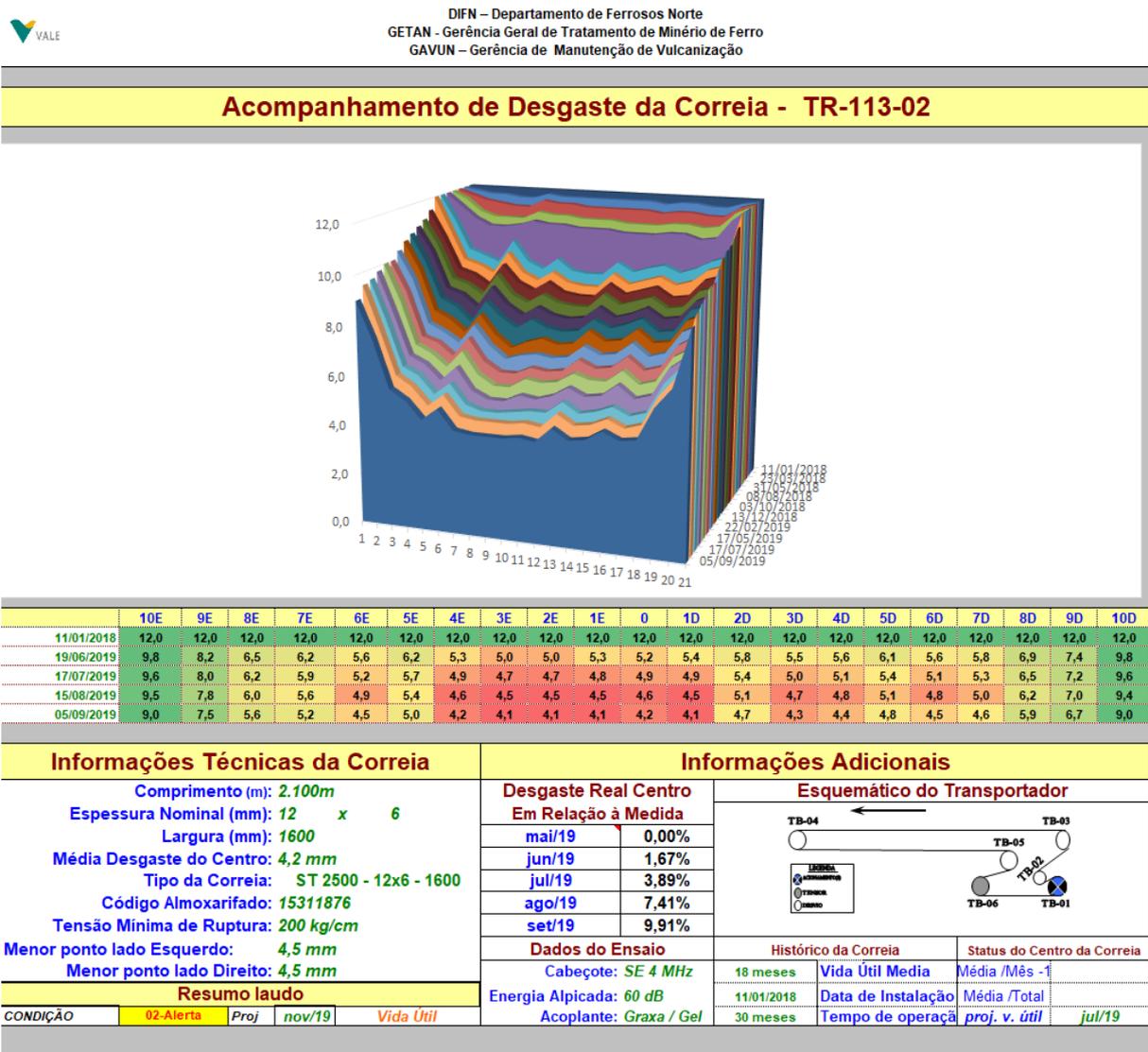
01/01/2019 00:00 31/12/2019 00:00					01/01/2019 00:00 31/12/2019 00:00				
		WQI01@TR113K05	TF01@AL113K02				WQI01@TR1130KN20	TF01@AL1130KN20	
		Produção BSM02	HT	Podutividade			Produção BSM04	HT	Podutividade
01/01/2019 00:00:00		1492603,0	46896,0	31,8	01/01/2019 00:00:00		2.722.490,00	945,00	2.880,94
02/01/2019 00:00:00		57890,0	47383,0	1,2	02/01/2019 00:00:00		60.410,00	1.088,00	55,52
03/01/2019 00:00:00		45034,0	35835,0	1,3	03/01/2019 00:00:00		33.368,37	647,92	51,50
04/01/2019 00:00:00		68525,0	56982,0	1,2	04/01/2019 00:00:00		43.651,63	855,08	51,05
05/01/2019 00:00:00		63572,0	51692,0	1,2	05/01/2019 00:00:00		36.040,00	836,00	43,11
06/01/2019 00:00:00		29571,2	27063,6	1,1	06/01/2019 00:00:00		33.605,22	727,00	46,22
07/01/2019 00:00:00		61741,4	48571,2	1,3	07/01/2019 00:00:00		38.144,78	869,00	43,90
08/01/2019 00:00:00		8545,4	7786,2	1,1	08/01/2019 00:00:00		5.530,00	106,00	52,17
09/01/2019 00:00:00		7,0	0,0	#DIV/0!	09/01/2019 00:00:00		100,00	2,00	50,00
10/01/2019 00:00:00		27882,0	22448,0	1,2	10/01/2019 00:00:00		52.860,00	893,00	59,19
11/01/2019 00:00:00		40835,0	33000,0	1,2	11/01/2019 00:00:00		30.790,00	702,00	43,86
