

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E MECÂNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Pedro Henrique Duque Saber de Lima

**Emprego dos conceitos da engenharia da confiabilidade para determinação
do ponto ótimo de manutenção preventiva de equipamento industrial**

Juiz de Fora

2020

Pedro Henrique Duque Saber de Lima

**Emprego dos conceitos da engenharia da confiabilidade para determinação
do ponto ótimo de manutenção preventiva de equipamento industrial**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à Faculdade de Engenharia da Universidade
Federal de Juiz de Fora, como requisito par-
cial para a obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Henrique Dias Alvez

Juiz de Fora

2020

Pedro Henrique Duque Saber de Lima

Emprego dos conceitos da engenharia da confiabilidade para determinação do ponto ótimo de manutenção preventiva de equipamento industrial

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Luiz Henrique Dias Alvez - Orientador
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. Raphael Marcomini Archives
Universidade Federal de Juiz de Fora

Ana Beatriz Calegari
U&M Mineração e Construção SA

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meu pais, José Ely e Eliane, e a toda minha família pelo incentivo e apoio que me deram durante minha formação. A minha namorada, Ágatha, que sempre esteve ao meu lado nas horas boas e ruins. Aos meus amigos por todo apoio e compreensão pela minha ausência.

Agradeço ao meu orientador, Luiz Alves, e a todos os professores da Faculdade de Engenharia e ICE pelo conhecimento oferecido. A minha equipe de coração Rampage BAJA UFJF, onde aprendi o significado de equipe e criei amizades para a vida toda. Por fim, agradeço a U&M, pela oportunidade que me foi dada.

De uma forma suave, você pode sacudir o mundo.

(Mahatma Gandhi)

RESUMO

Apresenta-se os resultados da aplicação dos conceitos da engenharia da confiabilidade em um equipamento crítico da oficina de manutenção de uma empresa de mineração do sudeste de Minas Gerais. Para seu desenvolvimento foram avaliados os tempos entre falhas durante o período de 15 meses. Empregou-se o *software Microsoft Excel* e seus suplementos para determinação dos parâmetros de forma β e da característica de vida η constantes na equação de Weibull. A partir desses parâmetros determinou-se a distribuição cumulativa de falha $F(t)$ e a curva de confiabilidade $R(t)$. Os custos para determinação do ponto ótimo de manutenção foram determinados de acordo com os dados coletados pela empresa, contabilizando material gasto, mão de obra especializada e custo de parada de produção. Os resultados mostraram que o equipamento apresenta um taxa de falha crescente, causando a interrupção das atividades da oficina. Com os dados obtidos foi possível avaliar qual seria o melhor momento para a realização de uma manutenção preventiva do equipamento.

Palavras-chave: Manutenção. Confiabilidade. Weibull. Ponte rolante.

ABSTRACT

It presents the results of applying the reliability engineering concepts in a critical maintenance equipment of a mining company in the southeastern Minas Gerais. For its development were evaluated times between failures during the 15-month period. The *Microsoft Excel software* and its supplements were used to determine the β shape parameters and the η life characteristic, both constants listed in the Weibull equation. From these parameters, the cumulative fault distribution $F(t)$ and the reliability curve $R(t)$ were determined. The costs for calculating the optimum maintenance point were determined according to the data collected by the company, taking into account spent material, cost of specialized labor and production stoppage cost. The results showed that the equipment has an increasing failure rate, causing the interruption of the workshop activities. With the data obtained, it was possible to assess what would be the best time to execute a preventive maintenance of the equipment.

Key-words: Maintenance. Reliability. Weibull. Overhead crane.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Oficina central U&M Matias Barbosa (fonte: https://vocesa.abril.com.br/melhores-empresas/os-funcionarios-da-u-m-pegam-carona-na-expansao-da-china/)	13
Figura 2 – Aumento das expectativas de manutenção (fonte: Adaptado de Moubray (1997))	16
Figura 3 – Mudança das técnicas de manutenção (fonte: Adaptado de Moubray (1997))	16
Figura 4 – Manutenção corretiva não planejada (fonte: https://slideplayer.com.br/slide/10458712/)	
Figura 5 – Curva exemplo de um sensor de aceleração e o espectro de frequência (fonte: https://www.venturus.org.br/analise-de-vibracao-de-maquinas-para-manutencao-preditiva/)	20
Figura 6 – Tipos de manutenção por confiabilidade e custo (fonte: Kardec & Nascif (2009))	21
Figura 7 – Sistema em série (fonte: FOGLIATTO e RIBEIRO (2009))	22
Figura 8 – Sistema em paralelo (fonte: FOGLIATTO e RIBEIRO (2009))	23
Figura 9 – Curva da banheira (fonte: FOGLIATTO e RIBEIRO (2009))	24
Figura 10 – Fator β na curva de distribuição de probabilidade de Weibull (fonte:Notas de aula L. H. D. Alves.)	26
Figura 11 – Fator na curva de distribuição de probabilidade de Weibull (fonte:Adaptado de Life data analysis reference - ReliaSoft)	27
Figura 12 – A origem da falha (fonte: YAMAGUCHI, 2009)	28
Figura 13 – Ponte rolante da oficina (fonte: U&M Mineração e Construção SA)	30
Figura 14 – Regressão linear, calculando os valores de β e η (fonte: Autor)	36
Figura 15 – Gráfico do ajustes da curva (fonte: Autor)	37
Figura 16 – Gráfico da confiabilidade e probabilidade de falha por TTF (fonte: Autor)	38
Figura 17 – Gráfico representando o custo de manutenção preventiva e corretiva (fonte: Autor)	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela de pesos para determinação do NPR (fonte: adaptado Kardec & Nascif (2009))	29
Tabela 2 – Parte da tabela dos dados da ponte rolante com os apontamentos (fonte: Autor)	32
Tabela 3 – Tempo médido entre falhas (fonte: Autor)	33
Tabela 4 – Tempo médido entre falhas ordenados em ordem decrescente (fonte: Autor)	34
Tabela 5 – Cálculo do medianrank dos dados de TTF (fonte: Autor)	35
Tabela 6 – Cálculos de confiabilidade e probabilidade de falha (fonte: Autor) . . .	37
Tabela 7 – Parte do cálculo do custo de manutenção preventiva e corretiva (fonte: Autor)	39
Tabela 8 – Menor valor do custo total (fonte: Autor)	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
MCC	Manutenção Centrada na Confiabilidade
TPM	Manutenção Produtiva Total
RCM	Manutenção Centrada na Confiabilidade
RBM	Manutenção Baseada em Risco
TTF	Tempo para Falha
FMEA	Análise do Modo e Efeito de Falha
NPR	Número de Prioridade de Risco

LISTA DE SÍMBOLOS

β	Parâmetro de forma relacionado à característica da falha
η	Parâmetro de escala
γ	Vida útil mínima
λ	Taxa de falha
R	Confiabilidade
A	Disponibilidade
TMEF	Tempo médio entre falhas
TMPR	Tempo médio entre reparos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Considerações iniciais	12
1.2	Motivação	12
1.3	Objetivos	13
1.4	Metodologia	14
1.5	Estrutura do trabalho	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1	A história da Manutenção	15
2.2	Técnicas de Manutenção	17
2.2.1	Manutenção corretiva	17
2.2.2	Manutenção preventiva	18
2.2.3	Manutenção preditiva	19
2.2.4	Manutenção Detectiva	20
2.2.5	Engenharia de Manutenção	21
2.3	Indicadores de manutenção	21
2.3.1	Confiabilidade	21
2.3.2	Disponibilidade Operacional	23
2.3.3	Taxa de falha	24
2.4	Distribuição de Weibull	25
2.5	Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC)	27
2.6	Análise de Falha	28
2.7	Análise do modo e efeito de falha (FMEA)	28
3	METODOLOGIA	30
4	RESULTADOS E ANÁLISES	32
5	CONCLUSÕES	41
	REFERÊNCIAS	42
	APÊNDICE A – Dados dos custos	43
	ANEXO A – DECLARAÇÃO DA EMPRESA	48
	ANEXO B – TERMO DE AUTENTICIDADE	50

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

A principal ferramenta para auxiliar uma empresa e seus equipamentos em operação é a manutenção. Uma manutenção bem organizada, com foco na antecipação das falhas e redução do tempo de máquina parada tem como resultado a diminuição dos custos e aumento na receita.

A manutenção centrada na confiabilidade surge com o aumento da automatização das indústrias juntamente com o consumo em larga escala pelos produtos industrializados. Um dos fatores que impulsionaram o alto consumo foi a mudança na gestão de estoque das empresas, reduzido a disponibilidade física (“just in time”, estoque reduzido). Sendo assim, viu-se necessário aumentar a confiabilidade e disponibilidade das máquinas.

1.2 Motivação

A empresa U&M Mineração e Construção SA atua no ramo de movimentação de terra, prestando serviço para grandes mineradoras na remoção de mineiros. Atualmente, a empresa, possui uma grande frota de caminhões fora de estrada, escavadeira, tratores e afins.

Para reduzir custos a empresa trabalha com aquisição de equipamentos usados, comprados em leilões, desconhecendo, assim, o histórico de uso, bem como como horímetros e qualidade das peças implementadas.

Com o decorrer da operação, vários componentes desses equipamentos falham, sendo assim necessário sua reforma. Com a finalidade de reduzir o custo de reforma, a empresa realiza a atividade em sua oficina central localizada em Matias Barbosa, Minas Gerais e Canaã dos Carajás, Pará.



Figura 1 – Oficina central U&M Matias Barbosa (fonte:<https://vocesa.abril.com.br/melhores-empresas/os-funcionarios-da-u-m-pegam-carona-na-expansao-da-china/>)

Por se tratar de componentes com peso elevado é necessário ferramentas e equipamentos compatíveis para sua movimentação. Atualmente, na central Matias Barbosa, a empresa possui quatro pontes rolantes e um pórtico para a movimentação das peças.

As pontes rolantes são equipamentos utilizados para içar e movimentar peças com grande volume. Ela é instalada entre as vigas elevadas permitindo assim seu deslocamento em toda oficina. Sua utilização facilita o manuseio e o transporte de carga além de diminuir o tempo de movimentação e aumentar a segurança no trabalho.

1.3 Objetivos

Este trabalho tem como finalidade avaliar o ponto ótimo para atuação da manutenção de ponte rolante de 20 toneladas que opera na oficina de Matias Barbosa.

Para atender a esse objetivo principal faz-se necessário atender aos seguintes objetivos específicos:

- Levantamento de dados de paradas do equipamento;;
- Determinação das curvas de confiabilidade e de falha com base no modelo de Weibull;
- Determinação dos custo de manutenção corretiva e preventiva para esse equipamento;
- Determinação do custo ótimo.

1.4 Metodologia

Esta pesquisa é de natureza aplicada. Seus resultados servirão como base para a tomada de decisões sobre planos de manutenção do referido equipamento. Quanto aos seus objetivos, será uma pesquisa descritiva e exploratória. Descritiva, pois será descrito um fato real e exploratória uma vez que, com base nos dados levantados de parada do equipamento, serão propostas ações para a implementação do plano de manutenção.

A abordagem será quantitativa e o método será pesquisa-ação, já que o pesquisador está interagindo diretamente com o problema e com a equipe envolvida para a tomada de decisão futura. (MIGUEL, 2010).

Seu desenvolvimento se dará conforme os seguintes passos:

- Coleta de dados de um dado período;
- Tratativa de dados usando software de confiabilidade e determinação dos parâmetro de Weibull a partir da plataforma EXCEL;
- Determinação do custo;
- Análise de dados para determinação do ponto ótimo.

1.5 Estrutura do trabalho

O capítulo I apresenta as considerações iniciais e a metodologia.

O capítulo II apresenta o referencial teórico.

O capítulo III apresenta a parte referente a materiais e métodos.

O capítulo IV apresenta os resultados, e o capítulo cinco as conclusões e recomendações.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 A história da Manutenção

A manutenção é utilizada como prática para garantir que um ativo desempenhe com segurança a função para o qual foi projetado. O termo manutenção é definido pela NBR 5462 como um conjunto de ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida. As manutenções são combinações de ações conduzidas para substituir, revisar ou modificar componentes que apresentam ou não falhas, fazendo com que o mesmo opere dentro de uma disponibilidade específica em um determinado espaço de tempo.

Com o decorrer do tempo podemos dividir a manutenção em três gerações específicas. De acordo com KARDEC & NASCIF, 2009, a primeira geração abrange o período antes da Segunda Guerra mundial, onde as indústrias possuíam poucas mecanizações, equipamentos com componentes simples e superdimensionados. Na época a produtividade não era item de prioridade dentre as indústrias, sendo assim não era realizada uma manutenção sistematizada do equipamento, apenas serviço de limpeza, lubrificação e reparo após a quebra. Essa fase era voltada para uma manutenção corretiva.

A segunda geração ocorreu após a Segunda Grande Guerra. Segundo KARDEC & NASCIF, 2009, nesse período houve um grande aumento na mecanização e na complexidade das instalações industriais. Com a busca de maior produtividade veio a necessidade de melhorar a confiabilidade dos equipamentos, com isso a ideia de que as falhas dos equipamentos deveriam ser mapeadas, dando assim a origem na manutenção preventiva. inicialmente as preventivas eram feitas em intervalos fixos, desconsiderando o desgaste do equipamento ao longo do tempo. Contudo, o custo das manutenções aumentaram e esse fato fez aumentar também os sistemas de planejamento e controle de manutenção que é hoje uma parte importante da manutenção moderna.

