



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA



LUANN REIS E SILVA

**ESTUDO DA CONFIABILIDADE DA MANUTENÇÃO APLICADA A
TRATORES DE ESTEIRA: O CASO DE UMA EMPRESA DE
MINERAÇÃO**

OURO PRETO - MG
2019

LUANN REIS E SILVA
luann.reis@yahoo.com.br

**ESTUDO DA CONFIABILIDADE DA MANUTENÇÃO APLICADA A
TRATORES DE ESTEIRA: O CASO DE UMA EMPRESA DE
MINERAÇÃO**

Monografia apresentada ao Curso de
Graduação em Engenharia Mecânica
da Universidade Federal de Ouro Preto
como requisito para a obtenção do
título de Engenheiro Mecânico.

Professor orientador: Dr. Washington Luís Vieira da Silva

OURO PRETO – MG
2019

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

R375e Reis e Silva, Luann .
Estudo da confiabilidade da manutenção aplicada a tratores de esteira
[manuscrito]: o caso de uma empresa de mineração. / Luann Reis e Silva. Luann
Reis E Silva. - 2020.
79 f.: il.: color., tab..

Orientador: Prof. Dr. Washington Luis Vieira da Silva.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de
Minas.

1. Manutenção. 2. Confiabilidade (Engenharia). 3. Tratores de Esteira . 4.
Distribuição (Teoria da probabilidade) - Distribuição Weibull. 5. Mineração a céu
aberto. I. Silva, Luann Reis E . II. Silva, Washington Luis Vieira da. III. Universidade
Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 621



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ATA DA DEFESA

Aos 06 dias do mês de Dezembro de 2019, às 13h 00min, no Auditório da Fundação Gorceix, localizada na Escola de Minas – Campus - UFOP, foi realizada a defesa de Monografia do aluno Luann Reis e Silva, sendo a comissão examinadora constituída pelos professores: Prof. DSc. Washington Luís Vieira da Silva, Prof. MSc. Sávio Sade Tayer e Prof^a. PhD. Elisângela Martins Leal. O candidato apresentou o trabalho intitulado: “**Estudo da Confiabilidade da Manutenção Aplicada a Tratores de Esteira: o caso de uma Empresa de Mineração**”, sob orientação do Prof. DSc Washington Luís Vieira da Silva. Após as observações dos avaliadores, em comum acordo os presentes consideram o(a) aluno(a) APROVADO.

Ouro Preto, 06 de Dezembro de 2019

Prof. DSc. Washington Luís Vieira da Silva
Professor Orientador

Prof. MSc. Sávio Sade Tayer
Professor Avaliador

Prof. PhD. Elisângela Martins Leal
Professor Avaliador

Luann Reis e Silva

Aluno(a)

A minha família pelo apoio incondicional

A meus amigos pela companhia

A todas as pessoas que de alguma forma
contribuíram para que eu chegasse até
aqui

AGRADECIMENTO

Agradeço aos meus pais Joselito e Michele pelo apoio incondicional e por terem sempre acreditado em mim.

A Emerson Reis pelo grande carinho e incentivo durante toda a graduação.

Aos meus irmãos Francisco e Maria Vitória por serem sempre presentes e pela grande contribuição para que eu pudesse me cobrar a ser um exemplo a ser seguido e sempre ser uma pessoa melhor a cada dia.

Aos meus avós, em particular Sônia e Fernando, por conselhos e por terem me acolhido em Ouro Preto.

Aos tios e tias Luciano, Fernanda, Érika, Luiz, Gilberto, Bernardo, Teolinda e Rosinéia.

Aos primos Luiz Guilherme, Cauã, Carolina, Bernardo, Pedro, Isabela, Yuri, Sofia e Júlia.

Aos meus queridos amigos Bruno Mol, Bruno Janeiro (Bruneca), Yan Cunha, Rodrigo Matos, Leandro Augusto (Barnabé), João Lúcio, Gustavo Prado, Leonardo Oprissu, Luiz Janeiro, Pedro Ivo Vianello, David Silvestre por serem sempre um sustentáculo em todas as horas difíceis.

Aos amigos de faculdade Lucas Alves, Matheus Oliveira (batutinha), Mateus Ramos, Lucas Fernandes (Delay), Milton Teles (Tororó), Wagner Farias (Wagão), Tiago Marcos, Rodrigo Barbosa e Luiz Ferreira pelo companheirismo.

Aos companheiros do intercâmbio Vinícius Barcelos, Vinícius Bernardinelli, Jéssica Lanza e Júlio Lima, Bruna Pereira e Gabriela Machado por terem feito parte da melhor fase da graduação.

Ao meu orientador Washington, pela paciência, ajuda e incentivo neste trabalho.

“É muito melhor lançar-se em busca de conquistas grandiosas, mesmo expondo-se ao fracasso, do que alinhar-se com os pobres de espírito, que nem gozam muito nem sofrem muito, porque vivem numa penumbra cinzenta, onde não conhecem nem a vitória nem a derrota”.

Theodore Roosevelt

RESUMO

SILVA, Luann Reis: **Estudo de confiabilidade da manutenção aplicado a tratores de esteira: o caso de uma empresa de mineração**, 2019. (Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Ouro Preto.

Este trabalho, tem como objetivo, aplicar o estudo da confiabilidade aplicada a manutenção de tratores de esteira de uma empresa do setor de mineração. Este equipamento é de vital importância para o processo de mineração uma vez que sua falha pode acarretar a parada do processo como um todo e conseqüentemente gerar prejuízo financeiro à empresa. Para a realização do estudo da confiabilidade é necessário a aplicação de múltiplos métodos garantindo que os equipamentos continuarão a desempenhar suas finalidades que foram pré-estabelecidas em projeto. Assim, o estudo se realizou a partir de uma revisão bibliográfica que esclareceu conceitos atrelados a confiabilidade. Depois disso, se viu necessário a determinação da metodologia que possui caráter exploratório e estudo de caso, bem como uma análise qualitativa e quantitativa da confiabilidade. Os dados fornecidos pela empresa foram através do Microsoft Excel e as curvas de confiabilidade construídas a partir da Distribuição Weibull através do software Weibull ++ 6 da Reliasoft. Após determinar a frota de tratores com maior número de eventos, foi necessário definir o equipamento dessa frota que mais falha e dentro desse equipamento o sistema com o maior número de avarias. Com base no presente estudo concluiu-se que embora as curvas de confiabilidade dos sistemas do equipamento TE4415 da frota Kom D375 possuíssem parâmetros de forma diferentes, as curvas de confiabilidade possuíram o mesmo comportamento sendo perceptível um intenso decréscimo da confiabilidade a medida que o intervalo de tempo de operação do equipamento aumenta. Finalmente, o sistema elétrico apresentou a maioria das suas falhas ligadas a descarga de bateria. Dessa forma, o estudo da confiabilidade para tratores de esteira obteve resultados pertinentes já que os dados puderam ser estratificados e as curvas de confiabilidade construídas a partir dos dados fornecidos pela empresa.

Palavras-chave: *Manutenção, Confiabilidade, Tratores de Esteira, Distribuição Weibull, Mineração.*

ABSTRACT

This work aimed to apply the Maintenance Reliability Study for crawler tractors in a mining company. This equipment is very important for the mining process since its failure can stop the whole process and consequently hurt financially the firm. The Maintenance Reliability Study clusters multiple methods ensuring that the equipment will continue to fulfill its pre-established design purposes. Thus, the study was conducted from a literature review that clarified concepts linked to Reliability and Maintenance, thereafter it was necessary to determine the methodology that has exploratory character and case study as well as a qualitative and quantitative analysis of reliability. The data provided by the company were through Microsoft Excel and the reliability curves constructed with the Weibull Distribution through the software Weibull of Reliasoft. After determining the fleet of tractors with the largest number of events, it was necessary to define the equipment of this fleet that failed the most and within that equipment, the system with the largest number of malfunctions. Based on the present study it was concluded that although the reliability curves of the TE4415 equipment systems of the Kom D375 fleet had different shape parameter, the reliability curves had the same behavior, a marked decrease in reliability is noticeable as the equipment's operating time increases. Finally, the electrical system exhibited most of its battery discharge faults. So, the Maintenance Reliability Study had pertinent results as data could be stratified and reliability curves built from data provided by the company.

Keywords: *Maintenance, Reliability, Crawler tractors, Weibull Distribution, Mining*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplo de função de densidade Weibull para vários valores de γ	19
Figura 2 - Curva da Banheira Fonte: Revista Espacios (2015)	23
Figura 3 - Terminologia Particular do RCFA.....	32
Figura 4 - Desenvolvimento do trabalho	36
Figura 5 - Estruturação do trabalho	37
Figura 6 – Metais ferrosos: Maiores Jazidas Brasil.....	39
Figura 7 - Trator de Esteira Komatsu 375A	43
Figura 8 - Modelo esquemático material rodante	44
Figura 9 - Ilustração dos dados fornecido pela empresa pelo <i>software</i> Microsoft Excel.....	46
Figura 10 - Gráfico da quantidade de Manutenção Programada e não Programada por Frota	48
Figura 11 - Gráfico de Pizza com o percentual de equipamentos por frota	50
Figura 12 – Eventos de Manutenção por tipo de frota	50
Figura 13 - Percentual de eventos e percentual de equipamentos por frota	51
Figura 14 - Quantidade e Percentual de eventos em função da frota	52
Figura 15 - Quantidade e percentual de eventos por equipamento da frota Kom D375	53
Figura 16 - Diagrama de Pareto - Eventos de Manutenção não programada equipamentos da frota Kom D375.....	54
Figura 17 - Eventos de Manutenção não Programada em função do sistema que falhou	55
Figura 18 - Eventos de Manutenção Não Programada em função do subconjunto do equipamento TE4415.....	56
Figura 19 - Curva de Confiabilidade dos Eventos de Paradas não programadas do Sistema Elétrico pertencente ao equipamento TE4415 da frota KomD375 dos tratores de esteira.....	59
Figura 20 - Curva de Confiabilidade dos Eventos de Paradas não programadas do Sistema Hidráulico pertencente ao equipamento TE4415 da frota KomD375 dos tratores de esteira. .	62

Figura 21 - Curva de Confiabilidade dos Eventos de Paradas não programadas do Sistema de Ar condicionado pertencente ao equipamento TE4415 da frota KomD375 dos tratores de esteira	63
Figura 22 - Curva de Confiabilidade dos Eventos de Paradas não programadas do Sistema de Locomoção pertencente ao equipamento TE4415 da frota KomD375 dos tratores de esteira.	64
Figura 23 - Curva de Confiabilidade dos Eventos de Paradas não programadas do Sistema de Estrutura pertencente ao equipamento TE4415 da frota KomD375 dos tratores de esteira.....	65
Figura 24 - Curva de Confiabilidade dos Eventos de Paradas não programadas do sistema de Motor de Combustão pertencente ao equipamento TE4415 da frota KomD375 dos tratores de esteira.....	66
Figura 25 - Curva de Confiabilidade dos Eventos de Paradas não programadas do Sistema de Transmissão de Força pertencente ao equipamento TE4415 da frota KomD375 dos tratores de esteira.....	67
Figura 26 - Eventos de Falhas por Tipo de Componente do Sistema Elétrico do equipamento TE4415 da frota Kom D375	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Evolução da Manutenção	6
Tabela 2 - Variáveis e Indicadores	37
Tabela 3 - Número e Percentual de equipamento por frota.....	47
Tabela 4 - Quantidade de Manutenção Programada e não Programada por frota.....	48
Tabela 5 - Quantidade de Manutenção não Programada por frota	49
Tabela 6 - Percentual de Equipamentos e Percentual de Eventos por frota	49
Tabela 7 - Quantidade e Percentual de eventos por equipamento da frota KomD375.....	54
Tabela 8 - Número de eventos por Sistema da frota Kom D375.....	56
Tabela 9 - Informações necessária para construção da curva de confiabilidade para avarias no sistema elétrico	57
Tabela 10 - Valor da confiabilidade por intervalo de tempo arbitrado do Sistema Elétrico	60
Tabela 11 - Valores do parâmetro de forma por sistema.....	68
Tabela 12 - Valor da confiabilidade por intervalo de tempo arbitrado do Sistema Hidráulico	69
Tabela 13 - Valor de confiabilidade por intervalo de tempo arbitrado do Sistema Ar Condicionado.....	69
Tabela 14 - Valor de confiabilidade por intervalo de tempo arbitrado do Sistema de Locomoção	70
Tabela 15 - Valor de confiabilidade por intervalo de tempo arbitrado do Sistema Estrutural .	70
Tabela 16 - Valor de confiabilidade por intervalo de tempo arbitrado do Sistema Motor de Combustão.....	70
Tabela 17 - Valor de confiabilidade por intervalo de tempo arbitrado do Sistema de Transmissão de Força	71
Tabela 18 - Dados detalhados das falhas do sistema elétrico do equipamento TE4415 da frota Kom D375	73

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Formulação do Problema.....	1
1.2	Justificativa.....	3
1.3	Objetivos.....	3
1.3.1	Geral	3
1.3.2	Específicos.....	4
1.4	Estrutura do Trabalho	4
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1	Histórico da Manutenção.....	5
2.1.1	Primeira Geração	6
2.1.2	Segunda Geração	7
2.1.3	Terceira Geração.....	7
2.1.4	Quarta Geração	8
2.1.5	Quinta Geração	8
2.2	Conceito da Manutenção	9
2.3	Tipos de Manutenção.....	10
2.3.1	Manutenção Corretiva	10
2.3.2	Manutenção Preventiva	11
2.3.3	Manutenção Preditiva.....	13
2.3.4	Manutenção Autônoma.....	13
2.4	Confiabilidade	14
2.4.1	Breve Histórico.....	14
2.4.2	Conceitos	15
2.4.3	Engenharia da Confiabilidade	16
2.4.4	Distribuições de tempo até a falha.....	16
2.5	Disponibilidade.....	19
2.5.1	Disponibilidade Inerente.....	20
2.5.2	Disponibilidade Técnica.....	20
2.5.3	Disponibilidade Operacional	21
2.6	Taxa de Falhas	21
2.7	Mantenabilidade (ou Manutenibilidade)	24
2.8	Manutenção Centrada em Confiabilidade	25
2.8.1	Contexto Histórico.....	26

2.8.2	Conceituação	26
2.8.3	Etapas da MCC.....	27
2.8.4	Implantação da MCC.....	29
2.8.5	Análise de modo e efeito de falha (FMEA).....	29
2.8.6	Análise de causa raiz de falha (RCFA)	31
2.9	Considerações finais do capítulo	33
3	METODOLOGIA.....	34
3.1	Tipos de Pesquisa	34
3.2	Materiais e métodos.....	35
3.3	Variáveis e Indicadores	37
3.4	Coleta de dados.....	38
3.5	Tabulações de Dados	38
3.6	Considerações finais do capítulo	38
4	RESULTADOS	39
4.1	Características da empresa.....	39
4.1.1	O Minério de Ferro	39
4.1.2	O Ciclo do Minério.....	41
4.2	Características do Trator de Esteira.....	42
4.3	Análise da Confiabilidade na Manutenção de Tratores de Esteira.....	45
5	CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	74
5.1	Conclusão	74
5.2	Recomendações	75
	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	76

1 INTRODUÇÃO

1.1 Formulação do Problema

No atual cenário do mundo empresarial, a gestão da manutenção, é um fator de grande relevância, visto que a competitividade das corporações exige o mínimo de falhas possíveis, pois falhas nos equipamentos resultam em grandes transtornos para empresa, sobretudo financeiros. Dessa forma, uma gestão de manutenção feita de forma aprimorada, precisa e eficaz torna-se indispensável para qualquer tipo de empreendimento.

O conceito de manutenção pode ser tratado de várias maneiras diferentes. Xenos (2004) cita em sua obra o conceito de manutenção em duas instâncias, sendo uma delas vinculado à norma regulamentadora NBR 5462/1994 e a outra vinculado ao dicionário Aurélio (2007). Na primeira o conceito de manutenção é determinado pela “combinação 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”. Ou seja, manter significa fazer tudo que for preciso para assegurar que um equipamento continue a desempenhar as funções para as quais foi projetado, num nível de desempenho exigido. Já na segunda, a manutenção é definida “como as medidas necessárias para a conservação ou a permanência de alguma coisa ou de uma situação ou ainda como os cuidados técnicos indispensáveis ao funcionamento regular e permanente de motores e máquinas”.

Xenos (2004) aborda que as atividades de manutenção existem para evitar a degradação dos equipamentos e instalações, causada pelo seu desgaste natural e pelo uso. Degradação esta que pode se manifestar de variadas formas. Essas manifestações influenciam vigorosamente na produtividade e na qualidade das corporações. Dessa forma, a manutenção exerce uma função vital na melhoria da produtividade e não se pode ignorar as conveniências que sua boa administração pode proporcionar.

Os principais métodos de manutenção abordado pela maioria dos estudiosos da área de manutenção são: Manutenção Preventiva, Manutenção Corretiva e Manutenção Preditiva. A manutenção preventiva, conforme Viana (2002) expõe em seu livro, é todo o serviço de manutenção feito em máquinas que não estejam em falha, estando com isto em condições operacionais ou em estado de zero defeito. O conceito de manutenção corretiva segundo ABNT (NBR 4562, 1994) *apud* Viana (2002) “é a manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane, destinada a colocar um item em condições de executar uma função requerida”. Já a manutenção

preditiva possui um conceito um pouco mais complexo do que as anteriores. Em virtude do alto custo da manutenção preventiva, a manutenção preditiva, conforme Viana (2002) trata em sua obra, são tarefas de manutenção que visam acompanhar a máquina ou as peças, por monitoramento, medições ou por controle estático e tentam previamente dizer a proximidade da ocorrência da falha. A concepção de manutenção autônoma é uma estratégia simples e prática para envolver os operadores dos equipamentos nas atividades de manutenção diária, tais como a inspeção, limpeza e lubrificação (XENOS, 2004).

Entretanto, para que a manutenção seja feita com êxito e de forma satisfatória é necessário criar um plano de manutenção, promovendo assim uma maior organização e eficácia no exercício dela (XENOS, 2004).

Para Viana (2002), os planos de manutenção são o conjunto de informações necessárias, para a orientação perfeita da atividade de manutenção preventiva. O que representa na prática, o detalhamento da estratégia de manutenção assumida por uma empresa. Sua disposição no tempo e no espaço e a qualidade das suas instruções, ditam o tratamento dado pelo organismo mantenedor para com sua ação. É afirmado ainda pelo autor que a metodologia da confiabilidade aplicada na manutenção é uma das metodologias mais eficientes para análise das falhas.

A Confiabilidade aplicada na Manutenção é um processo usado para determinar o que deve ser feito para assegurar que qualquer ativo físico continue a fazer o que os seus usuários querem que ele faça no seu contexto operacional presente. Esta técnica visa estudar as diversas formas de como um componente pode vir a falhar, suas causas, efeitos e identificar o a chance do equipamento falhar em um determinado tempo de operação (MOUBRAY, 1992; VIANA, 2002).

Dessa forma, entende-se que nos quesitos de alto rendimento lucrativo e planejamento da manutenção, a confiabilidade aplicada à manutenção é o método que proporciona efeitos monetários e funcionais mais satisfatórios, podendo este ser aplicado em profusas áreas como siderurgias, automobilísticas, aeronáuticas, alimentícias e sobretudo na mineração, ao qual esse estudo irá se aplicar.

No âmbito da mineração há vários equipamentos de alta relevância para a produtividade e a lucratividade das corporações. Uma máquina importante para o processo é o trator de esteira que por sua vez é um equipamento versátil com a finalidade de terraplanagem, escavação, empilhamento, dentre outras aplicações. A falha ou interrupção da atividade dessa máquina

pode acarretar grandes transtornos para o bom andamento da produção da empresa provocando danos na rentabilidade dela.

Em face da circunstância evidenciada e de acordo com a magnitude da manutenção perante o cenário de redução de falhas e consequente produção a baixo custo, indaga-se:

Como aplicar o estudo da confiabilidade para a manutenção de tratores de esteira em uma empresa do setor de mineração?

1.2 Justificativa

A presença de equipamentos cada vez mais sofisticados e de alta produtividade faz a exigência de disponibilidade ser cada vez maior, os custos de inatividade ou de subatividade se tornaram altos. Então não basta se ter instrumentos de produção, é preciso saber usá-los de forma racional e produtiva. Baseadas nesta ideia as técnicas de organização, planejamento e controle nas empresas sofreram uma tremenda evolução (VIANA, 2002).

Na mineração, a função do trator de esteira é essencial para o desenvolvimento de uma mina, podendo desempenhar várias funções. Sua versatilidade aumenta a importância na realização de serviços. Ele pertence a frota de infraestrutura e sua atividade geralmente antecede as atividades de produção, por isso, os atrasos oriundos do seu deslocamento poderão comprometer todo o planejamento e ainda causar perda de produtividade de outros equipamentos, como afirma Zagôto (2015) em seu trabalho.

O estudo do trabalho em questão torna-se relevante no que arremete ao fato de que os tratores de esteira apresentam um custo elevado para aquisição, operação e principalmente um alto custo de manutenção. É um equipamento robusto, com uma força de tração ampla, mas em contrapartida, possui locomoção e velocidades restritas. Por ser um equipamento de grande complexidade torna-se de vital importância em âmbito geral de produção no setor de mineração. O estudo da confiabilidade aplicada a manutenção pode valer-se de papel importante para evitar a ocorrência de falhas, aumentar sua vida útil e diminuir a ociosidade deste equipamento tão significativo nesta área.

1.3 Objetivos

1.3.1 Geral

Aplicar o estudo da confiabilidade para a manutenção de tratores de esteira em uma empresa do setor de mineração.

1.3.2 Específicos

- Realizar um estudo bibliográfico sobre: Manutenção, Confiabilidade, disponibilidade, taxa de falhas e análise de modo e feito de falha;
- Emergir no sistema da empresa afim de coletar os dados necessários para a diminuição das falhas e anomalias dos tratores de esteira;
- Equiparar os dados retirados do banco de dados da empresa com intenção de verificar a aplicação da confiabilidade neste estudo;

1.4 Estrutura do Trabalho

O estudo será dividido em cinco capítulos de modo que o capítulo 1 é uma introdução que apresenta a formulação do problema, a justificativa, e os objetivos. Já no capítulo 2 é exibida uma revisão bibliográfica, com os conceitos de manutenção, métodos de manutenção, confiabilidade e o método de confiabilidade aplicada à manutenção. No capítulo 3 é retratada de forma detalhada a metodologia adotada no estudo, bem como as ferramentas utilizadas. O capítulo 4 explicita os resultados e discussões a partir dos dados fornecidos pela empresa. Finalmente, o capítulo 5 apresenta as conclusões do trabalho e recomendações.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Histórico da Manutenção

Com o advento da Revolução Industrial no final do século XVIII, a sociedade humana começou a se agigantar, no tocante da sua capacidade de produzir bens de consumo. No século XX as revoluções foram várias, sendo peculiares as ocorridas no campo da tecnologia, cada vez mais rápidas e impactantes no *modus vivendi* do homem (VIANA, 2002).

Viana (2002) afirma que a manutenção industrial surge efetivamente como função vital da produção no século XVI com a aparição dos primeiros teares mecânicos, época que a produção artesanal começa a ser abandonada e um sistema econômico feudal entra em declínio. Neste período, o fabricante do maquinário treinava os funcionários para operar e manter o equipamento e ocupando estes papéis, os operadores também considerados como mantenedores, não havendo assim especificamente uma equipe de manutenção.

De acordo com Kardec e Nascif (2009) a evolução da manutenção pode ser dividida em cinco gerações: primeira geração, segunda geração, terceira geração, quarta geração e quinta geração.

Na tabela 1, os autores Kardec e Nascif (2009) elucidam claramente a evolução da manutenção ao longo dos anos. Cada geração será apresentada nos subitens a seguir.