12/01/2019 00:00:00		45906,0	43149,0	1,1	12/01/2019 00:00:00		29.765,00	799,00	37,25
13/01/2019 00:00:00		67894,0	61013,0	1,1	13/01/2019 00:00:00		41.195,00	1.012,00	40,71
14/01/2019 00:00:00		1246,0	1471,0	0,8	14/01/2019 00:00:00		35.572,23	765,60	46,46
15/01/2019 00:00:00		0,0	0,0	#DIV/0!	15/01/2019 00:00:00		42.546,96	895,88	47,49
16/01/2019 00:00:00		0,0	0,0	#DIV/0!	16/01/2019 00:00:00		25.650,82	532,52	48,17
17/01/2019 00:00:00		0,0	0,0	#DIV/0!	17/01/2019 00:00:00		43.230,00	756,00	57,18
18/01/2019 00:00:00		0,0	0,0	#DIV/0!	18/01/2019 00:00:00		31.860,00	554,00	57,51
19/01/2019 00:00:00		9,0	0,0	#DIV/0!	19/01/2019 00:00:00		61.160,00	950,00	64,38
20/01/2019 00:00:00		59641,0	56752,0	1,1	20/01/2019 00:00:00		60.900,00	1.096,00	55,57
21/01/2019 00:00:00		75602,0	66539,0	1,1	21/01/2019 00:00:00		18.800,00	435,00	43,22
22/01/2019 00:00:00		76996,0	58587,0	1,3	22/01/2019 00:00:00		-	-	-
23/01/2019 00:00:00		57079,8	41968,8	1,4	23/01/2019 00:00:00		1.998,27	45,00	44,41
24/01/2019 00:00:00		68218,2	52788,2	1,3	24/01/2019 00:00:00		48.463,80	935,00	51,83
					25/01/2019 00:00:00		38.467,93	734,00	52,41
					26/01/2019 00:00:00		50.100,00	727,00	68,91