A terceira geração surgiu a partir da década de 70 com a tendência mundial na utilização do just-in-time, onde os estoques eram reduzidos dependendo de uma produção contínua das fábricas. A paralisação da produção pelo equipamento aumentam os custos e a perda de qualidade dos produtos. KARDEC & NASCIF, 2009, ressalta que a crescente automação e mecanização das fábricas mostraram que a confiabilidade e disponibilidades dos equipamento tornaram se pontos para as indústrias. Além disso, com a automatização tivemos um aumento na probabilidade da despadronização da qualidade estabelecida.

A Figura (2) encontra-se representado o aumento das expectativas de manutenção ao longo dos anos, já na Figura (3) temos a representação da mudança das técnicas de manutenção. É possível perceber através das duas imagens que há um grande avanço na manutenção a partir da década de 70.



Figura 2 – Aumento das expectativas de manutenção (fonte: Adaptado de Moubray (1997))

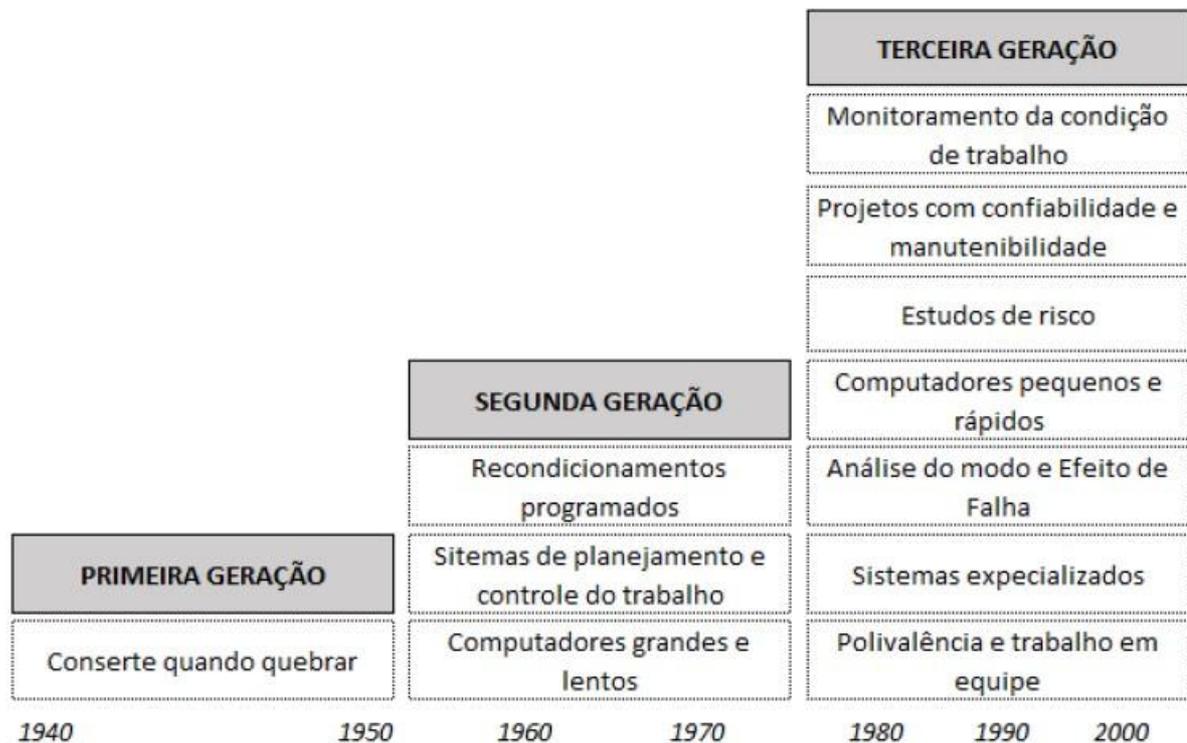


Figura 3 – Mudança das técnicas de manutenção (fonte: Adaptado de Moubray (1997))

2.2 Técnicas de Manutenção

Podemos classificar os vários tipos de manutenção existentes através da forma como ela é implementada, podendo ser antecipadamente à falha ou após ao acontecido. Muitos autores classificam manutenção nos seguintes tipos: corretiva, preventiva, preditiva, detectiva e engenharia de manutenção.

Com o decorrer do tempo foram surgindo ferramentas para auxiliar a manutenção dos equipamentos. Apesar de elas possuírem manutenção em seu nome elas não são um novo tipo de classificação e sim um implemento que deve ser aplicado no tipo de manutenção. Como por exemplo:

- Manutenção Produtiva Total (TPM) ou Total Productive Maintenance;
- Manutenção Centrada na Confiabilidade (RCM) ou Reliability Centered Maintenance;
- Manutenção Baseada em Risco (RBM) ou Risk Based Maintenance.

2.2.1 Manutenção corretiva

De acordo com a ABNT NBR 5462, 1994, a manutenção corretiva é a atividade realizada após a ocorrência de uma falha como o objetivo de recolocar um item em condições de executar sua função inicial. A manutenção corretiva é em muitas vezes a técnica mais utilizada por ser a mais simples.

A manutenção corretiva pode ainda ser subdividida em:

- Corretiva não planejada: a correção da falha ou do desempenho abaixo do esperado é realizada sempre após a ocorrência do fato, sem acompanhamento ou planejamento anterior, aleatoriamente. Implica em altos custos e baixa confiabilidade de produção, já que gera ociosidade e danos maiores aos equipamentos, muitas vezes irreversíveis (OTANI & MACHADO, 2008).
- Corretiva planejada: “É a correção do desempenho menor do que o esperado ou da falha, por decisão gerencial, isto é, pela atuação em função de acompanhamento preditivo ou pela decisão de operar até a quebra”. (SANTOS, 2012).

Normalmente a corretiva não planejada acaba acarretando alto custo, pois com a quebra há a perda de produção, de qualidade e elevados custos indiretos de manutenção. Além disso, a quebra pode causar consequências sérias ao equipamento excedendo os custos de manutenção.

A Figura (4) representa um exemplo de uma manutenção corretiva não planejada. É possível observar uma redução do desempenho do equipamento, ocorrendo falhas cada

vez mais recentemente. Além disso, o desempenho é reduzido ao longo de sua operação até uma que ocorra a falha.

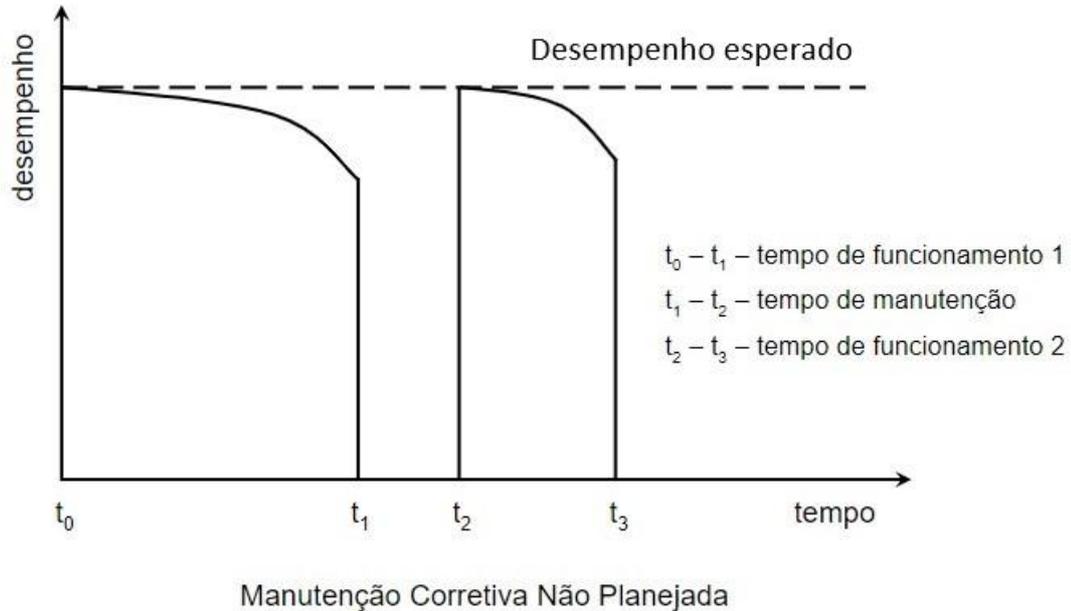


Figura 4 – Manutenção corretiva não planejada (fonte: <https://slideplayer.com.br/slide/10458712/>)

2.2.2 Manutenção preventiva

A manutenção preventiva ocorre através de alguma variável, seja por tempo, horímetro, ciclo operacional, afins. Esse tipo de manutenção se caracteriza por obrigar a parada do equipamento ou sistema. Em determinados setores a manutenção preventiva se torna essencial pois seu fator de segurança é superior aos demais.

Segundo Marçal (2004) a manutenção preventiva se subdivide em:

- Manutenção preventiva programada ou sistemática: é quando os serviços de manutenção são efetuados de maneira periódica, através de intervalos pré-estabelecidos, dias de calendários, ciclos de operações, horas de operações e outros, desprezando as condições dos componentes envolvidos.
- Manutenção preventiva de rotina: são as manutenções preventivas feitas com intervalos pré-determinados e de tempos reduzidos, com prioridades claramente definidas e curtas duração de execução, na maioria das vezes apoiadas apenas nos sentidos humanos, sem causar a indisponibilidade da instalação ou equipamento. Geralmente são conhecidas como inspeções e verificações sistemáticas apoiadas pelo uso de checklist ou demais controles.

Segundo KARDEC & NASCIF, 2009, esse tipo de manutenção apresenta alguns pontos negativos com a introdução de defeitos não existentes no equipamento, como a falha humana, falha de sobressalentes, contaminações no sistema de óleo ou lubrificação e danos durante a retomada de operação ou na parada.

2.2.3 Manutenção preditiva

A manutenção preditiva utiliza de acompanhamentos de variáveis e parâmetro de desempenho de máquinas e equipamentos, tem como objetivo avaliar o momento exato para a intervenção, para assim obter o máximo de aproveitamento do ativo. Atualmente temos duas forma de análise mais utilizadas, a termografia e a análise de vibração. Através da termografia é possível avaliar por exemplo o aumento de temperatura em um sistema hidráulico, e conseqüentemente avaliar uma possível falha.

Com o monitoramento de vibração verifica-se a vibração característica de cada componente de um equipamento. Quando a vibração sobressai a especificada podemos verificar uma possível falha. A Figura (5) representa um exemplo de manutenção preditiva utilizando um sensor de aceleração e o espectro de frequência.

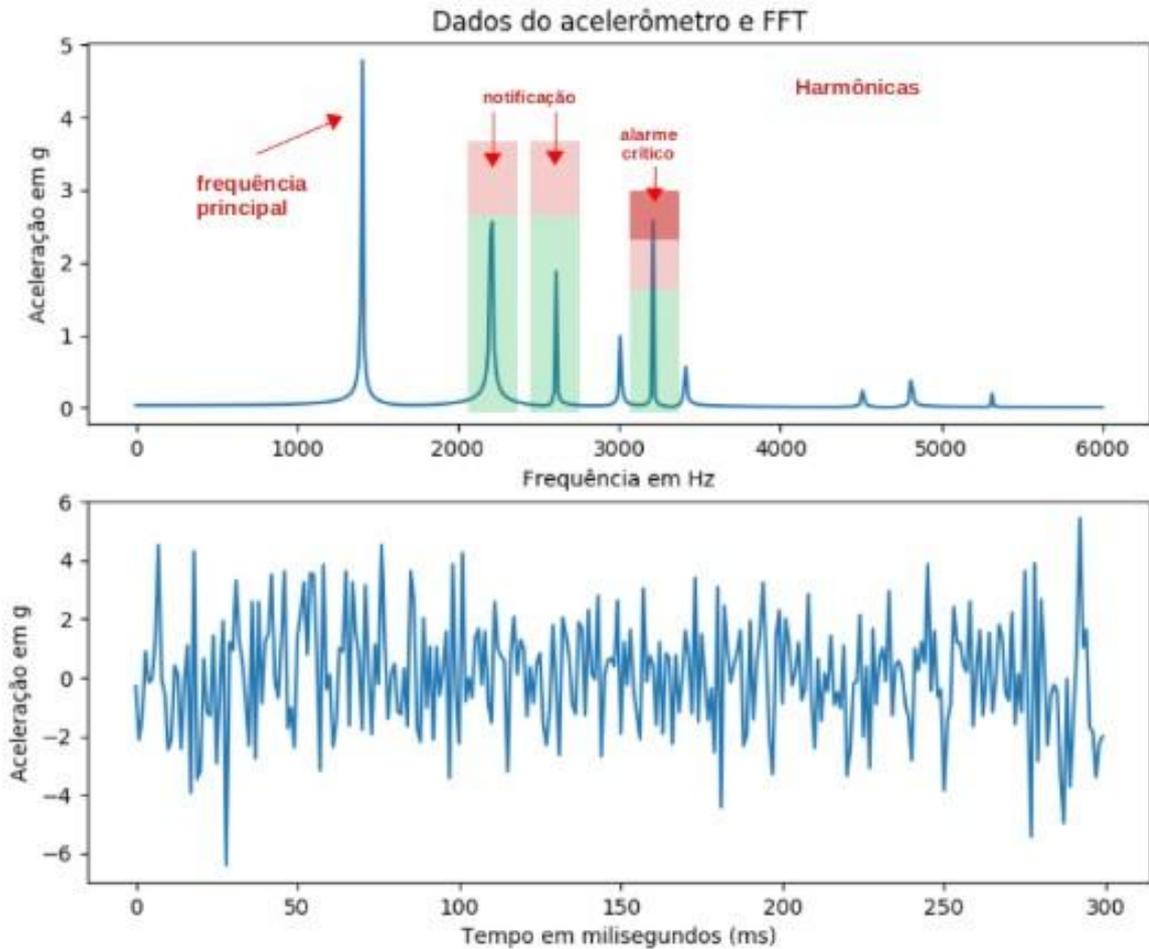


Figura 5 – Curva exemplo de um sensor de aceleração e o espectro de frequência (fonte: <https://www.venturus.org.br/analise-de-vibracao-de-maquinas-para-manutencao-preditiva/>)

2.2.4 Manutenção Detectiva

A manutenção detectiva surgiu a partir da década de 90. KARDEC & NASCIF, 2009, define manutenção detectiva como a atuação efetuada em sistemas de proteção, comando e controle, buscando detectar falhas ocultas ou não perceptíveis ao pessoal de operação e manutenção.