Tabela 1 - Evolução da Manutenção
EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO

Geração	Primeira Geração	Segunda Geração	Terceira Geração	Quarta Geração	Quinta Geração
Ano	Anos 40 e 50	Anos 60 e 70	Anos 80 e 90	2000 a 2010	2010 a 2020
Aumento das expectativas em relação à Manutenção	<ul style="list-style-type: none"> Conserto após a falha 	<ul style="list-style-type: none"> Disponibilidade crescente Maior vida útil do equipamento 	<ul style="list-style-type: none"> Maior Disponibilidade Maior Confiabilidade Melhor Relação custo-benefício Preservação do meio ambiente 	<ul style="list-style-type: none"> Maior Disponibilidade Maior Confiabilidade Gerenciar ativos Preservação do meio ambiente Segurança Influir nos resultados dos negócios 	<ul style="list-style-type: none"> Gerenciar ativos Otimizar os ciclos de vida dos ativos Influir nos resultados dos negócios
Visão quanto à folha de ativo	<ul style="list-style-type: none"> Todos os equipamentos se desgastam com a idade e por isso falham 	<ul style="list-style-type: none"> Todos os equipamentos se comportam de acordo com a curva da banheira 	<ul style="list-style-type: none"> Existência de 6 padrões de falhas 	<ul style="list-style-type: none"> Reduzir drasticamente falhas prematuras 	<ul style="list-style-type: none"> Planejamento do ciclo de vida desde o projeto para reduzir falhas
Mudanças nas técnicas de manutenção	<ul style="list-style-type: none"> Habilidades voltadas para o reparo 	<ul style="list-style-type: none"> Planejamento Manual da manutenção Computadores grandes e lentos Manutenção preventiva (por tempo) 	<ul style="list-style-type: none"> Monitoramento da condição Manutenção preditiva Análise de risco Computadores pequenos e rápidos Software potentes Grupos de trabalho disciplinares Projetos voltados para a confiabilidade 	<ul style="list-style-type: none"> Aumento da manutenção preditiva e monitoramento da condição Redução nas manutenções preventiva e corretiva não planejada Análise de falhas Técnicas de confiabilidade Manutenibilidade Contratação por resultados Projetos voltados para a confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade 	<ul style="list-style-type: none"> Aumento da manutenção preditiva e monitoramento da condição online e offline Participação efetiva no projeto, aquisição, instalação, comissionamento, operação e manutenção de ativos Garantir que os ativos operem dentro de sua máxima eficiência Implementar melhorias objetivando redução de falhas Excelência em engenharia da manutenção Consolidação da contratação por resultados

Fonte: Kardec e Nascif (2009)

2.1.1 Primeira Geração

Dhillon e Tavares *apud* BARAN (2011, p.19) elucidam a ideia de que:

O desenvolvimento técnico da manutenção é acompanhado pela história da humanidade, tendo seu início com a invenção da máquina a vapor de James Watt (1936-1819), quando houve a necessidade de reparo das primeiras máquinas industriais.

A Primeira Geração abrange o período antes da Segunda Guerra Mundial, quando os equipamentos eram simples, superdimensionados em sua maioria e a indústria era pouco mecanizada. Aliado a tudo isto, a produtividade não era um fator de relevância. Por conseguinte, não era essencial uma manutenção sistematizada; apenas serviços de limpeza e lubrificação e os reparos eram realizados após a quebra, ou seja, tratava-se da manutenção sendo apenas uma manutenção corretiva e não planejada (MOUBRAY e SIQUEIRA *apud* BARAN, 2011). Já o

conceito de falha era visto de forma muito menos complexo do que hoje em que “todos os equipamentos se desgastavam com o passar dos anos, vindo a sofrerem falhas ou quebras”, como afirmam Kardec e Nascif (2009).

2.1.2 Segunda Geração

A segunda geração ocorreu logo após à Segunda Guerra Mundial, final dos anos 50, em virtude da tensão do período pós-guerra que culminou no aumento da demanda por diversos tipos de produtos ao mesmo tempo que ocorreu a diminuição circunstancial da mão-de-obra. Daí, houve um forte aumento da mecanização, bem como o início da complexidade das instalações industriais, acarretando altos custos relacionados à manutenção (MOUBRAY; SIQUEIRA *apud* BARAN, 2011).

Começa a evidenciar-se a necessidade de maior disponibilidade, na busca da maior produtividade; a indústria estava bastante dependente do bom funcionamento das máquinas. Isto levou à ideia de que falhas dos equipamentos poderiam e deveriam ser evitadas, o que resultou no conceito de manutenção preventiva (KARDEC e NASCIF, 2009).

2.1.3 Terceira Geração

Depois da década de 70, agilizou-se o processo de mudança nas indústrias. A interrupção da produção, que diminuía o volume produzido, aumentava os custos e afetava a qualidade dos produtos, era uma preocupação generalizada conforme Kardec e Nascif (2009) certificam. Segundo os mesmos autores o crescimento da automação e da mecanização passou a indicar que confiabilidade e disponibilidade se tornaram pontos-chave em setores bem distintos e cada vez mais, as falhas provocam sérias consequências na segurança e no meio ambiente, em um momento em que os padrões de exigências nessas áreas começaram a aumentar velozmente.

Com o aumento da industrialização um esforço científico de pesquisa foi motivado voltado para o desenvolvimento de técnicas de manutenção preventiva, orientadas para minimizar os impactos de falhas nos processos de meios de produção. Daí, surge na década de 50 as técnicas de manutenção preditiva e nos anos 70, surge a MPT (manutenção produtiva total), responsável por associar e reunir os ideais, conceitos e as técnicas previamente discutidas e confirmadas pela primeira e segunda geração (FREITAS, 2012).

2.1.4 Quarta Geração

A consolidação das atividades de Engenharia da Manutenção, dentro da estrutura organizacional da manutenção, tem na garantia da Disponibilidade, da Confiabilidade e da Manutenibilidade as três maiores justificativas de sua existência (KARDEC e NASCIF, 2009).

Em conformidade com Kardec e Nascif (2009), na quarta geração a manutenção passa a ter como desafio a minimização das falhas prematuras e, com isso, a prática de análise de falhas torna-se uma metodologia consagrada como uma prática capaz de melhorar o desempenho dos equipamentos e da empresa. Os autores ainda afirmam que novos projetos devem privilegiar os aspectos de confiabilidade e disponibilidade; tem o início a visão do Custo do Ciclo de Vida da instalação. Essa sistemática adotada pelas grandes corporações privilegia a interação entre as áreas de engenharia, manutenção e operação como fator de garantia dessas metas.

2.1.5 Quinta Geração

As práticas adotadas na Quarta Geração são mantidas, mas o enfoque nos resultados empresariais, razão principal para obtenção da competitividade, necessária à sobrevivência da empresa, é obtido através do esforço conjunto em todas as áreas coordenadas pela sistemática da Gestão de Ativos. Por essa sistemática, os ativos devem produzir na sua capacidade máxima, sem falhas não previstas, de modo que seja obtido o melhor Retorno sobre os Ativos ou Retorno sobre os Investimentos (KARDEC e NASCIF, 2009)

Ainda segundo Kardec e Nascif (2009), a quinta geração tem um avanço em relação à quarta geração, algumas mais importantes são:

- Aumento da Manutenção Preditiva e Monitoramento da condição *on-line* e *off-line*.
- Constante implementação de melhorias objetivando redução de falhas.
- Implementação sistemática da Gestão de Ativos.
- Excelência na Engenharia da Manutenção.
- Consolidação da contratação por resultados.
- Consolidação da necessidade de boa prática gerencial.

2.2 Conceito da Manutenção

O termo “manutenção”, na literatura especializada, tem origem no vocabulário militar, cujo sentido é manter, nas unidades de combate, o efetivo e o material em um nível constante. Já a definição sobre “manter” é indicada em vários dicionários, como causar continuidade ou reter o estado atual. Isto sugere que a “manutenção” significa preservar algo, como aborda Nunes (2001).

Já Viana (2002) vincula o conceito da manutenção com o latim que vem do termo *manus tenere* que significa manter o que se tem.

O conceito técnico da manutenção é dado em duas instâncias pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. A norma TB-116 de 1975 define a manutenção “como o conjunto de todas as ações necessárias para que um item seja conservado ou restaurado de modo a permanecer de acordo com uma condição especificada”. Em segunda instância a versão retificada da ABNT de 1994, intitulada NBR-5462, indica que a manutenção é “a combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida”.

Pelo dicionário Aurélio *apud* Xenos (1998, p.18) a manutenção é definida como “as medidas necessárias para a conservação ou a permanência de alguma coisa ou de uma situação” ou ainda “os cuidados técnicos indispensáveis ao funcionamento regular e permanente de motores e máquinas”.

Xenos (1998, p.18) acrescenta um conceito de manutenção um pouco mais trivial e mais simples de ser entendido, segundo o autor:

Basicamente, as atividades de manutenção existem para evitar a degradação dos equipamentos e instalações, causada pelo seu desgaste natural e pelo uso. Esta degradação se manifesta de diversas formas, desde a aparência externa ruim dos equipamentos até perdas de desempenho e paradas da produção, fabricação de produtos de má qualidade e poluição ambiental. Todas estas manifestações têm uma forte influência negativa na qualidade e produtividade, principalmente em empresas nas quais os equipamentos desempenham um papel fundamental na produção. Baixa qualidade e produtividade acabam colocando em risco a sobrevivência da empresa. Como a manutenção dos equipamentos pode desempenhar um papel importante na melhoria da produtividade, os ganhos potenciais com a melhoria do seu gerenciamento não podem ser simplesmente desprezados.

Mesmo com a ampla cadeia de definições da manutenção proferidos por uma vasta abundância de autores, Nunes (2001) explicita alguns conceitos são ditos por regularidades em muitas obras da manutenção, são eles:

- 1) Função Requerida: Conjunto de condições de funcionamento para o qual o equipamento foi projetado, fabricado ou instalado.
- 2) Falha: É toda alteração física ou química no estado de funcionamento do equipamento que impede o desempenho de sua função requerida e o leva invariavelmente à indisponibilidade.
- 3) Defeito: É toda alteração física ou química no estado de funcionamento de um equipamento que não o impede de desempenhar sua função requerida, podendo ele operar com restrições.

De acordo com Branco Filho (1996) *apud* Nunes (2001, p.26) a falha é definida pelo “término da capacidade de um equipamento desempenhar a função requerida e um defeito não torna o equipamento indisponível”.

2.3 Tipos de Manutenção

A classificação da manutenção é realizada em função da forma de planejamento das atividades em função dos objetivos do método de manutenção aplicado. Com relação ao planejamento a manutenção pode ser realizada de forma planejada, executada sob um tempo e condições pré-estabelecidas, ou de forma não planejada em função da necessidade (FILHO; SIQUEIRA *apud* BARAN, 2011).

De acordo com Zaions e Mobley *et al.* *apud* Baran (2011, p.22) “os métodos ou políticas de manutenção expressam a maneira pela qual a intervenção é realizada nos equipamentos e a diferença entre esses métodos está quando a atividade da manutenção é executada”.

2.3.1 Manutenção Corretiva

A Manutenção Corretiva pode ser entendida como todo o trabalho de manutenção realizado após a falha do equipamento, visando restabelecê-lo à sua função requerida, eliminando o estado de falha. Posto isso, a manutenção corretiva pode ser subdividida em dois tipos: paliativa e curativa. A primeira compreende as intervenções corretivas executadas provisoriamente, a fim de colocar o equipamento em funcionamento, para, a seguir executar o

reparo definitivo. Já a segunda se diz pelas intervenções típicas de reparo em caráter definitivo, a fim de restabelecer o equipamento à fruição requerida (NUNES, 2001).

Segundo a NBR 5462 *apud* Viana (2002, p.10) a Manutenção Corretiva é definida como “manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane, destinada a colocar um item em condições de executar uma função requerida”.

Viana (2002) acrescenta que a Manutenção Corretiva é a intervenção necessária imediatamente para evitar graves consequências aos instrumentos de produção, à segurança do trabalhador ou ao meio ambiente; se configura em uma intervenção aleatória, sem definições anteriores.

Xenos (1998) afirma que a manutenção corretiva é mais barata do que prevenir as falhas nos equipamentos. Em compensação, também pode causar grandes perdas por interrupção da produção. Em muitos casos, como não se pode prever o momento de ocorrência das falhas, existe a possibilidade de haver interrupções da produção de forma inesperada. Se essa interrupção for longa, poderá haver prejuízos significativos para a empresa. Mesmo nos casos onde é necessário optar pela Manutenção Corretiva para algumas partes menos críticas do equipamento, é preciso ter os recursos necessários como peças de reposição, mão-de-obra e ferramental, para agir rapidamente, visando à redução de possíveis impactos da falha na produção.

Kardec e Nascif (2009) elucidam que a manutenção corretiva é realizada em um processo ou equipamento que apresenta um defeito ou um desempenho diferente do esperado. Disto isto, a manutenção corretiva não é, absolutamente, uma manutenção de emergência. Os mesmos autores dividem a manutenção corretiva em manutenção corretiva não planejada e manutenção corretiva planejada e conceituam como a primeira como “a correção da falha de maneira aleatória” e a segunda como “a ação de correção do desempenho menor do que o esperado baseado no acompanhamento dos parâmetros de condição e diagnóstico levados a efeito pela Preditiva, Detectiva e inspeção”.

2.3.2 Manutenção Preventiva

Pode-se classificar a Manutenção Preventiva como todo serviço de manutenção realizado em equipamentos aos quais não estejam em falha, estando em estado zero de defeito e em condições perfeitas de operação. Porém são serviços efetuados em intervalos predeterminados ou de acordo com alguns critérios prescritos, designado a diminuir a chance

de ocorrência da falha, assim proporcionando uma certa imperturbabilidade operacional de suma importância para uma ótima execução dos exercícios produtivos. (VIANA, 2002).

Nunes (2001) afirma em sua obra que a Manutenção Preventiva é aquela realizada em um equipamento com a intenção de reduzir a probabilidade de ocorrência da falha. É uma intervenção de manutenção prevista, preparada ou programada antes da data provável do aparecimento da falha.

Kardec e Nascif (2009, p.58) afirmam que:

Como nem sempre os fabricantes fornecem dados precisos para a adoção nos planos de manutenção preventiva, além das condições operacionais e ambientais influírem de modo significativo na expectativa de degradação dos equipamentos, a definição de periodicidade e substituição deve ser estipulada para cada instalação em particular ou no máximo utilizando parâmetros de plantas similares operando em condições também similares.

A manutenção preventiva, feita periodicamente, deve ser a atividade de manutenção obrigatória e principal de qualquer empresa. Por sua vez, a Manutenção Preventiva tem um custo mais elevado, visto que as peças têm que ser trocadas e os componentes têm que ser reformados antes de atingirem seus limites de vida. Em compensação, a ocorrência da falha acontece em uma frequência bem menor, assim as interrupções extraordinárias da produção diminuem e a disponibilidade dos equipamentos aumentam. Dessa forma, esse tipo de manutenção planejada oferece uma séria de vantagens para um organismo fabril, com relação à corretiva (VIANA, 2002; XENOS, 1998).

Kardec e Nascif (2017) levam em conta alguns fatores para adoção de uma política de manutenção preventiva: são eles:

- 1) Quando houver riscos de agressão ao meio ambiente;
- 2) Em equipamentos críticos de difícil liberação;
- 3) Na oportunidade em que não é interessante a manutenção preditiva;
- 4) Quando houver situações com a segurança do trabalho, do funcionário ou da instalação, que obrigam a intervenção.
- 5) Em sistemas de operação contínua ou sistemas complexos.

As atividades de Manutenção Preventiva são realizadas através de uma análise realizada previamente pelos profissionais da área de manutenção, essa singularidade assegura uma diminuição peremptória na improvisação. À vista disso, a qualidade do serviço alcança um nível bem mais alto que em um ambiente baseado apenas em atividades de manutenção corretivas (VIANA, 2002).

2.3.3 Manutenção Preditiva

Consoante a Filho e Marçal *apud* Baran (2011, p.24) a Manutenção Preditiva consiste em “toda a ação de acompanhamento ou monitoramento das condições de um sistema, seus parâmetros operacionais e sua eventual degradação, sendo realizada através de medições ou inspeções que não interfiram na operação do sistema”.

Viana (2002) esclarece que a Manutenção Preditiva são tarefas de manutenção preventiva que visam acompanhar a máquina ou as peças, por monitoramento, por medições ou por controle estatístico e tentam prever a proximidade da ocorrência da falha. Tem por objetivo determinar com exatidão o tempo necessário para realizar a intervenção, logo evita desmontagens para inspeção e utiliza componente até o máximo de sua vida útil.

As técnicas de Manutenção Preditiva têm sido cada vez mais divulgadas, até mesmo por alguns especialistas da manutenção, como algo bastante avançado e diferente aos outros métodos de manutenção. Devido ao uso de tecnologia avançada, a Manutenção Preditiva costuma ser tratada de forma diferenciada dentro das empresas, por possuir um preço elevado. Porém as técnicas de Manutenção Preditiva devem ser praticadas pelas corporações, por ser um método bastante eficaz e que traz bons resultados (XENOS, 1998).

2.3.4 Manutenção Autônoma

Segundo Xenos (1998), a manutenção autônoma é um tipo de manutenção que envolve os operadores do maquinário, já que eles têm um contato mais direto com os equipamentos nas atividades de manutenção diária como lubrificação, limpeza e inspeção. Seu objetivo principal se vê presente no dia-a-dia das empresas afim de evitar a degradação dos equipamentos, tratando as falhas e anomalias num estágio inicial.

Os operadores passam a realizar serviços de manutenção nos equipamentos que operam. Esses serviços de manutenção vão desde instruções de limpeza, tarefas elementares de manutenção e lubrificação, até melhoria dos instrumentos de produção e análise mais complexas. Vale a máxima: “Da minha máquina cuido eu”, afirma Viana (2002) em sua obra.

Xenos (1998, p.251) afirma que:

A manutenção autônoma é um passo adiante no envolvimento das áreas de produção e de manutenção, ou seja, ao relatar as anomalias ou executar as tarefas básicas de manutenção – incluindo alguns reparos mais simples nos equipamentos – o operador acaba desenvolvendo um maior interesse pelos seus equipamentos. Isto contribui para reduzir a distância entre seu

departamento e o da manutenção. Em resumo, praticar a manutenção autônoma significa desenvolver um operador com um alto nível de conhecimento sobre seu equipamento para que possa atuar como um sensor para detectar anomalias com antecedência e relatá-las corretamente.

A manutenção autônoma não se encarrega de tornar os operadores em funcionários diretos do departamento de manutenção e não consiste em cuidar da aparência dos equipamentos, limpando-os e pintando-os de forma periódica. Basicamente, consiste em capacitar os operadores, a fim de torná-los qualificados a realizar mudanças que assegure alta produtividade no ambiente de trabalho (GOMES *et al*, 2011).

2.4 Confiabilidade

2.4.1 Breve Histórico

Para Fogliatto e Ribeiro (2009), a concepção de confiabilidade obteve uma importância significativa no período após o término da Primeira Grande Guerra, época que o conceito foi usado para relacionar estudos na indústria aeronáutica. A partir desse momento, na Segunda Grande Guerra o mesmo conceito de confiabilidade foi utilizado para corrigir as falhas e analisar o sistema operacional dos mísseis.

Depois disso, no fim dos anos 50 e início dos anos 60, com a Guerra Fria, os EUA teve seus interesses centrados na corrida armamentista e avanço tecnológico. Á vista disso, surge em 1963 a primeira associação reunida por engenheiros de confiabilidade, quando muitos materiais relacionados à confiabilidade foram publicados (FOGLIATTO e RIBEIRO, 2009). Kardec e Nascif (2009) reiteram que este grupo de estudo criado para o desenvolvimento de confiabilidade concluíram dois pontos importantíssimos e que são utilizados até hoje, são eles:

- Se um item não possui um modo predominante e característico de falha, revisões programadas afetam muito pouco o nível de confiabilidade.
- A prática de manutenção preventiva é ineficaz para muitos itens.

Já no começo da década de 1970, a confiabilidade esteve enfatizada na operação, construção e manutenção de usinas nucleares (FOGLIATTO e RIBEIRO, 2009).

2.4.2 Conceitos

Pela NBR 5462 (1994) define-se confiabilidade pela “capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo.” O conceito de confiabilidade vem sendo utilizado em larga escala nas indústrias e é de grande valia que seja bem caracterizada, como afirmam Kardec e Nascif (2009).

Fogliatto e Ribeiro (2009) afirmam que os índices de confiabilidade devem obter valores entre 0 e 1 (ou 0 e 100%), pois pode ser definida como uma probabilidade. Assim, os principais conceitos vinculados à probabilidade, podem ser adotados também para confiabilidade.

Alguns conceitos indispensáveis devem ser explicitados prioritariamente, para que o conceito da confiabilidade possa ser entendido com clareza. Os autores Kardec e Nascif (2009) e Fogliatto e Ribeiro (2009) citam e explicam esses conceitos, são eles: função requerida, qualidade, dependabilidade, condições definidas de uso, segurança, intervalo de tempo e desempenho.

- 1) Função Requerida: é o limite de admissibilidade abaixo do qual a função não é mais satisfatória. Em outras palavras, é cumprir o propósito pré-estabelecido, ou seja, cumprir a tarefa esperada (KARDEC e NASCIF 2009);
- 2) Qualidade: segundo afirmam Fogliatto e Ribeiro (2009), a qualidade é definida pela totalidade de atributos e aspectos de um determinado produto ou serviço que fazem com que seja atingido o contentamento no uso daquele serviço ou produto, ou ainda, a qualidade pode ser declarada pelo cumprimento a especificações de projeto e uma manufatura com menor variabilidade possível;
- 3) Dependabilidade: também conhecido como confiança, é um conceito atrelado e análogo à confiabilidade. Porém o termo dependabilidade (ou confiança) está mais associado a uma definição mais abrangente e não de forma particular como a probabilística de confiabilidade, como afirmam Fogliatto e Ribeiro (2009);
- 4) Condições Definidas de Uso: Kardec e Nascif (2009) definem as condições definidas de uso como: “as condições operacionais às quais o equipamento está submetido”. Os autores reiteram ainda que as condições de uso é a forma como o equipamento é operado, assim a má operação compromete a uma queda de sua confiabilidade;
- 5) Intervalo de Tempo: período definido e mensurado fazendo com que a confiabilidade varie de acordo com esse intervalo (KARDEC e NASCIF, 2009);

- 6) Desempenho e falha: o equipamento é projetado de acordo com uma função básica que irá desempenhar. O desempenho de todo e qualquer equipamento pode ser subdividido em: Desempenho Inerente e Desempenho Requerido. O primeiro se diz respeito ao desempenho que o equipamento é capaz de fornecer. Já o segundo se trata do desempenho que o usuário quer obter do equipamento, como explicitam Kardec e Nascif (2009). Segundo os autores, a manutenção tem a capacidade de restaurar o desempenho inerente do equipamento e quando o equipamento não apresenta o desempenho o papel previsto;

De acordo com Barringer *apud* Kardec e Nascif (2009, p.124) “Nós falamos de confiabilidade, mas medimos falhas”. Assim, a confiabilidade pode ser expressa pela seguinte fórmula:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (01)$$

Onde:

$R(t)$ = confiabilidade a qualquer tempo t .

e = base dos logaritmos neperianos ($e=2,718$)

λ = taxa de falhas (número total de falhas por período de operação)

t = tempo previsto de operação

2.4.3 Engenharia da Confiabilidade

A engenharia da confiabilidade se vê presente para diminuir muitos fatores que têm influência no risco existente no desenvolvimento de um produto ou sistema. Entre eles estão: competição, complexibilidade de métodos e sistemas, considerações de segurança, legislação, necessidade de redução de custo, pressão de prazos e cronogramas. (O’CONNOR *et al apud* RAPOSO, 2004).

De acordo com Mendes *et al* (2014), a engenharia da confiabilidade é capaz de fornecer métodos de projetar, testar, especificar e a probabilidade de que os sistemas, componentes e o maquinário em geral irão praticar suas atividades de forma satisfatória.

2.4.4 Distribuições de tempo até a falha

Algumas distribuições de probabilidade são usadas para a modelagem de componentes, equipamentos ou ferramentas basicamente com o objetivo de obter o tempo que a falha irá ocorrer, bem como sua confiabilidade. Algumas merecem destaque pela sua alta capacidade de

análise de sobrevivência e representam de forma apropriada um vasto número de situações reais, são elas: exponencial, lognormal, gama e Weibull (FOGLIATTO e RIBEIRO, 2009).

2.4.4.1 Distribuição Exponencial

A importância da distribuição exponencial está no fato de ser a única distribuição contínua que há a função de risco constante. Possui a propriedade de ausência de memória de unidades com tempos até falha, o que significa unidades com a mesma confiabilidade para qualquer tempo. Além disso, o fator de forma nessa distribuição possui uma determinação de um intervalo de confiança. (FOGLIATTO e RIBEIRO, 2009).