Volume de Minério Transportado			
Mês de Operação	BSM 2	BSM 4	Cicuito BSM 1
Janeiro	3.925.903	4.954.251	8.880.154
Fevereiro	2.277.932	2.387.103	4.665.035
Março	1.004.848	1.016.448	2.021.296
Abril	2.399.852	2.321.432	4.721.284
Mai	1.644.449	1.827.990	3.472.439
Junho	308.735	5.765.830	6.074.565
Julho	0	3.045.880	3.045.880
Agosto	1.117.744	5.136.880	6.254.624
Setembro	2.751.195	3.195.690	5.946.885
Outubro	3.563.685	2.164.010	5.727.695
Novembro	3.752.296	1.509.825	5.262.121
Dezembro	3.901.196	13.916	3.915.112
Total Geral	26.647.835	33.339.255	59.987.090

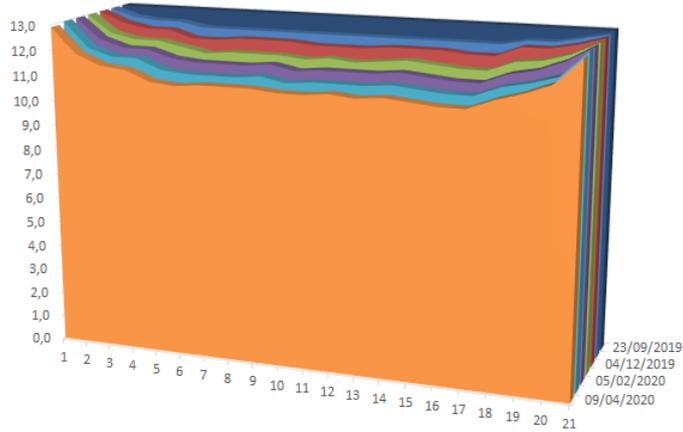
APÊNDICE B.

Acompanhamento de desgaste do transportadores:

- Acompanhamento de desgaste do transportador TR 113-02.



Acompanhamento de Desgaste da Correia - TR-113-02



	10E	9E	8E	7E	6E	5E	4E	3E	2E	1E	0	1D	2D	3D	4D	5D	6D	7D	8D	9D	10D		
23/09/2019	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	
18/01/2020	13,0	12,3	12,1	12,1	11,9	11,7	11,8	11,8	11,8	11,7	11,8	11,7	11,8	11,9	11,8	11,7	11,7	12,1	12,2	12,5	13,0	13,0	13,0
05/02/2020	13,0	12,2	11,9	11,9	11,6	11,5	11,5	11,5	11,6	11,4	11,5	11,5	11,5	11,6	11,5	11,4	11,4	11,8	12,0	12,4	13,0	13,0	13,0
18/03/2020	13,0	12,0	11,7	11,7	11,3	11,2	11,2	11,2	11,3	11,1	11,2	11,2	11,2	11,3	11,2	11,1	11,1	11,5	11,7	12,0	13,0	13,0	13,0
09/04/2020	12,9	11,9	11,5	11,4	11,0	10,9	11,0	11,0	11,0	10,9	10,9	11,0	10,9	11,0	10,9	10,8	10,8	11,2	11,5	11,9	12,9	12,9	12,9

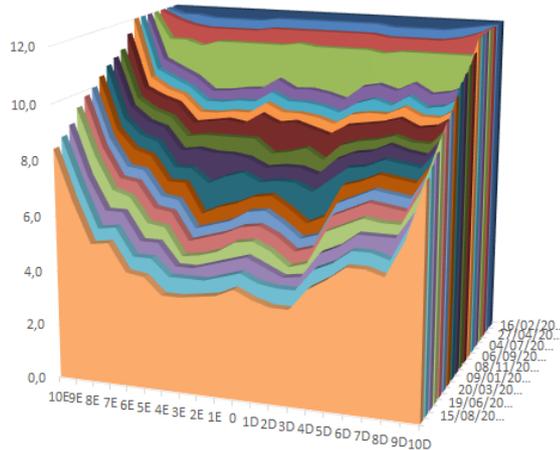
Informações Técnicas da Correia				Informações Adicionais					
Comprimento (m): 2.100m Espessura Nominal (mm): 12 x 6 Largura (mm): 1600 Média Desgaste do Centro: 11,0 mm Tipo da Correia: ST 2500 - 13x5 - 1600 Código Almoarifado: 15311876 Tensão Mínima de Ruptura: 200 kg/cm Menor ponto lado Esquerdo: 10,9 mm Menor ponto lado Direito: 10,8 mm				Desgaste Real Centro Em Relação à Medida dez/19: 0,00% jan/20: 4,62% fev/20: 6,41% mar/20: 9,32% abr/20: 11,45%		Esquemático do Transportador 			
Resumo laudo				Dados do Ensaio		Histórico da Correia		Status do Centro da Correia	
Cabeçote: SE 4 MHz Energia Alpicada: 60 dB Acoplante: Graxa / Gel				18 meses		Vida Útil Média		Média /Mês - f	
CONDIÇÃO: 03-Normal Proj mar/21 Vida Útil				22/09/2019		Data de Instalação		Média /Total	
				09 meses		Tempo de operação		proj. v. útil mar/21	