Com a crescente automatização das plantas industriais esse tipo de manutenção vem sendo implementada por garantir a confiabilidade da produção. A manutenção detectiva possibilita a correção de alguns erros sem a necessidade de interrupção da linha de produção.

2.2.5 Engenharia de Manutenção

A Engenharia de Manutenção é definido por KARDEC & NASCIF, 2009, como uma mudança cultural que consiste em um suporte técnico dedicado na consolidação da rotina e implementar melhorias. Ainda segundo KARDEC & NASCIF, 2009, é de responsabilidade da engenharia de manutenção aumentar a confiabilidade e a disponibilidade, melhorar a manutenibilidade e a segurança, melhorar a capacitação dos operários, elaborar e melhorar planos de manutenção e fazer uma análise sobre as falhas ocorridas.

Um dos pontos importantes da engenharia de manutenção está na coleta de informações dos equipamentos. É através dos dados que se torna possível a utilização de ferramentas melhorando ainda mais a confiabilidades e produtividade de um ativo.

A Figura (6) representa um exemplo de como cada tipo de manutenção reflete na disponibilidade, confiabilidade, segurança e meio ambiente dos equipamento. É possível verificar um dos ganhos utilizando uma manutenção preditiva e a engenharia de manutenção.



Figura 6 – Tipos de manutenção por confiabilidade e custo (fonte: Kardec & Nascif (2009))

2.3 Indicadores de manutenção

2.3.1 Confiabilidade

De acordo com FOGLIATTO & RIBEIRO, 2009, com o aumento da demanda surgiu a necessidade de reduzir a probabilidade de falha nos produtos devido ao aumento nos custos e riscos a segurança, resultando no surgimento do conceito de confiabilidade. Sendo assim, a confiabilidade é a probabilidade de um equipamento executar sua função durante

um determinado período de tempo sob uma mesma condição de operação. Podemos calcular confiabilidade através da Equação(2.1)

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (2.1)$$

$$F(t) = \int_0^t f(t)dt \quad (2.2)$$

Onde:

- R(t): confiabilidade do equipamento em um dado tempo t;
- F(t): função probabilidade de falha;
- f(t): função densidade de probabilidade;

Podemos descrever a função de densidade de probabilidade pela Equação (2.3).

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta}} \quad (2.3)$$

Onde:

- t: Tempo de funcionamento (número de horas em operação);
- γ : tempo até a falha inicial ou vida útil mínima;
- β : Fator de forma;
- η : Parâmetro de forma.

Quando temos mais de um equipamento em uma instalação é possível calcular a probabilidade através dos blocos de confiabilidade, onde:



Figura 7 – Sistema em série (fonte: FOGLIATTO e RIBEIRO (2009))

$$R_{série} = \prod_{i=1}^n R(n) \quad (2.4)$$

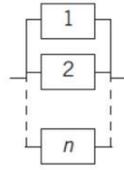


Figura 8 – Sistema em paralelo (fonte: FOGLIATTO e RIBEIRO (2009))

$$R_{paralelo} = [1 - \prod_{i=1}^n (1 - R(n))] \quad (2.5)$$

2.3.2 Disponibilidade Operacional

A disponibilidade operacional é definida por KARDEC & NASCIF, 2009, como a capacidade real de um ativo executar uma certa função em um dado instante de tempo ou durante um intervalo determinado. Por ser a avaliação mais próxima da realidade do equipamento ela é a disponibilidade mais importante para uma empresa. Podemos calcular a disponibilidade operacional pelo Equação (2.6).

$$A(t) = \frac{TMEF}{TMEF + TMPR} \cdot 100 \quad (2.6)$$

- A(t): Disponibilidade operacional em porcentagem;
- TMEF: Tempo médio entre falhas;
- TMPR: Tempo médio entre reparos.

Tomando como T_n o tempo entre falhas, t_n o tempo entre reparos de um equipamento e n o número de intervenções é possível ter um valor para TMEF e TMPR pelas Equações (2.7) e (2.8).

$$TMEF = \frac{T_1 + T_2 + T_3 + \dots + T_n}{n} \quad (2.7)$$

$$TMPR = \frac{t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n}{n} \quad (2.8)$$

Podemos calcular também o tempo médio entre falhas (TMEF) pelo inverso da taxa de falha, como representação a Equação (2.9).

$$TMEF = \frac{1}{\lambda} \quad (2.9)$$

2.3.3 Taxa de falha

A taxa de falha é definida como o número de falhas por unidade de tempo, Normalmente ela é expressa por unidade de falha por milhão, ou seja, 10^6 . Podemos calcular a taxa de falha pela Equação (2.10).

$$\lambda = \frac{\text{número de falhas}}{\text{número de horas de operação}} \quad (2.10)$$

Também podemos calcular a taxa de falha pela Equação (2.11)

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \quad (2.11)$$

Onde:

- t : Tempo de funcionamento (número de horas em operação);
- γ : tempo até a falha inicial ou vida útil mínima;
- β : Fator de forma;
- η : Parâmetro de escala.

Os equipamento apresentam uma curva característica típica de vida. A Figura (9) representa um exemplo desse tipo de curva que também é conhecida como “curva da banheira”. Ela é determinada através de estudos estatísticos do ativo e pode ser utilizada para componentes elétricos, mecânicos e sistemas.

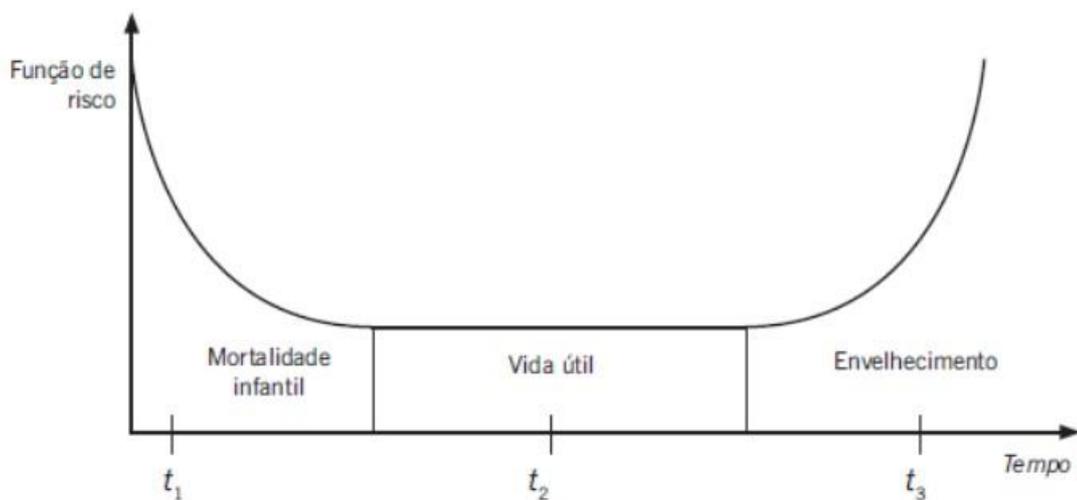


Figura 9 – Curva da banheira (fonte: FOGLIATTO e RIBEIRO (2009))

Podemos dividir a curva da banheira em três período específicos:

- Mortalidade infantil: elevado número de falhas devido a algum erro de projeto ou por erro na instalação do equipamento;
- Vida útil: a taxa de falha é constante e menor com relação ao tempo. Normalmente as ocorrências de falhas acontecem por fatores não controláveis, como fadiga ou corrosão.
- Envelhecimento: aumento acelerado na taxa de falha do equipamento decorrente do desgaste natural.

2.4 Distribuição de Weibull

A distribuição de Weibull, publicada em 1951, descreve a distribuição do tempo de vida em vários padrões de falhas. Essa distribuição apresenta uma grande vantagem, pois através dela conseguimos análises razoavelmente precisas e previsões de falhas com poucos dados disponíveis. A distribuição de Weibull utiliza três parâmetros:

- β : Parâmetro de forma;
- η : Parâmetro de escala.
- t_0 : Parâmetro de localização;

Entretanto, a distribuição de Weibull de 2 parâmetros é a mais utilizada para dados de falha no tempo, ela é representada pela Equação (2.12).

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (2.12)$$

Sendo que, β e η devem ser maior do que zero. Desta forma, considerando os conceitos básicos descritos anteriormente a confiabilidade pode ser calculada através da Equação (2.13) e a taxa de falha pela Equação (2.14).

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (2.13)$$

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (2.14)$$

Através do conhecimento de seu parâmetro β , podemos determinar a localização do equipamento na curva da banheira. A Figura (10) representa os diferentes valores para β .

- $\beta < 1$: Mortalidade infantil;

- $\beta=1$: Maturidade;
- $\beta>1$: Envelhecimento.

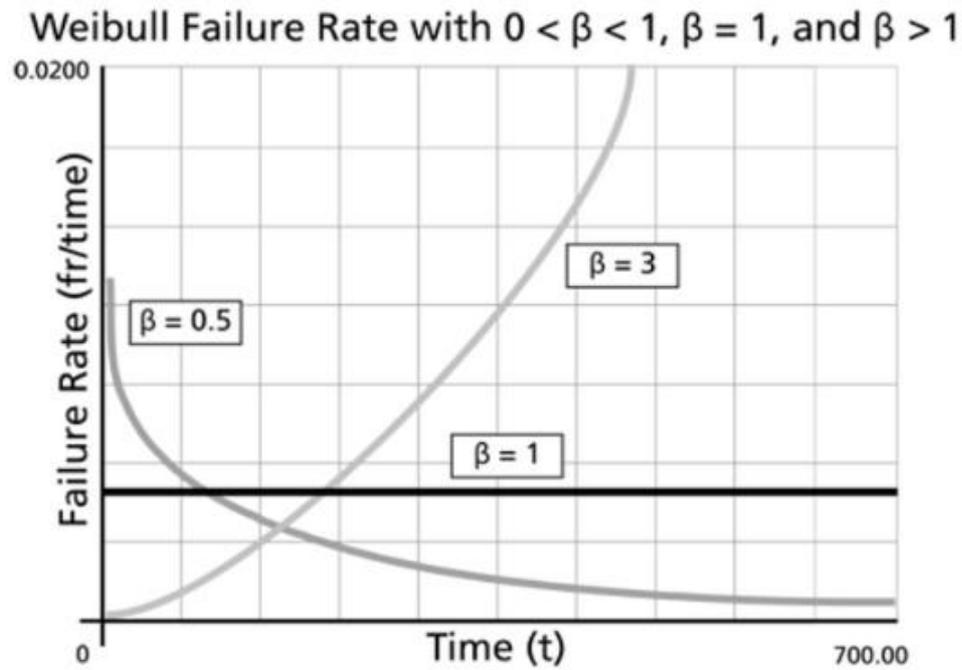


Figura 10 – Fator β na curva de distribuição de probabilidade de Weibull (fonte:Notas de aula L. H. D. Alves.)

Já o parâmetro de forma η define a dimensão da abscissa e relacionado com o tempo de vida característica. Podemos ver na Figura (11) a variação do η para um mesmo β .

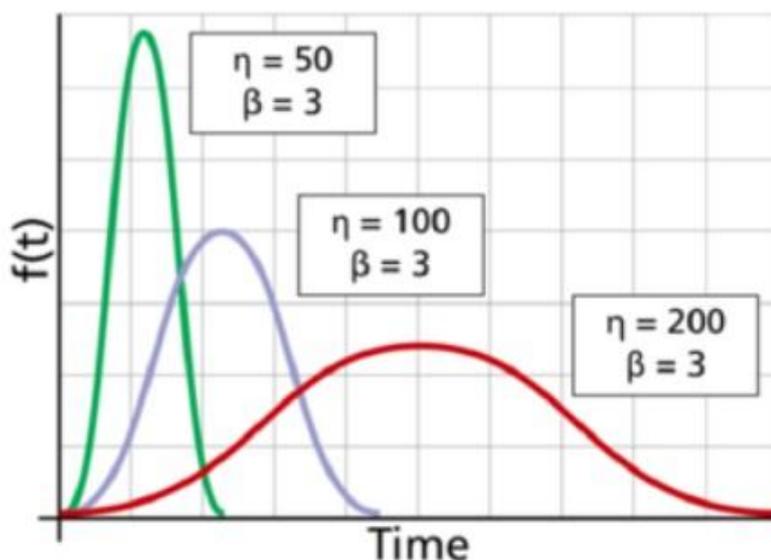


Figura 11 – Fator na curva de distribuição de probabilidade de Weibull (fonte: Adaptado de Life data analysis reference - ReliaSoft)

2.5 Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC)

A Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) surgiu na década de 60, como resultado de estudo realizado pela Federal Aviation Administration para manutenção programada de aviões Boeing 747, utilizando conceitos de confiabilidade. Para FOGLIATTO & RIBEIRO, 2009, “A confiabilidade de um item corresponde à sua probabilidade de desempenhar adequadamente o seu propósito especificado, por um determinado período de tempo e sob condições ambientais predeterminadas.”

A MCC determina práticas eficazes de manutenção de forma a garantir confiabilidade do equipamento a um custo mínimo de recursos. Esta metodologia aborda aspectos que possam influenciar a produtividade e funcionalidade dos equipamentos avaliando os procedimentos de manutenção, análise dos modos e efeitos de falhas, classificação de criticidade, alocação de recursos e questões de segurança e meio ambiente. Sendo uma ferramenta de suporte à decisão gerencial.