Em termos matemáticos, a distribuição exponencial é considerada bem simples se comparar com as outras distribuições. Portanto, é muito utilizada em modelagem de confiabilidade já que representa os bens de vida útil. (FERNANDES, 2013).

2.4.4.2 Distribuição Lognormal

A distribuição lognormal é representada por uma curva em forma de lomba, de forma gráfica, que por sua vez, possui uma capacidade de modelagem mesmo que as anomalias e falhas do equipamento vão crescendo ao longo do tempo. É uma distribuição utilizada amplamente numa grande gama de aplicações de engenharia e diversas, porém não deve ser aplicada em amostras que se danificam em torno de um valor (FERNANDES, 2013; RAMOS, 2014).

2.4.4.3 Distribuição Gama

Um modelo tem se mostrado excelente devido às ótimas deduções para dados de sobrevivência, trata-se da distribuição gama, que nada mais é do que uma generalização da distribuição exponencial. A distribuição gama apresenta situações diferentes de acordo com o valor numérico do parâmetro de forma. Caso o valor do parâmetro de forma for $\gamma = \frac{1}{2}$ ou $\gamma = \frac{n}{2}$, onde n é o número de graus de liberdade da distribuição, tem-se que a distribuição gama se torna a distribuição do qui-quadrado. Já se o valor do parâmetro de forma for um número inteiro e positivo, a função de confiabilidade $R(t)$ é tratável matematicamente (FOGLIATTO e RIBEIRO, 2009; RAMOS, 2014).

Entretanto, a distribuição gama possui uma restrição considerável, já que a função de sobrevivência e função de risco não possuem formas fechadas (AGUILAR, 2017).

2.4.4.4 Distribuição Weibull

Conforme aborda Zaghetto *et al* (2007, p.3):

O método Weibull é utilizado para se analisar os riscos de falha, a partir do histórico operacional de uma dada amostra de equipamento, usando a distribuição estatística criada por Wallodi Weibull. A análise fornece a probabilidade de falha ao longo do tempo para aquela amostra e identifica em que parte da curva da banheira, os equipamentos estão operando.

De acordo com Fogliatto e Ribeiro (2009), a distribuição Weibull é uma das ferramentas mais importantes para executar uma modelagem de confiabilidade, pois consegue representar com idoneidade uma grande variedade de amostras de tempos até a falha. Além disso, a distribuição Weibull é adequada para modelar tempos até a falha expondo as funções de risco constante, sendo elas crescente ou decrescente. Por isso, essa foi a distribuição escolhida para realizar esse trabalho.

A importância da distribuição weibull na modelagem de confiabilidade se deve ao fato dela possuir dois graus de liberdade, sendo que um deles se diz respeito ao fator de forma e o segundo ao fator de escala. Portanto, uma modelagem feita por distribuição weibull pode-se aplicar a distintos tipos de aplicação pela sua grande flexibilidade de trabalho (LINO, 2008; FOGLIATTO E RIBEIRO, 2009).

Fogliatto e Ribeiro (2009) representam a confiabilidade Weibull com os parâmetros de $t \geq 0$, $\gamma > 0$ e $\theta > 0$, a partir das seguintes equações:

$$f(t) = \frac{\gamma}{\theta} t^{\gamma-1} e^{-t^\gamma/\theta} \quad (02)$$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\gamma} \quad (03)$$

$$h(t) = \frac{\gamma}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\gamma-1} \quad (04)$$

$$MTTF = \theta \Gamma(1 + 1/\delta) \quad (05)$$

Os parâmetros t , θ e γ se dizem respeito ao tempo de ocorrência de falha, parâmetro de escala e de forma, respectivamente. A equação 2 mostra a função densidade $f(t)$, a equação 3 apresenta a função de confiabilidade $R(t)$, a equação 4 indica a função de risco $h(t)$ e a equação 5 o tempo médio entre falhas MTTF, como elucidam Fogliatto e Ribeiro (2009).

O fator de forma γ possibilita a classificação das falhas de uma amostra e aponta como é dado o formato da curva (como mostra a Figura 1), já o θ indica qual será a escala da curva e o valor em que uma dada porcentagem da amostra terá falhado (ZAGHETTO *et al*, 2007).

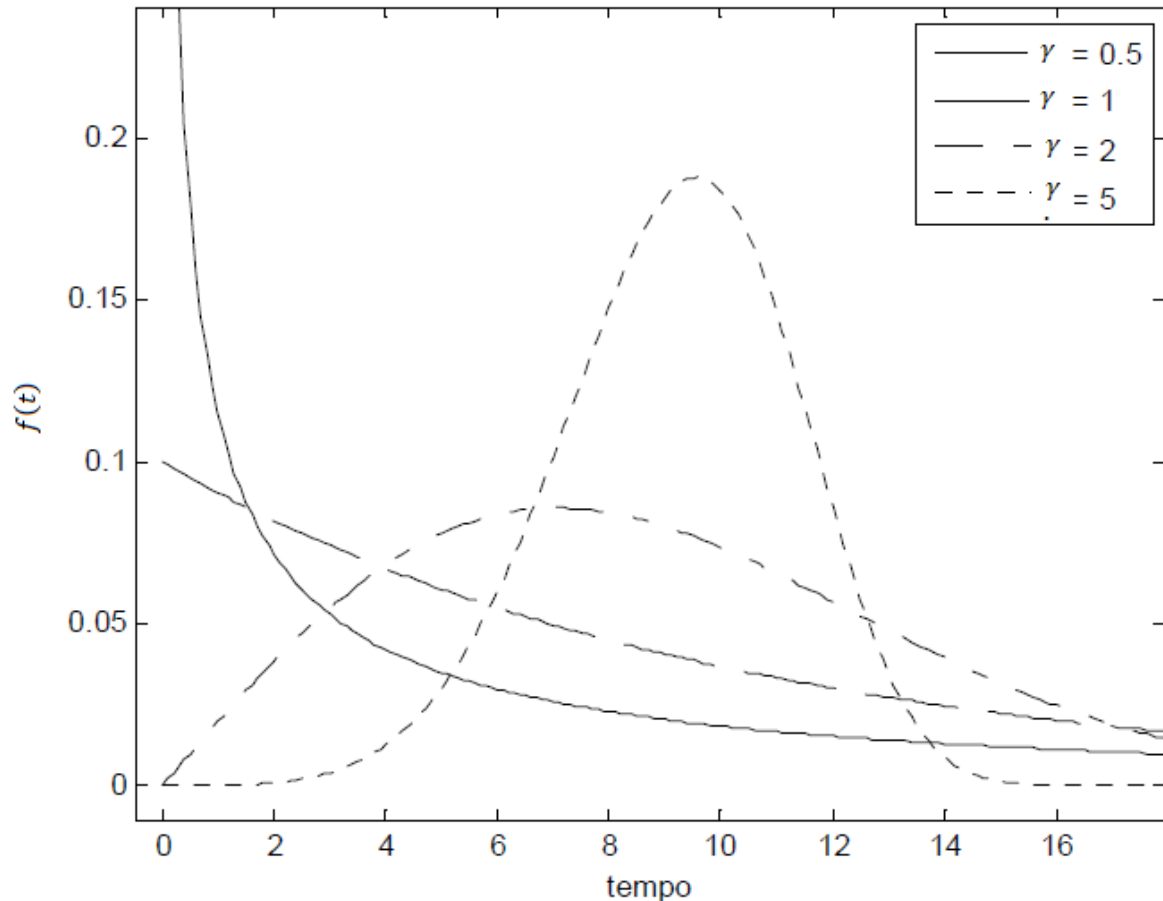


Figura 1 – Exemplo de função de densidade Weibull para vários valores de γ
Fonte: adaptado de Zaghetto et al (2007)

Zaghetto *et al* (2007) elucida em sua obra que através da figura 1 pode-se perceber que valores de $\gamma < 1$ indica mortalidade infantil; para valores de $\gamma = 1$, têm-se falhas aleatórias; já valores de $\gamma > 1$ verifica-se falhas por desgaste.

2.5 Disponibilidade

A disponibilidade é a “capacidade de um item estar em condições de executar uma certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado, levando-se em conta os aspectos combinados de sua confiabilidade, manutenibilidade e suporte de manutenção, supondo que os recursos externos requeridos estejam assegurados” (NBR 5462, 1994).

Fogliatto e Ribeiro (2009) acrescentam que a capacidade de um item, com o auxílio da manutenção adequada, desempenhar sua função requerida em um determinado instante do tempo ou em um período de tempo pré-determinado, define a disponibilidade.

Kardec e Nascif (2009) dividem a disponibilidade em três esferas: Disponibilidade Inerente, Disponibilidade Técnica e Disponibilidade Operacional.

2.5.1 Disponibilidade Inerente

De acordo com Kardec e Nascif (2009) a disponibilidade inerente pode ser calculada por:

$$\text{Disponibilidade Inerente (\%)} = \frac{TMEF}{TMEF + TMPR} \times 100 \quad (06)$$

A sigla TMPR (em inglês MTTR – *Mean Time to repair*) é o tempo médio para reparos e leva em consideração apenas as manutenções corretivas. O termo inerente implica o fato de somente de levar em conta o tempo de reparo, excluindo o Tempo Médio Para Reparo (TMPR) os outros tempos como: tempo de logística, tempo de espera de sobressalentes, deslocamentos etc. (KARDEC e NASCIF, 2009).

TMEF (em inglês MTBF – *Mean Time Between Failures*) é o tempo médio entre falhas. Uma medida básica da confiabilidade de itens reparáveis, e se atribui à vida média de uma população, já o termo TMPF se vê necessário de elucidar nesse contexto. Conforme Kardec e Nascif, o TMPF (em inglês MTTF – *Mean Time To Failure*) significa o tempo médio para falha. É uma medida básica de confiabilidade de itens que não podem ser reparáveis, afirmam Kardec e Nascif (2009).

2.5.2 Disponibilidade Técnica

Consoante a Kardec e Nascif (2009) a disponibilidade técnica é dada pela fórmula:

$$\text{Disponibilidade Técnica (\%)} = \frac{TMEM}{TMEM + TMPRativo} \times 100 \quad (07)$$

O acossílabo TMEM (do inglês MTBM – *Mean Time Between Maintenance*) é o tempo médio entre manutenções e o termo TMPRativo (do inglês MTTRactive – *Mean Time to Repair*

Active) é o tempo médio para reparos corretivos e preventivos, garantem os autores que elucidam ainda que na disponibilidade técnica o TMRP, analogamente à disponibilidade inerente, também não considera tempos adicionais de logísticas, esperas, atrasos etc. Porém inclui as manutenções corretivas e preventivas.

2.5.3 Disponibilidade Operacional

Segundo Kardec e Nascif (2009) a disponibilidade operacional representa a avaliação mais real da disponibilidade, ou seja, aquela que de fato interessa às corporações e é mensurada pela fórmula:

$$\text{Disponibilidade Operacional (\%)} = \frac{TMEM}{TMEM + Tmp} \quad (08)$$

O Tmp é o tempo médio de paralisações (em inglês MDT – *Mean Down Time*) que contrário às disponibilidades técnica e inerente, inclui o TMRP e todos os outros tempos: atrasos, esperas, paradas para manutenções preventivas ou inspeções, deslocamento e os demais que cooperam para a indisponibilidade dos equipamentos ou fora de operação. Já o cálculo do tempo médio é dado pela relação entre os valores de tempo observados em um período determinado e a quantidade de observações, segundo Kardec e Nascif (2009).

Segundo os mesmos autores o TMRP como um indicador importante para a Manutenção, estando este diretamente ligado à sua performance e depende de três fatores: a facilidade do equipamento ou sistema ser mantido; capacitação profissional de quem faz a intervenção; da característica de organização e planejamento da manutenção.

2.6 Taxa de Falhas

De acordo com a NBR 5462 (1994), a falha “é o término da capacidade de um item desempenhar a função requerida”. Assim a falha pode ser definida como a cessação da função de um item ou incapacidade de satisfazer a um padrão de desempenho previsto, ou seja, a diminuição total ou parcial da capacidade de uma peça, componente ou máquina desempenhar seu papel pré-estabelecido por um período, quando o item deverá ser reparado ou substituído. A falha leva o item a estar em um estado de não disponibilidade. Quanto maior o número de falhas menos é a confiabilidade de um item (XENOS, 1998; KARDEC e NASCIF, 2009).

Kardec e Nascif (2009, p.128) definem a taxa de falhas como “o número de falhas por unidade de tempo e se manifesta em unidades de falha por milhão de horas”. É representada pela letra λ e sua equação é:

$$\lambda = \frac{\text{Número de falhas}}{\text{Número de horas por operação}} \quad (09)$$

Os mesmos autores ainda expressam uma outra forma assertiva de calcular a taxa de falhas que é:

$$\lambda = \frac{\text{Número de falhas}}{(\text{unidades testadas})X (\text{número de horas de teste})} \quad (10)$$

Segundo Xenos (1998), a ocorrência de falhas pode ocorrer de três formas diferentes: crescente, decrescente ou constante.

- Crescente: A chance de ocorrência de falhas aumenta à medida que o equipamento envelhece, como por exemplo na fadiga, corrosão e desgaste.
- Decrescente: Característica de equipamentos pelos quais a confiabilidade aumenta com o tempo, como no caso da melhoria de equipamentos, o que acarreta a substituição dos componentes e peças por outros mais confiáveis.
- Constante: É dado por falhas causadas por eventos aleatórios, implicando a aplicação de esforços que excedem a resistência do equipamento, ou seja, a probabilidade de tais ocorrências não tende a variar à medida que o equipamento envelhece.

O efeito combinado destes três modelos de falhas dá origem a um modelo conhecido como curva da banheira, relacionado ao fato do seu formato. É válida por uma série de componentes elétricos, mecânicos e sistemas, sendo determinada a partir de estudos estatísticos (XENOS, 1998; KARDEC e NASCIF, 2009).

A Figura 2 mostra a curva da banheira:

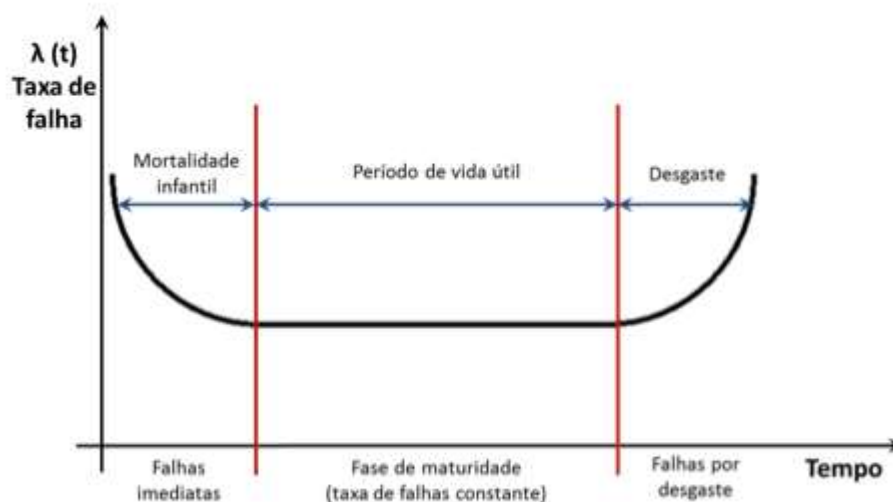


Figura 2 - Curva da Banheira
 Fonte: Revista Espacios (2015)

Através da Figura 2, pode-se perceber que a vida dos equipamentos pode ser tratada em três períodos distintos: mortalidade infantil, vida útil e desgaste (ou envelhecimento). A característica de cada um desses períodos é caracterizada por Kardec e Nascif (2009), sendo:

- 1) **Mortalidade Infantil:** Incidência ampla de falhas causadas por deficiências de projetos, problemas de instalação ou componentes com defeitos de fabricação.
- 2) **Vida Útil:** A ocorrência de falha é ocasionada por fatores menos controláveis, como a interação dos materiais com o ambiente (corrosão) ou fadiga. Entretanto, a taxa de falhas é sensivelmente menor e relativamente constante, embora sua previsão seja mais complexa.
- 3) **Desgaste:** Nesse caso, ocorre um aumento na taxa de falha que se decorre do desgaste natural, que será tanto maior com o passar do tempo.

Várias iniciativas gerenciais da manutenção são voltadas para reduzir a taxa de falhas suavizando a curva da banheira. Como dito anteriormente, a mortalidade infantil é causada por problemas de projeto, fabricação, instalação e manutenção e algumas medidas concretas para reduzir ou até mesmo eliminar a mortalidade infantil podem ser feitas para que haja a prevenção da manutenção como melhorar continuamente o projeto dos equipamentos, melhorar a qualidade da fabricação e instalação dos equipamentos (através da implantação de sistemas de garantia da qualidade) e iniciar o treinamento dos operadores e técnicos de manutenção com antecedência para evitar os erros de operação e manutenção no período inicial de funcionamento do equipamento (XENOS, 1998).

As consequências de todo o trabalho não realizado de forma eficiente e bem-feita anteriormente, causa baixa confiabilidade do produto e diminuição de lucros para a empresa (KARDEC e NASCIF, 2009).

Alguns indicadores e variáveis se veem necessários ser elucidados, pois são importantes para a taxa de falhas. Consoante a Kardec e Nascif (2009) o TMEF (tempo médio entre falhas) pode ser escrito como o inverso da taxa de falhas, a taxa de reparos (pela letra grega μ), analogamente à definição taxa de falhas é dada pela relação entre o número de reparos e o tempo total de reparo e o TMPR (tempo médio para reparos) como o inverso da taxa de reparos e, assim sendo expressos, respectivamente, pelas equações a seguir:

$$TMEF = \frac{1}{\lambda} \quad (11)$$

$$\mu = \frac{\text{Número de reparos efetuados}}{\text{tempo total de reparo da unidade}} \quad (12)$$

$$TMPR = \frac{1}{\mu} \quad (13)$$

2.7 Manutenibilidade (ou Manutenibilidade)

De acordo com Vieira (2007), em 1954, o serviço militar dos EUA autenticou o ponto de vista de manutenibilidade em resultado da sistemática da confiabilidade enunciada no final dos anos 40.

Segundo Blanchard e Lowery *apud* Vieira (2007, p.44) uma conceituação mais vasta é dada por confiabilidade como:

A característica de projeto de um equipamento e instalação, que é expressa em termos de facilidade e economia de manutenção, aumentando a disponibilidade do equipamento com segurança e precisão das ações de manutenção.

Por François Monchy *apud* Kardec e Nascif (2009 p. 134), manutenibilidade “É a propriedade de restabelecer a um sistema suas condições de funcionamento específicas, em limites de tempo desejado quando a manutenção é conseguida nas condições e com meios prescritos”.

A ABNT através da NBR 5462 (1994, p.2) tecnicamente explicita um conceito de manutenibilidade, sendo:

Capacidade de um item de ser mantido ou recolocado em condições de executar suas funções requeridas, sob condições de uso especificadas, quando a manutenção é executada sob condições determinadas mediante procedimentos e meios descritos. Nota: O termo manutenibilidade é utilizado como uma medida do desempenho de manutenibilidade.

A Manutenibilidade é um fator essencial no estabelecimento da disponibilidade de uma unidade e é constituída logo na fase de idealização e projeto do equipamento, sendo assim os funcionários da área de manutenção possuem uma vital importância para assistir à área de projetos da empresa, de maneira que as questões sejam apuradas no âmbito embrionário (VIEIRA, 2007; FOGLIATTO e RIBEIRO, 2009; KARDEC e NASCIF, 2009).

2.8 Manutenção Centrada em Confiabilidade

Kardec e Nascif (2009) afirmam que várias ferramentas podem ser adotadas para as práticas de manutenção. Algumas delas têm se tornado superiores nos resultados obtidos e se destacam como: *benchmarking*, MPT (Manutenção Produtiva Total), o programa 5S e a MMC (Manutenção Centrada em Confiabilidade).

O *benchmarking* é definido como o “processo de identificação, conhecimento e adaptação de práticas e processos excelentes de organizações, de qualquer lugar do mundo, para ajudar uma organização a melhorar sua performance”. É um processo estratégico de comparação e análise de empresas do mesmo segmento de negócio (KARDEC e NASCIF, 2009).

Já sobre as atividades de MPT, como afirmam Takahashi e Osada (1990), são estágios da manutenção convergidos a cada fase do ciclo de vida da manutenção. Esses estágios existem em processos que desenvolvem a fabricação, instalação, testes, operações reais, atualização, especificações, desenho e obsolescência. A manutenção autônoma é utilizada de forma abrangente na MDT, onde os operadores aperfeiçoam padrões de lubrificação, limpeza e inspeção desenvolvendo a capacidade do operador de encontrar e resolver danos, (MCKONE *et al* (2011) *apud* TONDATO (2004).

Segundo Kardec e Nascif (2009) o programa 5S, embrionado no Japão, deriva-se das 5 palavras que começam com a letra S: *seiri*, *seiton*, *seiso*, *seiketsu*, *shitsuke* que significam, respectivamente, organização, ordem, limpeza, asseio e disciplina. É sistematizado como base do sistema de qualidade e para sua implementação é necessário uma cooperação e infiltração de todos os funcionários da empresa nesta didática, desde o CEO até o empregado de mais baixo calão. Sem a cultura 5S é praticamente impossível que um ambiente de trabalho tenha

qualidade. É definido como “uma estratégia de potencializar e desenvolver as pessoas para pensarem no bem comum”. Xenos (1998) acrescenta que no 5S há uma promoção de um ambiente de trabalho agradável e eficiente.

A Manutenção Centrada em Confiabilidade “é uma aplicação de um método estruturado para estabelecer a melhor estratégia de manutenção para um dado sistema ou equipamento” (SEIXAS, 2010). É um conceito de vital importância e será tratado com clareza nos tópicos a seguir.

2.8.1 Contexto Histórico

Assim como foi exposto previamente, Raposo (2004, p.25) afirma que:

Como resultado da mecanização da indústria, os custos da manutenção passaram a ter valor significativo em relação aos demais custos operacionais. Este crescimento dos custos levou a necessidade de maior controle e planejamento na manutenção de equipamento. Maior disponibilidade, maior vida útil e menores custos de equipamentos passaram a ser valorizados com o aumento do custo do capital empregado em ativos. Os computadores passam a ser usados no controle do planejamento da manutenção.

A MCC (manutenção centrada em confiabilidade) se deu início no início da década de 70, após serem confirmadas e elucidadas as técnicas de manutenção preventiva por relatórios da FAA (*Federal Aviation Administration*) apresentados no final da década de 60 analisando padrões de falha em equipamentos de aviação declara Vieira (2007) em sua obra.

A manutenção surge na terceira geração da manutenção para confrontar algumas questões importantes que até então não tinham sido resolvidas (MOUBRAY, 1992 *apud* RAPOSO, 2004). O ano de 1978 foi o marco inicial para a MCC com a publicação de um exemplar do livro *Reliability-Centered-Maintenance* (RCM) – tradução no inglês para manutenção centrada em confiabilidade (VIANA, 2002).

2.8.2 Conceituação

A definição de MCC pode ser declarada como “um programa que reúne várias técnicas de engenharia para assegurar que os equipamentos de uma planta fabril continuarão realizando as funções especificadas” (FOGLIATTO e RIBEIRO, 2009).

Por Kardec e Nascif (2009), a ideia da manutenção centrada em confiabilidade é um recurso que desenvolve formas mais eficientes de realizar a manutenção além de analisar, minorar ou corrigir as falhas, de acordo com o estudo aprofundado do equipamento.

Segundo Lafraia *apud* Vieira (2007) uma máxima importante da manutenção centrada em confiabilidade é dita:

Na MCC, determina-se que o que deve ser feito para assegurar que um equipamento continue a cumprir suas funções no seu contexto operacional. A ênfase é determinar a manutenção preventiva necessária para manter o sistema funcionando, ao invés de tentar restaurar o equipamento a uma condição ideal. Nos casos de equipamentos e sistemas com inúmeras tarefas de manutenção preventiva ou com um grande histórico de manutenção corretiva, é que a MCC tem o seu maior potencial, seja pela redução da manutenção preventiva desnecessária ou pela adição de ações preventivas como forma de minimizar ações corretivas.

Moubray (1992) esclarece que o principal alicerce da MCC é a realização da manutenção unida a parte operacional, de forma que esses dois âmbitos se envolvam.