- Acompanhamento de desgaste do transportador TR 113-03.



DIFN – Departamento de Ferrosos Norte
 GETAN - Gerência Geral de Tratamento de Minério de Ferro
 GAVUN – Gerência de Manutenção de Vulcanização

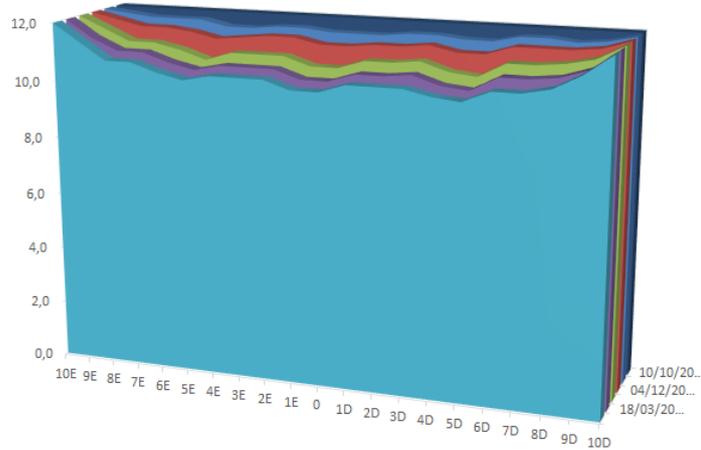
Acompanhamento de Desgaste da Correia - TR_113_03



	10E	9E	8E	7E	6E	5E	4E	3E	2E	1E	0	1D	2D	3D	4D	5D	6D	7D	8D	9D	10D	
16/02/2018	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0
19/06/2019	9,5	7,8	6,6	6,4	5,5	5,4	4,4	4,5	4,7	5,1	5,2	4,9	4,4	4,6	5,8	6,1	6,4	6,3	6,3	7,5	9,5	9,5
17/07/2019	9,0	7,2	6,0	6,0	5,0	5,0	4,2	4,2	4,4	4,6	4,8	4,5	4,2	4,3	5,2	5,5	6,0	6,0	6,0	7,0	9,0	9,0
15/08/2019	8,7	7,0	5,5	5,6	4,6	4,6	4,0	4,0	4,0	4,2	4,4	4,1	4,0	4,0	4,8	5,1	5,6	5,6	5,4	6,7	8,7	8,7
05/09/2019	8,4	6,6	5,1	5,2	4,2	4,1	3,5	3,5	3,6	3,7	4,0	3,7	3,5	3,5	4,3	4,7	5,2	5,2	5,0	6,3	8,4	8,4