A implementação dessa técnica demanda um alto investimento em capital humano e tecnológico. A coleta e gerenciamento dos dados devem ser precisos convergindo em resultados confiáveis. Com isso, a aplicação da manutenção centrada em confiabilidade é recomendada para equipamentos críticos com alto custo de manutenção e elevado impacto na produção.

2.6 Análise de Falha

A análise de uma falha de um equipamento deve consistir em percorrer a história em sentido inverso até atingir um ponto onde será possível implementar ações preventivas para evitar uma nova ocorrência. Os objetivos principais da análise de falha são:

- Aumentar a confiabilidade dos equipamentos;
- Reduzir os custos de manutenção;
- Reduzir os riscos de acidente e riscos ambientais.

Analisar uma falha é interpretar as características de um sistema ou equipamento com a finalidade de se determinar a causa da sua parada, porém ela só tem função se houver uma tratativa.



Figura 12 – A origem da falha (fonte: YAMAGUCHI, 2009)

2.7 Análise do modo e efeito de falha (FMEA)

O FMEA é uma ferramenta para auxiliar e identificar possíveis falhas no equipamentos. Ele é um sistema lógico que busca como base priorizar as falhas potenciais fornecendo recomendações para ações preventivas. KARDEC & NASCIF, 2009, indica que o FMEA pode ser dividido em três níveis:

- FMEA para projeto: realizado no desenvolvimento do equipamento busca levantar causas de possíveis falhas nesta etapa levando considerando aspectos de manutenibilidade e segurança;

- FMEA para processos: avalia a forma de operação do equipamento e sua manutenção;
- FMEA para sistemas: utilizado para analisar falhas potenciais e baixo rendimento em uma linha de produção.

Ainda sobre KARDEC & NASCIF, 2009, para classificarmos um prioridade entre os equipamentos é possível utilizar o índice de risco ou número de prioridade de risco (NPR). Ele é o resultado entre a multiplicação de três parâmetro: frequência, gravidade e detectabilidade. Podemos calculá-lo pela Equação (2.15).

$$NPR = Frequência \cdot Gravidade \cdot Detectabilidade \quad (2.15)$$

Para determinar o peso para cada parâmetro existe uma recomendação que se baseia nos dados da empresa. É através desses dados que será possível classificar o grau de importância para cada equipamento. A Tabela (1) representa os valores para cada parâmetro.

Tabela 1 – Tabela de pesos para determinação do NPR (fonte: adaptado Kardec & Nascif (2009))

Componente do NPR	Classificação	Peso
Frequência	Improvável	1
	Muito pequena	2 a 3
	Pequena	4 a 6
	Média	7 a 8
	Altas	9 a 10
Gravidade	Improvável	1
	Muito pequena	2 a 3
	Pequena	4 a 6
	Média	7 a 8
	Altas	9 a 10
Detectabilidade	Improvável	1
	Muito pequena	2 a 3
	Pequena	4 a 6
	Média	7 a 8
	Altas	9 a 10
Índice de risco (NPR)	Baixa	1 a 50
	Médio	50 a 100
	Alto	100 a 200
	Muito Alto	200 a 1.000

3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho foi escolhido uma ponte rolante com capacidade de 20 toneladas. As pontes rolantes são equipamentos utilizados para içar e movimentar peças com grande volume ou alto peso. Ela é instalada entre as vigas elevadas permitindo assim seu deslocamento em toda oficina. Sua utilização facilita o manuseio e o transporte de carga além de diminuir o tempo de movimentação e aumentar a segurança no trabalho.

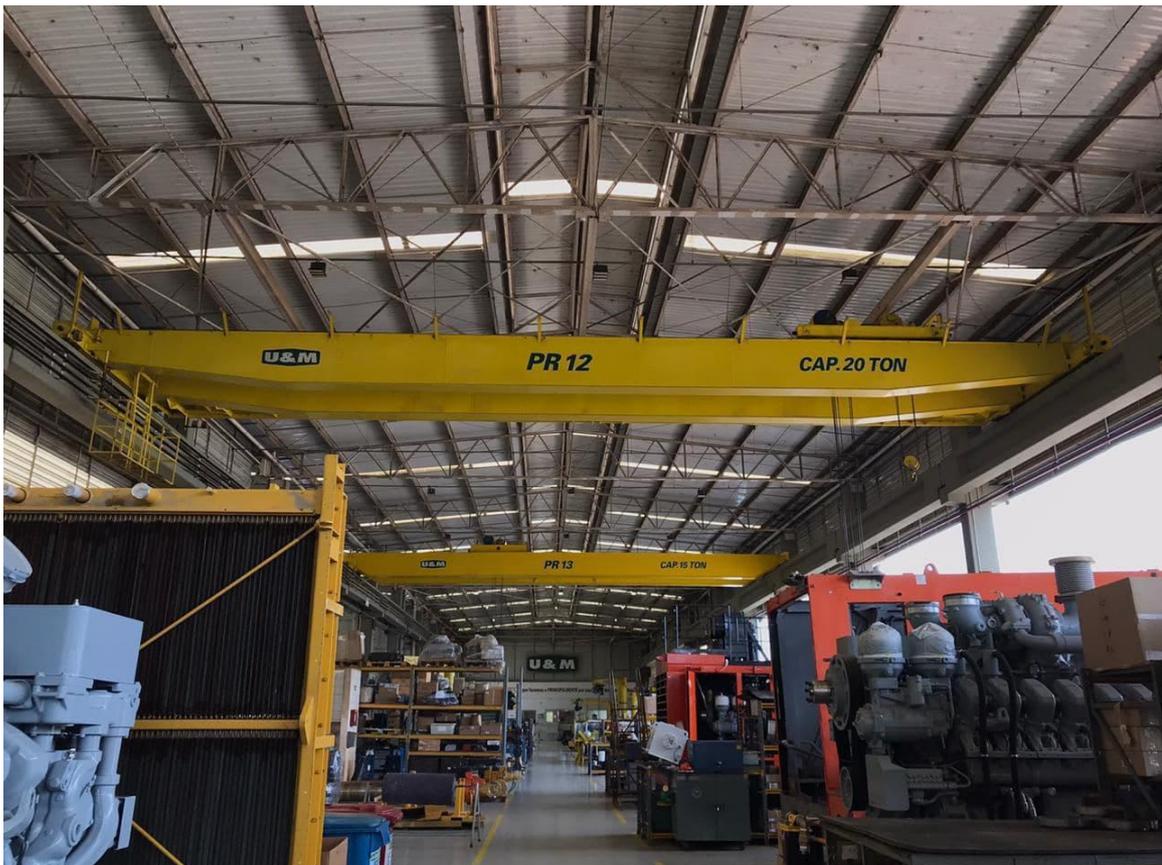


Figura 13 – Ponte rolante da oficina (fonte: U&M Mineração e Construção SA)

As pontes rolantes podem ser divididas em seis principais componentes:

- Viga principal: principal estrutura da ponte, responsável pela movimentação do conjunto trole e talha. A viga concentra um grande esforço fletor e cisalhante.
- Carro Trole: responsável pelo movimento vertical e horizontal da carga. Ele é composto por uma talha, um tambor responsável pelo recolhimento do cabo de aço e um moitão.
- Cabeceiras: responsáveis pelo movimento da viga principal da ponte rolante deslizando sobre o caminho de rolamento.

- Caminho de rolamento: construído por vigas ou trilhos fixados por solda, em alguns casos particulares por concreto. Em pórticos esse caminho é feito no chão.
- Talha elétrica: equipamento responsável pelo içamento e locomoção da carga em uma direção. Constituída basicamente por um motor, tambor para o movimento do cabo de aço, um moitão para fixar a carga, o cabo de aço e um sistema de controle de operação.
- Rodas: acopladas nas cabeceiras, geralmente são fabricadas de aço e variam de acordo com as dimensões do trilho no qual irão se movimentar.

Durante as atividades rotineiras da oficina é comum a movimentação de cargas de até 18 toneladas, sendo assim, quando esse equipamento está inoperante, gera um grande custo atrelado.

Devido ao alto custo de um componente novo, não possuímos um grande estoque para que haja a substituição imediata. Assim, a central Matias Barbosa é uma oficina voltada para suprir as reformas de componentes dos equipamento em operação.

Portanto, a interrupção no funcionamento da ponte rolante retarda não só a reforma do componente, mas também a atividade de um caminhão, escavadeira, trator de esteira, entre outros. As consequências vão muito além, pois alguns equipamentos, como por exemplo as escavadeiras, são classificados como críticos, podendo gerar multa contratual no caso uma parada inesperada.

Buscando sempre uma melhor performance dos ativos da oficina, iremos, neste estudo, determinar a confiabilidade e a função cumulativa de taxa de falha utilizando, para isto, uma amostra de dados do equipamento coletada no período de fevereiro de 2019 a maio de 2020.

4 RESULTADOS E ANÁLISES

A empresa utiliza o sistema SAP juntamente com um aplicativo de dispositivo móveis, CMM. Através dele os funcionários apontam a hora de início e fim para cada atividade de um equipamento. Graças a esse controle foi possível coletar os dados. Parte dos dados coletados estão representado pela Tabela (2)

Tabela 2 – Parte da tabela dos dados da ponte rolante com os apontamentos (fonte: Autor)

Hora início	Hora fim	Horas de Trabalho	Data início	Data fim
08:43:14	08:57:47	0,200	04/02/2019	04/02/2019
16:16:23	07:18:53	15,000	09/04/2019	10/04/2019
10:22:25	11:47:09	1,400	30/04/2019	30/04/2019
13:51:01	17:02:09	3,200	30/04/2019	30/04/2019
09:17:19	09:17:26	0,000	02/05/2019	02/05/2019
09:26:32	17:02:46	7,600	21/05/2019	21/05/2019
09:58:00	11:30:29	1,500	22/05/2019	22/05/2019
13:49:58	15:24:40	1,600	22/05/2019	22/05/2019
07:51:07	08:21:57	0,500	24/05/2019	24/05/2019
14:21:50	14:22:00	0,000	24/05/2019	24/05/2019
14:21:12	14:21:24	0,000	24/05/2019	24/05/2019
14:24:20	16:33:38	2,200	02/07/2019	02/07/2019
07:26:30	13:27:25	6,000	03/07/2019	03/07/2019
10:38:57	13:56:16	3,300	04/07/2019	04/07/2019
13:56:26	13:56:49	0,000	04/07/2019	04/07/2019
13:56:58	13:57:11	0,000	04/07/2019	04/07/2019
13:58:01	13:58:17	0,000	04/07/2019	04/07/2019
15:49:56	15:50:04	0,000	11/07/2019	11/07/2019
15:50:12	15:50:47	0,000	11/07/2019	11/07/2019
13:01:57	13:03:55	0,000	05/08/2019	05/08/2019
07:35:10	11:25:28	3,800	05/08/2019	05/08/2019
11:32:00	13:01:40	1,500	31/10/2019	31/10/2019
07:30:00	11:30:00	4,000	07/11/2019	07/11/2019
13:00:00	16:30:00	3,500	07/11/2019	07/11/2019
13:18:38	07:23:09	18,100	12/11/2019	13/11/2019
13:39:54	16:37:58	3,000	12/11/2019	12/11/2019
10:15:48	14:23:44	4,100	20/11/2019	20/11/2019
14:24:01	14:24:14	0,000	20/11/2019	20/11/2019
08:30:27	11:31:28	3,000	23/01/2020	23/01/2020
12:43:25	16:49:34	4,100	23/01/2020	23/01/2020
13:05:00	16:11:39	3,100	23/01/2020	23/01/2020
07:20:19	11:31:49	4,200	23/01/2020	23/01/2020
12:49:07	16:45:31	3,900	23/01/2020	23/01/2020

Para levantar o tempo médio entre falhas (TTF) foi necessário refinar os dados na Tabela (2), pois ela não apresenta o tempo em que o equipamento ficou inativo. Sendo assim, foi feita uma refino das informação até chegarmos nos dados representados na Tabela (3).

Tabela 3 – Tempo médio entre falhas (fonte: Autor)

TTF(horas)
936,2
1536
53,8
264
173,8
456
138,1
144
120
168
125,3
192
505,4
96
463,6
600
196,1
271,6
147,6
315,9
145,2
172
936
152,8
504
384

Para a obtenção dos valores de fator de forma (β) e fator de escala (η) foi utilizado o conceito de probabilidade Median Rank com a utilização do software Microsoft Excel. Para isso, foi ordenado os valores em ordem decrescente, como mostra a Tabela (4).

Tabela 4 – Tempo médio entre falhas ordenados em ordem decrescente (fonte: Autor)

Rank	TTF(horas)
1	53,8
2	96
3	120
4	125,3
5	138,1
6	144
7	145,2
8	147,6
9	152,8
10	168
11	172
12	173,8
13	192
14	196,1
15	264
16	271,6
17	315,9
18	384
19	456
20	463,6
21	504
22	505,4
23	600
24	936
25	936,2
26	1536

Com os valores ordenados foi realizado os cálculos através do *software Microsoft Excel*, como mostra a Tabela (5).