De acordo com Rausand *apud* Mendes (2011) a diminuição das despesas na área de manutenção é facilitada pelas ações da MCC, uma vez que prioriza incumbências significativas do sistema, evitando práticas de manutenção irrelevantes e integrando ações de manutenção primordiais. A técnica de MCC estuda maneiras variadas da nucleação das falhas nos equipamentos e identifica o desempenho e a funcionalidade desejadas para a operação, bem como o detalhamento dos modos de falha e suas presumíveis razões (VIANA, 2002; SEIXAS, 2010).

Por Moubray *apud* Oliveira (2017, p.22), vem que:

Caso a MCC seja implantada de forma correta, esta irá reduzir de 40% a 70% a rotina de tarefas de manutenção, gerando também uma otimização do planejamento de manutenção, aumento de produtividade, aumento da segurança humana e ambiental, reduzindo os custos de manutenção, materiais e operação, além de reduzir os ricos referentes às falhas acidentais.

Alguns parâmetros devem ser atendidos ao estabelecer a MCC para priorizar e justificar as ações de manutenção preventiva, são elas: i) Preservar a função do sistema; ii) Identificar os modos de falha que possam ocasionar a perda de função; iii) Priorizar as funções necessárias; iv) Selecionar as tarefas de manutenção preventiva aplicáveis e efetivas, destaca Alkain *apud* Vieira (2007).

2.8.3 Etapas da MCC

De acordo com Raposo (2004), o processo de realização da MCC é dado e fundamentado através das respostas das seguintes perguntas:

- i) Quais são as funções e padrões de desempenho do item no seu contexto operacional atual?
- ii) De que forma ele falha em cumprir suas funções?
- iii) O que causa cada falha operacional?
- iv) O que acontece quando ocorre cada falha?
- v) De que forma cada falha tem importância?
- vi) O que pode ser feito para prevenir cada falha?
- vii) O que deve ser feito se não for encontrada uma tarefa preventiva?

Segundo Raposo (2004), o primeiro passo é dado ao responder à pergunta (i) determinando qual é o padrão de desempenho almejado e determinar quais as funções de cada item na operação. Neste contexto, todo e qualquer item, componente ou equipamento possui suas funções primárias e secundárias. As primárias se dizem respeito aquilo que o equipamento deve realizar de forma prioritária e as secundárias às consequências benéficas que o item pode trazer, mas que não possui vital importância para o funcionamento (FOGLIATTO e RIBEIRO, 2009).

De acordo com Lafraia (2001, p.105) “a falha funcional é a impossibilidade de um sistema ou componente cumprir com sua função no nível especificado ou requerido”. Esse conceito é importante para relacionar as falhas com cada item ou equipamento iniciando-se assim a segunda etapa da MCC. Daí, tem-se a resposta das perguntas (ii) e (iii) identificando como o item pode falhar e o que pode causar a falha (KARDEC e NASCIF, 2017).

Raposo (2004) elucida que a terceira fase é identificar todas as ocasiões onde podem se presumir que haja ocorrência da falha. Isto é feito através da análise de falhas já ocorridas em equipamento similares ou o próprio equipamento na mesma atmosfera operacional. A partir daí, é necessário registrar a falha indicando a sua importância e os seus efeitos para com a queda de produção, segurança, meio ambiente e qualidade do produto listando os efeitos de cada modo de falha o que responde as questões (iv) e (v).

A etapa seguinte trata do que deve ser feito para solucionar as falhas e avaliar suas consequências. Através dessas informações é necessário avaliar e apontar as ações de manutenção de acordo com a relevância de cada falha, respondendo-se assim à questão (vi) (KARDEC e NASCIF, 2009; RAPOSO, 2004).

Segundo Fogliatto e Ribeiro (2009, p.220) a gestão de falhas envolve tarefas proativas e tarefas reativas que são conceituadas pelo autor:

As tarefas proativas são aquelas conduzidas anteriormente à ocorrência de falhas, visando impedir que um componente falhe. Elas contemplam o que é um geral chamado de manutenção preventiva (recuperação ou substituição programada) e manutenção preditiva (recuperação ou substituição dependendo do estado do item). Em relação às atividades de manutenção preventiva, na falta de dados históricos, os operadores e o pessoal de manutenção são aqueles que possuem conhecimento a respeito da relação entre falhas e tempo de uso, e podem ajudar na definição apropriada dos intervalos de recuperação dos componentes. Já em relação a atividades preditivas, algumas dependem de observação visual ou tátil ou do uso de instrumento simples e podem ser apropriadamente realizadas pelo pessoal de operação e manutenção. As tarefas reativas envolvem lidar com componentes que apresentaram falhas. Elas são escolhidas quando não é possível empreender uma atividade proativa eficaz. As tarefas reativas contemplam rodar até a falha, procura de falhas ou mesmo redesenho de componentes ou conjuntos que apresentam problemas.

Por último, em situações que a consequência da falha é julgada crítica e técnicas preditivas ou preventivas não são capazes de resolvê-las, se vê importante elaborar atividades de procura de falhas ou até reelaboração completa do sistemas e projetos dos equipamentos, daí se responde a última pergunta (vii) (FOGLIATTO e RIBEIRO, 2009).

2.8.4 Implantação da MCC

Conforme explicita Kardec e Nascif (2009), para a implementação da manutenção centrada em confiabilidade é necessário que haja envolvimento da diretoria da empresa e é valoroso que tenha um grande empenho de todas as áreas subordinadas contando com profissionais das áreas de segurança, meio ambiente, manutenção, inspeção, além dos funcionários da área operacional.

Com essa postura, é fundamental a criação de um comitê composto de um líder que acredite na dinâmica da MCC para realização do tratamento da falha e que juntamente com a alta gerência, forme equipes para aplicar as metodologias. A partir daí, vê-se necessário a capacitação dos profissionais de todos os profissionais da equipe, doutrinando-os para o entendimento dos conceitos fundamentais para a aplicação da MCC. (FOGLIATTO e RIBEIRO, 2009).

2.8.5 Análise de modo e efeito de falha (FMEA)

Segundo afirmam Passamai e Castilho (2007) a FMEA (do inglês, *Failure Mode and Effect Analysis*) é utilizada vastamente nas fábricas e é o método de vital importância para

análise da MCC, pois identifica cada finalidade do sistema e a sua relação com as falhas. Além de bloquear as causas substanciais das falhas.

A FMEA tem a capacidade de identificar iminentes modos de falhas de um equipamento ou processo, assim como os efeitos que essas falhas têm no meio ambiente, segurança ou na eficácia do funcionamento dos produtos ou processos (TEOH *et al.* *apud* ALBUQUERQUE *et al.*, 2017).

De acordo com Palafy *apud* Schmitt (2013), a principal função da FMEA é identificar a possível causa pela qual o equipamento viria a deixar de desempenhar seu papel previamente estabelecido em projeto. Schmitt (2013) afirma ainda que para realizar o procedimento de priorização dos modos de falha que possui o maior potencial de ocorrer, é necessário aplicar o RPN (Graus de Prioridade de Risco) que é composto de três aspectos: Detecção, Ocorrência e Severidade.

Fogliatto e Ribeiro (2009, p.173) explicitam que a FMEA tem como objetivos:

- i) Reconhecer e avaliar as falhas potenciais que podem surgir em um produto ou processo.
- ii) Identificar ações que possam eliminar ou reduzir a chance de ocorrência dessas falhas.
- iii) Documentar o estudo, criando um referencial técnico que possa auxiliar em revisões e desenvolvimentos futuros do projeto ou processo.

Ainda segundo os autores Fogliatto e Ribeiro (2009, p.175) a FMEA possui várias vantagens, são elas:

- 1) Ajuda na avaliação objetiva das alternativas do projeto.
- 2) Aumenta o conhecimento de todos os engenheiros em relação aos aspectos importantes da qualidade/confiabilidade do produto.
- 3) Prioriza os aspectos relativos à qualidade/confiabilidade do produto, estabelecendo uma ordem para as ações de melhoria.
- 4) Promove alterações no projeto que facilitam a manufatura e montagem.
- 5) Fornece um formato aberto de análise, que permite rastrear as recomendações e ações associadas com a redução de risco.
- 6) Fornece um referencial que auxilia na avaliação e implementação de futuras alterações ou desenvolvimentos em cima do projeto base.

2.8.6 Análise de causa raiz de falha (RCFA)

Alguns aspectos interrompem a execução completa de todos os ciclos de funcionamento e da vida útil dos equipamentos ou ferramentas. A análise destas falhas visa que as fases de funcionamento sejam realizadas com êxito e sem interrupções ou falhas, observando e esclarecendo o motivo pelo qual os eventos passados ocorreram e tomando medidas para impedir a ocorrência desses eventos. Dessa forma, os eventos passados constituem as causas embrionárias ou causas raízes, em contrapartida das causas emergenciais e imediatas das falhas (PASSAMAI e CASTILHO, 2017).

Consoante a Rooney e Hewel *apud* SCHMITT (2013) a RCFA (do inglês, *Root Cause Failure Analysis*) é uma técnica que emprega a investigação do evento identificando como e porque o incidente ocorreu, analisando aspectos como: qualidade, saúde, meio ambiente, impactos na produção e segurança.

Passamai e Castilho (2007) elucidam a ideia de que há um motivo elementar para a apuração e identificação de ocorrência das falhas. Esse motivo é admitir intervenções de caráter corretivas eficiente e conveniente para prevenir o reaparecimento das falhas.

De acordo com Rosa (2017, p.9), pode-se dizer a respeito da análise de causa raiz de falha:

A RCFA é um método de análise de falhas, sempre utilizado para equipamentos críticos que são considerados gargalos no processo produtivo. Esta ferramenta é projetada para auxiliar na identificação ‘do porquê’ do acontecimento de um evento, e não somente o que e como o evento aconteceu.

Andersen e Fagerhaug (2006) *apud* Rosa (2017, p.7) explicitam a terminologia particular utilizada na Análise de Causa Raiz da Falha, mostrado na Figura 3:

Ocorrência	Condição ou evento que não esteja incluso na funcionalidade do sistema normal ou do comportamento esperado.
Evento	Ocorrência em tempo real. Fato que pode impactar com seriedade o funcionamento do sistema.
Estado	Qualquer condição do sistema, que possa apresentar efeitos negativos para alguma funcionalidade do sistema normal.
Por que	Também chamado de fator causal - Um evento ou uma condição que resulte ou participa no acontecimento de um efeito. São classificados como: <ul style="list-style-type: none"> • Causa direta: Uma causa que resultou na ocorrência. • Causa contribuinte: A causa que contribuiu para ocorrência, mas não a fez diretamente. • Causa raiz: A causa que, se corrigida, impedirá o retorno desta e de ocorrências similares.
Cadeia de Fatores Casuais	Conhecido como sequência de eventos e fatores causais - Uma sequência de causa e efeito onde uma ação específica cria uma condição que contribui ou resulta em um evento. Isso cria novas condições que, por sua vez, resultam em outros eventos.

Figura 3 - Terminologia Particular do RCFA

Fonte: Andersen e Fagerhaug (2006) apud Rosa (2017, p.7)

Pode-se perceber a partir da figura 3 que Andersen e Fagerhaug (2006) *apud* Rosa (2017, p.7) determinam 5 terminologias essenciais para a aplicação da RCFA: ocorrência, evento, estado, por que e cadeia de fatores causais.

1. Ocorrência: acontecimento não previsto no sistema, equipamento ou processo que deve ser analisado.
2. Evento: ocorrência em tempo real.
3. Estado: situação negativa que o ativo se encontra.
4. Por quê: terminologia adotada com o intuito de evidenciar a razão que o ativo falhou.
5. Cadeia de Fatores Casuais: aglomerado de fatores que podem causar a razão da falha.

2.9 Trator de Esteira

2.10 Considerações finais do capítulo

Neste capítulo foi dissertada toda a fundamentação teórica e conceitos ligados a manutenção, confiabilidade, disponibilidade, manutenibilidade, FMEA para o estudo e implementação da Manutenção Centrada em Confiabilidade. No próximo capítulo será abordado o tipos de pesquisa, materiais e métodos, variáveis e indicadores, além de ser descrita como foi realizada a coleta e tabulação de dados.

3 METODOLOGIA

3.1 Tipos de Pesquisa

De acordo com Alyrio (2009), a pesquisa científica é “um conjunto de atividades orientadas para a busca de um determinado conhecimento ou resposta” e se diz respeito ao processo perquiridor fatos com o escopo de assimilá-los e esclarecê-los.

Gil (2002, p.17) define pesquisa da seguinte forma:

O procedimento racional e sistemático que tem como objetivo proporcionar respostas aos problemas que são propostos. A pesquisa é requerida quando não se dispõe de informação suficiente para responder ao problema, ou então quando a informação disponível se encontra em tal estado de desordem que não possa ser adequadamente relacionada ao problema.

Consoante a Gil (2002) as pesquisas são classificadas em descritiva, explicativas ou exploratórias.

Conforme elucida Alyrio (2009, p.60), a pesquisa descritiva “se busca essencialmente a enumeração e ordenação de dados, sem o objetivo de comprovar ou refutar hipóteses exploratórias, abrindo espaço para uma nova pesquisa explicativa, fundamentada na experimentação”.

A pesquisa explicativa tem como objetivo principal constatar os motivos pelos quais os fenômenos são determinados, bem como os fatores que colaboram para que eles aconteçam. O risco de imprecisão desse tipo de pesquisa é alto, visto que se trata de uma pesquisa mais labiríntica e minuciosa por representar um grande aprofundamento do conhecimento da realidade (GIL, 2002).

A pesquisa exploratória tem por objetivo investigar profundamente os conhecimentos dos atributos de um dado fenômeno a fim de procurar razões das suas causas e consequências utilizando alguns objetivos (RICHARDSON, 1999). Os objetivos são: i) investigar problemas do comportamento humano, identificar conceitos ou variáveis e sugerir hipóteses verificáveis; ii) verificar se pesquisas semelhantes já foram realizadas, quais os métodos utilizados e quais os resultados obtidos, determinar tendências, identificar relações potenciais entre variáveis e estabelecer rumos para investigações posteriores mais rigorosas; iii) auxiliar na determinação de variáveis a serem consideradas num problema de pesquisa; iv) ajudar no desenvolvimento ou criação de hipóteses explicativas de fatos a serem verificados numa pesquisa causal; v)

familiarizar e elevar a compreensão de um problema de pesquisa e perspectiva (MATTAR, 1994; MALHOTRA, 1993; SAMPIERI; COLLADO; LUCIO, 2010).

Gerhardt e Silveira (2009) explicitam que a pesquisa também pode ser dividida quanto à abordagem, sendo pesquisa qualitativa ou quantitativa. A primeira se trata da compreensão de um grupo social ou de uma organização e pode-se observar uma oscilação entre investigação, interpretação e reflexão ao decorrer da análise. Já na segunda é feita uma estruturação das hipóteses estatísticas através de tabelas para que elas sejam testadas (GIL, 2002).

Perante os princípios apresentados, pode-se afirmar que se trata de uma pesquisa exploratória e, concomitantemente, qualitativa e quantitativa. Trata-se de um estudo exploratório, visto que ele se embasa em um estudo de caso onde ocorre as falhas operacionais dos tratores de esteira e uma revisão bibliográfica para entendimento aprofundado dos conceitos por trás das falhas. O trabalho é, ao mesmo tempo, qualitativo e quantitativo, pois tem como objetivo promover quantitativamente ações de confiabilidade dos tratores de esteira de acordo com o modelamento estatístico das paradas não programadas e analisar qualitativamente os efeitos das falhas.

3.2 Materiais e métodos

Na figura 4 é elucidada a forma sistemática em que o desenvolvimento do trabalho será dado:

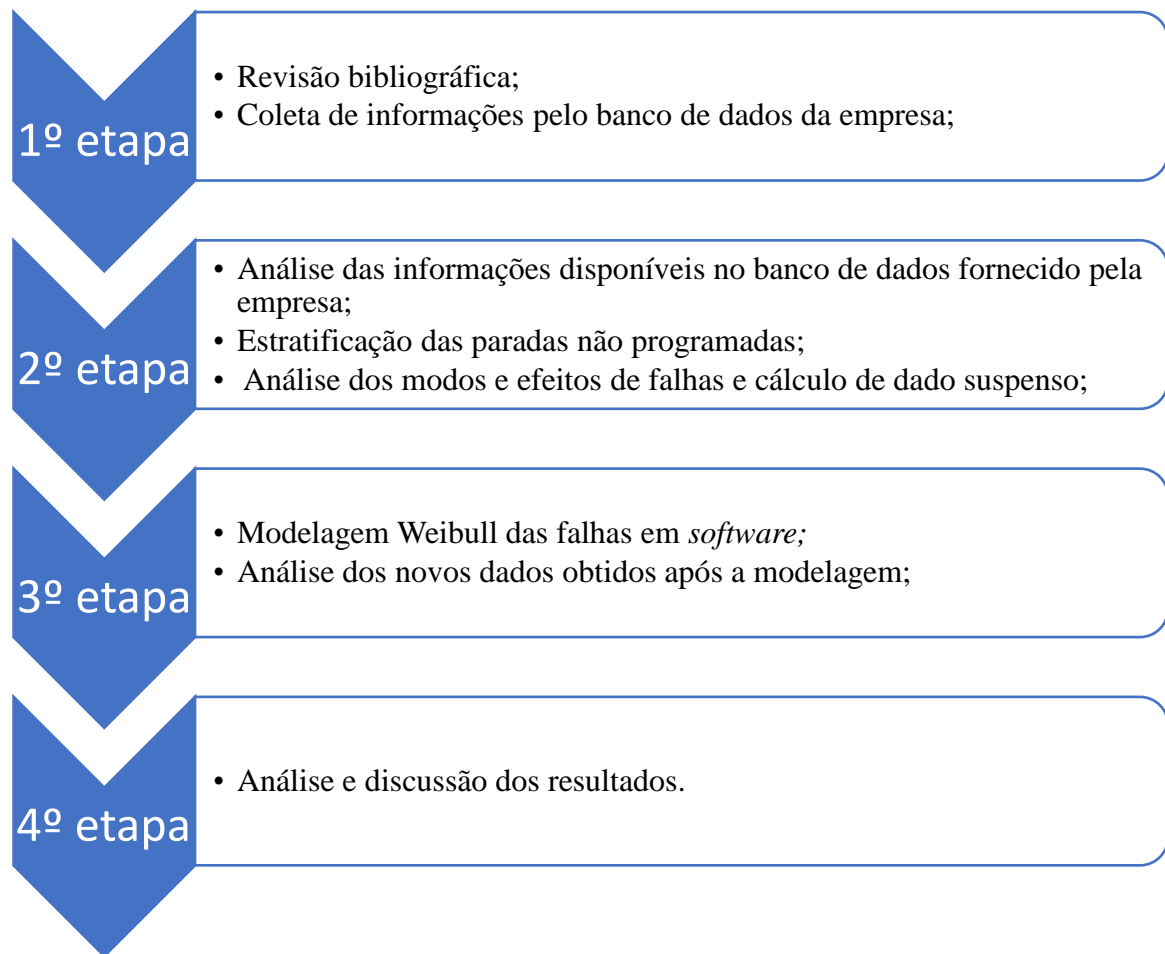


Figura 4 - Desenvolvimento do trabalho
 Fonte: Pesquisa Direta (2019)

O exórdio do trabalho se dá a partir da formulação do problema a ser questionado bem como a identificação dos objetivos geral e específico do trabalho.

Segundo aponta Aragão e Neta (2017) a revisão bibliográfica tem a função de proporcionar os conceitos teóricos por trás daquilo que será estudado. Portanto, se vê necessária uma análise bibliográfica fundamentada em artigos, dissertações, livros e teses que têm a manutenção centrada em confiabilidade e seus conceitos prévios como temas centrais de estudo.

Depois disso, é realizada a coleta e análise dos dados fornecidos pela empresa. Nessa etapa é assimilado as condições de operação, funcionamento e os sistemas operacionais do equipamento, obtendo deste modo os dados de vital importância sobre os tratores de minério.

A etapa seguinte baseia-se na análise das informações contidas nas planilhas, de uma forma com que a não programação das paradas de equipamentos durante o período de estudo sejam separadas de acordo com suas falhas. Desse modo, tem como objetivo discernir as particularidades esposadas durante o funcionamento dos tratores de esteira.

De forma mais ampla, o trabalho é estruturado de acordo com a figura 5:



Figura 5 - Estruturação do trabalho
Fonte: Pesquisa Direta (2019)

3.3 Variáveis e Indicadores

Fogliatto e Ribeiro (2009, p.225) explicitam que o alicerce principal para a implementação da confiabilidade da manutenção são as variáveis e os indicadores do processo. O autor ainda afirma que “inicialmente, devem ser definidos os indicadores pertinentes, usualmente envolvendo métricas de tempo de parada, disponibilidade de equipamentos e qualidade do processo” e podem ser definidos de acordo com as etapas do sistema e em conformidade com os equipamentos.

A Tabela 2 mostra as variáveis e indicadores utilizados no trabalho em questão.

Tabela 2 - Variáveis e Indicadores

Variáveis	Indicadores
Paradas não programadas Dados suspensos	Taxa de falhas
	Número de ocorrências
	Tempo Médio Entre Falhas (MTBF)
	Distribuição Weibull
	Confiabilidade

Fonte: Pesquisa Direta (2019)

Através da tabela 2, pode-se observar que os indicadores utilizados no trabalho são: taxa de falhas, número de ocorrências, tempo médio entre falhas (MTBF), distribuição Weibull e confiabilidade. Já as variáveis do processo são as paradas não programadas e os dados suspensos.

3.4 Coleta de dados

As falhas dos equipamentos são adquiridas pelo *software* Microsoft Excel através de planilhas de rastreamento de tempo de paradas não programadas e banco de dados de ocorrência de falhas. Elas foram propiciadas por meio de uma empresa do setor de mineração e assim, será possível realizar o modelamento Weibull dos tempos de falha. É possível identificar a confiabilidade do processo, a partir dos valores de saída fornecidos pelas curvas de confiabilidade construídas pelo *software* Weibull.

De acordo com a revista *Reability Hot Wire* (2005, p.1 e p.2) a distribuição Weibull “é extensivamente usada em análise de confiabilidade e de dados de vida devido a sua versatilidade” e pode ser utilizada numa vasta gama de aplicações onde a vida útil é um fator vital para o equipamento. Ademais, a distribuição Weibull é notoriamente classificada como uma das mais importantes na realização do modelamento da confiabilidade já que possui uma ótima capacidade de representar os períodos de falhas dos equipamentos e por sua vasta flexibilidade (FOGLIATTO e RIBEIRO, 2009).

3.5 Tabulações de Dados

O levantamento de dados foi feito através do *software* Microsoft Excel, permitindo assim uma melhor visão dos dados coletados. De forma diferente do levantamento, o registro de dados é feito pelo *software* Microsoft Word e a modelagem Weibull das falhas é realizada através do *software* Weibull da Reliasoft.

3.6 Considerações finais do capítulo

Este capítulo caracterizou o tipo de pesquisa que é realizada, assim como os materiais, métodos, variáveis e ferramentas escolhidas para atingir os objetivos propostos nesse trabalho. O próximo capítulo aborda o estudo de caso, no qual é realizada a apresentação dos equipamentos estudados, a aplicação da prática proposta na metodologia e a análise e discussão dos resultados obtidos.

4 RESULTADOS

Neste capítulo será apresentado o estudo da confiabilidade aplicada à manutenção para tratores de esteira numa empresa do ramo de mineração. Os dados foram obtidos a partir da disponibilização do banco de dados da empresa em questão.

4.1 Características da empresa

A empresa tratada nesse estudo, cujo nome não será citado, é uma das maiores em seu ramo de mineração principalmente de minério de ferro além de produzir pelotas, níquel, manganês, ferroliga, cobre, bauxita, potássio, caulim, alumina e alumínio. Ademais, a empresa em questão atua também em logística, siderurgia e energia.

4.1.1 O Minério de Ferro

As diversas mudanças geológicas ocorridas durante milhões de anos na terra explicam a formação das rochas e dos minerais presentes nas mesmas. O clima tropical é um fator determinante para que haja jazidas em abundância desses minerais. No Brasil, as maiores jazidas e encontram na região da Serra de Carajás (Pará), no Quadrilátero Ferrífero (Minas Gerais) e na região do Maciço de Urucum (Mato Grosso do Sul) como pode ser visto na Figura 6.



