

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE**

MARCELO XAVIER DE ANDRADE

**APLICAÇÃO ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE NA ANÁLISE DO
DESGASTE DE ESCOVAS ELÉTRICAS UTILIZADO NO SISTEMA DE
TRANSPORTE DE PORTAS DO SETOR AUTOMOTIVO**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

**CURITIBA
2017**

MARCELO XAVIER DE ANDRADE

**APLICAÇÃO ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE NA ANÁLISE DO DESGASTE
DE ESCOVAS ELÉTRICAS UTILIZADO NO SISTEMA DE TRANSPORTE DE
PORTAS DO SETOR AUTOMOTIVO**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Engenharia da Confiabilidade, do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Rodrigues

**CURITIBA
2017**



TERMO DE APROVAÇÃO

APLICAÇÃO ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE NA ANÁLISE DO DESGASTE DE ESCOVAS ELÉTRICAS UTILIZADO NO SISTEMA DE TRANSPORTE DE PORTAS DO SETOR AUTOMOTIVO

por

MARCELO XAVIER DE ANDRADE

Esta monografia foi apresentada em 18 de Outubro de 2017, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Engenharia da Confiabilidade, outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O aluno foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Marcelo Rodrigues Dr.
Professor Orientador - UTFPR

Prof. Carlos Henrique Mariano Dr.
Membro Titular da Banca - UTFPR

Prof. Emerson Rigoni, Dr. Eng.
Membro Titular da Banca - UTFPR

Dedico este trabalho à minha família, minha esposa e filhos, que com sabedoria souberam entender as ausências durante este tempo, incentivando-me nos momentos de dificuldade.

AGRADECIMENTOS

A gratidão é uma virtude que deve ser cultivada todo dia, desta forma quero ser grato a todos que colaboraram para que mais esta fase em minha vida fosse concluída.

Agradeço minha esposa Elaine e meus filhos Maria Clara e João Gregório. O meu reconhecimento à eles, pois acredito que sem o apoio deles seria muito difícil vencer esse desafio.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Marcelo Rodrigues, pela sabedoria com que me guiou nesta trajetória, ajuda, dedicação e disponibilidade

Aos meus colegas de sala pelas experiências e conhecimentos compartilhados.

Aos professores da UTFPR e ReliaSoft, pela paciência, dedicação em compartilhar seus conhecimentos e experiências que agregaram imensamente meu conhecimento.

Ao Prof. Dr. Emerson Rigoni, coordenador do curso, que sempre esteve disponível não somente a ensinar mas esclarecer e resolver qualquer problema.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

O conhecimento serve para encantar as pessoas,
não para humilhá-las. (CORTELLA, Mario Sergio)

RESUMO

ANDRADE, Marcelo Xavier. **Aplicação Engenharia da Confiabilidade na Análise do Desgaste de Escovas Elétricas Utilizado no Sistema de Transporte de Portas do Setor Automotivo**. 2017. 73 f Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

A importância dos métodos utilizados na engenharia da confiabilidade para a melhoria de processos e produtos é uma realidade comprovada por vários setores atualmente, sendo um diferencial nas indústrias que a implementam em relação as demais. Este trabalho propõe a aplicação da análise de dados de vida para verificar o tempo estimado de degradação de escovas elétricas utilizadas em transportadores (balanceles de portas) na indústria automotiva, atualmente a substituição é realizada decorrente de inspeções periódicas e este procedimento implica na parada do equipamento. Para gerar os dados necessários à análise foram medidos e coletados semanalmente os valores de desgaste de trinta escovas em um período de seis semanas e os resultados obtidos demonstram a eficiência do método utilizado, as escovas possuem uma durabilidade de no mínimo o dobro do tempo em que é estimado atualmente.

Palavras-chave: Engenharia da Confiabilidade. Análise de Dados de Vida. Análise de Degradação. Desgaste.

ABSTRACT

ANDRADE, Marcelo Xavier. **Application Reliability Engineering in the Analysis of the Wear of Electric Brushes Used in the System of Transport of Doors of the Automotive Sector**. 2017. 73 f. Monograph (Specialization in Reliability Engineering) - Federal Technological University of Paraná. Curitiba, 2017.

The importance of the methods used in the engineering of the reliability for the improvement of processes and products is a reality proven by several industries today, being a differential in the industries that implement it in relation to the others. This work proposes the application of life data analysis to verify the estimated time of degradation of electric brushes used in conveyors in the automotive industry, currently the replacement is carried out through periodic inspections and this procedure implies in the equipment stoppage. In order to generate the data necessary for the analysis, the wear values of thirty brushes were measured and collected weekly in a period of six weeks and the results obtained demonstrate the efficiency of the method used, the brushes presented a durability of at least twice the time in which is currently estimated.

Keywords: Reliability Engineering. Analysis of Life Data. Degradation Analysis. Wear.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 – Balacele de portas.....	15
Figura 1.2 – Conjunto de escovas.....	16
Figura 1.3 – Escova Elétrica.....	16
Figura 1.4 – Limite de Desgaste e Troca Conforme Preventiva Atual.....	18
Figura 1.5 – Desgaste Irregular da Escova	18
Figura 1.6 – Esquema de Medições para Escovas dos Balaceles	22
Figura 2.1 – Sinótico da Linha de Montagem	25
Figura 2.2 – Disposição do Barramento Elétrico e seu Perfil	26
Figura 2.3 – (a) Pantógrafo 380V, 24V;(b) Pantógrafo terra;(c) Diferença Diâmetro Pino Guia	27
Figura 2.4 – Escova Utilizada e suas Dimensões	28
Figura 2.5 – Gabarito Medição das Escovas.....	29
Figura 2.6 – Montagem do Gabarito e Medição	29
Figura 4.1 – Ponto Padrão para Medição.....	44
Figura 4.2 – Dados Compilados na Análise de Degradação Weibull ++	49
Figura 4.3 – Gráfico Degradação (2mm) x Tempo	50
Figura 4.4 – Estudo de Degradação para Escova E1	51
Figura 4.5 – Gráfico de Degradação (2mm) x Tempo Escova E1	51
Figura 4.6 – Gráfico Medidas de Confiabilidade.....	53
Figura 4.7 – Apresentação Circuito Aéreo de Portas	54
Figura 4.8 – Plano de Manutenção Preventiva para Balaceles	55
Figura 4.9 – Cálculo Vida BX%	56
Figura 4.10 – Valor da Confiabilidade	56
Figura 4.11 – Análise de Degradação (5mm) x Tempo	57
Figura 4.12 – Gráficos das Medidas de Confiabilidade (5mm degradação)	59
Figura 4.13 – Valores Vida BX% e Confiabilidade (5mm degradação)	60
Figura 4.14 – Tempo Médio até Falha Escova E1 (2mm degradação)	60
Figura 4.15 – Tempo Médio até Falha Escova E1 (5mm degradação)	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados Coletados Balancele 59	44
Tabela 2 – Desgaste Semanal das Escovas Balancele 59	44
Tabela 3 – Valores de Desgaste em Intervalo e Dados Agrupados Bal.59	45
Tabela 4 – Dados Coletados Balancele 11	45
Tabela 5 – Desgaste Semanal das Escovas Balancele 11	45
Tabela 6 – Valores de Desgaste em Intervalo e Dados Agrupados Bal.11	45
Tabela 7 – Dados Coletados Balancele 43	46
Tabela 8 – Desgaste Semanal das Escovas Balancele 43	46
Tabela 9 – Valores de Desgaste em Intervalo e Dados Agrupados Bal.43	46
Tabela 10 – Dados Coletados Balancele 27	46
Tabela 11 – Desgaste Semanal das Escovas Balancele 27	47
Tabela 12 – Valores de Desgaste em Intervalo e Dados Agrupados Bal.27	47
Tabela 13 – Dados Coletados Balancele 45	47
Tabela 14 – Desgaste Semanal das Escovas Balancele 45	47
Tabela 15 – Valores de Desgaste em Intervalo e Dados Agrupados Bal.45	47
Tabela 16 – Dados Acumulados Semanalmente das Escovas	48
Tabela 17 – Tempos até Falha para as Escovas	50
Tabela 18 – Tempos até Falha, Beta, Eta e Gama para Escova E1 (2mm degradação)	52
Tabela 19 – Tempos até Falha, Beta, Eta e Gama para Escova E1 (5mm degradação)	58
Tabela 20 – Consumo e Custo de Escova Ano 2017	61
Tabela 21 - Consumo e Custos para Situação Atual.....	62
Tabela 22 - Consumo e Custos para Estudo Proposto com Degradação 2mm	62
Tabela 23 - Consumo e Custos para Estudo Proposto com Degradação 5mm	63