Tabela 5 – Cálculo do medianrank dos dados de TTF (fonte: Autor)

TTF (h)	RANK	MedianRank	$1/(1-\text{MedianRank})$	$\text{LN}(\text{LN}(1/(1-\text{MedianRank})))$	$\text{LN}(\text{TTF})$
53,8	1	0,026515152	1,027237354	-3,616632535	3,985273467
96	2	0,064393939	1,068825911	-2,709639966	4,564348191
120	3	0,102272727	1,113924051	-2,22665271	4,787491743
125,3	4	0,140151515	1,162995595	-1,890481497	4,830710862
138,1	5	0,178030303	1,216589862	-1,629376626	4,92797806
144	6	0,215909091	1,275362319	-1,413746507	4,9698133
145,2	7	0,253787879	1,340101523	-1,228452077	4,978112102
147,6	8	0,291666667	1,411764706	-1,064673327	4,994505912
152,8	9	0,329545455	1,491525424	-0,916792431	5,029129877
168	10	0,367424242	1,580838323	-0,780983718	5,123963979
172	11	0,40530303	1,681528662	-0,654497211	5,147494477
173,8	12	0,443181818	1,795918367	-0,535260887	5,157905213
192	13	0,481060606	1,927007299	-0,421643001	5,257495372
196,1	14	0,518939394	2,078740157	-0,312299932	5,278624733
264	15	0,556818182	2,256410256	-0,206071157	5,575949103
271,6	16	0,59469697	2,46728972	-0,101899547	5,604330396
315,9	17	0,632575758	2,721649485	0,001237359	5,755425708
384	18	0,670454545	3,034482759	0,104396938	5,950642553
456	19	0,708333333	3,428571429	0,208755483	6,12249281
463,6	20	0,746212121	3,940298507	0,315727461	6,139022111
504	21	0,784090909	4,631578947	0,427159954	6,222576268
505,4	22	0,821969697	5,617021277	0,545691581	6,225350195
600	23	0,859848485	7,135135135	0,675508118	6,396929655
936	24	0,897727273	9,777777778	0,824224669	6,841615476
936,2	25	0,935606061	15,52941176	1,008955875	6,841829129
1536	26	0,973484848	37,71428571	1,289243379	7,336936914

Utilizando a ferramenta Análise de Dados, foi possível a obtenção da Regressão Linear entre a coluna 5 e 6 da Tabela (5). Com isso, teremos o valores dos parâmetros para (β) e (η) .

Através dos resultados da regressão linear foi possível obter os valores de alfa e beta, como mostra na Figura (14).

RESUMO DOS RESULTADOS

<i>Estadística de regressão</i>	
R múltiplo	0,934479
R-Quadrado	0,8732511
R-quadrado ajustado	0,8679698
Erro padrão	0,4318932
Observações	26

ANOVA					
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	1	30,84315021	30,84315021	165,3506888	2,94904E-12
Resíduo	24	4,476761543	0,186531731		
Total	25	35,31991175			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Interseção	-8,281173	0,607145132	-13,6395279	8,44348E-13	-9,534258931	-7,028087002	-9,534258931	-7,028087002
LN (TTF)	1,395404	0,108516797	12,85887588	2,94904E-12	1,171436362	1,619371685	1,171436362	1,619371685
Beta	1,395404							
Eta	377,89104							

Figura 14 – Regressão linear, calculando os valores de β e η (fonte: Autor)

O parâmetro de forma β , informa se a taxa de falha no equipamento escolhido está crescente, constante ou decrescente. Com base na curva da banheira, se β for menor do que 1 o ativo está na fase de mortalidade infantil. Quando β for igual a 1 temos um indicativo de falha constante. Para os valores de β maiores do que 1 temos a situação de uma taxa de falha crescente

Observando o resultado dos dados é possível verificar que β deu aproximadamente 1,395, ou seja, a ponta rolante em questão apresenta uma taxa de falha crescente.

O fator de escala η , é uma medida de escala ou programação com relação à distribuição dos dados, ele representa o momento em que o equipamento possui 63,2% de probabilidade de falhar. Podemos observar que o valor de η encontrado nos cálculos é aproximadamente 377,98 horas.

O cálculo da regressão linear também entrega a confiabilidade dos dados. Quando maior o valor para F melhor será a adequação da reta. Além disso, é possível verificar que o valor para F de significação representa um valor bem baixo. Sendo assim, temos um cálculo de probabilidade dos dados bem preciso. A Figura (15) apresenta o ajuste da curva pela regressão linear.

LN (TTF) Plotagem de ajuste de linha

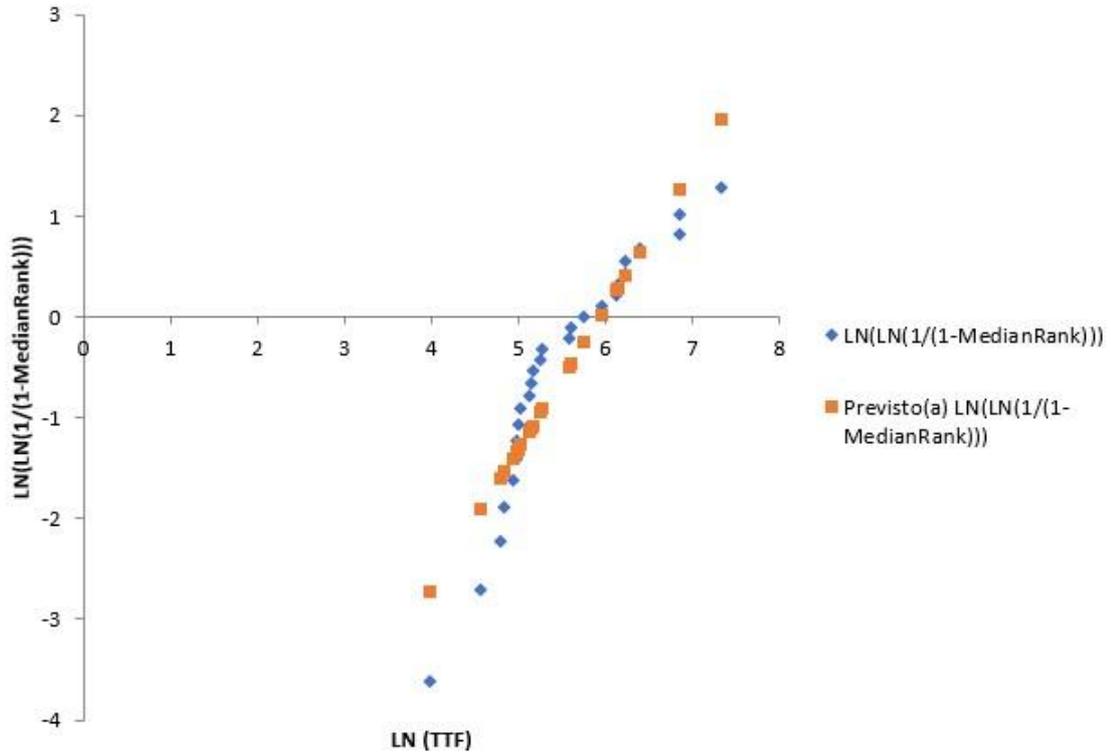


Figura 15 – Gráfico do ajustes da curva (fonte: Autor)

Com os valores de β e η avaliamos a confiabilidade e a probabilidade de falha da ponte rolante durante um intervalo de tempo pre determinado. A Tabela (6) apresenta os cálculos realizados, utilizando o método de distribuição de Weibull.

Tabela 6 – Cálculos de confiabilidade e probabilidade de falha (fonte: Autor)

Parâmetros Weibull	
Beta	1,395404
Eta	377,891

TTF (h)	F(t)-Probabilidade de Falha	R(t)-Confiabilidade
0	0	1
100	0,144814867	0,855185133
200	0,337362657	0,662637343
300	0,515496951	0,484503049
400	0,661277186	0,338722814
500	0,771915465	0,228084535
600	0,851360563	0,148639437
700	0,905929087	0,094070913
800	0,942030653	0,057969347
900	0,965144977	0,034855023
1000	0,97951704	0,02048296
1100	0,988218634	0,011781366
1200	0,99335955	0,00664045

Através da Figura (16) é possível observar que no decorrer do tempo obtivemos uma queda na confiabilidade e um aumento na taxa de falha. Esse comportamento das curvas é natural para todos os equipamentos, porém no caso analisado tivemos uma queda da confiabilidade com poucas horas de operação. Esse fato ocorre devido ao valor de β ser maior do que 1, indicando assim uma taxa de falha crescente. Além disso, como já foi mostrado, o valor encontrado para η representa o momento em que o equipamento tiver uma probabilidade de falha de 63,2%. Sendo η um valor baixo temos que a confiabilidade irá decair em um curto período.

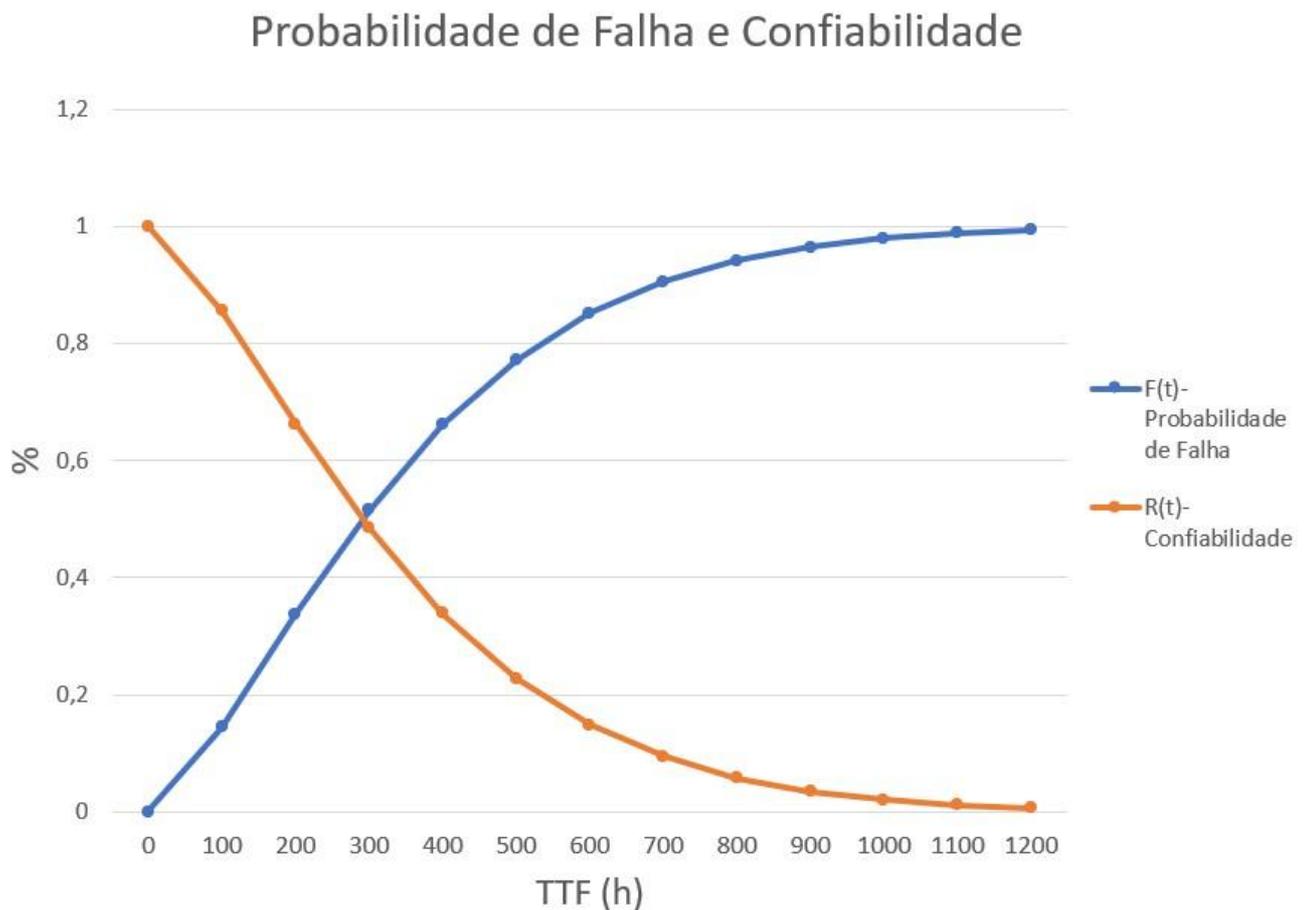


Figura 16 – Gráfico da confiabilidade e probabilidade de falha por TTF (fonte: Autor)

Após avaliar a probabilidade de falha do equipamento, ve-se necessário verificarmos o custo gerado pelo equipamento. Através dos dados oferecidos pela empresa temos que o custo médio de uma manutenção preventiva é de R\$ 622,50. Por ser um equipamento robusto e com um nível de segurança elevado, o custo de uma manutenção corretiva apresentou-se ser bem mais elevado do que o da preventiva, sendo em média R\$ 5.312,00. É importante ressaltar que agrupado a esse custo já estão os valores de homem/hora trabalhando na manutenção ou com seu trabalho interrompido.

Para avaliarmos o custo das manutenções, calculamos a confiabilidade e a taxa de falha através do método de distribuição de Weibull. O intervalo escolhido foi baseado na Figura (16), onde em 1200 horas teremos 100% de probabilidade de falha do equipamento. Sendo assim, a avaliação de custo foi calculada com intervalor de 10 horas. A Tabela (7) mostra uma parte dos cálculos realizados para avliarmos os custos. A tabela completa pode ser verificada em Apêndice A.