Figura 6 – Metais ferrosos: Maiores Jazidas Brasil
Fonte: Saber Atual (2015)

Abordando o minério de ferro por ser o principal e mais importante produto da corporação em questão. Na natureza, o ferro é encontrado geralmente na forma de óxidos em minerais como hematita, magnetita, limonita, siderita e pirita, sendo a hematita e a magnetita os minerais com maior percentual de ferro e de melhor aproveitamento. Esses minerais encontram-se acoplados a rochas, por isso é necessário retirá-los das rochas para a comercialização (NOCITI, 2011).

A extração do Minério de Ferro ocorre em cinco etapas fundamentais, são elas: prospecção, investigação, desenvolvimento, exploração e recuperação.

4.1.1.1 Prospecção

É a primeira etapa da extração do minério de ferro. Nessa fase da utilização da jazida mineral é feita a busca por minerais valiosos que podem estar localizados na superfície ou abaixo da superfície da terra. Para minerais localizados na superfície é utilizado o método direto que consiste na avaliação estrutural, fotografia aérea, mapas geológicos para localizar os depósitos de minerais e estudos microscópicos de amostras. Para minerais abaixo da superfície da terra, utiliza-se o do método indireto que se fundamenta em aplicações da geofísica e geoquímica como métodos aplicado do ar com o mapeamento por aeronaves ou satélites e métodos que sondam abaixo da topografia como análise de amostras de solo, rocha, água e dos padrões de crescimentos das plantas.

4.1.1.2 Investigação

Nessa etapa é determinada com maior precisão o tamanho e o valor de uma jazida mineral, por meio de técnicas similares, porém mais refinadas e complexas do que na etapa de prospecção. Aqui são feitas análises de amostras da superfície e da subsuperfície submetendo-as a produtos químicos, raios X ou técnicas de avaliação espectrográficos e radiométricos com o intuito de descobrir o grau do corpo do minério e aprimorar o estudo da jazida em questão.

4.1.1.3 Desenvolvimento

Desenvolvimento: No terceiro estágio, é realizado o trabalho de abertura e acesso da jazida mineral. É feita a remoção do solo e/ou rocha que cobre o minério que está na superfície ou é realizada a escavação e abertura da superfície para realizar mineração subterrânea, se for o caso. Entretanto, são necessárias algumas medidas antecedentes ao desenvolvimento como a resolução de questões burocráticas e a implantação da infraestrutura necessária para a extração.

4.1.1.4 Exploração

É a etapa que está associada à real recuperação do mineral da terra. O método utilizado para exploração é definido através das características geológicas do local, preocupações ambientais, economia, tecnologia e segurança. Os métodos se dividem sistematicamente em mineração superficial e mineração subterrânea. A primeira é realizada com escavação mecânica, minas de céu aberto ou poço aberto e métodos aquosos. Já a segunda é dividida em três classes: sem suporte, com suporte e espeleologia; são diferenciados pelo tipo de suporte da parede e teto, configuração das aberturas de produção e a direção de operação da mineração.

4.1.1.5 Recuperação

É o estágio final da operação da mina. Nesse processo, o corre a restauração do solo e da água, assim como a revegetação do espaço. Ao planejar a recuperação de qualquer mina, deve se levar em conta algumas preocupações em que se destacam três.

- i) A primeira é a segurança do local da mina: deve-se remover as instalações de processamento, escritório e edifícios, bem como realizar a vedação de aberturas, buracos ou paredes altas causadas pelo processo de mineração, para que evite os riscos de acidentes devido a falhas geológicas.
- ii) A segunda se trata da restauração da terra, a qualidade da água e a disposição de resíduos nas áreas para que a poluição da água a longo prazo, erosão do solo, geração de poeiras ou problemas de vegetação não ocorram. Uma parte muito importante desse processo é a restauração da vegetação nativa do local, já que as plantas ajudam a construir um solo de estrutura estável.
- iii) A terceira se trata do planejamento para o uso subsequente do espaço após a conclusão da mineração. As terras podem ser utilizadas para usos que podem beneficiar a sociedade como: refúgios para a vida selvagem, campos de golfe, shopping, lagos, metrô, galpões, empreendimentos imobiliários, por exemplo.

4.1.2 O Ciclo do Minério

Tamanha é a importância do minério de ferro atualmente, já que a partir dele é possível obter o ferro metálico. Porém, alguns processos realizados pela empresa que extrai o minério desde a retirada do mineral da jazida até que chegue pronto para a produção de peças, equipamentos ou materiais a partir de matéria prima.

A retirada do material da jazida é feita com ajuda de explosivos e equipamentos robustos de grande porte como pás carregadeiras e tratores. Após a extração da jazida é realizado o transporte do minério bruto até a usina responsável para o seu aprontamento. Esse transporte é feito através de grandes máquinas como caminhões fora de estrada, para que seja levada a maior quantidade possível de mineral.

Quando o minério bruto chega na usina, é necessário realizar a sua fratura através de britadeiras para que possa facilitar a separação do ferro de outros elementos que compõem a rocha. A separação só é possível ser feita, depois que o mineral esteja em diâmetro inferior a dois centímetros.

Daí, é realizado o peneiramento e a limpeza do material. Os pequenos fragmentos passam por uma peneira enquanto os outros pedaços mais robustos retornam à britadeira para serem novamente triturados. Esse peneiramento é realizado com o auxílio de um forte jato de água, realizando assim a limpeza em conjunto.

Finalmente, é realizado o armazenamento do minério por empilhadeiras para que depois possa ser colocado nas locomotivas e realizar seu transporte até a fábrica para produção de insumos a partir do ferro.

Dessa forma, é possível perceber a grande importância dos equipamentos no processo. O trator de esteira tem grande relevância na etapa inicial do processo e sem ele torna-se impossível a extração e compromete toda a linha de produção. Paradas não programadas nesses equipamentos geram grandes prejuízos para as empresas, já que uma parte do processo tem que ficar parada. A manutenção centrada em confiabilidade é uma ferramenta eficaz para evitar essas paradas e conseqüentemente ajudar na queda de prejuízos.

4.2 Características do Trator de Esteira

De acordo com Jaworski (2018, p.28), o conceito de trator pode ser entendido como “uma máquina automotora especialmente construída para empurrar outra(s) máquina(s) e/ou acionar implemento(s) a ela adaptado(s)”.

O equipamento objeto desse estudo se trata do Trator de Esteira e a figura 7 exemplifica um modelo D375A deste ativo.



Figura 7 - Trator de Esteira Komatsu 375A
Fonte: Komatsu (2019)

Na mineração, o trator de esteira é imprescindível para o desenvolvimento de uma mina, onde o mesmo realiza várias funções e sua flexibilidade aumenta a importância para concluir os serviços. Geralmente, a atividade do trator de esteira antecede as atividades de produção, sendo importante na etapa de extração e transporte. Sendo assim, os atrasos referentes ao seu deslocamento poderão comprometer todo o planejamento acarretando a perda de produtividade de outros mecanismos.

É um tipo de trator movido por um material rodante que tem a função de promover a sustentação e a locomoção da máquina. O sentido de locomoção da esteira é dado no mesmo sentido de movimentação do trator. Dos principais componentes de um trator de esteiras estão: sapatas, duas rodas (roda guia e roda motriz), roletes, buchas, elos e correntes (FURLANI e SILVA, 2006; LIZ, 2013).

A figura 8 mostra um modelo esquemático dos componentes em um trator de esteira abundantemente utilizado no mercado.

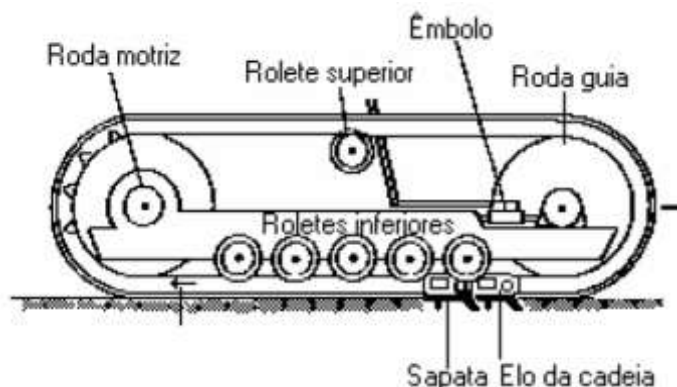


Figura 8 - Modelo esquemático material rodante
 Fonte: Furlani e Silva (2006)

Consoante a Liz (2013), dentre os principais componentes do material rodante dos tratores de esteira se destacam: elos, buchas, sapatas, roletes, rodas e corrente. Segundo o mesmo autor, as definições podem ser elucidadas abaixo:

- a) Sapatas: É o componente responsável por permitir tração para o trator.
- b) Rodas: Há dois tipos de rodas no trator de esteira: roda motriz e roda guia. A roda motriz transfere a potência do motor para a armação da esteira. Já a roda guia tem a função de evitar o relaxamento dos elos das esteiras orientando o caminho que esses elos irão percorrer. As rodas guia e motriz são instaladas na parte traseira e a motriz na parte dianteira.
- c) Elos: Tem a finalidade de suportar o peso da máquina e adquirir o impacto, através da junção da esteira como se fosse uma corrente.
- d) Buchas: As buchas servem para não permitir que o óleo lubrificante entorne e, além disso, tem o propósito de preservar o contato entre as seções da esteira.
- e) Roletes: No material rodante, há dois tipos de roletes: rolete superior e rolete inferior. O rolete inferior é lubrificado com óleo e possui a função de partilhar e sustentar o peso de forma uniforme. Já o rolete superior é utilizado para impedir que ocorra atrito do elo com a estrutura da esteira. Nos tratores de esteira são utilizados roletes superiores de flange.
- f) Corrente: É um componente que trabalha junto com a roda guia. Têm o objetivo de gerar a movimentação da máquina. A força gerada pelo motor é transferida para roda guia e, sucessivamente, para a corrente tracionando-a, assim é possível realizar a locomoção do trator de esteira.

4.3 Análise da Confiabilidade na Manutenção de Tratores de Esteira

A aplicação da Confiabilidade na Manutenção de tratores de esteira foi realizado de acordo com a estratificação dos dados disponíveis no banco de dados da empresa. Através do *software* Weibull++ foi possível analisar as paradas não programadas dos tratores de esteira e, a partir disso, fazer um estudo da sua confiabilidade.

O *software* Weibull++ é bem versátil e pode ser amplamente empregado para uma vasta gama de aplicações de análise de dados, desde dados de degradação e não paramétricos até confiabilidade e experimentos. A ferramenta permite também fornecer diagnóstico de confiabilidade e de tempos de vida dos equipamentos fornecendo relatórios, gráficos, tabelas e plotagens. Além disso, o *software* Weibull é bem completo, consegue trabalhar com os mais diversos tipos de métodos estatísticos para confiabilidade como a Distribuição Lognormal, Weibull, Gama, Exponencial dentre outras menos utilizadas na prática.

Os dados da empresa foram fornecidos através do *software* Microsoft Excel, nele contém as informações dos eventos como pode-se observar através da Figura 9.

Eqpto	Frota	Grupo	Modelo	Fabricante	Tipo	DataIni	DataFim	Duração	Comentário	LocComponente	Componente	Falha	Causa	Efeito
TE4419	Kom D375	Trator de Esteira	Kom D375	Komatsu	Manut Nao Programada	01/07/2015 09:55	01/07/2015 21:35	11,76	ROLETE DA BALANÇA DO TRUCK LD FUNDIDO. TENSIONAR ESTEIRA E LIBERAR. TROCOU ROLETE DA BALANÇA LD/FORAM TENSIONADAS DUAS ESTEIRAS	Locomoção	Balança de roletes LD 02	Rolete 1	Desgaste	Trocar
TE4421	Kom D375	Trator de Esteira	Kom D375	Komatsu	Manut Nao Programada	01/07/2015 14:49	01/07/2015 16:00	1,20	VAZ. OLEO MOTOR COMPLETOU 60 LITRO DE OLEO MOTOR	Motor de combustão	Motor de combustão	Óleo	Nível	Completar
TE4415	Kom D375	Trator de Esteira	Kom D375	Komatsu	Manut Nao Programada	01/07/2015 16:15	01/07/2015 16:26	0,24	TROCAR LAMPADA FAROL TROCOU CONECTOR DO FAROL SUPERIOR E TROCOU FUSIVEL	Elétrico	Painel	Fusível	Queima	Trocar
TE4403	Kom D375	Trator de Esteira	Kom D375	Komatsu	Manut Nao Programada	01/07/2015 21:55	03/07/2015 09:53	36,00	TRAVANDO FREIO TROCADO MATERIAL DE DESGASTE, TROCADO MANG. DE PRESSÃO DA TRNASSMISSÃO, TROCADO VEDAÇÃO DA MANG. TRANSMISSÃO, FIXADO CAPÚ, TROCADO PARAFUSOS DO MANCAL DA RODA LADO ESQ. / FOI TROCADO SMV DO FREIO	Hidráulico	Grupo válvula	Válvula	Danificado	Trocar
TE4420	Kom D375	Trator de Esteira	Kom D375	Komatsu	Manut Programada	02/07/2015 09:35	02/07/2015 09:55	0,24	LUBRIFICAÇÃO 75 HORAS	Lubrificação	Lubrificação	Lubrificação	Lubrificação	Lubrificar
TE4415	Kom D375	Trator de Esteira	Kom D375	Komatsu	Manut Programada	02/07/2015 11:07	02/07/2015 11:31	0,48	RADIO PAROU DE FUNCIONAR RECONDICIONADO CABO DA ANTENA ...	Comunicação	Comunicação externa	Cabo/fiação	Rompimento	Recuperar
TE4414	Kom D375	Trator de Esteira	Kom D375	Komatsu	Manut Programada	02/07/2015 15:05	02/07/2015 15:40	0,48	LUBRIFICAÇÃO DE 75 HS FOI FEITO LUBRIFICAÇÃO DE 75 HS	Lubrificação	Lubrificação	Lubrificação 75 Horas	Lubrificação	Lubrificar
TE4415	Kom D375	Trator de Esteira	Kom D375	Komatsu	Manut Nao Programada	03/07/2015 01:30	03/07/2015 02:46	1,20	FAROIS SUPERIORES NAO FUNCIONAM RETIRADO MAL CONTATO NO CHICOTE DOS FAROIS	Elétrico	Iluminação	Cabo/fiação	Mau contato	Reparar
TE4415	Kom D375	Trator de Esteira	Kom D375	Komatsu	Manut Nao Programada	03/07/2015 04:42	04/07/2015 10:16	29,52	SOLTUO ROLETE L.D PROXIMO RODA MOTRIZ. FOI TROCADO ROLETE SUPERIOR LD E SOLDADO BASE / TENCIONADO A ESTEIRA LD, COMPLETOU 8 LTS DE ELC, 19 LTS DE ÓLEO HIDRÁULICO E FEITA A LUBRIFICAÇÃO DE 75 HRS.	Locomoção	Truque LD	Rolete inferior 06	Fixação	Fixar
TE4403	Kom D375	Trator de Esteira	Kom D375	Komatsu	Manut Nao Programada	03/07/2015 14:09	03/07/2015 15:29	1,44	ALARMANDO E03 (CÓD: C346KT) E BAIXO RENDIMENTO MOTOR. REPOSICIONADO FIAÇÃO DO ECM DO MOTOR.	Elétrico	Motor de combustão	Cabo/fiação	Mau contato	Recuperar

Figura 9 - Ilustração dos dados fornecido pela empresa pelo *software* Microsoft Excel
Fonte: Pesquisa Direta (2019)

De acordo com a Figura 9 é possível observar a presença de informações de extrema importância para a análise e implementação da Confiabilidade na Manutenção de tratores de esteira. Nota-se que se trata de equipamentos de apenas uma das frotas fornecidas pelo banco de dados da empresa denominada KomD375. Além disso, integra-se na tabela dados como tipo do equipamento, o tipo de manutenção (programada ou não programada), datas e horários iniciais e finais de cada evento, a duração da parada em horas, o comentário (constando o que deve ser ou o que foi feito), a localização do componente que falhou (em que sistema ele pertence), o componente que falhou, a falha, causa e efeito.

Outras informações mais detalhadas também foram fornecidas pela empresa através de seu banco de dados como o executor e responsável pela manutenção da falha, porém não tem grande relevância para esse estudo.

No banco de dados da empresa foram fornecidos arbitrariamente os dados de seis frotas de tratores de esteira, assim se entabula o estudo através do agrupamento desses dados de forma ordenada e organizada. A Tabela 3 mostra o número de equipamentos por frota bem como a representatividade de seu respectivo percentual.

Tabela 3 - Número e Percentual de equipamento por frota

Frota	NroEqtos	%Eqtos
Kom D375	10	38,5%
CAT D10R	6	23,1%
Cat D9R	5	19,2%
Komatsu D61EX	2	7,7%
Cat D6D	2	7,7%
CAT 785B	1	3,8%
Total Geral	26	100,0%

Fonte: Pesquisa Direta (2019)

Através da Tabela 3 percebe-se que a frota com o maior número de equipamentos é a KOM D375 com dez máquinas representando um percentual de 38,5% dos tratores de esteira, seguida das frotas CAT D10R com seis máquinas e 23,1%, Cat D9R com cinco máquinas e 19,2%, Komatsu D61EX e Cat D6D ambas com duas máquinas e 7,7%, e pôr fim a frota CAT 785B com apenas um equipamento representando 3,8%.

A Tabela 4 mostra a quantidade de eventos de manutenção programada e não programada por frota no período de janeiro a julho do ano de 2015.

Tabela 4 - Quantidade de Manutenção Programada e não Programada por frota

Frota	Manut Nao Programada	Manut Programada	Total Geral
Kom D375	537	249	786
CAT D10R	190	118	308
Cat D9R	122	35	157
Komatsu D61EX	97	23	120
Cat D6D	48	5	53
CAT 785B	3	4	7
Total Geral	997	434	1.431

Fonte: Pesquisa Direta (2019)

De acordo com a tabela 4, verifica-se que a frota Kom D375 possui o maior número de eventos não programados com 537 seguida por CAT D10R com 190, Cat D9R com 122, Komatsu D61EX com 97, Cat D6D com 48 e CAT 785B com apenas 3. Portanto, após a análise das tabelas 3 e 4, é notório que a frota Kom D375 é de grande relevância, visto que ela possui o maior número de eventos e representa a maior quantidade de equipamentos de tratores de esteira.

O gráfico da figura 10 foi elaborado de acordo com os dados da Tabela 4 a fim de exibir a quantidade de manutenção programada e não programada por frota.

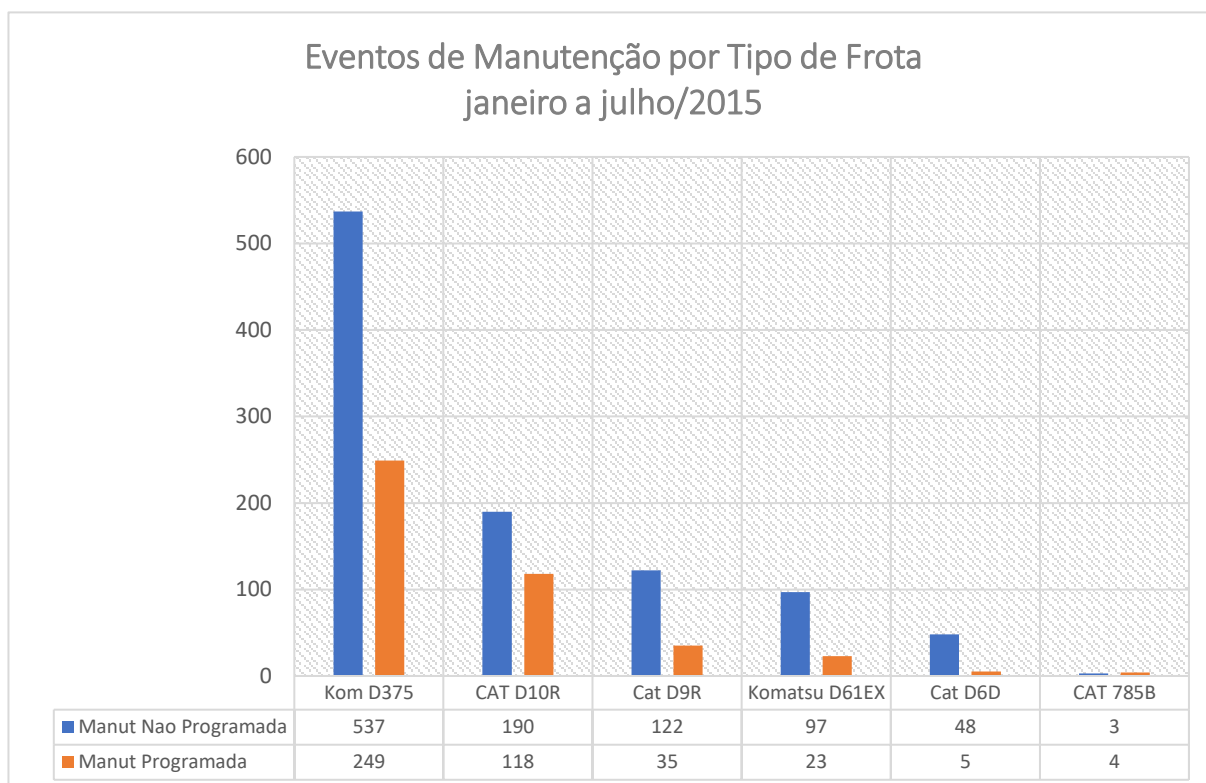


Figura 10 - Gráfico da quantidade de Manutenção Programada e não Programada por Frota

Fonte: Pesquisa Direta (2019)

Como o estudo se trata de paradas não programadas para elaboração da Manutenção Centrada em Confiabilidade, foi feita a tabela 5 com apenas a quantidade de eventos não programados afim de estreitar o estudo.

Tabela 5 - Quantidade de Manutenção não Programada por frota

Frota	QtdeEventos
Kom D375	537
CAT D10R	190
Cat D9R	122
Komatsu D61EX	97
Cat D6D	48
CAT 785B	3
Total Geral	997

Fonte: Pesquisa Direta (2019)

Além disso, é possível relacionar o percentual de eventos por frota com o percentual de equipamentos por frota.

Tabela 6 - Percentual de Equipamentos e Percentual de Eventos por frota

Frota	%Eqtos	%Eventos
Kom D375	38,5%	53,86%
CAT D10R	23,1%	19,06%
Cat D9R	19,2%	12,24%
Komatsu D61EX	7,7%	9,73%
Cat D6D	7,7%	4,81%
CAT 785B	3,8%	0,30%
Total Geral	100,0%	100,00%

Fonte: Pesquisa Direta (2019)

A Tabela 6 exhibe o percentual de equipamentos por frota e o percentual de eventos por frota e a partir dela foi construído um gráfico de pizza exposto na figura 1

Figura 111 e o gráfico de barras na figura 13, confirmando-se outra vez a grande relevância da frota Kom D375.

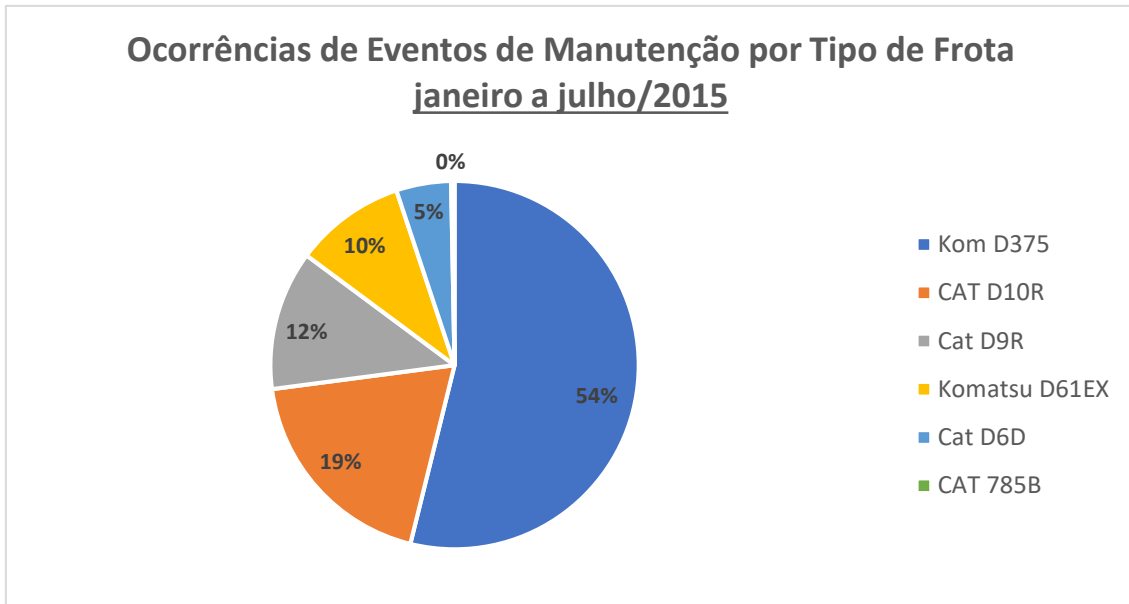


Figura 11 - Gráfico de Pizza com o percentual de equipamentos por frota
Fonte: Pesquisa Direta (2019)

Através do gráfico de pizza da figura 11 é possível constatar que os eventos de paradas não programadas da frota Kom D375 representa mais da metade dos episódios de falhas das outras frotas, possibilitando mais uma vez a verificação de que a frota Kom D375 é a mais problemática.