LISTA DE SIGLAS

CAC	Circuito Aéreo de Portas
LDA	Análise Dados de Vida
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
f.d.p	Função Densidade de Probabilidade
ABRISCO	Associação Brasileira de Análise de Risco, Segurança de Processos e Confiabilidade
MTTF	Tempo Médio até Falha

LISTA DE SÍMBOLOS

β	Parâmetro de Forma
η	Parâmetro de Vida Característica
γ	Parâmetro de Vida Mínima
R	Fase de um sistema elétrico trifásico
S	Fase de um sistema elétrico trifásico
T	Fase de um sistema elétrico trifásico
V	Volts
p	Item bom
q	Item defeituoso
R(t)	Função Confiabilidade
f(t)	Função Densidade de Probabilidade
h(t)	Função Taxa de Falha

SUMÁRIO

1 INTORDUÇÃO	14
1.1 ASPECTOS ESPECÍFICOS	14
1.2 PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA	17
1.3 OBJETIVOS	19
1.3.1 Objetivo Geral	19
1.3.2 Objetivos Específicos	19
1.4 JUSTIFICATIVA	20
1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	21
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO	22
2 ÁREA DE APLICAÇÃO	24
2.1 PROCESSO PRODUTIVO	24
2.2 SISTEMA DE TRANSPORTE	26
2.2.1 Barramento Elétrico	26
2.2.2 Escova Elétrica	27
2.3 MEDIÇÕES DAS ESCOVAS	28
2.4 SÍNTESES E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	30
3 REFERENCIAL TEÓRICO	31
3.1 ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE	31
3.2 ANÁLISE DE DADOS DE VIDA	32
3.3 CLASSIFICAÇÕES DOS DADOS DE VIDA	32
3.4 DISTRIBUIÇÕES APLICADAS À CONFIABILIDADE	33
3.5 DISTRIBUIÇÕES DISCRETAS	33
3.5.1 Distribuição Binomial	34
3.5.2 Distribuição de Poisson	34
3.6 DISTRIBUIÇÕES CONTÍNUAS	35
3.6.1 Distribuição Normal	35
3.6.2 Distribuição LogNormal	36
3.6.3 Distribuição Exponencial	37
3.6.4 Distribuição de Weibull	37
3.7 EFEITOS DOS PARÂMETROS NA DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL	39
3.7.1 Parâmetro de Forma ou Inclinação β	39
3.7.2 Parâmetro de Escala ou Vida Característica η	40
3.7.3 Parâmetro de Localização ou Vida Mínima γ	40
3.8 CONCEITUALIZAÇÃO DAS MEDIDAS DE CONFIABILIDADE	41
3.8.1 Função de Confiabilidade, $R(t)$	41
3.8.2 Função de Risco, $h(t)$	41
3.8.3 Tempo Médio até Falha-(MTTF)	41
3.9 SÍNTESES E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	42
4 DESENVOLVIMENTO	43
4.1 COLETA DE DADOS	43
4.2 ANÁLISE DOS DADOS	48
4.2.1 Dados Atuais x Dados Reais	54
4.2.2 Análise da Escova E1 com Desgaste 5mm	57
4.3 CONSUMO E CUSTOS DE ESCOVAS	61

4.4 SÍNTESES DOS RESULTADOS.....	64
4.5 DIFICULDADES ENCONTRADAS.....	64
4.6 SOLUÇÕES PARA AS DIFICULDADES ENCONTRADAS	65
4.7 SÍNTESES E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	66
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	68
5.1 BENEFÍCIOS PARA EMPRESA	68
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	69
REFERÊNCIAS.....	70

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos dois anos a indústria automotiva apresentou uma queda significativa em sua produção de veículos, apesar de no mês de maio deste ano de 2017 ter registrado um aumento de produção de 33,6% em comparação ao mesmo mês em 2016, as fábricas ainda apresentam uma ociosidade de 50% nas linhas de veículos e aproximadamente 80% na linha de caminhões.¹

Diante desta situação, cada vez mais as indústrias se esforçam em diminuir custos, melhorar processos, diminuir desperdícios, visando uma maior disponibilidade dos ativos da empresa, desta maneira a Engenharia da Confiabilidade tem um papel fundamental dentro das organizações, assumem uma função estratégica com objetivo de torna-las mais competitivas.

1.1 ASPECTOS ESPECÍFICOS

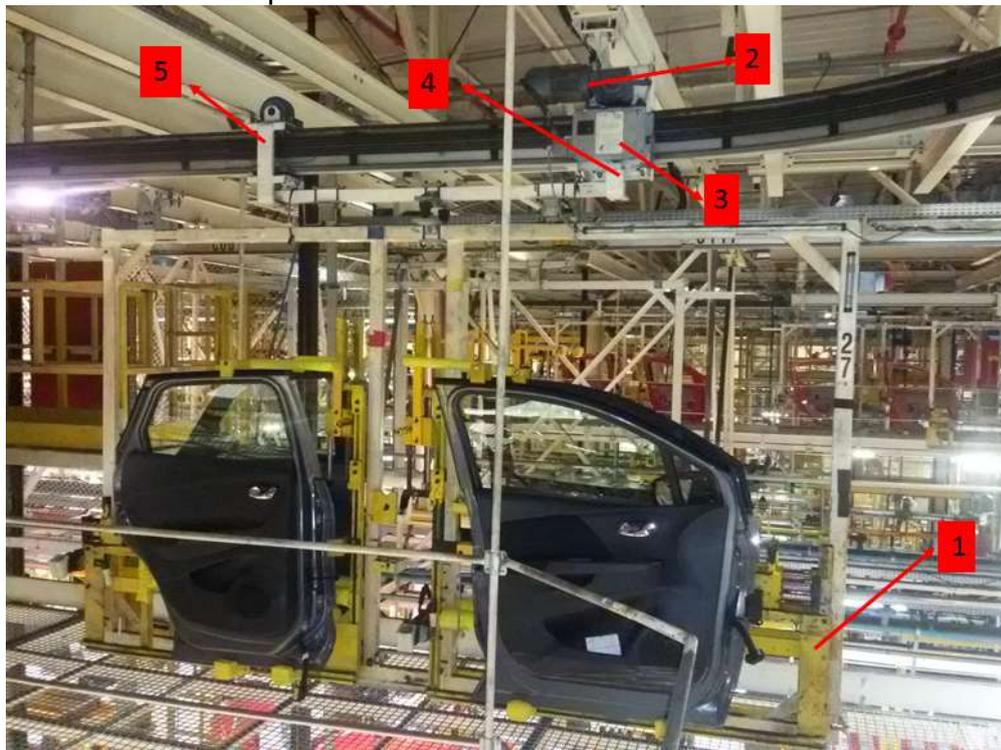
Na empresa em estudo, existem equipamentos denominados balanceles, figura 1.1, equipamentos estes que são responsáveis por transportar as portas dos veículos, ou seja, as portas são retiradas dos veículos no início da linha de montagem, e seguem um circuito diferente ao dos veículos, este circuito é comumente chamado de Circuito Aéreo de Portas (CAP), neste circuito são realizadas as montagens das portas e posteriormente remontadas aos veículos em uma linha final.

Os balanceles são compostos por vários componentes, que são:

- Quadro principal (1);
- Motor elétrico (2);
- Caixa LJU (3);
- Escovas elétricas (3);
- Carro dianteiro (4);
- Carro traseiro (5).

¹OLMOS, Marli. **Anfavea: Produção de Veículos Sobe 33,8% em maio e Venda Avança 16,4%**. Revista Valor Econômico. [on-line]. Edição 1: São Paulo: Globo, 2017, junho 2017. Disponível em: <<http://www.valor.com.br/empresas/4994550/anfavea-producao-de-veiculos-sobe-338-em-maio-e-venda-avanca-164>>. Acesso em: 12 de jun. 2017.

Figura 1.1 – Balacele de portas



Fonte: O Autor (2017)

Dentre todo o sistema que compõem o balacele, a escova elétrica é o objeto de estudo e análise deste trabalho.

O conjunto onde as escovas, figura 1.2, são montadas pode ser dividido em partes, que são:

- Escovas elétrica;
- Pantógrafo;
- Base do pantógrafo.

Figura 1.2 — Conjunto de escovas



Fonte: O Autor (2017)

Atualmente no CAP existem 125 balanceles ativos, ou seja, balanceles que estão em funcionamento dentro do processo de produção, sendo que em cada balancele são necessárias seis escovas para que sua função de transportar as portas ao longo do processo produtivo seja realizada.