Tabela 7 – Parte do cáldulo do custo de manutenção preventiva e corretiva (fonte: Autor)

TTD (h)	F(t)	R(t)	Regra do Trapézio	Integral de R(t)	Custo Preventiva (R\$)	Custo Corretiva (R\$)	Custo Total (R\$)
0	0	1					
10	0,00627437	0,99372563	9,96862814				
20	0,01642118	0,98357882	9,886522249	19,85515039	30,8372289	4,3932832	35,2305120
30	0,0287341	0,9712659	9,774223586	29,62937398	20,4058655	5,1514947	25,5573602
40	0,04262156	0,95737844	9,643221655	39,27259563	15,1751639	5,7649805	20,9401445
50	0,05773412	0,94226588	9,498221559	48,77081719	12,0268747	6,2882618	18,3151365
60	0,07382846	0,92617154	9,342187057	58,11300425	9,9210459	6,7485206	16,6695664
70	0,09071979	0,90928021	9,177258736	67,29026298	8,4117212	7,1615638	15,5732850
80	0,10826008	0,89173992	9,00510065	76,29536363	7,2757776	7,5375164	14,8132940
90	0,12632656	0,87367344	8,827066772	85,1224304	6,3891704	7,8833123	14,2724828
100	0,14481487	0,85518513	8,644292845	93,76672325	5,6774165	8,2039400	13,8813566
110	0,16363473	0,83636527	8,457752024	102,2244753	5,0930795	8,5031268	13,5962063
120	0,18270708	0,81729292	8,268290966	110,4927662	4,6045082	8,7837425	13,3882506
130	0,20196202	0,79803798	8,076654516	118,5694208	4,1897704	9,0480516	13,2378220
140	0,22133732	0,77866268	7,883503322	126,4529241	3,8331855	9,2978778	13,1310633
150	0,24077731	0,75922269	7,689426855	134,1423509	3,5232432	9,5347149	13,0579581
160	0,26023202	0,73976798	7,494953342	141,6373043	3,2513014	9,7598052	13,0111066
170	0,27965648	0,72034352	7,300557521	148,9378618	3,0107445	9,9741945	12,9849389
180	0,29901015	0,70098985	7,106666861	156,0445287	2,7964209	10,1787736	12,9751945
190	0,31825652	0,68174348	6,913666626	162,9581953	2,6042588	10,3743088	12,9785676
200	0,33736266	0,66263734	6,721904106	169,6800994	2,4309966	10,5614650	12,9924616
210	0,35629891	0,64370109	6,531692173	176,2117916	2,2739904	10,7408238	13,0148142
220	0,37503862	0,62496138	6,343312347	182,5551039	2,1310741	10,9128976	13,0439717

Com os cálculos da Tabela (7) traçou-se o gráfico com os dados de cada custo representado pela Figura (17). Como esperado, os custos das manutenções concentraram-se nas primeiras horas de atividade da ponte.

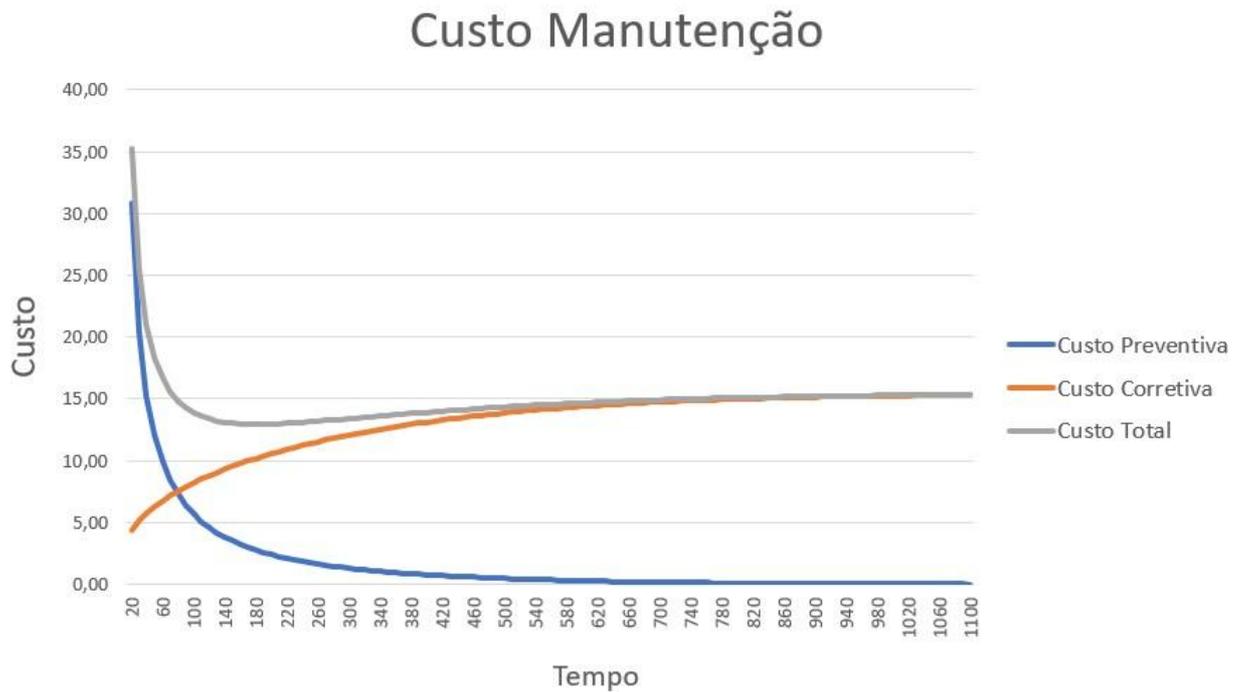


Figura 17 – Gráfico representando o custo de manutenção preventiva e corretiva (fonte: Autor)

Atrvés do gráfico verificamos qual seria o melhor momento, considerando os custos, para ser realizado um plano de manutenção preventiva. Para isso, devemos avaliar o menor valor do custo total para esse equipamento. É possível verificar que o menor custo acontece em 180 horas de operação do equipamento.

Tabela 8 – Menor valor do custo total (fonte: Autor)

TTD (h)	F(t)	R(t)	Regra do Trapézio	Integral de R(t)	Custo Preventiva	Custo Corretiva	Custo Total
150	0,240777311	0,759222689	7,689426855	134,1423509	3,523243186	9,534714932	13,05795812
160	0,260232021	0,739767979	7,494953342	141,6373043	3,251301411	9,759805162	13,01110657
170	0,279656475	0,720343525	7,300557521	148,9378618	3,010744473	9,974194459	12,98493893
180	0,299010153	0,700989847	7,106666861	156,0445287	2,796420891	10,17877362	12,97519451
190	0,318256522	0,681743478	6,913666626	162,9581953	2,604258806	10,37430883	12,97856764
200	0,337362657	0,662637343	6,721904106	169,6800994	2,430996608	10,56146501	12,99246162
210	0,356298909	0,643701091	6,531692173	176,2117916	2,27399044	10,74082379	13,01481423

Atualmete a empresa realiza o plano de manutenção preventiva da ponte em um intervalo de 28 dias. Considerando que cada dia de trabalho esse equipamento opere em média 7 horas ao final dos 28 dias ele terá operado 196 horas. Esse valor corresponde ao valor encontrado pelo custo para esse equipamento.

5 CONCLUSÕES

O objetivo geral deste trabalho foi alcançado com satisfação, uma vez que foi possível avaliar o equipamento proposto. O conhecimento do estado atual da ponte rolante poderá ajudar a empresa a implementar soluções para melhorar a disponibilidade e a confiabilidade do equipamento.

Pelos cálculos obtidos, a manutenção preventiva da ponte rolante deverá ocorrer no intervalo de 180 horas. Porém, por ser um equipamento com taxa de falha crescente, vê-se necessário a realização de uma verificação constante sobre seu estado. Com a ocorrência de uma parada do equipamento, pode-se alimentar a planilha confeccionada durante esse trabalho, ajustando assim o melhor momento para a realização da manutenção.

A escolha pelo uso do *software Microsoft Excel*, amplamente empregado por essa e outras empresas, viabiliza a utilização da distribuição Weibull sem a necessidade da aquisição de um programa com custo elevado. Facilitando ainda mais o monitoramento.

É notório que o equipamento está em sua fase final de vida. Esse fato acarreta cada vez mais paradas durante a linha de produção da empresa, trazendo assim um custo elevado como já foi citado anteriormente. Por fim, a sugestão seria a verificação da viabilidade de aquisição de um novo sistema de ponte rolante, sendo trocado os principais elementos causadores da falha do equipamento.

REFERÊNCIAS

- [1] ALVES, L. H. (2020). Notas de Aula: Gestão da Manutenção. Universidade Federal de Juiz de Fora.
- [2] FÉLIX, Brenda. *Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) aplicada ao sistema hidráulico de uma escavadeira do tipo Backhoe*. (P.73). Graduação - Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora - MG, 2019;
- [3] FOGLIATTO, Flavio & RIBEIRO, José. Confiabilidade e manutenção industrial. 1ª Edição. Rio de Janeiro - RJ. GEN LTC, 2009;
- [4] KARDEC, Alan & NAASICF, Júlio. Manutenção. Função Estratégica. 4ª Edição. Rio de Janeiro - RJ. QualityMark, 2012;
- [5] MIGUEL, P. A. C. et al. (2010). Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações. Rio de Janeiro: Elsevier.
- [6] NEVES, Edilene. *Alicação da manutenção centrada na confiabilidade como ferramenta de melhoria de performace num setor de insdustria metalúrgica de grande porte do sudeste de Minas Gerais*. (P.70). Graduação - Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora - MG, 2016;
- [7] PEREIRA, Mario. Engenharia de Manutenção. Teoria e Prática. 2ª Edição. Rio de Janeiro - RJ. Ciência Moderna, 2009;
- [8] SIQUEIRA, Iony. Manutenção Centrada na Confiabilidade - Manual de Implementação. 1ª Edição. Rio de Janeiro - RJ. QualityMark, 2009;

APÊNDICE A – Dados dos custos

TTD (h)	F(t)	R(t)	Regra do Trapézio	Integral de R(t)	Custo Preventiva	Custo Corretiva	Custo Total
0	0	1					
10	0,006274372	0,993725628	9,96862814				
20	0,016421178	0,983578822	9,886522249	19,85515039	30,8372289	4,3932832	35,2305120
30	0,028734105	0,971265895	9,774223586	29,62937398	20,4058655	5,1514947	25,5573602
40	0,042621564	0,957378436	9,643221655	39,27259563	15,1751639	5,7649805	20,9401445
50	0,057734124	0,942265876	9,498221559	48,77081719	12,0268747	6,2882618	18,3151365
60	0,073828465	0,926171535	9,342187057	58,11300425	9,9210459	6,7485206	16,6695664
70	0,090719788	0,909280212	9,177258736	67,29026298	8,4117212	7,1615638	15,5732850
80	0,108260082	0,891739918	9,00510065	76,29536363	7,2757776	7,5375164	14,8132940
90	0,126326564	0,873673436	8,827066772	85,1224304	6,3891704	7,8833123	14,2724828
100	0,144814867	0,855185133	8,644292845	93,76672325	5,6774165	8,2039400	13,8813566
110	0,163634728	0,836365272	8,457752024	102,2244753	5,0930795	8,5031268	13,5962063
120	0,182707079	0,817292921	8,268290966	110,4927662	4,6045082	8,7837425	13,3882506
130	0,201962018	0,798037982	8,076654516	118,5694208	4,1897704	9,0480516	13,2378220
140	0,221337318	0,778662682	7,883503322	126,4529241	3,8331855	9,2978778	13,1310633
150	0,240777311	0,759222689	7,689426855	134,1423509	3,5232432	9,5347149	13,0579581
160	0,260232021	0,739767979	7,494953342	141,6373043	3,2513014	9,7598052	13,0111066
170	0,279656475	0,720343525	7,300557521	148,9378618	3,0107445	9,9741945	12,9849389
180	0,299010153	0,700989847	7,106666861	156,0445287	2,7964209	10,1787736	12,9751945
190	0,318256522	0,681743478	6,913666626	162,9581953	2,6042588	10,3743088	12,9785676
200	0,337362657	0,662637343	6,721904106	169,6800994	2,4309966	10,5614650	12,9924616
210	0,356298909	0,643701091	6,531692173	176,2117916	2,2739904	10,7408238	13,0148142
220	0,375038622	0,624961378	6,343312347	182,5551039	2,1310741	10,9128976	13,0439717
230	0,393557888	0,606442112	6,157017449	188,7121214	2,0004556	11,0781411	13,0785966
240	0,411835324	0,588164676	5,973033938	194,6851553	1,8806391	11,2369597	13,1175988
250	0,429851879	0,570148121	5,791563981	200,4767193	1,7703662	11,3897174	13,1600836
260	0,447590657	0,552409343	5,612787316	206,0895066	1,6685702	11,5367425	13,2053127
270	0,465036758	0,534963242	5,436862924	211,5263695	1,5743409	11,6783324	13,2526733
280	0,482177131	0,517822869	5,263930558	216,7903001	1,4868965	11,8147579	13,3016544
290	0,499000442	0,500999558	5,094112138	221,8844122	1,4055617	11,9462666	13,3518283
300	0,515496951	0,484503049	4,927513036	226,8119252	1,3297500	12,0730857	13,4028356
310	0,531658396	0,468341604	4,764223263	231,5761485	1,2589494	12,1954244	13,4543737
320	0,547477789	0,452522211	4,604318569	236,1804671	1,1927109	12,3134762	13,5061870
330	0,562949816	0,437050184	4,44786147	240,6283285	1,1306389	12,4274205	13,5580594
340	0,578069743	0,421930257	4,294902203	244,9232308	1,0723833	12,5374243	13,6098077
350	0,592834332	0,407165668	4,145479624	249,0687104	1,0176334	12,6436435	13,6612768
360	0,607241259	0,392758741	3,999622044	253,0683324	0,9661119	12,7462237	13,7123355
370	0,621289137	0,378710863	3,85734802	256,9256804	0,9175708	12,8453018	13,7628726
380	0,634977444	0,365022556	3,718667094	260,6443475	0,8717877	12,9410065	13,8127942
390	0,648306457	0,351693543	3,583580492	264,227928	0,8285620	13,0334591	13,8620212
400	0,661277186	0,338722814	3,452081782	267,6800098	0,7877127	13,1227745	13,9104873
410	0,673891316	0,326108684	3,324157489	271,0041673	0,7490758	13,2090613	13,9581371
420	0,686151148	0,313848852	3,199787683	274,203955	0,7125022	13,2924228	14,0049249
430	0,698059547	0,301940453	3,078946525	277,2829015	0,6778562	13,3729570	14,0508132
440	0,709619895	0,290380105	2,961602788	280,2445043	0,6450140	13,4507575	14,0957715
450	0,720836036	0,279163964	2,847720347	283,0922246	0,6138620	13,5259138	14,1397758
460	0,731712237	0,268287763	2,737258635	285,8294833	0,5842964	13,5985111	14,1828075
470	0,742253146	0,257746854	2,630173083	288,4596564	0,5562213	13,6686314	14,2248527
480	0,75246375	0,24753625	2,52641552	290,9860719	0,5295488	13,7363531	14,2659019
490	0,762349337	0,237650663	2,425934567	293,4120064	0,5041973	13,8017518	14,3059491
500	0,771915465	0,228084535	2,32867599	295,7406824	0,4800916	13,8648999	14,3449915
510	0,781167926	0,218832074	2,234583042	297,9752655	0,4571620	13,9258674	14,3830294
520	0,790112717	0,209887283	2,143596783	300,1188623	0,4353436	13,9847217	14,4200653
530	0,798756008	0,201243992	2,055656375	302,1745186	0,4145763	14,0415278	14,4561041
540	0,807104119	0,192895881	1,970699365	304,145218	0,3948038	14,0963488	14,4911526
550	0,815163493	0,184836507	1,888661941	306,0338799	0,3759738	14,1492454	14,5252192
560	0,822940671	0,177059329	1,809479182	307,8433591	0,3580374	14,2002766	14,5583140
570	0,830442273	0,169557727	1,73308528	309,5764444	0,3409487	14,2494994	14,5904481
580	0,837674976	0,162325024	1,659413754	311,2358582	0,3246648	14,2969692	14,6216340
590	0,844645494	0,155354506	1,588397648	312,8242558	0,3091454	14,3427397	14,6518851
600	0,851360563	0,148639437	1,519969712	314,3442255	0,2943526	14,3868630	14,6812156
610	0,857826923	0,142173077	1,45406257	315,7982881	0,2802509	14,4293899	14,7096407
620	0,864051302	0,135948698	1,390608879	317,188897	0,2668065	14,4703694	14,7371759
630	0,870040405	0,129959595	1,329541469	318,5184384	0,2539880	14,5098496	14,7638375
640	0,875800899	0,124199101	1,270793481	319,7892319	0,2417653	14,5478769	14,7896422
650	0,881339404	0,118660596	1,214298482	321,0035304	0,2301103	14,5844967	14,8146070
660	0,88666248	0,11333752	1,159990579	322,163521	0,2189963	14,6197530	14,8387492