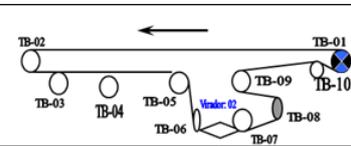
Informações Técnicas da Correia				Informações Adicionais															
Comprimento: 1322m Espessura Nominal (mm): 12 x 6 Largura (mm): 1600 Média Desgaste do Centro: 3,7 mm Tipo da Correia: ST 2500 - 12x6 - 1600 Código Almoarifado: 15311876 Tensão Mínima de Ruptura: 2500 kg/cm Menor ponto lado Esquerdo: 4,1 mm Menor ponto lado Direito: 4,7 mm				Em Relação à Medida <table border="1"> <tr><td>mai/19</td><td>0,00%</td></tr> <tr><td>jun/19</td><td>1,85%</td></tr> <tr><td>jul/19</td><td>4,35%</td></tr> <tr><td>ago/19</td><td>8,33%</td></tr> <tr><td>set/19</td><td>20,81%</td></tr> </table>				mai/19	0,00%	jun/19	1,85%	jul/19	4,35%	ago/19	8,33%	set/19	20,81%		
mai/19	0,00%																		
jun/19	1,85%																		
jul/19	4,35%																		
ago/19	8,33%																		
set/19	20,81%																		
Dados do Ensaio Cabeçote: SE 4 MHz Energia Alpicada: 60 dB Acoplante: Graxa / Gel				Histórico da Correia <table border="1"> <tr><td>18 meses</td><td>Vida Útil Média</td></tr> <tr><td>16/02/2018</td><td>Data de Instalação</td></tr> <tr><td>28 meses</td><td>Tempo de operação</td></tr> </table>		18 meses	Vida Útil Média	16/02/2018	Data de Instalação	28 meses	Tempo de operação	Status do Centro da Correia <table border="1"> <tr><td>Média /Mês</td><td>0,67</td></tr> <tr><td>Média /Total</td><td>0,44</td></tr> <tr><td>proj. v. útil</td><td>ago/19</td></tr> </table>		Média /Mês	0,67	Média /Total	0,44	proj. v. útil	ago/19
18 meses	Vida Útil Média																		
16/02/2018	Data de Instalação																		
28 meses	Tempo de operação																		
Média /Mês	0,67																		
Média /Total	0,44																		
proj. v. útil	ago/19																		
Resumo laudo CONDIÇÃO: 02-Alerta Proj out/19 Vida Útil																			

Acompanhamento de Desgaste da Correia - TR_113_03



	10E	9E	8E	7E	6E	5E	4E	3E	2E	1E	0	1D	2D	3D	4D	5D	6D	7D	8D	9D	10D
10/10/2019	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0
04/12/2019	12,0	11,8	11,6	11,6	11,5	11,3	11,4	11,5	11,5	11,3	11,3	11,4	11,4	11,5	11,3	11,3	11,6	11,6	11,6	11,7	12,0
05/02/2020	12,0	11,6	11,2	11,2	11,0	10,7	11,0	11,0	11,0	10,7	10,7	11,0	11,0	11,1	10,8	10,7	11,2	11,2	11,3	11,5	12,0
18/03/2020	12,0	11,4	11,0	11,0	10,7	10,5	10,7	10,7	10,7	10,4	10,4	10,7	10,7	10,8	10,5	10,4	10,9	10,9	11,0	11,3	12,0
09/04/2020	12,0	11,4	10,8	10,8	10,5	10,3	10,5	10,5	10,5	10,2	10,2	10,5	10,5	10,5	10,3	10,2	10,6	10,6	10,8	11,3	12,0

Informações Técnicas da Correia		Informações Adicionais	
Comprimento: 1322m Espessura Nominal (mm): 12 x 6 Largura (mm): 1600 Média Desgaste do Centro: 10,4 mm Tipo da Correia: ST 2500 - 12x6 - 1600 Código Almoarifado: 15311876 Tensão Mínima de Ruptura: 2500 kg/cm Menor ponto lado Esquerdo: 10,3 mm Menor ponto lado Direito: 10,2 mm		Em Relação à Medida	
		nov/19	0,00%
		dez/19	2,96%
		fev/20	5,00%
		mar/20	8,98%
		abr/20	11,48%
		Dados do Ensaio	
Cabeçote: SE 4 MHz		18 meses	Vida Útil Média
Energia Alpicada: 60 dB		10/10/2019	Data de Instalação
Acoplante: Graxa / Gel		08 meses	Tempo de operação
		Status do Centro da Correia	
		Média /Mês	0,29
		Média /Total	0,26
		proj. v. útil	abr/21
Resumo laudo			
CONDIÇÃO	02-Aperta	Proj	abr/21
			Vida Útil