Figura 1.3 – Escova elétrica



Fonte: O Autor (2017)

A escova elétrica, figura 1.3, desempenha um papel fundamental dentro do sistema de transporte das portas, esta é responsável por transmitir a potência necessária para que o motor elétrico desempenhe sua função, deslocar balancele, fazer o aterramento de todo o conjunto do balancele, transmitir o comando de velocidade alta e baixa do balancele e também a de identificar os erros.

1.2 PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA

Apesar da implementação estruturada e consolidada do programa de manutenção preventiva para os balanceles, há constantemente a necessidade de revisões periódicas para verificar se os itens descritos ainda suprem as necessidades e objetivos propostos pela manutenção preventiva estabelecida.

A norma NBR 5462 da ABNT (1994), define manutenção preventiva como:

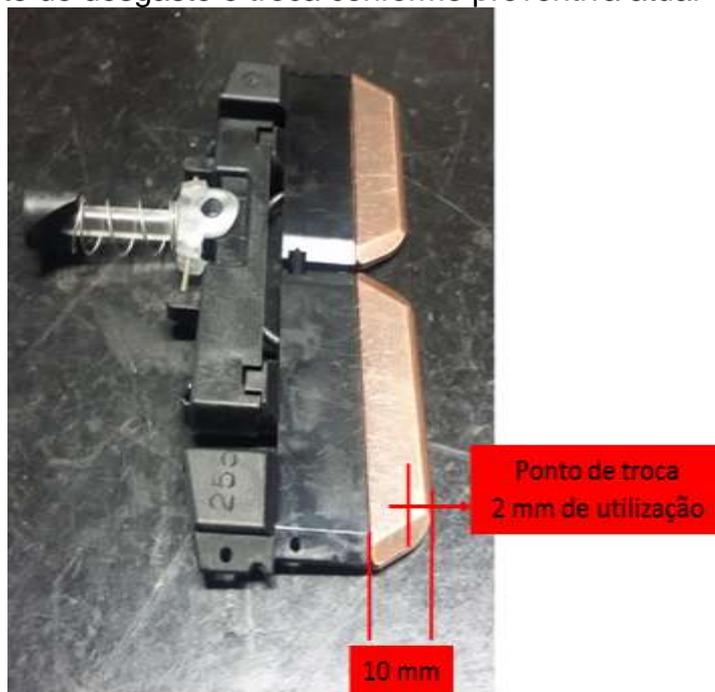
Manutenção efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item.

Confrontando a definição da norma citada e o que ocorre na prática, percebe-se claramente que a finalidade é alcançada de forma objetiva, as

trocas das escovas obedecem critérios de substituição e a probabilidade de falhas por desgaste das escovas elétricas são pequenas, contudo, o custo para manter esta segurança é alta, ou seja, é utilizado uma política extremamente conservadora para a substituição das escovas elétricas.

As escovas possuem material útil de 10 mm, conforme mostrado na figura 1.4. Segundo o fabricante, a escova pode chegar a 3 mm, ou seja, desgaste de 7 mm, porém as trocas estão ocorrendo com um desgaste de 2 mm, tendo uma perda de 5 mm de material útil o qual poderia ser utilizado.

Figura 1.4 – Limite de desgaste e troca conforme preventiva atual



Fonte: O Autor (2017)

Existe outro aspecto que deve ser considerado com relação as escovas, seu desgaste acontece em quase sua totalidade de forma irregular, ou seja, o desgaste não é linear ao longo da escova conforme mostrado na figura 1.5, sendo assim, a substituição é realizada devido um dos lados das escovas chegar ao limite estipulado (2 mm), enquanto o outro lado ainda permanece com a medida quase que original da escova.

Figura 1.5 – Desgaste irregular da escova



Fonte: O Autor (2017)

Observando a figura 1.5 percebe-se claramente o desgaste irregular das escovas, e a substituição ocorre prematuramente e com material útil a ser utilizado.

Diante destes fatos abordados, algumas questões surgem:

- É possível utilizar as escovas além do limite que é utilizado atualmente?
- Qual o ponto ideal (medida) para a substituição das escovas para a realidade da empresa?
- Em todas as escovas o desgaste ocorre de forma irregular?
- A correção do desgaste irregular das escovas trará aumento em sua durabilidade?
- A substituição ocorre de forma prematura?
- Qual é o melhor método para se analisar o desgaste das escovas?

A resposta a estas questões irá proporcionar um melhor entendimento de como ocorre o desgaste das escovas, sendo possível elaborar uma melhor estratégia na utilização das escovas, minimizando custos com a substituição das mesmas.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Calcular o tempo ótimo para a substituição das escovas elétricas do sistema que compõem o balancele, visando um melhor aproveitamento das escovas dentro do processo produtivo.

1.3.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral proposto por este trabalho, faz-se necessário cumprir os objetivos específicos estabelecidos abaixo:

- Medir o desgaste de cada escova em intervalos semanais, por um período de seis semanas (seis escovas);

- Coletar as medidas de desgaste obtidos semanalmente;
- Determinar os dados de vida das escovas através da LDA;
- Analisar estatisticamente a durabilidade das escovas;
- Definir tempo ótimo para substituição das escovas;
- Propor uma revisão nos planos de preventiva atual, baseado nas análises dos tempos de duração efetivo dos parâmetros determinado pelo fabricante;
- Avaliar os impactos de custos

1.4 JUSTIFICATIVA

A busca incessante pela diminuição dos custos nas indústrias, seja diminuindo o desperdício, utilização de materiais similares, desenvolvimento de novos fornecedores, qualquer que seja o ganho é de suma importância para a sobrevivência das indústrias. Esta realidade se apresenta muito forte nas indústrias automobilísticas, que atualmente atravessam uma situação econômica desfavorável. Com este panorama de fundo, trabalhos como este se tornam extremamente relevantes.

Por meio deste estudo, estimasse que ocorra uma redução dos custos de forma significativa e concreta, pois são utilizadas cerca de 850 escovas², e na atualidade são substituídas 48 escovas semanais, 192 escovas/mês, maximizando o seu uso o ganho será considerável e importante para a redução custo R\$/carro fabricado, porém a maximização na utilização das escovas será realizada de forma criteriosa para que não ocorra perdas de produção por escovas com desgaste excessivo.

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

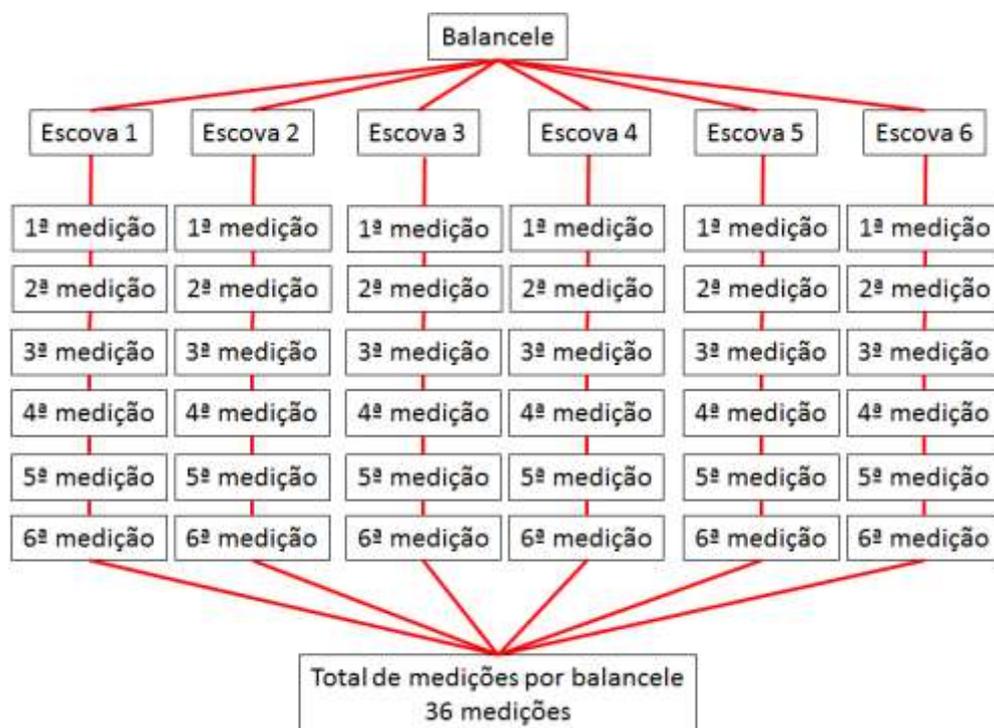
O presente trabalho usará uma metodologia de pesquisa quantitativa, onde terá como foco principal a determinação dos desgastes do material útil das escovas, com uma revisão bibliográfica baseada na Engenharia da Confiabilidade será realizado uma pesquisa de campo.