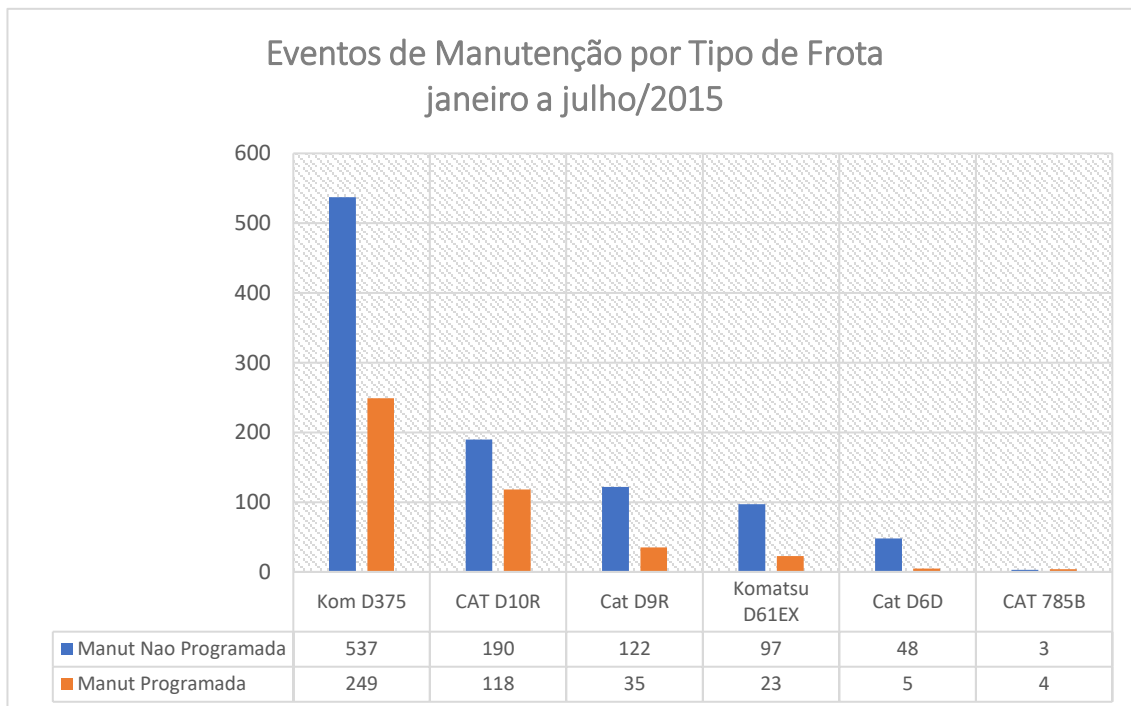


Figura 12 – Eventos de Manutenção por tipo de frota
Fonte: Pesquisa Direta (2019)

A partir da tabela 4 foi possível realizar a construção do gráfico da figura 12. Pode-se perceber que a frota Kom D375 possui 537 eventos de paradas não programadas, seguido da

frota CAT D10R com 190 eventos, Cat D9R com 122 eventos, Komatsu D61EX com 97, CAT D6D com 48 e CAT685B com apenas 3 eventos.

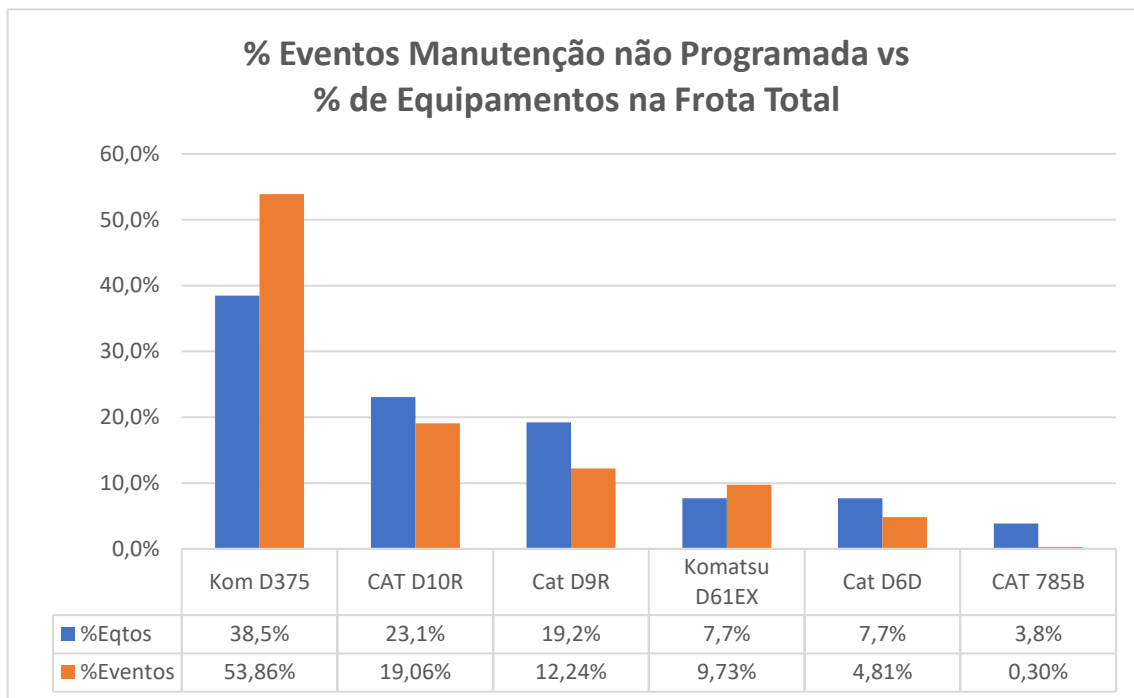


Figura 13 - Percentual de eventos e percentual de equipamentos por frota
Fonte: Pesquisa Direta (2019)

Além da frota Kom D375 possuir o maior percentual de eventos dentre todas as frotas com 54,7%, esta detém o maior percentual de equipamento dentre todas as frotas. Diante disso, após a Kom D375 consolidar-se como a frota mais importante desse estudo, viu-se necessária a análise detalhada dessa frota, observando o comportamento de cada um dos equipamentos da Kom D375.

A partir daqui o estudo partiu do pressuposto de detalhar e restringir os dados fornecidos pela empresa a fim de obter maior êxito no estudo da Confiabilidade na Manutenção de tratores de esteira. À vista disso, foram construídos gráficos e tabelas para realizar uma limitação de eventos por equipamento de frota, sistemas que falharam e posteriormente o componente que falhou.



Figura 14 - Quantidade e Percentual de eventos em função da frota

Fonte: Pesquisa Direta (2019)

A Figura 14 elucida a quantidade de eventos (em barras azuis) e o percentual de eventos (linha laranja) por equipamento. Verifica-se que o equipamento TE4415 da frota Kom D375 possui 88 eventos e 8,8% de eventos, de acordo com todos os tratores de esteira de todas as frotas.

Entretanto, como já constatado anteriormente, a frota com o maior número de eventos é a Kom D375, dessa forma foi elaborado um gráfico na Figura 15 semelhante ao da Figura 14, porém considerando apenas os equipamentos da frota Kom D375.

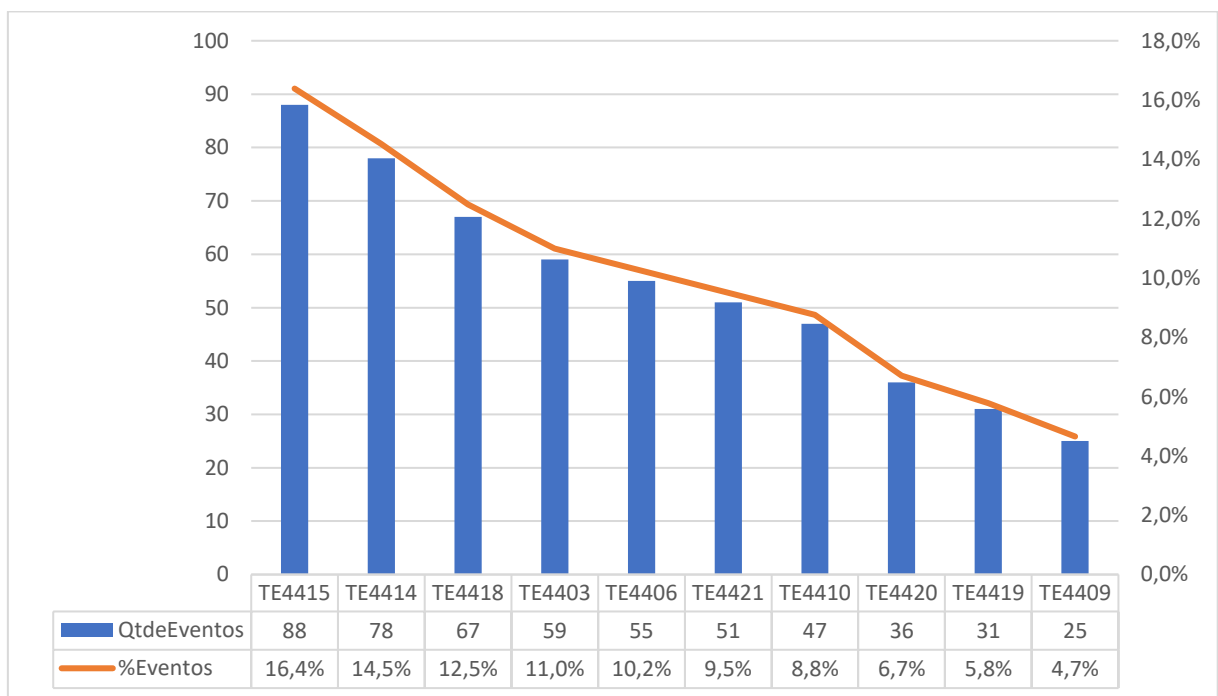


Figura 15 - Quantidade e percentual de eventos por equipamento da frota Kom D375
Fonte: Pesquisa Direta (2019)

Percebe-se a partir da Figura 15 que os 88 eventos do equipamento TE4415 agora corresponde a um total de 16,4% de eventos da frota Kom D375.

O gráfico da Figura 15 e o diagrama de Pareto da Figura 16 foram feitos com o auxílio dos dados organizados na tabela 7.

Tabela 7 - Quantidade e Percentual de eventos por equipamento da frota KomD375

Equipamentos	QtdeEventos	%Eventos
TE4415	88	16,4%
TE4414	78	14,5%
TE4418	67	12,5%
TE4403	59	11,0%
TE4406	55	10,2%
TE4421	51	9,5%
TE4410	47	8,8%
TE4420	36	6,7%
TE4419	31	5,8%
TE4409	25	4,7%
Total Geral	537	100,0%

Fonte: Pesquisa Direta (2019)

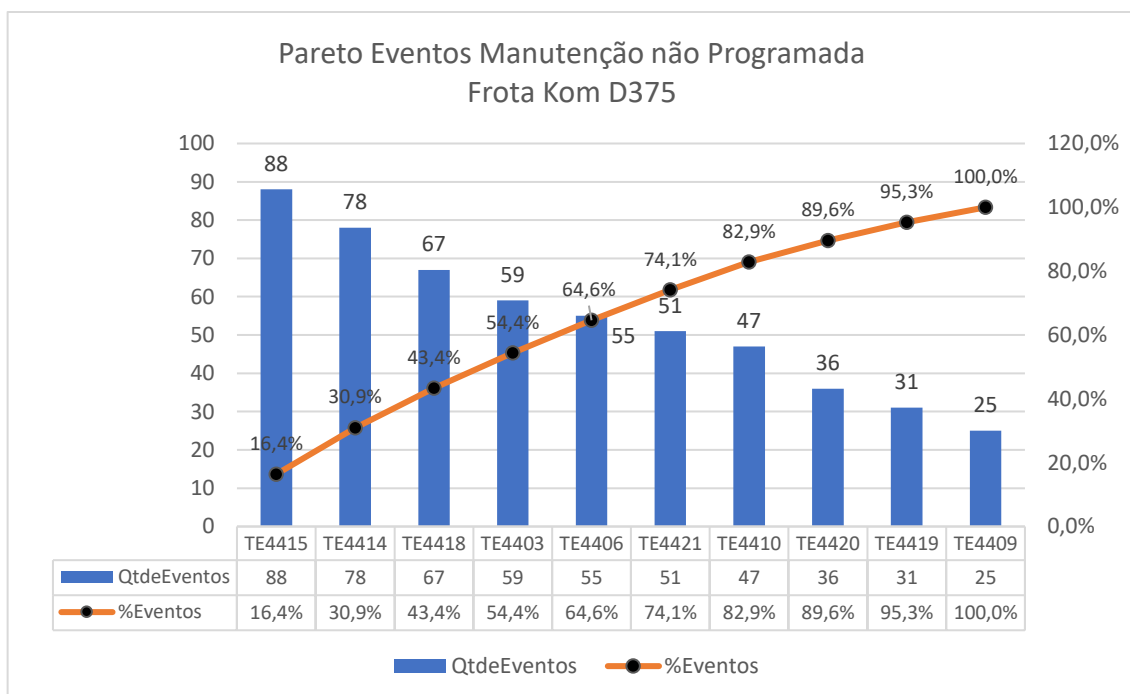


Figura 16 - Diagrama de Pareto - Eventos de Manutenção não programada equipamentos da frota Kom D375
Fonte: Pesquisa Direta (2019)

Após uma análise feita dos equipamentos da frota Kom D375 e de acordo com a Figura 16 e a Tabela 7 confirma-se que o equipamento TE4415 possui o maior número de eventos com 88 e o maior percentual totalizando 16,4%. Dessa forma, foi realizado um estudo aprofundado nesse equipamento específico dessa frota.

Para um estudo de Confiabilidade na Manutenção sistemático, completo e preciso é necessário analisar de forma aprofundada os motivos pelos quais as paradas não programadas foram necessárias. Como já dito anteriormente, o banco de dados da empresa fornece informações importantes para essa etapa como o componente que está falhando e sua

localização no equipamento, bem como um comentário que contém o que foi feito na manutenção e se o problema foi resolvido.

À vista disso, foi construído um gráfico mostrando a quantidade de parada por sistemas dentro da frota Kom D375. A Figura 17 exemplifica esse gráfico.



Figura 17 - Eventos de Manutenção não Programada em função do sistema que falhou
Fonte: Pesquisa Direta (2019)

É possível perceber através da Figura 17 que o sistema que mais teve falhas resultantes em paradas não programadas foi o sistema de motor de combustão com 149 paradas não programadas, seguido do sistema elétrico com 131 paradas, a locomoção com 79 paradas, o hidráulico com 66 paradas, a estrutura com 61 paradas, ar condicionado com 25 paradas, transmissão de força com 15 paradas, inspeção com 5 paradas, combate a incêndio com 3 paradas e, por fim, lubrificação e comunicação com apenas 1 parada não programada cada. Esses dados podem ser apresentados também na Tabela 8.

Tabela 8 - Número de eventos por Sistema da frota Kom D375

Sistemas	NroEventos
Motor de combustão	149
Elétrico	131
Locomoção	79
Hidráulico	66
Estrutura	61
Ar condicionado	26
Transmissão de força	15
Inspeção	5
Combate incêndio eqto de mina	3
Lubrificação	1
Comunicação	1
Total Geral	537

Fonte: Pesquisa Direta (2019)

As análises feitas até aqui objetivam a escolha do ativo. A escolha da frota Kom D375 deu-se por ela possuir o maior número de eventos dentre todas as frotas. O mesmo raciocínio se segue para o equipamento TE4415 da frota Kom D375 que apresenta o maior número de eventos de todos os outros equipamentos. O gráfico da Figura 18 mostra a quantidade de eventos do equipamento TE4415 em cada subconjunto de sistemas que falharam.

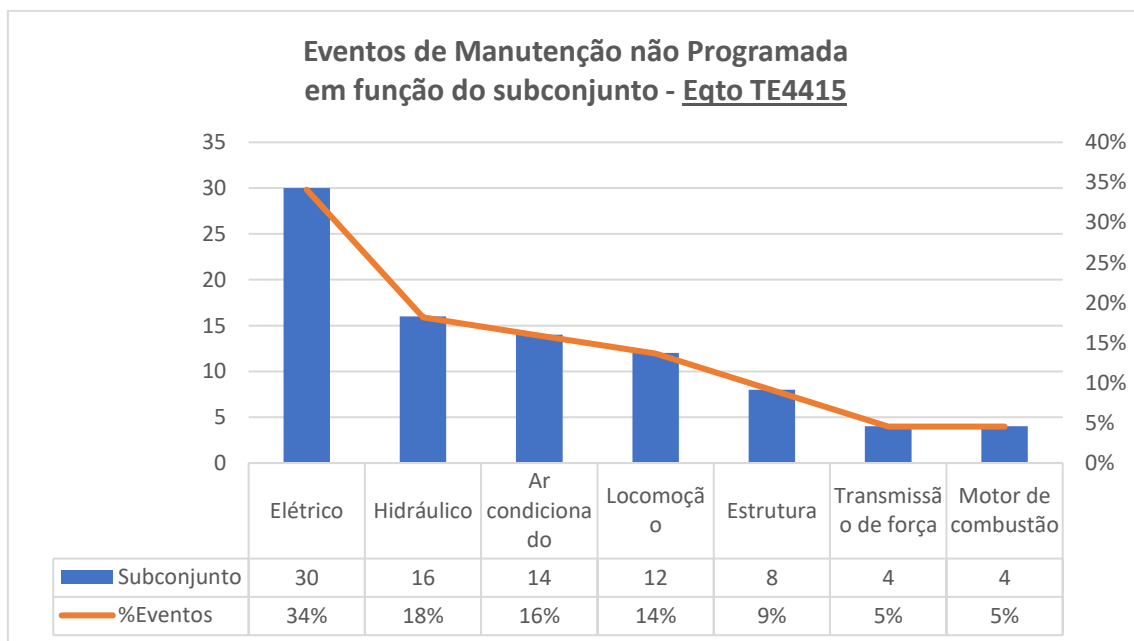


Figura 18 - Eventos de Manutenção Não Programada em função do subconjunto do equipamento TE4415
Fonte: Pesquisa Direta (2019)

Agora, analisando as paradas não programadas por subconjunto do equipamento TE4415 (equipamento que possui o maior número de eventos) dentro da frota Kom D375, detecta-se que o subconjunto do sistema elétrico possui o maior número de eventos com 30 eventos, representando 34% dos eventos desse equipamento, seguido do hidráulico com 16 eventos e 18%, ar condicionado com 14 eventos e 16%, locomoção com 12 eventos e 14%, estrutura com 8 eventos e 9%, transmissão de força e motor de combustão 4 eventos e 5% sucessivamente.

Embora o motor de combustão seja o subconjunto que mais falhou em toda a frota Kom D375, constata-se que no equipamento TE4415, o subconjunto que teve maior quantidade de eventos não programados foi o sistema elétrico.

Para a próxima etapa do estudo da Confiabilidade aplicada à Manutenção, é necessário o cálculo de uma variável importante do processo: Dado Suspenso. O Dado Suspenso é o intervalo de tempo em horas que o equipamento retornou à operação pela última vez até o dia do estudo realizado. Além dessa variável, também há um indicador relevante para o processo: Tempo Médio Entre Falhas, calculado a partir do intervalo de tempo em horas em que o equipamento operou desde que retornou de uma irregularidade, onde foi realizada uma manutenção não programada, até quando ocorreu a falha no mesmo componente ou sistema.

A data e horário de realização do estudo foi 22/11/2019 as 16h (data e horário utilizados para o cálculo do dado suspenso), respectivamente. Já as datas do primeiro dado e do último dado estão contidas na Tabela 9.

Tabela 9 - Informações necessária para construção da curva de confiabilidade para avarias no sistema elétrico

Equipamento	Frota	Número de ocorrências	Data do primeiro dado	Data do último dado	Dado Suspenso (h)
TE4415	KOMD375	537	09/01/2015 05h04min	03/07/2015 02h46min	38485,23

Fonte: Pesquisa Direta (2019)

Fogliatto e Ribeiro (2009) afirmam em sua obra que a Análise do Modo e Efeito da Falha é um procedimento que desenvolve métodos para detectar e antepor as falhas em equipamentos, sistemas ou processos. Os autores afirmam ainda que os parâmetros primordiais para a FMEA (Análise do Modo e Efeito da Falha) são: causa, efeito, modos de falha, frequência, gravidade da falha, detectabilidade e índice de risco ou número de prioridade de risco. Embora o banco de dados da empresa não forneça todas essas informações necessárias

para FMEA, as informações são suficientes para realizar o estudo da Confiabilidade na Manutenção deste ativo.

Até aqui, seguiu-se estritamente as etapas necessárias para a construção da curva de confiabilidade. Escolheu-se a frota KomD375 que possui mais eventos de falhas e por conseguinte o equipamento TE4415 como a máquina com o maior número de paradas não programadas dentro da frota. Posteriormente, avaliou-se o subconjunto do sistema que mais falhou desse equipamento: o Sistema Elétrico.

A partir do cálculo do Tempo Médio Entre Falhas e o dado suspenso, pode-se construir a curva de confiabilidade dos eventos do subconjunto de Sistema Elétrico do equipamento TE4415 da frota KomD375 que pode ser vista na Figura 19. O gráfico foi construído a partir do *software* Weibull ++ da Reliasoft.

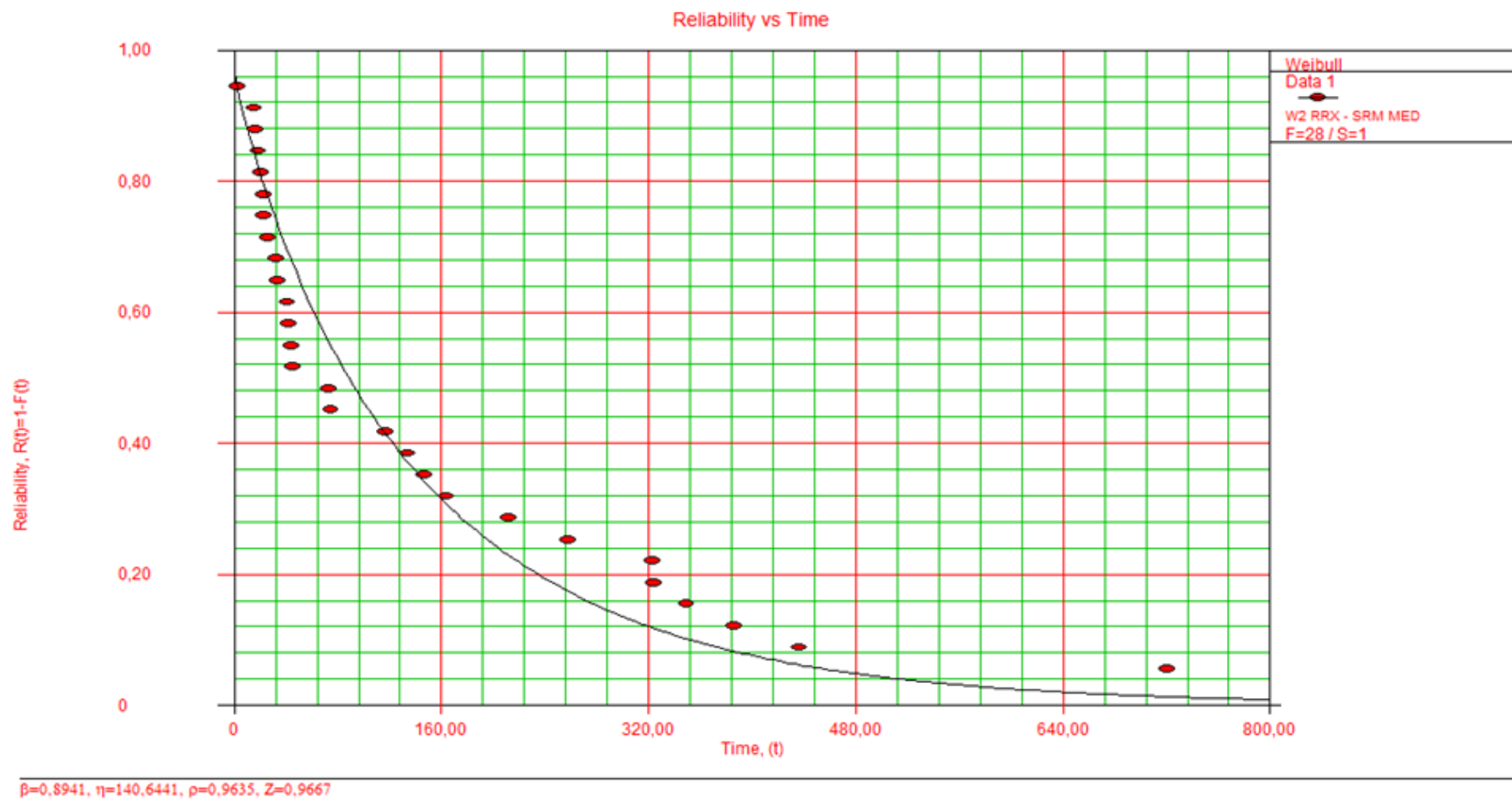


Figura 19 - Curva de Confiabilidade dos Eventos de Paradas não programadas do Sistema Elétrico pertencente ao equipamento TE4415 da frota KomD375 dos tratores de esteira.