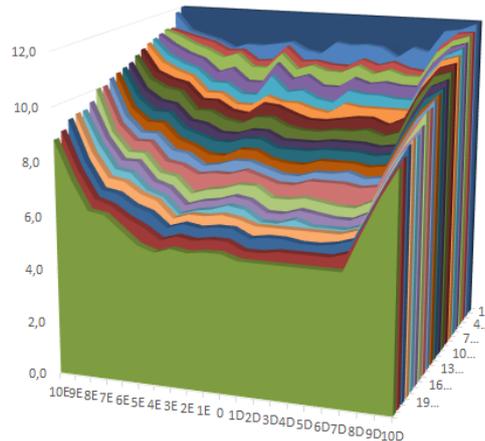


- Acompanhamento de desgaste do transportador TR 113-04.



DIFN – Departamento de Ferrosos Norte
 GETAN - Gerência Geral de Tratamento de Minério de Ferro
 GAVUN – Gerência de Manutenção de Vulcanização

Acompanhamento de Desgaste da Correia - TR_113_04

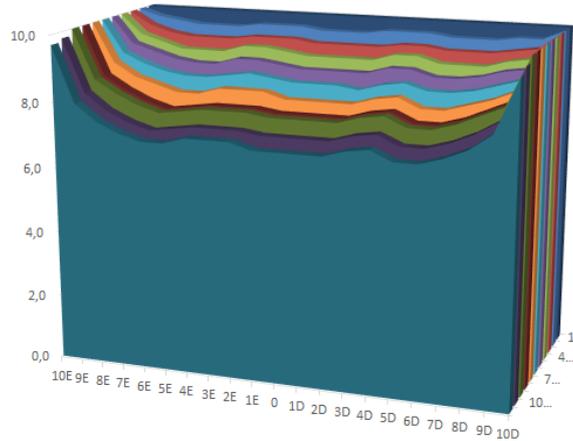


	10E	9E	8E	7E	6E	5E	4E	3E	2E	1E	0	1D	2D	3D	4D	5D	6D	7D	8D	9D	10D
04/07/2018	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0
18/01/2020	9,4	8,0	7,1	7,0	6,6	6,4	5,8	6,0	6,0	6,1	6,0	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	6,0	7,2	8,4	9,4
05/02/2020	9,3	7,8	6,8	6,7	6,3	6,1	5,6	5,8	5,7	5,8	5,8	5,5	5,6	5,6	5,5	5,5	5,6	5,8	7,0	8,2	9,3
19/03/2020	9,0	7,6	6,6	6,4	6,0	5,7	5,3	5,5	5,4	5,5	5,5	5,2	5,2	5,2	5,3	5,3	5,5	5,5	6,7	8,0	9,0
09/04/2020	8,8	7,4	6,3	6,2	5,7	5,2	5,0	5,2	5,1	5,2	5,2	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	6,4	7,7	8,8