² Valor aproximado e sem considerar os balanceles que estão fora do processo produtivo

A pesquisa de campo acontecerá de forma simples e objetiva, será selecionado cinco balanceles (amostras) de forma aleatória, ou seja, não será usado nenhum critério de separação, a decisão por escolher a aleatoriedade é por considerar que todos os balanceles estão em plenas condições de uso.

Nestes cinco balanceles serão colocados escovas novas, trinta escovas, seis escovas por balancele e assim obtendo a primeira medição (referência), após esta primeira coleta, os balanceles serão colocados no CAP novamente e permanecerão no fluxo produtivo por uma semana, depois deste período serão desviados, ou seja, sairão do fluxo produtivo para a segunda medição, diminuindo o valor da primeira medição desta segunda medição será obtido o valor de desgaste para primeira semana de trabalho, isto acontecerá por seis semanas, totalizando 180 medições, seis valores para cada escova, conforme figura 1.6.

Figura 1.6 – Esquema de medições para escovas dos balanceles



Fonte: O Autor (2017)

Com os valores de desgaste coletados, será analisado a durabilidade das escovas utilizando a LDA, onde estatisticamente e de forma aproximada será conhecido a duração das escovas e a partir destas informações uma nova estratégia para a substituição das escovas será definida.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho será apresentado em cinco capítulos, neste primeiro capítulo foi apresentado uma breve explanação a respeito do problema proposto, o local e o objeto onde se aplicará o estudo, como será tratado e desenvolvido para que os objetivos propostos sejam alcançados ao longo deste trabalho.

No segundo capítulo será abordado a área de aplicação desta pesquisa de campo, visando uma descrição mais ampla do problema proposto e suas particularidades, a necessidade da realização deste estudo para a redução de custos na referente empresa e a descrição mais detalhada do local de aplicação.

Para o terceiro capítulo será feito a apresentação do referencial teórico relacionado a Engenharia da Confiabilidade, de modo mais específico

a Análise de Dados de Vida – Métricas da Confiabilidade as quais nortearão a aplicação real dos dados coletados e a interpretação destes dados.

No quarto capítulo o desenvolvimento da pesquisa proposta será apresentada, abordando a aplicação do referencial teórico que orienta esta pesquisa, o detalhamento da pesquisa realizada com os resultados alcançados e a implementação da pesquisa no local de estudo.

O quinto capítulo apresentará uma descrição dos resultados de forma ampla e geral, apresentando os benefícios que foram alcançados com esta pesquisa, os ganhos reais, tanto financeiros quanto a otimização no processo de substituição das escovas, para finalizar, a proposta para novos trabalhos relacionados ao tema.

2 ÁREA DE APLICAÇÃO

Este capítulo descreve o local onde o estudo foi realizado e suas particularidades dentro do contexto automotivo. De forma detalhada, porém objetiva, será apresentado o processo de produção o qual utiliza os balanceles de porta e mais especificamente as escovas elétricas, que devido a sua vasta utilização e substituição tornaram-se o motivo da realização deste trabalho.

2.1 PROCESSO PRODUTIVO

Atualmente a empresa conta com três turnos de produção, sendo que os dois primeiros turnos possuem diferença no volume de produção em relação ao terceiro turno, o volume de produção é maior, aproximadamente 50%, isto é justificável como parte da estratégia da empresa para atender a demanda atual do mercado automotivo.

O setor de montagem dos veículos é dividido em várias linhas, designadas, linhas de montagem, seus nomes são siglas determinada pela matriz da empresa, abaixo está a sequência de montagem, são elas:

- SE2³;
- PO4⁴
- SE4;
- MO1;
- SC5;
- ME1;
- SE6;
- ME3⁵;
- ME5.

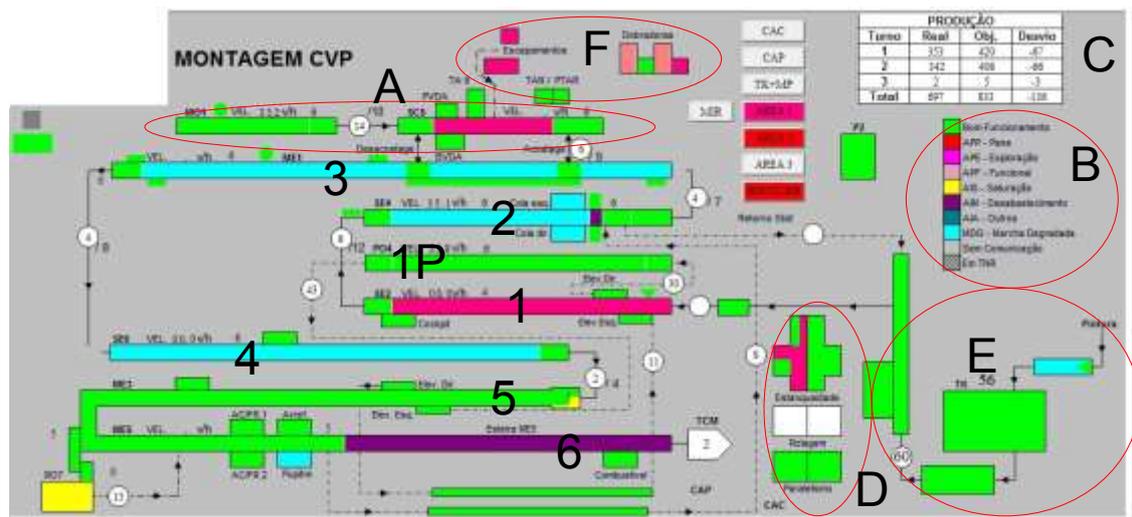
A figura 2.1, esclarece através do sinótico do setor de montagem a disposição física das linhas e a sequência de montagem dos veículos.

Figura 2.1 – Sinótico da linha de montagem

³ Na linha de SE2 é a entrada das carrocerias e onde a separação das portas do carro com a carroceria é realizada.

⁴ Linha de montagem de portas.

⁵ Nesta linha ocorre a junção, ou seja, a montagem da porta já finalizada no veículo 80% finalizado.



Fonte: O Autor (2017)

A linha de montagem apresentada na figura 2.1, segue a seguinte sequência de montagem: (1) Entrada da Carroceria na linha SE2; (2) Linha SE4; (3) Linha ME1; (4) Linha SE6; (5) Linha ME3; (6) Linha ME5 (veículo montado); Linha (1P) ocorre a montagem das portas separadas da carroceria; (A) linha montagem motor x caixa de câmbio e montagem da suspensão; (B) legenda de cores, indicação do estado de cada linha; (C) quadro de produção de cada turno; (D) regulagens e testes finais no veículo; (E) estoque de carroceria e (F) máquinas que abastecem linha com escapamento e tubos de freio. Após a retirada das portas da carroceria, elas são acomodadas em balanceles e seguem em uma linha separada, denominada CAP, é um circuito acima da linha de montagem, onde as portas são transportadas e também servem como um pulmão⁶ de portas, após descem por elevadores e entram na linha de PO4 (1P) onde são montadas com todas as peças e acessórios que o modelo do veículo exige, com as portas já prontas, elas seguem para este circuito aéreo onde circulam em uma fila contínua até ocorrer o casamento da porta com o seu respectivo veículo, isto ocorre precisamente na linha de ME3 (5).

Atualmente nos dois primeiros turnos são fabricados 60 veículos/hora e no terceiro turno 32 veículos/hora e o tempo total de produção de um veículo, considerando a sua entrada na montagem até a sua saída é de

⁶ Pulmão no processo produtivo é designado como sendo o local responsável por gerar um estoque de peças ou produto.

aproximadamente 3h e 30min, considerando o processo produtivo sem interrupções por quaisquer paradas, ou seja, ciclo contínuo de produção.