670	0,891776616	0,108223384	1,107804522	323,2713255	0,2083979	14,6536887	14,8620866
680	0,896688226	0,103311774	1,057675789	324,3290013	0,1982912	14,6863458	14,8846370
690	0,901403638	0,098596362	1,009540679	325,338542	0,1886534	14,7177648	14,9064182
700	0,905929087	0,094070913	0,963336376	326,3018783	0,1794631	14,7479853	14,9274484
710	0,910270709	0,089729291	0,919001022	327,2208794	0,1706996	14,7770461	14,9477457
720	0,914434536	0,085565464	0,876473775	328,0973531	0,1623436	14,8049846	14,9673282
730	0,918426492	0,081573508	0,835694859	328,933048	0,1543764	14,8318375	14,9862140
740	0,922252385	0,077747615	0,796605614	329,7296536	0,1467805	14,8576405	15,0044211
750	0,925917908	0,074082092	0,759148532	330,4888021	0,1395391	14,8824284	15,0219675
760	0,929428634	0,070571366	0,72326729	331,2120694	0,1326361	14,9062349	15,0388710
770	0,93279001	0,06720999	0,688906784	331,9009762	0,1260563	14,9290930	15,0551493
780	0,936007361	0,063992639	0,656013145	332,5569894	0,1197852	14,9510347	15,0708200
790	0,939085886	0,060914114	0,624533765	333,1815231	0,1138089	14,9720914	15,0859004
800	0,942030653	0,057969347	0,594417306	333,7759404	0,1081142	14,9922934	15,1004076
810	0,944846605	0,055153395	0,565613712	334,3415541	0,1026884	15,0116703	15,1143586
820	0,947538552	0,052461448	0,538074216	334,8796284	0,0975194	15,0302508	15,1277701
830	0,950111179	0,049888821	0,511751346	335,3913797	0,0925957	15,0480629	15,1406586
840	0,952569038	0,047430962	0,486598917	335,8779786	0,0879063	15,0651339	15,1530402
850	0,954916555	0,045083445	0,462572038	336,3405507	0,0834406	15,0814903	15,1649308
860	0,957158026	0,042841974	0,439627097	336,7801778	0,0791885	15,0971576	15,1763462
870	0,959297622	0,040702378	0,41772176	337,1978995	0,0751405	15,1121611	15,1873016
880	0,961339387	0,038660613	0,396814957	337,5947145	0,0712873	15,1265248	15,1978122
890	0,96328724	0,03671276	0,376866868	337,9715813	0,0676202	15,1402724	15,2078926
900	0,965144977	0,034855023	0,357838915	338,3294203	0,0641305	15,1534268	15,2175574
910	0,966916275	0,033083725	0,339693737	338,669114	0,0608104	15,1660102	15,2268207
920	0,968604689	0,031395311	0,322395181	338,9915092	0,0576521	15,1780442	15,2356963
930	0,970213656	0,029786344	0,305908278	339,2974175	0,0546482	15,1895496	15,2441978
940	0,971746499	0,028253501	0,290199224	339,5876167	0,0517917	15,2005466	15,2523383
950	0,973206429	0,026793571	0,275235359	339,862852	0,0490757	15,2110550	15,2601307
960	0,974596542	0,025403458	0,260985146	340,1238372	0,0464938	15,2210938	15,2675876
970	0,975919829	0,024080171	0,247418147	340,3712553	0,0440399	15,2306813	15,2747212
980	0,977179171	0,022820829	0,234505001	340,6057603	0,0417079	15,2398355	15,2815434
990	0,978377349	0,021622651	0,222217397	340,8279777	0,0394924	15,2485735	15,2880659
1000	0,97951704	0,02048296	0,210528054	341,0385058	0,0373877	15,2569121	15,2942998
1010	0,980600822	0,019399178	0,199410691	341,2379165	0,0353888	15,2648675	15,3002562
1020	0,981631177	0,018368823	0,188840008	341,4267565	0,0334906	15,2724551	15,3059457
1030	0,982610493	0,017389507	0,178791654	341,6055481	0,0316885	15,2796902	15,3113787
1040	0,983541066	0,016458934	0,169242208	341,7747903	0,0299779	15,2865872	15,3165651
1050	0,984425104	0,015574896	0,160169149	341,9349595	0,0283544	15,2931603	15,3215148
1060	0,985264729	0,014735271	0,151550833	342,0865103	0,0268140	15,2994230	15,3262370
1070	0,986061978	0,013938022	0,143366466	342,2298768	0,0253526	15,3053885	15,3307411
1080	0,986818806	0,013181194	0,135596083	342,3654729	0,0239665	15,3110693	15,3350358
1090	0,987537091	0,012462909	0,128220515	342,4936934	0,0226520	15,3164777	15,3391297
1100	0,988218634	0,011781366	0,121221375	342,6149148	0,0214057	15,3216254	15,3430311
1110	0,988865162	0,011134838	0,114581022	342,7294958	0,0202242	15,3265237	15,3467479
1120	0,989478329	0,010521671	0,108282548	342,8377783	0,0191045	15,3311835	15,3502880
1130	0,990059722	0,009940278	0,102309745	342,9400881	0,0180435	15,3356152	15,3536587
1140	0,99061086	0,00938914	0,096647087	343,0367352	0,0170382	15,3398291	15,3568673
1150	0,991133198	0,008866802	0,091279706	343,1280149	0,0160861	15,3438347	15,3599208
1160	0,991628128	0,008371872	0,086193367	343,2142082	0,0151844	15,3476415	15,3628258
1170	0,992096982	0,007903018	0,081374449	343,2955827	0,0143306	15,3512583	15,3655889
1180	0,992541034	0,007458966	0,076809921	343,3723926	0,0135224	15,3546939	15,3682162
1190	0,992961502	0,007038498	0,072487324	343,4448799	0,0127574	15,3579564	15,3707138
1200	0,99335955	0,00664045	0,068394743	343,5132747	0,0120335	15,3610539	15,3730874
1210	0,993736291	0,006263709	0,064520797	343,5777955	0,0113487	15,3639940	15,3753427
1220	0,994092787	0,005907213	0,06085461	343,6386501	0,0107009	15,3667839	15,3774848
1230	0,994430053	0,005569947	0,057385798	343,6960359	0,0100883	15,3694308	15,3795191
1240	0,994749058	0,005250942	0,054104445	343,7501403	0,0095090	15,3719413	15,3814503
1250	0,995050724	0,004949276	0,051001091	343,8011414	0,0089614	15,3743220	15,3832833
1260	0,995335934	0,004664066	0,048066707	343,8492081	0,0084438	15,3765789	15,3850227
1270	0,995605529	0,004394471	0,045292684	343,8945008	0,0079546	15,3787181	15,3866727
1280	0,995860309	0,004139691	0,042670813	343,9371716	0,0074925	15,3807451	15,3882376
1290	0,996101038	0,003898962	0,040193269	343,9773649	0,0070560	15,3826654	15,3897214
1300	0,996328443	0,003671557	0,037852597	344,0152175	0,0066437	15,3844842	15,3911280
1310	0,996543218	0,003456782	0,035641694	344,0508592	0,0062544	15,3862065	15,3924610
1320	0,996746022	0,003253978	0,033553798	344,084413	0,0058869	15,3878370	15,3937240
1330	0,996937484	0,003062516	0,031582468	344,1159955	0,0055400	15,3893803	15,3949203
1340	0,997118201	0,002881799	0,029721577	344,145717	0,0052127	15,3908406	15,3960533