Fonte: Pesquisa Direta (2019)

Pode-se constatar a partir da curva de confiabilidade da Figura 19 que há uma grande possibilidade de que o ativo esteja na fase de mortalidade infantil da curva da banheira já que houve um marcante declínio da confiabilidade à medida que há um aumento do intervalo de tempo que o equipamento TE4415 opera. Além disso, percebe-se que as funções de confiabilidade são decrescentes, já que o parâmetro de forma $\beta = 0,8941$, valor menor que 1.

Wuttke (2008, p.7) explicita em sua obra que na fase de mortalidade infantil da curva da banheira “as falhas são causadas por defeitos congênitos ou fraquezas, erros de projeto, peças defeituosas, processos de fabricação inadequados, mão de obra desqualificada, estocagem inadequada, instalação imprópria, partida deficiente entre outras”. Por isso a empresa deve-se ater a essas questões para que o equipamento não entre na fase de mortalidade infantil. A melhor prática de manutenção nesta fase é a manutenção corretiva (SELLITO, 2005 *apud* WUTTKE, 2008).

Com o adjutório do *software* Weibull da Reliasoft pode-se obter os dados de saída de alguns intervalos de tempo de operação do equipamento para que possa ser feita uma análise mais minuciosa. A tabela 10 mostra alguns valores de tempo arbitrados e sua confiabilidade.

Tabela 10 - Valor da confiabilidade por intervalo de tempo arbitrado do Sistema Elétrico

Intervalo de operação (h)	Confiabilidade	Confiabilidade (%)
32	0,7408	74,08
96	0,4749	47,49
192	0,2580	25,80
384	0,0830	8,30
576	0,0284	2,84
768	0,0101	1,01

Fonte: Pesquisa Direta (2019)

A partir da Tabela 10 pode-se evidenciar que:

- i) Para o intervalo de operação de 32 horas a confiabilidade é 74,08%
- ii) Para o intervalo de operação de 96 horas a confiabilidade é 47,49%
- iii) Para o intervalo de operação de 192 horas a confiabilidade é 25,08%
- iv) Para o intervalo de operação de 384 horas a confiabilidade é 8,30%
- v) Para o intervalo de operação de 576 horas a confiabilidade é 2,84%

vi) Para o intervalo de operação de 768 horas a confiabilidade é 1,01%

Dessa forma, percebe-se novamente que quanto maior o intervalo de tempo de operação do equipamento TE4415 da frota Kom D375 maior é a chance do sistema elétrico deste falhar. É importante ressaltar que quando o intervalo de tempo é de 32 horas, o ativo tem uma confiabilidade de 0,7408, ou seja, o equipamento tem 74,08% de chance de não falhar quando ele opera 32 horas. Já para o intervalo de tempo de 768 horas o sistema elétrico do trator de esteira tem 98,99% de chance de falhar, tornando-se um grande problema para empresa.

De forma análoga ao procedimento anterior, foram plotadas curvas de confiabilidade para os eventos dos sistemas hidráulico, ar condicionado, locomoção, estrutura, transmissão de força e motor de combustão que falharam da frota Kom D375 a fim de visualizar o comportamento dessas curvas.

A Figura 20 mostra o comportamento da curva de confiabilidade do subconjunto de sistema hidráulico e as Figuras 21, 22, 23, 24 explicitam, respectivamente, o comportamento da curva de confiabilidade dos subconjuntos de sistemas ar condicionado, locomoção, estrutural, motor de combustão e transmissão de força.

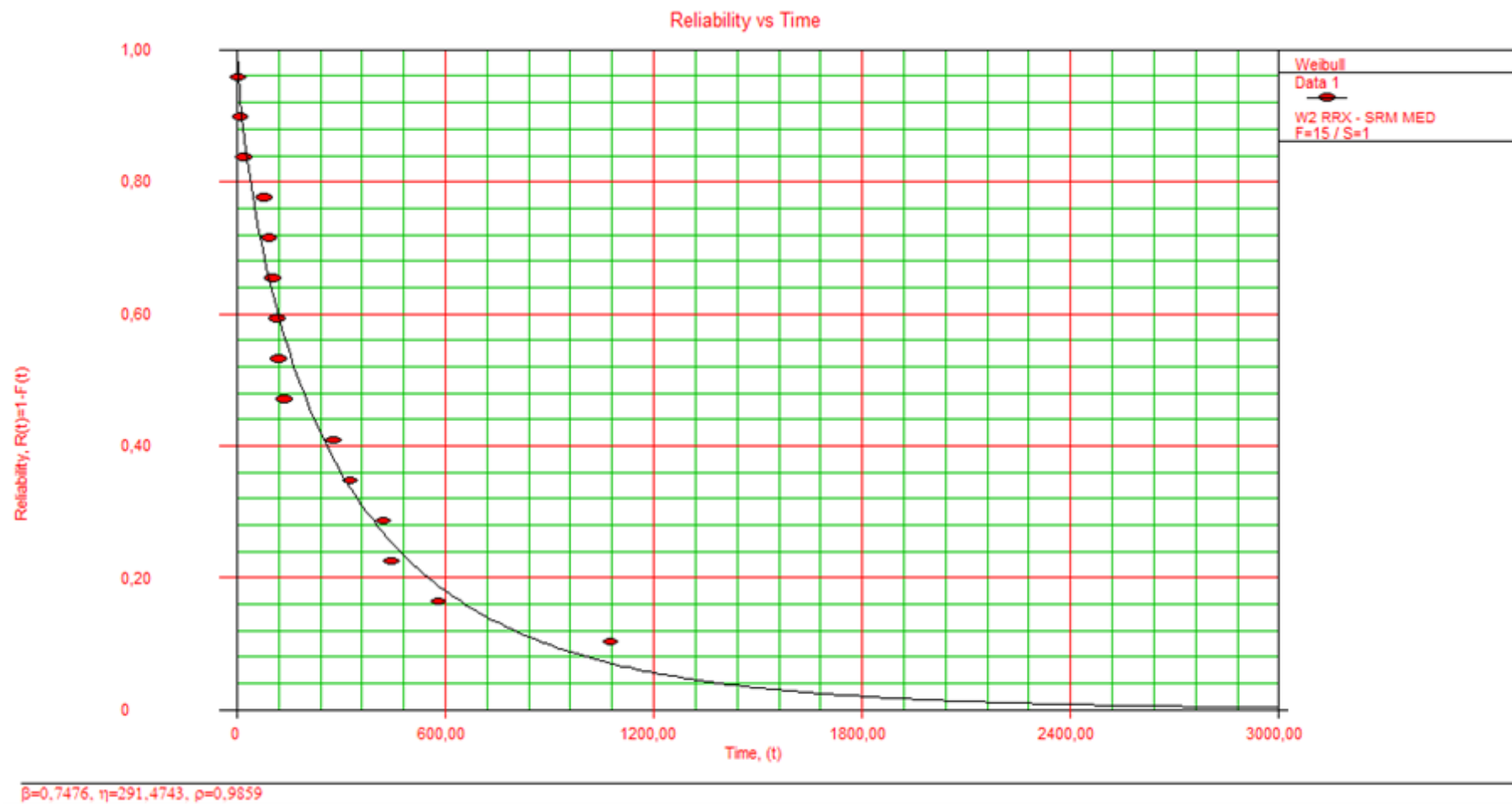
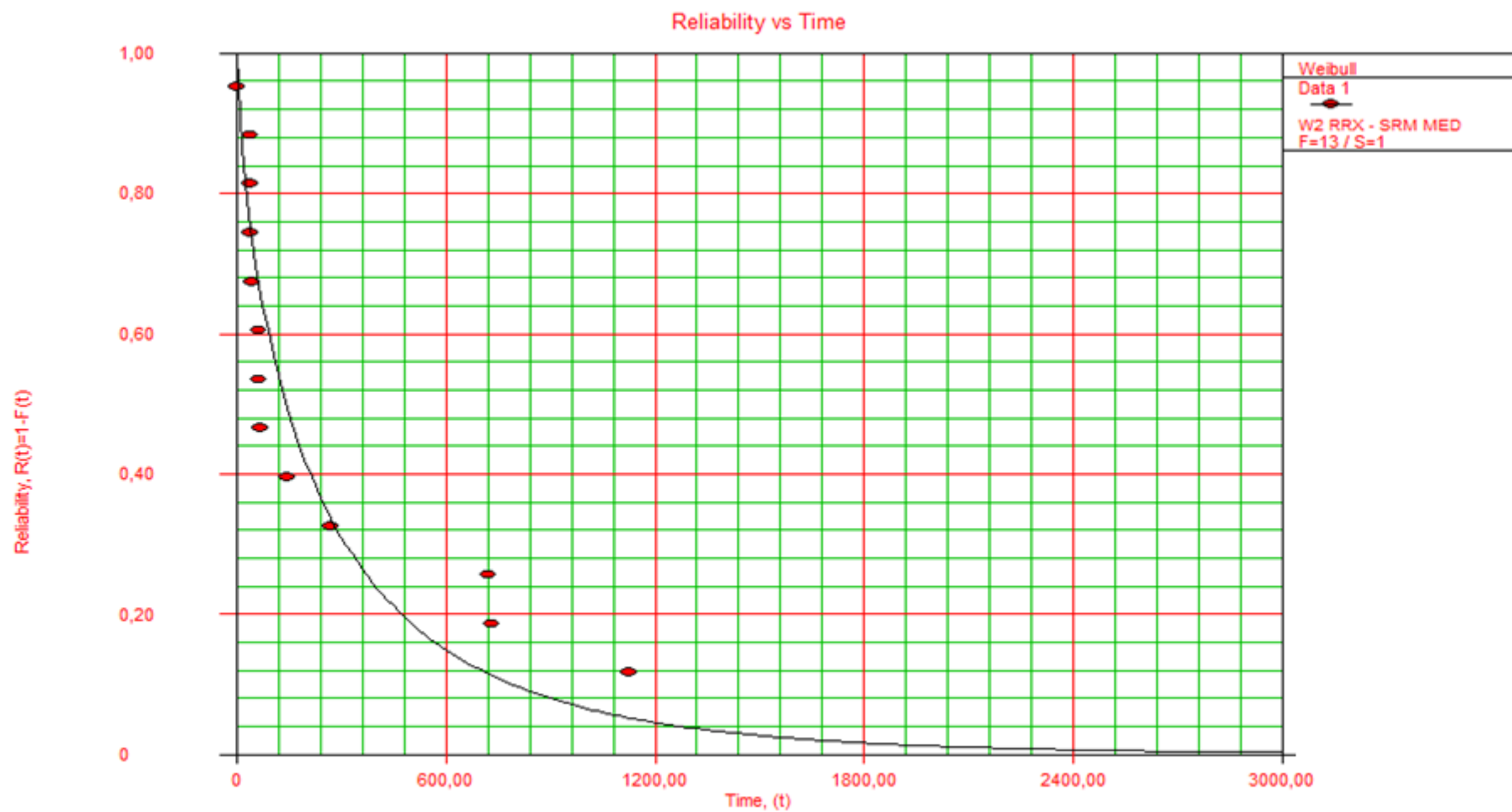


Figura 20 - Curva de Confiabilidade dos Eventos de Paradas não programadas do Sistema Hidráulico pertencente ao equipamento TE4415 da frota KomD375 dos tratores de esteira.

Fonte: Pesquisa Direta (2019)



$\beta=0,6995$, $\eta=239,1317$, $\rho=0,9358$

Figura 21 - Curva de Confiabilidade dos Eventos de Paradas não programadas do Sistema de Ar condicionado pertencente ao equipamento TE4415 da frota KomD375 dos tratores de esteira

Fonte: Pesquisa Direta (2019)

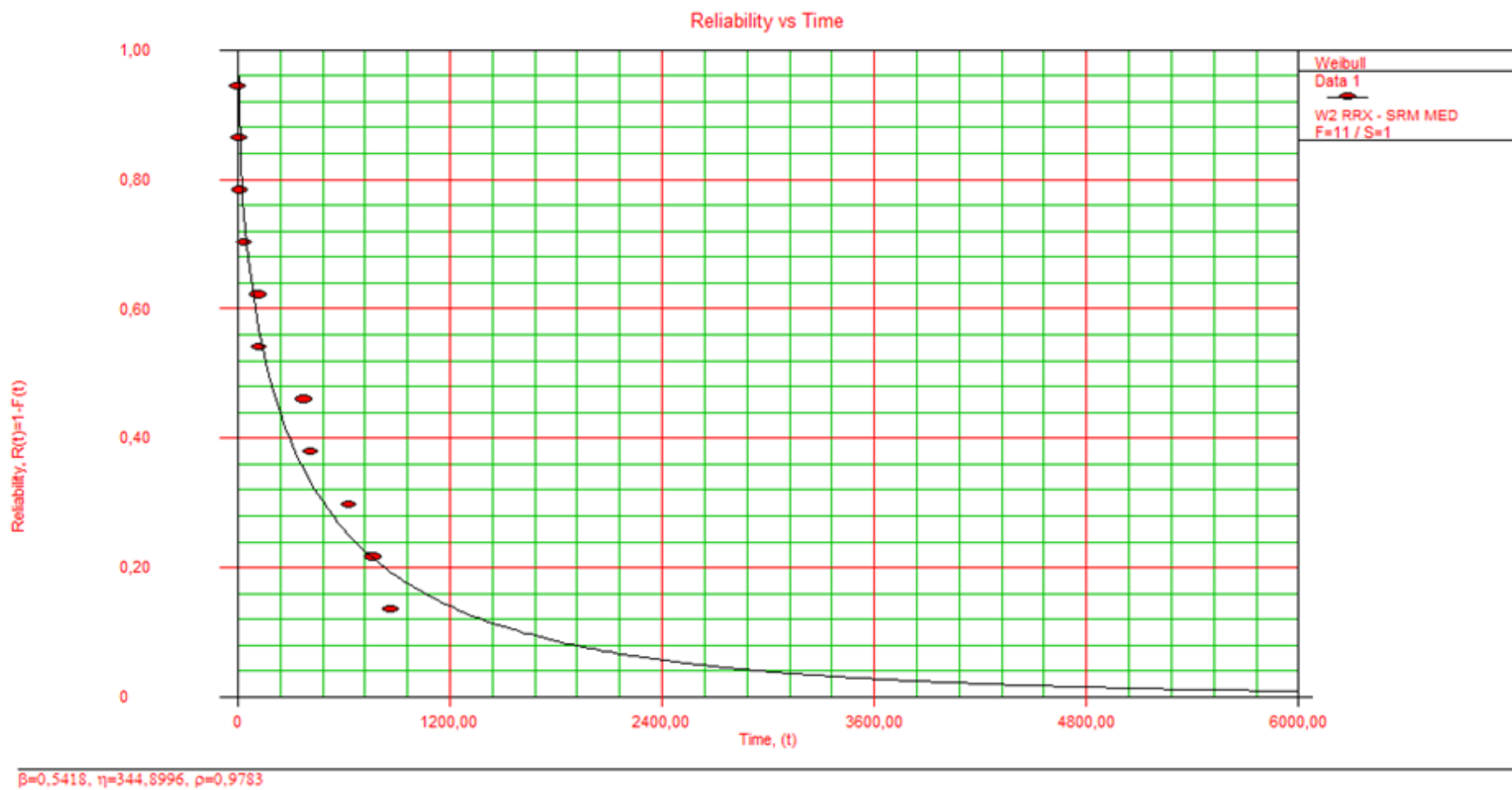
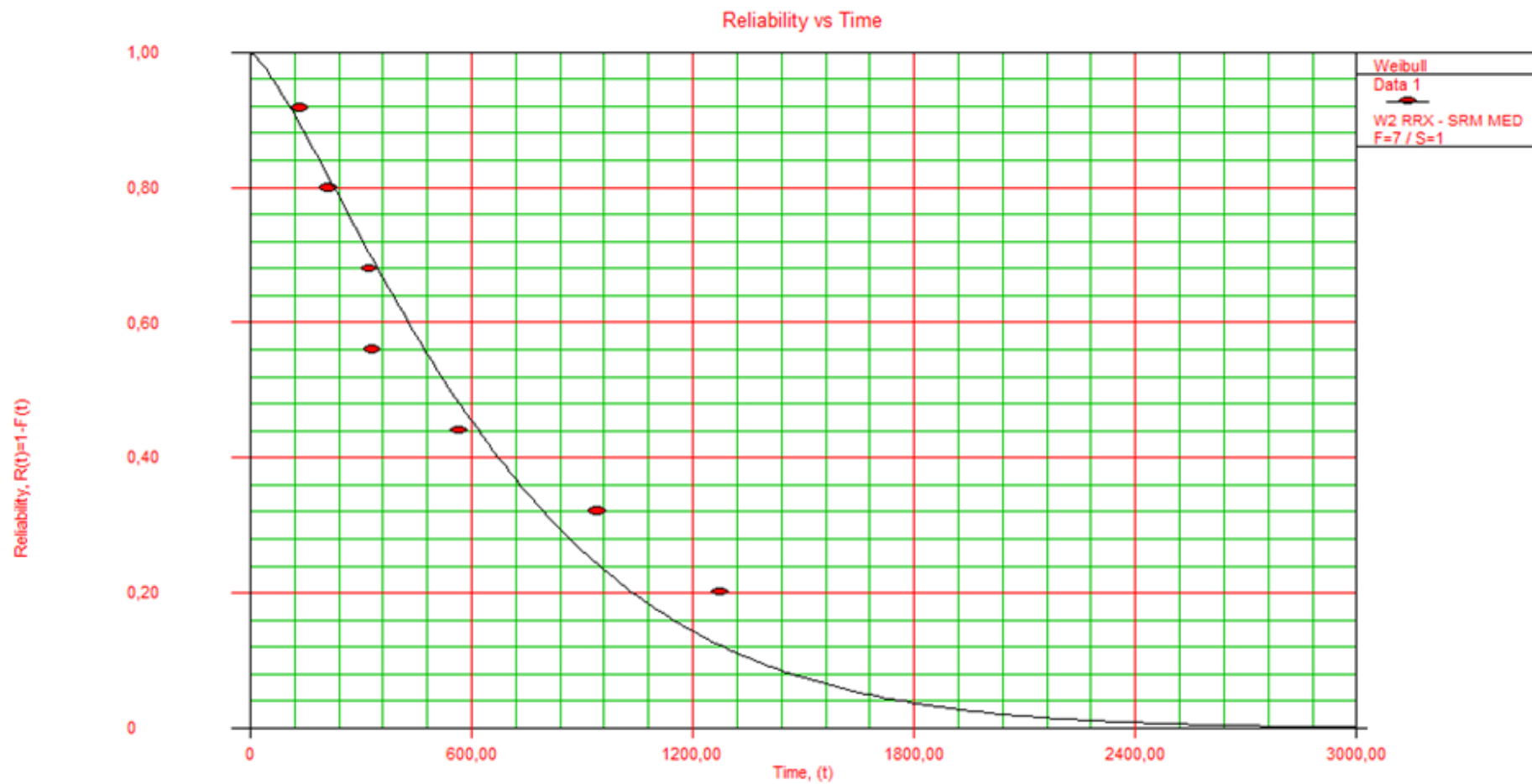


Figura 22 - Curva de Confiabilidade dos Eventos de Paradas não programadas do Sistema de Locomoção pertencente ao equipamento TE4415 da frota KomD375 dos tratores de esteira.

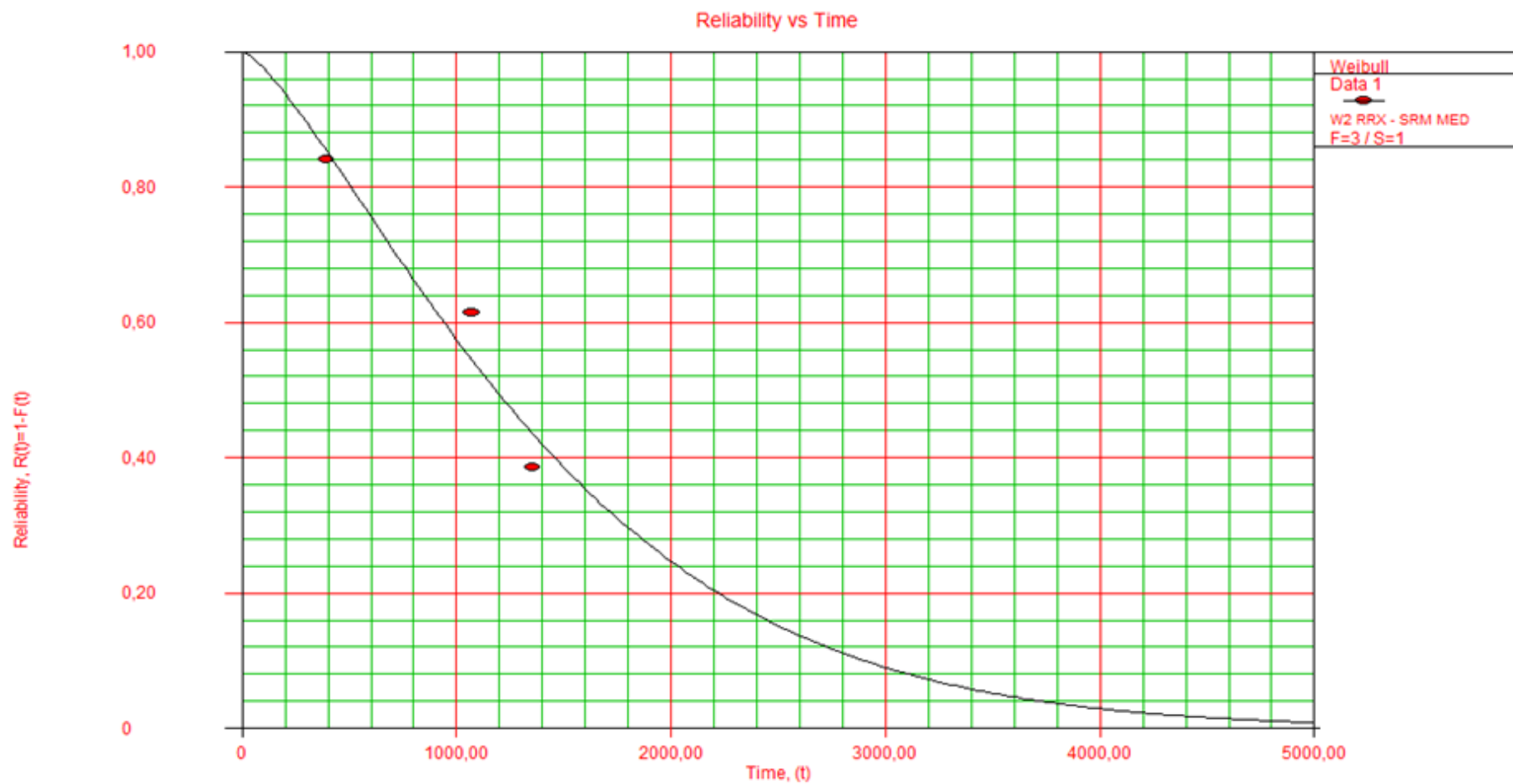
Fonte: Pesquisa Direta (2019)



$\beta=1,3001$, $\eta=719,9254$, $\rho=0,9659$

Figura 23 - Curva de Confiabilidade dos Eventos de Paradas não programadas do Sistema de Estrutura pertencente ao equipamento TE4415 da frota KomD375 dos tratores de esteira.