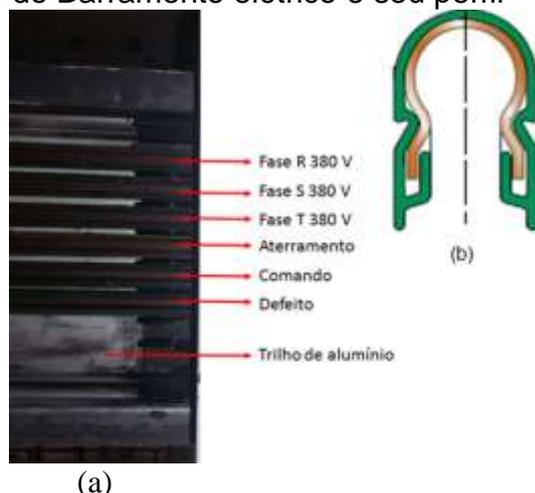
2.2 SISTEMA DE TRANSPORTE

Como apresentado no capítulo 1, o transporte das portas se dá por meio de balanceles, figura 1.1, é composto por uma estrutura de metal, motorizada e com capacidade para transportar as 4 portas do veículo, porém para que o balancele realize a função para qual foi desenvolvido é necessário que este receba energia elétrica para a energização do motor elétrico e todo o seu sistema, nos subtítulos a seguir serão relatados os responsáveis por esta condição de funcionamento dos balanceles.

2.2.1 Barramento Elétrico

O barramento elétrico utilizado, figura 2.2, consiste um trilho fabricado em uma liga de cobre em perfil U, possui 6 polos, o qual é energizado ao longo de sua extensão, e fixado em um trilho de alumínio.

Figura 2.2 – Disposição do Barramento elétrico e seu perfil



Fonte: (a) O Autor (2017), (b) Adaptado do Catálogo Vahle (2016)

As fases R, S e T 380 V são utilizadas para energizar o motor elétrico responsável pela movimentação do balancele, porém o polo de comando e o de defeito, segundo a figura 2.1, os dois últimos polos do barramento, trabalham com tensão contínua de 24 V, o comando alimenta o sistema de

controle do balacele, como: mudanças de velocidade; partida lenta; frenagem do balacele. O polo de defeito é responsável por energizar o circuito que processa toda a informação de defeito que ocorre durante o percurso e é mostrado no display da caixa de escovas, como: -1- Defeito de triac; -2- Falta de fase; -3- Indicador de não equivalência; -4- Temperatura do motor; -5- Corrente excessiva no motor e -6- Parâmetro errado.

2.2.2 Escova Elétrica

As escovas elétricas são as responsáveis por transmitir a energia elétrica existente nos barramentos para os balaceles.

Os pantógrafos também cumprem um importante papel dentro deste contexto, pois são os responsáveis pela fixação das escovas, e as mantêm em constante contato com o barramento ao longo do percurso, evitando mau contato entre os mesmos, porém existem duas diferenças nos pantógrafos, figura 2.3, os utilizados para as tensões de 380 V, 24 V e o de aterramento. A diferença está na cor e no diâmetro do furo para encaixe do pino guia, esta diferença é apenas para identificar o barramento energizado e o terra.

Figura 2.3 – (a) Pantógrafo 380 V, 24V; (b) Pantógrafo terra; (c) diferença diâmetro pino guia

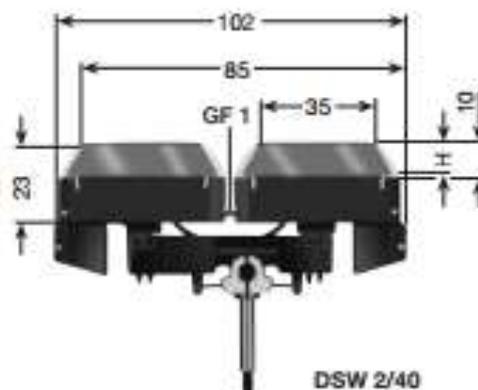


Fonte: O Autor (2017)

Por razões de segurança, durante a manutenção a escova do terra deve ser a primeira a ser conectada e a última a ser desconectada, em relação ao barramento.

A escova é fabricada em uma liga de cobre e grafite e tem como referência DSW 2/40, figura 2.4.

Figura 2.4 – Escova utilizada e suas dimensões



Fonte: Adaptado do Catálogo Vahle (2016)

Vale destacar na figura 2.4 a cota H, esta cota refere-se ao desgaste máximo permitido a este modelo de escova, segundo o fabricante este valor é de 7mm, porém a escova é substituída preventivamente ao alcançar o valor de 2mm de desgaste, conforme mencionado no item 1.2, ou seja, 5mm de material útil não é utilizado.

Para este trabalho é considerado apenas como causa o desgaste proveniente do atrito com o barramento, sem ser considerado outras possibilidades que possam acelerar este desgaste, como: Imperfeições no barramento; Desalinhamento entre as emendas do barramento; Carga excessiva nas escovas; Folgas nas rodas guias do balacele.

Porém, como a análise dos desgastes será feita escova a escova, conforme esquema da figura 1.6, será possível determinar não somente os dados de vida da escova, bem como qual delas possui um desgaste mais acentuado em relação a outra, caso este desgaste diferenciando entre as escovas se evidencie, a análise pontual do barramento referente a esta escova será possível, podendo a partir desta análise determinar a substituição preventivamente do barramento.

2.3 MEDIÇÕES DAS ESCOVAS

As medições das escovas serão realizadas semanalmente com duração de 6 semanas, lembrando que para este trabalho foi selecionado 5 balaceles dentre os 125 balaceles ativos, a escolha foi feita de forma

aleatória, porém com apenas a condição de que as escovas fossem trocadas por novas para o início das medições e acompanhamento.

Devido ao desgaste irregular das escovas, conforme demonstrado na figura 1.5, em que um lado da escova desgasta mais que outro foi necessário construir um gabarito como apresentado na figura 2.5 para manter a medição sempre no mesmo ponto e garantir a repetibilidade.

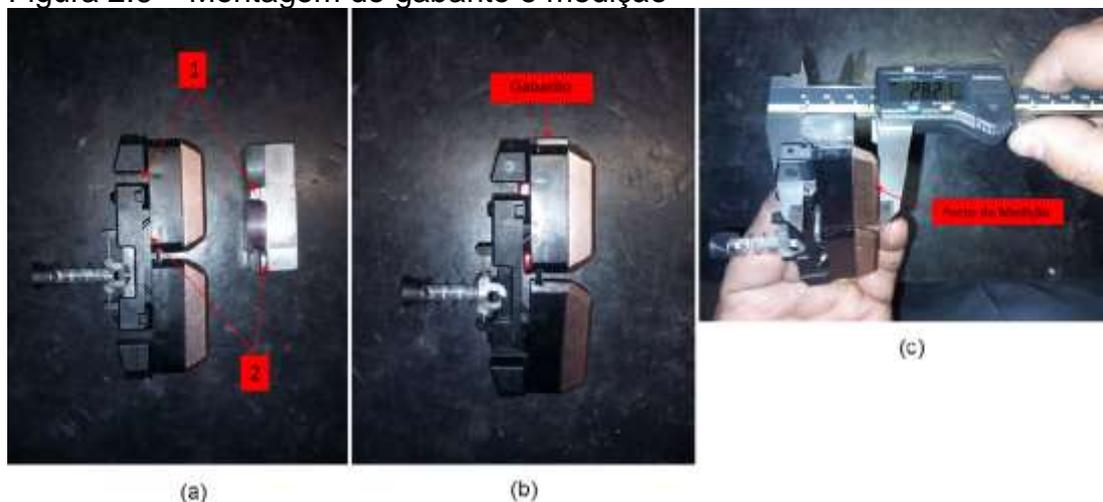
Figura 2.5 – Gabarito medição das escovas



Fonte: O Autor (2017)

A medição é realizada apenas no ponto onde ocorre o maior desgaste e para uma maior precisão na medição, foi utilizado um paquímetro digital marca Mitutoyo com resolução de 0,01mm e feita sempre pela mesma pessoa, mantendo assim um padrão na medição. Na figura 2.6 será apresentado a posição correta do gabarito na escova e o ponto de medição.

Figura 2.6 – Montagem do gabarito e medição



Fonte: O Autor (2017)

Da figura 2.6 obtém-se:

- a) Escova e gabarito de medição, ponto 1 e 2 encaixe do gabarito na escova;
- b) Correta posição da montagem da escova no gabarito;
- c) Ponto correto de medição, encaixe do bico fixo e móvel do paquímetro exatamente no ponto 1 da figura (a)

Seguindo os passos descritos nos itens a, b e c da figura 26, têm-se uma maior repetibilidade e precisão nas medições realizadas, aumentando a confiabilidade nos dados e resultados deste trabalho.

2.4 SÍNTESES E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi apresentado de forma objetiva o processo produtivo ao qual está inserido o objeto de estudo deste trabalho, descrevendo-a de forma mais detalhada suas características e a sua importância dentro do processo produtivo.