Informações Técnicas da Correia		Informações Adicionais													
Comprimento (m): 2251-1060 Espessura Nominal (mm): 12 x 6 Largura (mm): 2200 Média Desgaste do Centro: 5,1 mm Tipo da Correia: ST 2200 - 12X6 - 2200 Código Almojarifado: 15405170 Tensão Mínima de Ruptura: 2000 kg/cm Menor ponto lado Esquerdo: 5,2 mm Menor ponto lado Direito: 5,0 mm		Desgaste Real Centro Em Relação à Medida <table border="1"> <tr><td>dez/19</td><td>0,00%</td></tr> <tr><td>jan/20</td><td>10,10%</td></tr> <tr><td>fev/20</td><td>14,22%</td></tr> <tr><td>mar/20</td><td>15,65%</td></tr> <tr><td>abr/20</td><td>18,98%</td></tr> </table>		dez/19	0,00%	jan/20	10,10%	fev/20	14,22%	mar/20	15,65%	abr/20	18,98%		
dez/19	0,00%														
jan/20	10,10%														
fev/20	14,22%														
mar/20	15,65%														
abr/20	18,98%														
Resumo laudo <table border="1"> <tr> <td>CONDIÇÃO</td> <td>02-Aperta</td> <td>Proj</td> <td>abr/20</td> <td>Vida Útil</td> </tr> </table>		CONDIÇÃO	02-Aperta	Proj	abr/20	Vida Útil	Esquemático do Transportador TR 113-04 (2200mm) 								
CONDIÇÃO	02-Aperta	Proj	abr/20	Vida Útil											
Dados do Ensaio Cabeçote: SE 4 MHz Energia Alpicada: 60 dB Acoplante: Graxa / Gel		Histórico da Correia <table border="1"> <tr> <td>20 meses</td> <td>Vida Útil Media</td> <td>Média /Mês -1</td> <td>0,40</td> </tr> <tr> <td>04/07/2018</td> <td>Data de Instalação</td> <td>Média /Total</td> <td>0,32</td> </tr> <tr> <td>24 meses</td> <td>Tempo de operação</td> <td>proj. v. útil</td> <td>mar/20</td> </tr> </table>		20 meses	Vida Útil Media	Média /Mês -1	0,40	04/07/2018	Data de Instalação	Média /Total	0,32	24 meses	Tempo de operação	proj. v. útil	mar/20
20 meses	Vida Útil Media	Média /Mês -1	0,40												
04/07/2018	Data de Instalação	Média /Total	0,32												
24 meses	Tempo de operação	proj. v. útil	mar/20												
Status do Centro da Correia <table border="1"> <tr> <td>Média /Mês -1</td> <td>0,40</td> </tr> <tr> <td>Média /Total</td> <td>0,32</td> </tr> <tr> <td>proj. v. útil</td> <td>mar/20</td> </tr> </table>		Média /Mês -1	0,40	Média /Total	0,32	proj. v. útil	mar/20								
Média /Mês -1	0,40														
Média /Total	0,32														
proj. v. útil	mar/20														



Acompanhamento de Desgaste da Correia - TR_113_04



	10E	9E	8E	7E	6E	5E	4E	3E	2E	1E	0	1D	2D	3D	4D	5D	6D	7D	8D	9D	10D
17/05/2019	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
06/12/2019	10,0	8,5	8,1	7,8	7,6	7,7	7,8	7,8	7,8	7,7	7,7	7,7	7,7	7,9	8,0	7,7	7,7	7,9	8,2	8,5	10,0
18/01/2020	10,0	8,5	8,1	7,8	7,6	7,7	7,8	7,8	7,8	7,7	7,7	7,7	7,7	7,9	8,0	7,7	7,7	7,9	8,2	8,5	10,0
19/03/2020	9,8	8,2	7,7	7,4	7,2	7,3	7,4	7,4	7,4	7,3	7,3	7,3	7,3	7,5	7,6	7,3	7,3	7,5	7,8	8,2	9,8
09/04/2020	9,7	8,0	7,5	7,2	7,0	7,0	7,2	7,2	7,2	7,0	7,0	7,0	7,0	7,2	7,3	7,0	7,0	7,2	7,5	8,0	9,6

Informações Técnicas da Correia				Informações Adicionais			
Comprimento (m): 1060m Espessura Nominal (mm): 12 x 6 Largura (mm): 2200 Média Desgaste do Centro: 7,1 mm Tipo da Correia: ST-2200 10x6 2200 Código Almojarifado: 15405170 Tensão Mínima de Ruptura: 2000 kg/cm Menor ponto lado Esquerdo: 7,0 mm Menor ponto lado Direito: 7,0 mm				Desgaste Real Centro Em Relação à Medida nov/19 -20,00% dez/19 3,33% jan/20 6,44% mar/20 9,00% abr/20 11,00%			
Resumo laudo CONDIÇÃO 03-Normal Proj jan/21 Vida Útil				Esquemático do Transportador TR 113-04 (2200mm) 		Dados do Ensaio Cabeçote: SE 4 MHz Energia Alpicada: 60 dB Acoplante: Graxa / Gel	
				Histórico da Correia 20 meses Vida Útil Media 17/05/2019 Data de Instalação 13 meses Tempo de operação		Status do Centro da Correia Média /Mês -f 0,38 Média /Total 0,45 proj. v. útil jan/21	