Fonte: Pesquisa Direta (2019)



$\beta=1,3387$, $\eta=1553,8901$, $\rho=0,9752$

Figura 24 - Curva de Confiabilidade dos Eventos de Paradas não programadas do sistema de Motor de Combustão pertencente ao equipamento TE4415 da frota KomD375 dos tratores de esteira

Fonte: Pesquisa Direta (2019)



Figura 25 - Curva de Confiabilidade dos Eventos de Paradas não programadas do Sistema de Transmissão de Força pertencente ao equipamento TE4415 da frota KomD375 dos tratores de esteira
Fonte: Pesquisa Direta (2019)

Através da análise dos gráficos das Figuras 20 a 25 Figura 20 é possível apurar que as curvas de confiabilidade dos sistemas hidráulico, ar condicionado, locomoção, estrutura, motor de combustão e transmissão de força dispõem do mesmo comportamento da curva de confiabilidade do sistema elétrico, ou seja, há um decréscimo da confiabilidade à medida que os intervalos de tempo de operação da máquina aumenta.

Os valores do parâmetro de forma são fornecidos como dados de saída juntamente com a curva de confiabilidade pela letra β . A Tabela 11 explicita os valores de β para cada sistema que falhou no trator TE4415.

Tabela 11 - Valores do parâmetro de forma por sistema

SISTEMAS	PARÂMETRO DE FORMA (β)
Hidráulico	0,7476
Ar condicionado	0,6995
Locomoção	0,5415
Estrutural	1,3001
Motor de Combustão	1,3387
Transmissão de Força	0,8457

Fonte: Pesquisa Direta (2019)

Verifica-se que os sistemas hidráulico, ar condicionado, locomoção e transmissão de força possuem o $\beta < 1$ assim como o sistema elétrico. Portanto, pode-se dizer que estes estão na fase de mortalidade infantil. Todavia, averiguou-se que o sistema estrutural e o sistema de motor de combustão se encontra com o parâmetro de forma $\beta > 1$, o que significa que as falhas estruturais e no motor de combustão desse trator estão na fase de vida útil ou envelhecimento da curva da banheira.

Na curva da banheira, na fase de envelhecimento há um aumento do tempo implica em um crescimento da taxa de falhas que ocorrem a partir da deterioração intrínseca do material, como avarias causadas por ciclos de fadiga ou corrosão. Já a fase de vida útil possui a menor taxa de falhas, que apresenta uma constância na medida que o tempo varia e as falhas nessa fase se sucedem, por exemplo, devido a altas temperaturas, umidade, impactos e sobrecarga de voltagem (FOGLIATTO e RIBEIRO, 2009 KARDEC e NASCIF, 2009).

Analogamente à Tabela 11 que foram arbitrados valores de saída da curva de confiabilidade sistema elétrico, elaborou-se tabelas com valores aleatórios de saída do gráfico de confiabilidade *versus* intervalo de tempo para cada sistema que sofreu avarias. As tabelas 12 a 17 mostram, em sequência, esses valores para os sistemas hidráulico, ar condicionado, locomoção, estrutura, motor de combustão e transmissão de força.

Tabela 12 - Valor da confiabilidade por intervalo de tempo arbitrado do Sistema Hidráulico

Intervalo de operação (h)	Confiabilidade	Confiabilidade (%)
32	0,8255	82,55
96	0,6467	64,67
192	0,4810	48,10
384	0,2926	29,26
576	0,1894	18,94
768	0,1270	12,70

Fonte: Pesquisa Direta (2019)

Tabela 13 - Valor de confiabilidade por intervalo de tempo arbitrado do Sistema Ar Condicionado

Intervalo de operação (h)	Confiabilidade	Confiabilidade (%)
32	0,7828	78,28
96	0,5897	58,97
192	0,4242	42,42
384	0,2484	24,84
576	0,1573	15,73
768	0,1042	10,42

Fonte: Pesquisa Direta (2019)

Tabela 14 - Valor de confiabilidade por intervalo de tempo arbitrado do Sistema de Locomoção

Intervalo de operação (h)	Confiabilidade	Confiabilidade (%)
32	0,7590	75,80
96	0,6065	60,65
192	0,4829	48,29
384	0,3465	34,65
576	0,2670	26,70
768	0,2137	21,37

Fonte: Pesquisa Direta (2019)

Tabela 15 - Valor de confiabilidade por intervalo de tempo arbitrado do Sistema Estrutural

Intervalo de operação (h)	Confiabilidade	Confiabilidade (%)
32	0,9827	98,27
96	0,9297	92,97
192	0,8358	83,58
384	0,6429	64,29
576	0,4732	47,32
768	0,3370	33,70

Fonte: Pesquisa Direta (2019)

Tabela 16 - Valor de confiabilidade por intervalo de tempo arbitrado do Sistema Motor de Combustão

Intervalo de operação (h)	Confiabilidade	Confiabilidade (%)
32	0,9985	99,45
96	0,9762	97,62
192	0,9410	94,10
384	0,8573	85,73
576	0,7673	76,73
768	0,6775	67,75

Fonte: Pesquisa Direta (2019)

Tabela 17 - Valor de confiabilidade por intervalo de tempo arbitrado do Sistema de Transmissão de Força

Intervalo de operação (h)	Confiabilidade	Confiabilidade (%)
32	0,9563	95,63
96	0,8931	89,31
192	0,8161	81,61
384	0,6940	69,40
576	0,5977	59,77
768	0,5187	51,87

Fonte: Pesquisa Direta (2019)

Repara-se através das tabelas 15, 16 e 17 que para o intervalo de tempo de 32 horas de operação do equipamento, os sistemas estrutural, motor de combustão e transmissão de força possuem probabilidade pequena de falhar. Para o sistema estrutural e o sistema de motor de combustão isso acontece, pois estão em fase de vida útil ou envelhecimento. Já no caso do sistema de transmissão, a pouca quantidade de eventos (4 eventos) colabora para que a confiabilidade seja maior. Além disso, vale ressaltar que o sistema de motor de combustão combina o fato de ter apenas 4 eventos de anomalias e possuir o parâmetro de forma maior do que um.

Em contrapartida, as tabelas de 12 a 14 indicam que para um tempo de operação de 768 horas os sistemas hidráulico, ar condicionado e locomoção possuem uma confiabilidade muito baixa, ou seja, uma alta probabilidade de falhar. Isto não acontece no caso dos sistemas motor de combustão e transmissão de força que apresentam uma chance maior de não falhar nesse intervalo de tempo, como pode ser visto nas tabelas 16 e 17.

Salienta-se ainda a partir da Tabela 15 que, embora o sistema estrutural tenha um parâmetro de forma maior do que um, para 768 horas este possui uma probabilidade maior de falhar, ou seja, isso implica que a curva de confiabilidade possui uma queda mais acentuada do que os sistemas motor de combustão e transmissão de força.

A última etapa desse estudo é a especificação ainda mais caracterizada do sistema elétrico, visto que este possui os menores valores de confiabilidade para todos os intervalos de tempo de operação da máquina arbitrados.

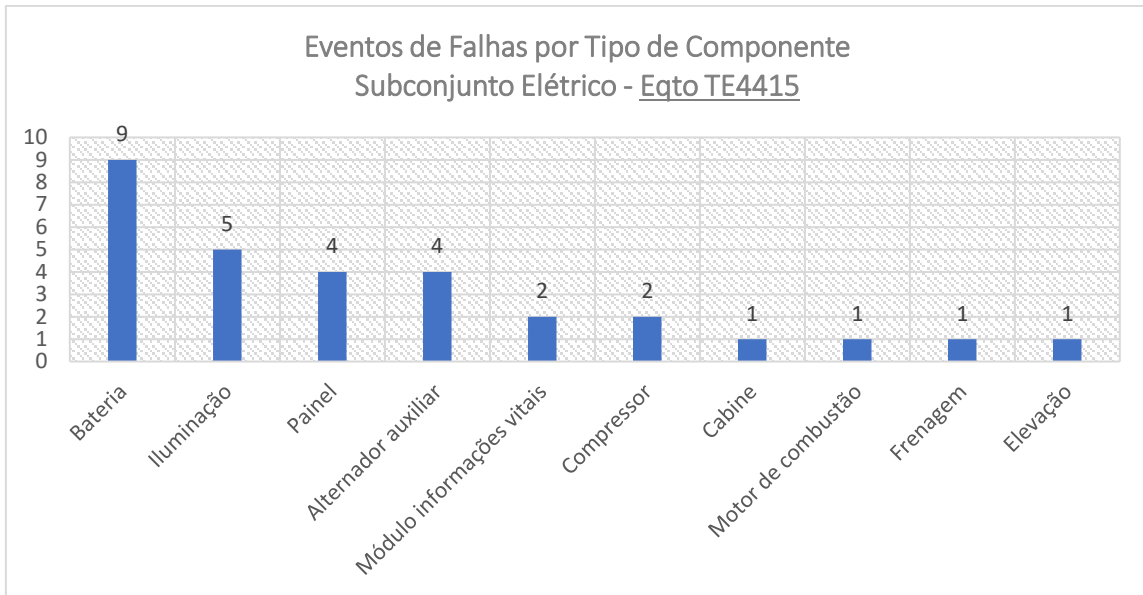


Figura 26 - Eventos de Falhas por Tipo de Componente do Sistema Elétrico do equipamento TE4415 da frota Kom D375

Fonte: Pesquisa Direta (2019)

A Figura 26 sinaliza que o componente que mais falhou foi a bateria com nove eventos, seguido de iluminação com cinco, painel e alternador auxiliar com quatro, módulo de informações vitais e compressor com dois e cabine, motor de combustão, frenagem e elevação com apenas uma manutenção não programada.

O banco de dados da corporação fornece dados fundamentais para o estado da MCC nos tratores de esteira, como já ilustrados na Figura 9. Com o propósito de simplificar, esses dados foram reestruturados na Tabela 18.

Tabela 18 - Dados detalhados das falhas do sistema elétrico do equipamento TE4415 da frota Kom D375

Componente	Falha	Causa	Efeito	NroEventos
Bateria	Bateria	Carga	Carregar	7
		Danificado	Trocar	2
Iluminação	Cabo/fiação	Danificado	Trocar	1
		Mau contato	Isolar	1
			Reparar	1
		Rompimento	Recuperar	1
	Fusível	Danificado	Trocar	1
Painel	Cabo/fiação	Mau contato	Normalizar	1
			Reparar	1
		Não identificado	Normalizar	1
	Fusível	Queima	Trocar	1
Alternador auxiliar	Correia	Danificado	Trocar	2
		Tensionamento	Tensionar	1
	Tensionador de correia	Fixação	Fixar	1
Módulo informações vitais	Conexões elétricas	Não identificado	Reparar	1
	Sensor	Não identificado	Ajustar	1
Compressor	Cabo/fiação	Mau contato	Reparar	2
Cabine	Palheta do limpador de pára-brisa	Danificado	Trocar	1
Motor de combustão	Motor de combustão	Não identificado	Monitorar	1
Frenagem	Potenciômetro	Mau contato	Reparar	1
Elevação	Cabo/fiação	Mau contato	Recuperar	1
Total Geral				30

Fonte: Pesquisa Direta (2019)

A Tabela 18 permite a visualização de cada evento do sistema elétrico com uma profunda especificação. Nota-se que a coluna falha se trata de qual parte do componente falhou. A coluna causa explica a razão pela qual aquela parte do componente falhou. Já a coluna efeito mostra o que deve ser feito para que o equipamento volte a funcionar. Por fim, a coluna número de eventos demonstra a quantidade de eventos para cada causa e efeito. Ainda averiguando as informações contidas na Tabela 18, o maior número de eventos paradas não programadas se deram a partir de descarga da bateria.

5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

5.1 Conclusão

Este presente estudo tem o objetivo de aplicar o método de Confiabilidade da Manutenção para tratores de esteira de uma empresa do setor de mineração. Paradas não programadas desses equipamentos comprometem negativamente o bom andamento do processo da empresa, uma vez que a paralisação da linha de produção acarreta dispêndios financeiros e descontentamento dos clientes além de poder causar também acidentes de trabalho.

A metodologia do trabalho teve caráter exploratório, uma vez que foi realizada uma revisão bibliográfica e estudo de caso. A revisão bibliográfica teve como intuito fornecer os conceitos necessários para a aplicação da Confiabilidade na Manutenção como Distribuições de Tempo até a Falha, Análise de Modo e Efeito de Falhas, Disponibilidade, Mantenabilidade e Taxa de Falhas. Já o estudo de caso foi feito a partir de dados de paradas não programadas fornecidos pela empresa através do *software* Microsoft Excel.

Depois disso, foi possível realizar a análise através dos dados estratificados e das curvas de confiabilidade e responder à pergunta: Como aplicar o método da confiabilidade na manutenção de tratores de esteira em uma empresa do setor de mineração?

Constatou-se que a frota Kom D375 possui a maior quantidade de eventos de paradas não programadas de tratores de esteira com 537 paradas representando um percentual de 54% dos eventos dentre todas as frotas. Além disso a frota Kom D375 possui 10 equipamentos, sendo este o maior número de equipamentos dentre as frotas representando 38,5% de equipamentos dentre todas as frotas de tratores de esteira.

Dentre os 10 equipamentos da frota Kom D375 verificou-se que o equipamento TE4415 possui o maior número de eventos com 88 paradas, representando um total de 8,8% dos eventos de todos os equipamentos de todas as frotas de tratores de esteira e 16,4% de falhas da frota Kom D375.

A partir da análise do equipamento TE4415 pôde-se perceber que o sistema que mais falhou foi o sistema elétrico com 30 eventos e 34%. Daí, foram construídas curvas de confiabilidade pelo *software* Weibull da Reliasoft para esse sistema que mais sofreu falhas e para os outros sistemas desse equipamento que também falharam: Hidráulico (16 eventos), Ar Condicionado (14 eventos), Locomoção (12 eventos), Estrutura (8 eventos), Transmissão de Força (4 eventos) e Motor de Combustão (4 eventos).

Curvas de confiabilidade para estes outros sistemas foram construídas com o intuito de verificar e comparar com o sistema elétrico. Foi verificado que embora os parâmetros de forma β dos sistemas foram diferentes, o comportamento da curva confiabilidade *versus* intervalo de tempo de operação é parecido para todos os sistemas, já que com o aumento do tempo de operação do equipamento a confiabilidade sofre um grande declínio.

A extensa gama de informações do banco de dados fornecidos pela empresa permitiu por fim analisar detalhadamente o componente que falhou no sistema, bem como qual foi a falha, causa e efeito de cada evento através da Tabela 18. Dessa forma, evidenciou-se que o componente que possui grande representatividade nas falhas do sistema elétrico do equipamento TE4415 da frota Kom D375 foi a bateria sendo o efeito de descarga representando 7 eventos do total de 30 do sistema elétrico.

Por fim, é possível afirmar que o método de Confiabilidade da Manutenção em tratores de esteira foi aplicado com sucesso, uma vez que as informações fornecidas pela empresa foram suficientes para a construção das curvas de confiabilidade e, através da estratificação dos dados, permitiu-se identificar o problema mais recorrente de um sistema específico.

5.2 Recomendações

Apesar da aplicação da Confiabilidade na Manutenção ter tido bons resultados em tratores de esteira de uma empresa de mineração, ainda existem aperfeiçoamentos no modelo a ser estudados.

1. Aplicação da Análise de Causa Raiz da Falha (RCFA) com o intuito de identificar e propor melhorias através do Diagrama dos porquês.
2. Implementação de contramedidas para solucionar as causas das falhas.
3. Estudo da Confiabilidade na Manutenção de Motoniveladoras em uma empresa do setor de mineração.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ALBUQUERQUE *et al.* **Aplicação do FMEA como suporte na manutenção preventiva da máquina pneu torque norbar.** Journal of lean systems, 2017, Vol.2, Nº 4, pp. 129-151.

ALYRIO, Rovigati Danilo. **Métodos e Técnicas de Pesquisa em Administração.** Volume único – Rio de Janeiro: Fundação CECIERJ, 2009. 281p.

ARAGÃO, José Wellington Marinho de; NETA, Maria Adelina Hayne Mendes: **Metologia Científica.** Salvador: UFBA, Faculdade de Educação, Superintendência de Educação a Distância, 2017, 51p: il.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT): **NBR 5462: Confiabilidade e Mantenabilidade.** Rio de Janeiro, 1994.

AURELIO, **O minidicionário da língua portuguesa.** 4ª edição revista e ampliada do minidicionário Aurélio. 7ª impressão – Rio de Janeiro, 2002.

BARAN, Leandro Roberto. **Manutenção Centrada em Confiabilidade aplicada na Redução de Falhas:** um estudo de caso. 2011. 102f. Dissertação (Especialização em Gestão Industrial: Produção e Manutenção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa.

FERNANDES, F. S **Testes de ajuste a distribuições estatísticas e métodos para estimação dos parâmetros em análises de fiabilidade.** 2013. 91f. Dissertação (mestrado) – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.

FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, José Luis Duarte: **Confiabilidade e Manutenção Industrial.** 1. ed. São Paulo: Campus-Elsevier, 2009.

FREITAS, P. O. F. **Manutenção preditiva por análise de vibração: estudo de caso de uma indústria metalúrgica.** 2013. 79f. Dissertação (Trabalho de conclusão de curso) – Universidade Federal do Pará.

FURLANI, C. E. A.; SILVA, R. P. **Tratores Agrícolas: Apostila Didática Nº 3.** 2006. Jaboticabal – SP.

GIL, ANTONIO CARLOS. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002. THIOLLENT, Michel. Metodologia da pesquisa - ação. 2. ed. São Paulo: Cortez, 1986

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa.** Universidade Aberta do Brasil – UAB/UFRGS e pelo curso de Graduação Tecnológica – Planejamento e Gestão para o Desenvolvimento Rural do SEAD/UFRF – Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

GOMES *et al.* **Manutenção Autônoma aplicada na melhoria dos processos industriais: um estudo de caso de uma empresa do pólo industrial de Manaus - PIM.** 7º Congresso Nacional de Excelência em Gestão. Manaus – AM.

JAWORSKI, Tadeo. **Equipamentos para escavação – compactação e transporte.** Novembro de 2018.

KARDEC, A.; NASCIF J. **Manutenção: função estratégica**. 3ª edição. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobrás, 2009. 384 p.

KOMATSU. **Catálogo do equipamento**. Disponível em: <http://www.komatsu.com.br/portal/?page_id=2303#.XeAACehKjIU> Acesso em: 27 de setembro de 2019.

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

LEÃO, N. S. M. S.; ANDRADE, J. J. O. **Aplicação da FMEA e análise de falhas em um equipamento de trafilagem para estabelecimento de estratégias de manutenção: estudo de caso**. Revista Espacios Vol.36 (Nº 08) Ano: 2015. Disponível em: <<http://www.revistaespacios.com/a15v36n08/15360801.html>> Acesso em: 4 de junho de 2019.

LIZ, R. S. **Material rodante dos tratores de esteiras**. 2013. 21f Dissertação (Trabalho de conclusão de curso) – Universidade do Planalto Catarinense.

MALHOTRA, N.; ROCHA, I.; LAUDISIO, M.C. **Introdução à pesquisa de Marketing**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

MATTAR, F.N. **Pesquisa de marketing: metodologia, planejamento, execução e análise**. 2.ed. São Paulo: Atlas, 1994.

MENDES, A. A. **Manutenção Centrada em Confiabilidade: uma abordagem quantitativa**. 85f Dissertação (Programa de Pós-Graduação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

MENDES *et al.* **Engenharia de Confiabilidade – um estudo de caso para avaliação do desempenho do sistema de descarga de minério “virador de vagões” durante o primeiro ano de operação**. 34º Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Curitiba – PR.

MOUBRAY, J. **Reliability-centered maintenance**. London: Butterworth Heinemann, 1992.

NOCITI, D. M. **Aproveitamento de rejeitos oriundos da extração de minério de ferro na fabricação de cerâmicas vermelhas**. 2011. 111f. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista.

NUNES, E. L. **Manutenção centrada em confiabilidade (MCC): análise de implantação em uma sistemática de manutenção preventiva consolidada**. 2001. 146f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina.

OLIVEIRA, V. L. **Aplicação da Metodologia Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) no setor de laminação de uma empresa siderúrgica**. 2007. 50f Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Ouro Preto.

PASSAMAI, B. D. **Nova metodologia de análise de falha em empresa de refrigerante – proposta e estudo de caso**. 2007. 91f. Dissertação (trabalho de conclusão de curso) – Universidade Federal do Espírito Santo.

RAMOS, P. L. **Aspecto computacionais para inferência na distribuição gama generalizada.** 2014. 164f. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista.

RAPOSO, J. L. O. **Manutenção centrada em confiabilidade aplicada a sistemas elétricos: uma proposta para uso de análise de risco no diagrama de decisão.** 2004. 149f. Dissertação (mestrado) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador.

RICHARDSON, R. J. **Pesquisa Social: métodos e técnicas.** São Paulo: Atlas, 1999.

ROSA, L. S. S. **Análise dos modos e efeitos de falha do compensador estativo da se bom Jesus da lapa II baseado em indicadores FMEA.** 2017. 91f. Dissertação (trabalho de conclusão de curso) – Universidade Federal do Rio de Janeiro.

SABER ATUAL. **Exploração Mineral e seus recursos.** Disponível em: <<http://saberatual.net/?post=579>> Acesso em: 25 de outubro de 2019.

SAMPIEIRI, R.H.; COLLADO, C.F.; LUCIO, M.D.P.B. **Metodologia de pesquisa.** 5 ed. São Paulo: Mc-Graw-Hill, 2010.

SCHIMITT, J. C. **Método de análise de falha utilizando a integração das ferramentas DMAIRC, RCA, FTA e FMEA.** 2013. 110f. Dissertação (mestrado) – Universidade Metodista de Piracicaba - UNIMEP Santo.

SEIXAS, Eduardo de Santan. **Manutenção Centrada na Confiabilidade Estabelecendo a Política de Manutenção com Base nos Mecanismos de Falha dos Equipamentos.** Artigo, Reliasoft. São Paulo, S/d, 2010.

TAKAHASHI Y.; OSADA T.; **TPM/MPT Manutenção Produtiva Total.** São Paulo: Instituto IMAN, 1993.

TONDATO, R. **Manutenção Produtiva Total: Estudo de caso na indústria gráfica.** 2004. 119f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

VIANA, H. R. G. **PCM: Planejamento e Controle da Manutenção.** Rio de Janeiro: Quality mark, 2002.

VIEIRA, S. J. R. **A adoção do conceito de manutenibilidade como estratégia para inovação da gestão da manutenção civil da FIOCRUZ.** 2007. 147f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação) – Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca.

WUTTKE. R. A.; **Cálculo da disponibilidade e da posição na curva da banheira de uma válvula de processo petroquímico.** Revista produção on line. ISSN 1676 – 1901/ Vol VII/ Num. IV/ 2008.

XENOS, H. G. **Gerenciando a Manutenção Preventiva: o caminho para eliminar falhas nos equipamentos e aumentar a produtividade.** Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1998.

ZAGHETTO *et al.* **Modelagem de risco de falha de equipamentos elétricos de subestações.** 2007. 19º Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. Rio de Janeiro – RJ.

ZAGÔTO *et al.* **Gestão de custos do trator de esteiras na mineração.** 26º Encontro Nacional de Tratamentos de Minérios e Metalurgia Extrativa. Poços de Caldas – MG.

Certifico que o aluno **Luann Reis e Silva**, autor do trabalho de conclusão de curso intitulado “**Estudo da confiabilidade da manutenção aplicada a tratores de esteira: o caso de uma empresa de mineração**”, efetuou as correções sugeridas pela banca examinadora e que estou de acordo com a versão final do trabalho.

Washington Luís Vieira da Silva

DSc. Washington Luís Vieira da Silva

Orientador

Ouro Preto, 19 de dezembro de 2019