Os cuidados na obtenção das medidas são de suma importância para a perfeita análise deste trabalho, com base nisso, a criação de um gabarito, utilização de instrumento de medição com uma precisão centesimal e toda a medição feita por uma única pessoa, trará um maior nível de confiança e repetibilidade na obtenção das medições.

A obtenção correta e precisa das medições diminuirá consideravelmente o erro, a confiança nos dados obtidos é a base para uma análise e uma conclusão precisa com relação ao tema abordado por este trabalho.

No próximo capítulo serão abordados os conceitos da Engenharia da Confiabilidade, mais precisamente os conceitos da Análise de Dados de Vida, algumas das distribuições aplicadas à engenharia da confiabilidade e as suas medidas, as quais guiará e norteará a análise e conclusão deste trabalho.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

A competitividade acirrada nos dias atuais, a globalização, cada dia mais incorporada e consolidada, faz com as organizações busquem meios de se diferenciarem em relações as outras, procurando evidenciar seus produtos e serviços com baixo custo, mas sobretudo, com uma qualidade incontestável.

Para suprir e tornar esta diferenciação uma realidade é que a engenharia da confiabilidade foi criada e desenvolvida para facilitar, não encurtando caminhos ou diminuindo esforços, mas propiciando meios eficazes, metodologias modernas e integradas para que os objetivos de custo baixo, qualidade e satisfação de seus clientes sejam plenamente alcançados.

3.1 ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE

Para entender claramente o conceito de engenharia da confiabilidade, é necessário primeiramente entender o conceito de confiabilidade, segundo ABNT (NBR 5462, 1994) define confiabilidade como sendo a capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo.

Observando a definição dada pela norma nota-se a flexibilidade que a confiabilidade permite ter, e é perfeitamente aplicável em vários segmentos, como: Engenharia; Desenvolvimento de produtos; Processos e Serviços; Manutenção; Qualidade; Produção.

Para Associação Brasileira de Análise de Risco, Segurança de Processos e Confiabilidade (ABRISCO, 2017), Engenharia de Confiabilidade é uma área de estudo que tem o objetivo de avaliar e otimizar a confiabilidade de sistemas por meio de técnicas oriundas da probabilidade e estatísticas.

Sobretudo, a importância da engenharia da confiabilidade dentro das organizações promovendo a busca por melhorias em processos, diminuição em custos e definições de estratégias de manutenção torna-se um diferencial na luta pela competitividade.

Dentre os temas que constituem a engenharia da confiabilidade, destaca-se a Análise de Dados de Vida, sendo esta que irá nortear este trabalho.

3.2 ANÁLISE DE DADOS DE VIDA

Em (RELIAWIKI,2017), a análise de dados de vida utiliza teorias estatísticas com o objetivo de construir modelos de probabilidade para estimar a vida de produtos⁷ observados, podendo ser utilizado para determinar o tempo de vida útil de um produto no mercado, o tempo de sucesso no funcionamento de um produto ou o tempo que o produto funcionou antes de falhar.

A partir destes dados coletados o ajuste a uma distribuição estatística adequada é muito importante para se obter o mais próximo da realidade o comportamento e as características do produto em análise.

Para se obter uma boa análise de dados de vida é necessário que:

- Reunir os dados de vida do produto de forma confiável e precisa;
- Selecionar a distribuição adequada que corresponda aos dados a modelar da vida do produto;
- Estimar os parâmetros que melhor ajustarão os dados de vida;
- Gerar gráficos e obter os resultados que estimem a vida do produto, fazer uma análise consistente dos resultados.

3.3 CLASSIFICAÇÃO DOS DADOS DE VIDA

MATOS & ZOTTI (2010, p.08) destacam a importância na preparação dos dados para uma análise bem feita dos mesmos, originando confiança, representatividade e informações sem desvios.

Os dados de vida dos componentes podem ser denominados, dados completos, segundo FOGLIATTO & RIBEIRO (2009, p.51) o dado é dito completo quando, o teste é conduzido de forma a permitir a falha de todos os componentes e o conjunto de dados até falha é obtido.

⁷ A análise de dados pode ser utilizada em produtos, sistemas, componentes.

Em algumas situações práticas a análise não pode ser conduzida com um conjunto de dados completos, sendo que um conjunto de dados incompletos de tempos até falha é dito censurado ou trucado (FOGLIATTO & RIBEIRO, 2009).

Os dados incompletos podem ser resultados de teste de vida em que: Os critérios de ordem prática ou econômica não permitiram rodar o teste até a falhas de todos os componentes; alguns componentes perderam-se ou danificaram-se durante o teste; não foi possível o registro do exato momento em que a falha ocorreu.

De acordo com MATOS & ZOTTI (2010) os dados censurados podem ser:

- Dados Censurados à Direita: Neste caso os dados possuem componentes que ainda não falharam, ou seja, ao final do teste ainda há componentes em funcionamento. Sendo este o tipo mais comum de dados censurados;
- Dados em Intervalos Censurados: Não se conhece o exato momento em que o componente falhou, sabe-se apenas que a falha ocorreu em um determinado intervalo de tempo;
- Dados Censurados à Esquerda: É a situação onde o componente é somente encontrado em falha após um certo intervalo de tempo, cujo exato momento da falha é também desconhecido.

Sendo assim, o tipo de dado afeta a estimação da confiabilidade, e sua correta classificação torna-se fundamental para a perfeita análise, da mesma forma, não considerar as suspensões e os componentes que não falharam são um erro e também podem afetar análise consideravelmente.

3.4 DISTRIBUIÇÕES APLICADAS À CONFIABILIDADE

Uma distribuição de probabilidade é um modelo matemático que relaciona um certo valor da variável em estudo com a sua probabilidade de ocorrência e são divididas em distribuição discreta e distribuição contínua.

3.5 DISTRIBUIÇÃO DISCRETAS

Distribuições Discretas: Quando a variável que está sendo medida só pode assumir valores inteiros, como por exemplo 0,1,2, etc.

As distribuições discretas comumente mais utilizadas são as Distribuição Binomial e Distribuição de Poisson.

3.5.1 Distribuição Binomial

Segundo LAFRAIA (2001, p.25) na distribuição binomial existe apenas duas possibilidades possíveis, como falha e não falha, devido esta característica esta distribuição é largamente utilizada em confiabilidade e controle de qualidade, e sua *f.d.p* (função densidade de probabilidade) é dada por:

$$f(x) = \frac{n!}{x!(n-x)!} p^x q^{(n-x)}$$

Esta é a probabilidade de se obter x itens bons e $(n-x)$ itens defeituosos, numa amostra de n itens, onde a probabilidade de obter-se um item bom é p e um item defeituoso q . Sendo que a média é dada por:

$$\mu = n.p$$

e o desvio padrão,

$$\sigma = (n.p.q)^{1/2}$$

3.5.2 Distribuição de Poisson

Para LAFRAIA (2001, p.26):

Se os eventos são distribuídos de acordo com Poisson, eles ocorrem a taxas médias constantes, com somente um de dois resultados possíveis, ou seja, o número de falhas ou defeitos por comprimento é:

$$f(x) = \frac{\mu^x}{x!} \exp(-\mu) \quad x = 0,1,2,3, \dots$$

Onde μ é a taxa de ocorrência. A distribuição de Poisson pode ser considerada como uma variação da distribuição binomial na qual n tende ao infinito.

Uma aproximação da distribuição de Poisson é dada por:

$$f(x) = \frac{(n.p)^x}{x!} \exp(-n.p)$$

$$\mu = n.p \text{ e } \sigma = (n.p)^{1/2} = \mu^{1/2}$$

A distribuição de Poisson é comumente utilizada para modelar o número em que um determinado evento ocorre em um certo período de tempo.

3.6 DISTRIBUIÇÃO CONTÍNUAS

As distribuições contínuas são utilizadas quando a variável que está sendo analisada é expressa em uma escala contínua, como por exemplo uma característica dimensional.

3.6.1 Distribuição Normal

Segundo DÁVILA (2016) a distribuição normal é uma das mais importantes distribuições contínuas de probabilidade, pois:

- Representa a distribuição de frequência de muitos fenômenos naturais, como: altura, pressão sanguínea, etc.
- Pode de forma aproximada, calcular outras distribuições, como por exemplo, distribuição Binomial.

A distribuição normal é em forma de sino, unimodal e simétrica em relação a sua média e tende cada vez mais ao eixo horizontal à medida que se afasta da média, e a área abaixo da curva normal representa 100% de probabilidade associada a uma variável.