1350	0,997288741	0,002711259	0,027965295	344,1736823	0,0049038	15,3922222	15,3971260
1360	0,997449645	0,002550355	0,026308075	344,1999904	0,0046124	15,3935289	15,3981414
1370	0,997601427	0,002398573	0,024744643	344,224735	0,0043376	15,3947646	15,3991022
1380	0,997744576	0,002255424	0,023269986	344,248005	0,0040785	15,3959329	15,4000114
1390	0,997879556	0,002120444	0,021879339	344,2698844	0,0038341	15,3970372	15,4008713
1400	0,998006809	0,001993191	0,020568175	344,2904525	0,0036038	15,3980807	15,4016845
1410	0,998126753	0,001873247	0,019332193	344,3097847	0,0033868	15,3990666	15,4024534
1420	0,998239785	0,001760215	0,018167311	344,327952	0,0031822	15,3999979	15,4031801
1430	0,998346285	0,001653715	0,017069651	344,3450217	0,0029896	15,4008774	15,4038670
1440	0,998446609	0,001553391	0,016035533	344,3610572	0,0028081	15,4017078	15,4045159
1450	0,998541098	0,001458902	0,015061467	344,3761187	0,0026371	15,4024917	15,4051288
1460	0,998630074	0,001369926	0,014144141	344,3902628	0,0024762	15,4032315	15,4057077
1470	0,998713843	0,001286157	0,013280413	344,4035433	0,0023247	15,4039296	15,4062543
1480	0,998792695	0,001207305	0,012467307	344,4160106	0,0021821	15,4045882	15,4067702
1490	0,998866905	0,001133095	0,011701999	344,4277126	0,0020479	15,4052093	15,4072572
1500	0,998936732	0,001063268	0,010981814	344,4386944	0,0019216	15,4057950	15,4077166
1510	0,999002424	0,000997576	0,010304219	344,4489986	0,0018029	15,4063472	15,4081501
1520	0,999064214	0,000935786	0,009666812	344,4586654	0,0016911	15,4068677	15,4085589
1530	0,999122322	0,000877678	0,009067321	344,4677327	0,0015861	15,4073583	15,4089444
1540	0,999176959	0,000823041	0,008503595	344,4762363	0,0014873	15,4078205	15,4093078
1550	0,999228322	0,000771678	0,007973595	344,4842099	0,0013945	15,4082559	15,4096503
1560	0,999276599	0,000723401	0,007475396	344,4916853	0,0013072	15,4086659	15,4099731
1570	0,999321967	0,000678033	0,007007173	344,4986925	0,0012252	15,4090521	15,4102772
1580	0,999364593	0,000635407	0,006567203	344,5052597	0,0011481	15,4094156	15,4105637
1590	0,999404636	0,000595364	0,006153855	344,5114135	0,0010758	15,4097578	15,4108335
1600	0,999442246	0,000557754	0,005765587	344,5171791	0,0010078	15,4100798	15,4110876
1610	0,999477565	0,000522435	0,005400943	344,5225801	0,0009440	15,4103828	15,4113267
1620	0,999510726	0,000489274	0,005058545	344,5276386	0,0008840	15,4106678	15,4115518
1630	0,999541855	0,000458145	0,004737093	344,5323757	0,0008278	15,4109358	15,4117636
1640	0,999571073	0,000428927	0,004435358	344,5368111	0,0007750	15,4111879	15,4119629
1650	0,999598491	0,000401509	0,004152181	344,5409632	0,0007254	15,4114249	15,4121503
1660	0,999624216	0,000375784	0,003886467	344,5448497	0,0006789	15,4116477	15,4123266
1670	0,999648348	0,000351652	0,003637181	344,5484869	0,0006353	15,4118570	15,4124924
1680	0,999670982	0,000329018	0,003403348	344,5518902	0,0005944	15,4120538	15,4126482
1690	0,999692208	0,000307792	0,003184049	344,5550743	0,0005561	15,4122386	15,4127947
1700	0,999712109	0,000287891	0,002978413	344,5580527	0,0005201	15,4124122	15,4129323
1710	0,999730766	0,000269234	0,002785625	344,5608383	0,0004864	15,4125752	15,4130616
1720	0,999748252	0,000251748	0,00260491	344,5634432	0,0004548	15,4127283	15,4131831
1730	0,999764639	0,000235361	0,002435542	344,5658788	0,0004252	15,4128719	15,4132971
1740	0,999779994	0,000220006	0,002276834	344,5681556	0,0003975	15,4130068	15,4134043
1750	0,999794378	0,000205622	0,002128142	344,5702838	0,0003715	15,4131334	15,4135048
1760	0,999807851	0,000192149	0,001988855	344,5722726	0,0003471	15,4132521	15,4135992
1770	0,999820469	0,000179531	0,0018584	344,574131	0,0003243	15,4133635	15,4136878
1780	0,999832283	0,000167717	0,001736239	344,5758673	0,0003030	15,4134680	15,4137710
1790	0,999843344	0,000156656	0,001621861	344,5774891	0,0002830	15,4135659	15,4138489
1800	0,999853698	0,000146302	0,00151479	344,5790039	0,0002643	15,4136578	15,4139221
1810	0,999863387	0,000136613	0,001414574	344,5804185	0,0002468	15,4137439	15,4139907
1820	0,999872455	0,000127545	0,00132079	344,5817393	0,0002304	15,4138246	15,4140550
1830	0,999880938	0,000119062	0,001233039	344,5829723	0,0002151	15,4139002	15,4141153
1840	0,999888873	0,000111127	0,001150946	344,5841233	0,0002008	15,4139710	15,4141718
1850	0,999896295	0,000103705	0,00107416	344,5851974	0,0001873	15,4140374	15,4142247
1860	0,999903236	9,67645E-05	0,001002347	344,5861998	0,0001748	15,4140996	15,4142744
1870	0,999909725	9,02751E-05	0,000935198	344,587135	0,0001631	15,4141578	15,4143208
1880	0,999915791	8,42086E-05	0,000872419	344,5880074	0,0001521	15,4142122	15,4143644
1890	0,999921462	7,85382E-05	0,000813734	344,5888211	0,0001419	15,4142633	15,4144051
1900	0,999926761	7,3239E-05	0,000758886	344,58958	0,0001323	15,4143110	15,4144433
1910	0,999931713	6,82874E-05	0,000707632	344,5902876	0,0001234	15,4143557	15,4144790
1920	0,999936339	6,36613E-05	0,000659744	344,5909474	0,0001150	15,4143975	15,4145125
1930	0,99994066	5,93401E-05	0,000615007	344,5915624	0,0001072	15,4144366	15,4145438
1940	0,999944696	5,53042E-05	0,000573221	344,5921356	0,0000999	15,4144732	15,4145731
1950	0,999948465	5,15353E-05	0,000534198	344,5926698	0,0000931	15,4145074	15,4146005
1960	0,999951984	4,80165E-05	0,000497759	344,5931676	0,0000867	15,4145393	15,4146261
1970	0,999955269	4,47315E-05	0,00046374	344,5936313	0,0000808	15,4145692	15,4146500
1980	0,999958335	4,16653E-05	0,000431984	344,5940633	0,0000753	15,4145972	15,4146724
1990	0,999961196	3,88038E-05	0,000402346	344,5944656	0,0000701	15,4146233	15,4146934
2000	0,999963866	3,61337E-05	0,000374687	344,5948403	0,0000653	15,4146477	15,4147130
2010	0,999966357	3,36426E-05	0,000348881	344,5951892	0,0000608	15,4146705	15,4147313
2020	0,999968681	3,13188E-05	0,000324807	344,595514	0,0000566	15,4146918	15,4147483

2030	0,999970849	2,91514E-05	0,000302351	344,5958164	0,0000527	15,4147117	15,4147643
2040	0,99997287	2,71303E-05	0,000281408	344,5960978	0,0000490	15,4147302	15,4147792
2050	0,999974754	2,52457E-05	0,00026188	344,5963596	0,0000456	15,4147476	15,4147932
2060	0,999976511	2,34888E-05	0,000243673	344,5966033	0,0000424	15,4147637	15,4148062
2070	0,999978149	2,18511E-05	0,0002267	344,59683	0,0000395	15,4147788	15,4148183
2080	0,999979675	2,03248E-05	0,00021088	344,5970409	0,0000367	15,4147929	15,4148297
2090	0,999981097	1,89025E-05	0,000196137	344,597237	0,0000341	15,4148061	15,4148402
2100	0,999982423	1,75774E-05	0,000182399	344,5974194	0,0000318	15,4148184	15,4148501
2110	0,999983657	1,63428E-05	0,000169601	344,597589	0,0000295	15,4148298	15,4148593
2120	0,999984807	1,5193E-05	0,000157679	344,5977467	0,0000274	15,4148405	15,4148679
2130	0,999985878	1,41221E-05	0,000146575	344,5978933	0,0000255	15,4148504	15,4148759
2140	0,999986875	1,31249E-05	0,000136235	344,5980295	0,0000237	15,4148597	15,4148834
2150	0,999987804	1,21964E-05	0,000126606	344,5981561	0,0000220	15,4148684	15,4148904
2160	0,999988668	1,13321E-05	0,000117643	344,5982738	0,0000205	15,4148764	15,4148969
2170	0,999989472	1,05277E-05	0,000109299	344,5983831	0,0000190	15,4148839	15,4149029
2180	0,999990221	9,779E-06	0,000101533	344,5984846	0,0000177	15,4148909	15,4149086
2190	0,999990918	9,08236E-06	9,43068E-05	344,5985789	0,0000164	15,4148974	15,4149139
2200	0,999991566	8,43421E-06	8,75828E-05	344,5986665	0,0000152	15,4149035	15,4149188
2210	0,999992169	7,83128E-06	8,13275E-05	344,5987478	0,0000141	15,4149092	15,4149233
2220	0,999992737	7,27049E-06	7,55089E-05	344,5988233	0,0000131	15,4149144	15,4149276
2230	0,999993251	6,74896E-06	7,00972E-05	344,5988934	0,0000122	15,4149193	15,4149315
2240	0,999993736	6,26401E-06	6,50648E-05	344,5989585	0,0000113	15,4149239	15,4149352
2250	0,999994187	5,81314E-06	6,03857E-05	344,5990189	0,0000105	15,4149282	15,4149387
2260	0,999994606	5,39402E-06	5,60358E-05	344,5990749	0,0000097	15,4149321	15,4149419
2270	0,999994996	5,00446E-06	5,19924E-05	344,5991269	0,0000090	15,4149358	15,4149448
2280	0,999995358	4,64242E-06	4,82344E-05	344,5991751	0,0000084	15,4149392	15,4149476
2290	0,999995694	4,30602E-06	4,47422E-05	344,5992199	0,0000078	15,4149424	15,4149502
2300	0,999996007	3,99347E-06	4,14974E-05	344,5992614	0,0000072	15,4149454	15,4149526
2310	0,999996297	3,70313E-06	3,8483E-05	344,5992999	0,0000067	15,4149481	15,4149548
2320	0,999996567	3,43345E-06	3,56829E-05	344,5993355	0,0000062	15,4149507	15,4149569
2330	0,999996817	3,18301E-06	3,30823E-05	344,5993686	0,0000057	15,4149531	15,4149588
2340	0,99999705	2,95045E-06	3,06673E-05	344,5993993	0,0000053	15,4149553	15,4149606
2350	0,999997265	2,73453E-06	2,84249E-05	344,5994277	0,0000049	15,4149573	15,4149623
2360	0,999997466	2,53409E-06	2,63431E-05	344,5994541	0,0000046	15,4149592	15,4149638
2370	0,999997652	2,34804E-06	2,44106E-05	344,5994785	0,0000042	15,4149610	15,4149653
2380	0,999997825	2,17537E-06	2,2617E-05	344,5995011	0,0000039	15,4149627	15,4149666
2390	0,999997985	2,01515E-06	2,09526E-05	344,599522	0,0000036	15,4149642	15,4149678
2400	0,999998134	1,86649E-06	1,94082E-05	344,5995414	0,0000034	15,4149656	15,4149690
2410	0,999998271	1,72857E-06	1,79753E-05	344,5995594	0,0000031	15,4149669	15,4149701
2420	0,999998399	1,60065E-06	1,66461E-05	344,5995761	0,0000029	15,4149682	15,4149711
2430	0,999998518	1,48201E-06	1,54133E-05	344,5995915	0,0000027	15,4149693	15,4149720
2440	0,999998628	1,37199E-06	1,427E-05	344,5996058	0,0000025	15,4149704	15,4149728
2450	0,99999873	1,26997E-06	1,32098E-05	344,599619	0,0000023	15,4149714	15,4149736
2460	0,999998825	1,1754E-06	1,22269E-05	344,5996312	0,0000021	15,4149723	15,4149744
2470	0,999998912	1,08773E-06	1,13157E-05	344,5996425	0,0000020	15,4149731	15,4149751
2480	0,999998994	1,00648E-06	1,04711E-05	344,599653	0,0000018	15,4149739	15,4149757
2490	0,999999069	9,31183E-07	9,68832E-06	344,5996627	0,0000017	15,4149746	15,4149763
2500	0,999999139	8,61411E-07	8,96297E-06	344,5996716	0,0000016	15,4149753	15,4149768
2510	0,999999203	7,96769E-07	8,2909E-06	344,5996799	0,0000014	15,4149759	15,4149774
2520	0,999999263	7,36887E-07	7,66828E-06	344,5996876	0,0000013	15,4149765	15,4149778
2530	0,999999319	6,81422E-07	7,09154E-06	344,5996947	0,0000012	15,4149770	15,4149783
2540	0,99999937	6,30054E-07	6,55738E-06	344,5997012	0,0000011	15,4149775	15,4149787
2550	0,999999418	5,82488E-07	6,06271E-06	344,5997073	0,0000011	15,4149780	15,4149790
2560	0,999999462	5,38447E-07	5,60468E-06	344,5997129	0,0000010	15,4149784	15,4149794
2570	0,999999502	4,97676E-07	5,18062E-06	344,5997181	0,0000009	15,4149788	15,4149797
2580	0,99999954	4,59936E-07	4,78806E-06	344,5997229	0,0000008	15,4149792	15,4149800
2590	0,999999575	4,25006E-07	4,42471E-06	344,5997273	0,0000008	15,4149795	15,4149803
2600	0,999999607	3,92682E-07	4,08844E-06	344,5997314	0,0000007	15,4149798	15,4149806
2610	0,999999637	3,62773E-07	3,77728E-06	344,5997352	0,0000007	15,4149801	15,4149808
2620	0,999999665	3,35101E-07	3,48937E-06	344,5997387	0,0000006	15,4149804	15,4149810
2630	0,99999969	3,09503E-07	3,22302E-06	344,5997419	0,0000006	15,4149807	15,4149812
2640	0,999999714	2,85827E-07	2,97665E-06	344,5997449	0,0000005	15,4149809	15,4149814
2650	0,999999736	2,6393E-07	2,74878E-06	344,5997476	0,0000005	15,4149811	15,4149816
2660	0,999999756	2,43681E-07	2,53805E-06	344,5997501	0,0000004	15,4149813	15,4149817

ANEXO A – DECLARAÇÃO DA EMPRESA



Declaro para os devidos fins, que Pedro Henrique Duque Saber de Lima estagiário/funcionário da empresa U&M Mineração e Construção possui autorização para divulgar o nome da empresa bem como dados não confidenciais na elaboração de seu trabalho de conclusão de curso apresentado a Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Juiz de Fora, 23 de novembro de 2020.



Luiz Felipe Rocha
Diretor de manutenção U&M Mineração e Construção

The signature is a complex, cursive scribble in black ink, written over a horizontal line. It features several loops and sharp turns, extending both above and below the line.

ANEXO B – TERMO DE AUTENTICIDADE**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA****Termo de Declaração de Autenticidade de Autoria**

Declaro, sob as penas da lei e para os devidos fins, junto à Universidade Federal de Juiz de Fora, que meu Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Graduação em Engenharia Mecânica é original, de minha única e exclusiva autoria. E não se trata de cópia integral ou parcial de textos e trabalhos de autoria de outrem, seja em formato de papel, eletrônico, digital, áudio-visual ou qualquer outro meio.

Declaro ainda ter total conhecimento e compreensão do que é considerado plágio, não apenas a cópia integral do trabalho, mas também de parte dele, inclusive de artigos e/ou parágrafos, sem citação do autor ou de sua fonte.

Declaro, por fim, ter total conhecimento e compreensão das punições decorrentes da prática de plágio, através das sanções civis previstas na lei do direito autoral¹ e criminais previstas no Código Penal², além das cominações administrativas e acadêmicas que poderão resultar em reprovação no Trabalho de Conclusão de Curso.

Juiz de Fora, 06 de Novembro de 2017.

Pedro Henrique Duque Saber de Lima – Discente
Matrícula: 201465414M – CPF: 108.580.896-37

¹ LEI N° 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998. Altera, atualiza e consolida a legislação sobre direitos autorais e dá outras providências.

² Art. 184. Violar direitos de autor e os que lhe são conexos: Pena – detenção, de 3 (três) meses a 1 (um) ano, ou multa.