A função densidade de probabilidade (*f.d.p*), confiabilidade, taxa de falha e MTTF são dadas por:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma(2\pi)^{1/2}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2\right]; \quad R(t) = \int_t^{\infty} \frac{1}{\sigma(2\pi)^{1/2}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2\right] dt$$

$$h(t) = \frac{\frac{1}{\sigma(2\pi)^{1/2}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2\right]}{\int_t^{\infty} \frac{1}{\sigma(2\pi)^{1/2}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2\right] dt}; \quad MTTF = \mu$$

Onde μ é o parâmetro de localização, igual a média normal dos tempo até falha, o parâmetro de forma é igual a σ , desvio padrão dos tempos até falha

Uma razão importante para a aplicação da distribuição normal advém do fato de que quando um valor está sujeito a muitas variações que se somam, independentemente de como estas estão distribuídas, o resultado da distribuição composta é normalmente distribuído, e sua função densidade acumulada é:

3.6.2 Distribuição Log-Normal

De acordo com LAFRAIA (2001, p.30), em comparação com a distribuição normal a distribuição log-normal é mais versátil pois possui uma forma mais variada, possibilitando um melhor ajuste da população, onde peças sujeitas ao desgaste são um exemplo típico de aplicação desta distribuição. Também não tem a desvantagem de trabalhar com valores de $t < 0$.

As medidas de confiabilidade de interesse para a distribuição log-normal, seguindo a sequência, *f.d.p*, confiabilidade, taxa de falha e MTTF:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma(2\pi t)^{1/2}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma}\right)^2\right]; \quad R(t) = \Phi\left(\frac{\mu - \ln t}{\sigma}\right)$$

$$h(t) = \phi \frac{[(\mu - \ln t)/\sigma]/\sigma t}{\Phi[(\mu - \ln t)/\sigma]}; \quad MTTF = \exp(\mu + \sigma^2)/2$$

A média e o desvio padrão é representado por:

$$\mu = \exp\left(\mu + \frac{\sigma^2}{2}\right) \quad \sigma = [\exp(2\mu + 2\sigma^2) - \exp(2\mu + \sigma^2)]^{1/2}$$

Segundo LAFRAIA (2001, p.32) a distribuição log-normal possui algumas aplicações que seguem abaixo:

- Determinar os ciclos para a falha de fadiga de metais e componentes metálicos, quando estes são submetidos a tensões alternadas, cujo valores é significativamente menor que o limite de resistência do material em questão;
- Componentes mecânicos sujeitos a desgaste têm sua determinação da distribuição de tempos para falha;
- Vida de rolamentos podem ser modeladas pela distribuição;
- Determinação de tempo médio para manutenção de componentes mecânicos.

3.6.3 Distribuição Exponencial

A distribuição exponencial descreve sistemas em que suas taxas de falhas são constantes, e seu uso foi difundido devido sua simplicidade.

Para sistemas onde a variável independente é t , λ é denominado de taxa de falha, tendo:

$$f(t) = \lambda \cdot \exp(-\lambda t)$$

E sua confiabilidade, taxa de falha e MTTF são:

$$R(t) = \exp(-\lambda t); \quad h(t) = \lambda; \quad MTTF = \frac{1}{\lambda}$$

LAFRAIA (2001) ressalta algumas aplicações para a distribuição exponencial:

- Falhas de equipamentos com mais de 200 componentes sujeitos a mais de três manutenções corretivas/preventivas;
- Sistemas complexos não redundantes;

- Sistemas complexos e componentes com taxas de falhas independentes;
- Sistemas com dados de falhas com causas muito heterogêneas;
- Sistemas de vários componentes, cuja as substituições se dão antes das falhas devido a manutenção preventiva.

3.6.4 Distribuição de Weibull

A distribuição de Weibull por ser uma distribuição muito flexível em comparação as demais é largamente utilizada para a análise de confiabilidade, devido esta flexibilidade a distribuição de Weibull tem a capacidade de representar tempos de falhas de amostras com comportamentos distintos.

As medidas de confiabilidade para a distribuição de Weibull segue abaixo:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \exp^{-\left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^\beta}; \quad R(t) = \exp^{-\left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^\beta}$$

$$h(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1}; \quad MTTF = \gamma + \eta \cdot \Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right)$$

As medidas de confiabilidade acima, são para a distribuição de Weibull com três parâmetros, onde:

η → Parâmetro de escala ou vida característica;

β → Parâmetro de forma ou inclinação;

γ → Parâmetro de localização ou vida mínima;

Se $\gamma=0$, temos a função densidade de probabilidade para uma distribuição de Weibull com dois parâmetros, como segue abaixo:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta} \right)^{\beta-1} \exp^{-\left(\frac{t}{\eta} \right)^\beta}$$

Esta versatilidade da distribuição de Weibull também fica comprovada na distribuição de Weibull Mista, quando há mais de uma subpopulação envolvida e a escolha por um misto poderá ser modelada. Particularmente se

os pontos de dados seguem uma forma em “S” no gráfico de probabilidade, podem ser indicativos de mais de um modo de falha na população, ou seja, a população em estudo pode apresentar vários modos de falha.

Abaixo, segue as equações da confiabilidade e *p.d.f* da distribuição de Weibull.

$$R_{1,2,3}(t) = \sum_{i=1}^S \frac{N_i}{N} \exp^{-\left(\frac{t}{\eta_i}\right)^{\beta_i}}$$

$$f_{1,2,3}(t) = \sum_{i=1}^S \frac{N_i \beta_i}{N \eta_i} \left(\frac{t}{\eta_i}\right)^{\beta_i-1} \exp^{-\left(\frac{t}{\eta_i}\right)^{\beta_i}}$$

Onde, S=2, S=3 e S=4 são para 2,3 e 4 subpopulações respectivamente.

3.7 EFEITOS DOS PARÂMETROS NA DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL

Como já é de conhecimento, a distribuição de Weibull é amplamente utilizada dentro da análise da confiabilidade, esta razão se dá por ser uma distribuição muito versátil.

Dependendo dos valores dos parâmetros, a distribuição de Weibull pode ser usada para modelar uma variedade de comportamentos de vida

3.7.1 Parâmetro de Forma ou Inclinação β

Diferentes valores do parâmetro de forma podem ter efeitos marcados no comportamento da distribuição, ou seja, alguns valores do parâmetro de forma farão com que as equações de distribuição de reduzem às outras distribuições.

Abaixo, três variações dos valores do parâmetro de forma β :

- $\beta = 1 \rightarrow$ Para este valor de β a distribuição de Weibull tem comportamento igual a distribuição exponencial, ou seja, sua taxa de falha é constante;

- $\beta < 1 \rightarrow$ Neste caso há um decréscimo na taxa de falha, ou seja, a taxa de falha é decrescente, falhas prematuras;
- $\beta > 1 \rightarrow$ Para este caso há um aumento na taxa de falha, ou seja, ocorre um aumento na taxa de falha, falha acontece por desgaste.

LAFRAIA (2009) exemplifica as falhas pela variação do parâmetro β , como:

- *Taxa de falha decrescente ou Falha prematura:* Processos de fabricação e controle de qualidade deficientes; Mão de obra desqualificada; Pré teste insuficiente; Componentes não testados; Erro humano.
- *Taxa de falha constante ou Vida útil:* Causas inexplicáveis; Fenômenos naturais imprevisíveis; Aplicação indevida; Erros humanos durante o uso; Cargas aleatórias maiores que a esperada.
- *Taxa de falha crescente ou Falha por desgaste:* Envelhecimento; Desgaste ou Abrasão; Fadiga; Fluência; Corrosão; Manutenção insuficiente ou deficiente; Vida de projeto muito curta.

3.7.2 Parâmetro de Escala ou Vida Característica η

Este parâmetro determina o tempo o qual 63,2% dos itens são esperados que falhem, tendo que 36,8% dos itens ainda não falharam, este valor é verdadeiro para toda a distribuição de Weibull, sem considerar o parâmetro de forma β . Se há reposição dos itens, então 63,2% do tempo de falha são esperados serem inferior ou igual a vida característica η . O parâmetro η possui as mesmas unidades de t , ou seja, podem ser em horas, milhas, ciclos, atuações, etc.

3.7.3 Parâmetro de Localização ou Vida Mínima γ

Este parâmetro representa um deslocamento no eixo x, ou seja, ela translada o início da distribuição para um valor diferente de zero, assim como η , as unidades de γ podem ser em horas, milhas, ciclos, etc.

Para um valor de $\gamma > 0$ (positivo), o parâmetro de localização γ , indica que as falhas só ocorrerão após este tempo, ou seja, até este tempo γ a confiabilidade é igual a 100%.

Para um valor $\gamma < 0$ (negativo), o parâmetro de localização γ , indica que os itens possuem uma confiabilidade menor que 100% para o tempo $t = 0$. Este fato pode ocorrer devido o método utilizado para registrar o tempo ou por algum modo de falha que ocorre devido ao transporte, degradação devido armazenamento do item, questões de manufatura.

3.8 CONCEITUALIZAÇÃO DAS MEDIDAS DE CONFIABILIDADE

De acordo com FOGLIATTO & RIBEIRO (2009) as três medidas de confiabilidade mais comumente usadas para unidades não reparáveis, são a função de confiabilidade $R(t)$, a função de risco $h(t)$ e o tempo médio até falha MTTF.

Lembrando que o objeto de estudo, escova elétrica, é um item não reparável, ou seja, uma vez alcançado o limite de desgaste estabelecido a substituição é necessária sem que haja qualquer tipo de reparo.

Para cada distribuição contínua apresentada na seção 3.6, as medidas de confiabilidade possuem a sua especificidade.

3.8.1 Função de Confiabilidade, $R(t)$

A função de confiabilidade $R(t)$ indica a probabilidade de a unidade apresentar sucesso na operação, ou seja, indica a ausência de falhas no intervalo de tempo $(0, t)$ e ainda estar funcionando no tempo t . A função de confiabilidade é também conhecida como função de sobrevivência.

3.8.2 Função de Risco, $h(t)$

A função de risco $h(t)$ pode ser considerada a medida de confiabilidade mais difundida na prática, a função pode ser interpretada como

a quantidade de risco associada a uma unidade no tempo t . Esta função de risco é bastante útil na análise do risco a que uma unidade está exposta ao longo do tempo, servindo como base de comparação entre unidades com características distintas, é também conhecida como taxa de falha ou taxa de risco.

A função de risco possui três classificações básicas, são elas: função de risco crescente, função de risco decrescente e função de risco constante. As características citadas estão intrinsecamente ligadas as fases de vidas de produtos.

3.8.3 Tempo Médio Até Falhas-(MTTF)

É o tempo médio até falha de componentes que não podem ser reparados, é aplicável a componentes cuja vida termina na primeira falha, ou seja,

3.9 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi apresentado de forma objetiva a Análise de Dados de Vida, a qual norteará este presente trabalho, dentro dos conceitos da Engenharia da Confiabilidade.

A Análise de Dados de Vida mostra-se um eficiente método para a determinação do tempo de vida de produtos, componentes, sistemas, etc.

As distribuições aplicadas à engenharia da confiabilidade aqui apresentadas, bem como as medidas de confiabilidade também apresentam sua importância para o estudo de vida das escovas e desta maneira determinar o tempo ótimo para sua substituição e a melhor estratégia de manutenção para otimização dos tempos de troca, diminuição dos custos com substituições desnecessárias e não menos importante, otimizar a quantidade de peças sobressalentes de acordo com as novas análises.

O capítulo a seguir apresentará as medições dos desgastes das escovas obtidas ao longo do período pré-estabelecido, a distribuição que melhor se ajustará a estas medições, a apresentação dos resultados obtidos e as análises das métricas de confiabilidade.

4 DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo será abordado a aplicação do referencial teórico, juntamente com os procedimentos e cuidados com as coletas dos dados, sendo esta etapa muito importante, pois a coleta de dados realizado de forma confiável a apropriada permitirá uma descrição real do comportamento dos desgastes das escovas e posteriormente identificar os pontos de melhoria, revisar e adequar a manutenção preventiva atual.

A análise da manutenção preventiva atual será muito importante, pois será verificada sua eficiência, ou seja, poderá ser respondida algumas questões importantes, como: A manutenção preventiva atual atende as expectativas de confiabilidade do conjunto? Os custos com substituição estão dentro do esperado? O tempo de substituição é adequado em comparação aos tempos obtidos com este estudo? Enfim, este estudo torna-se um ponto de partida e incentivo para estudos futuros.

4.1 COLETA DE DADOS

A qualidade na coleta dos dados faz com que esta fase da pesquisa seja muito importante, pois refletirá diretamente na qualidade final dos resultados e sua interpretação, desta forma encontrar, o mais próximo da realidade, o padrão de desgaste das escovas.

Antes de iniciar as medições e estudo dos desgastes das escovas como proposto, foi realizado uma análise na geometria das escovas para definir a melhor maneira e posição para realizar as medições, pois como mencionado no capítulo 1 e apresentado na figura 1.5, seu desgaste é inclinado e cuja inclinação de uma extremidade a outra é de aproximadamente 1° , sendo assim, a medição necessariamente precisa ser coletada sempre no mesmo ponto, caso contrário, as medições serão comprometidas com dados errôneos.

Com o objetivo de eliminar este erro, foi criado um gabarito como apresentado na figura 2.5 e determinado o ponto padrão, desta maneira, a medição permanecerá sempre em um mesmo ponto, eliminando o problema da inclinação. O esquema de medição é apresentado na figura 2.6.

Figura 4.1 – Ponto Padrão para Medição



Fonte: O Autor (2017)

Para aumentar a precisão e repetibilidade nas medições foi utilizado um paquímetro digital da marca Mitutoyo com precisão centesimal, ou seja, 0,01 centésimos de milímetro.

Foram selecionados 5 balaceles, balacele 59, 11, 43, 27 e 45, foi utilizado rigorosamente esta sequência, iniciado a medição do primeiro balacele na segunda-feira, o segundo na terça-feira e assim sucessivamente, com intervalos semanais de medição, coletando o desgaste

semanal em um período de 6 semanas. Nas tabelas (1 a 15) a seguir são apresentados os dados coletados para o balacele 59.

Tabela 1 – Dados Coletados Balacele 59

Semana	Balacele	E1 (mm)	E2 (mm)	E3 (mm)	E4 (mm)	E5 (mm)	E6 (mm)	Data
1º	59	28,09	28,07	28,04	28,15	28,33	28,23	13/jun
2º	59	27,96	27,95	27,76	28,02	28,07	28,03	20/jun
3º	59	27,86	27,85	27,68	27,92	28,03	27,94	27/jun
4º	59	27,83	27,83	27,66	27,87	28,00	27,90	04/jul
5º	59	27,79	27,78	27,60	27,82	27,95	27,89	11/jul
6º	59	27,71	27,70	27,52	27,72	27,87	27,79	18/jul

Fonte: O Autor (2017)

Tabela 2 – Desgaste Semanal das Escovas Balacele 59

Semana	Balacele	E1 (mm)	E2 (mm)	E3 (mm)	E4 (mm)	E5 (mm)	E6 (mm)
1ª	59	0,13	0,12	0,28	0,13	0,26	0,20
2ª	59	0,10	0,10	0,08	0,10	0,04	0,09
3ª	59	0,03	0,02	0,02	0,05	0,03	0,04
4ª	59	0,04	0,05	0,06	0,05	0,05	0,01
5ª	59	0,08	0,08	0,08	0,10	0,08	0,10

Fonte: O Autor (2017)

Tabela 3 – Valores de Desgaste em Intervalos e Dados Agrupados Bal. 59

Balacele	Semana	E1 (mm)	E2 (mm)	E3 (mm)	E4 (mm)	E5 (mm)	E6 (mm)
59	0-----1	0,13	0,12	0,28	0,13	0,26	0,20
59	1-----2	0,23	0,22	0,36	0,23	0,30	0,29
59	2-----3	0,26	0,24	0,38	0,28	0,33	0,33
59	3-----4	0,30	0,29	0,44	0,33	0,38	0,34
59	4-----5	0,38	0,37	0,52	0,43	0,46	0,44

Fonte: O Autor (2017)

Os dados para o balacele 11 são apresentados nas tabelas a seguir.

Tabela 4 — Dados Coletados Balacele 11

Semana	Balacele	E1 (mm)	E2 (mm)	E3 (mm)	E4 (mm)	E5 (mm)	E6 (mm)	Data
1º	11	26,70	27,73	27,65	25,19	27,75	25,38	14/jun
2º	11	26,68	27,67	27,57	25,14	27,68	25,31	21/jun
3º	11	26,64	27,62	27,54	25,12	27,67	25,3	28/jun
4º	11	26,62	27,57	27,51	25,07	27,64	25,29	05/jul
5º	11	26,60	27,53	27,46	25,05	27,58	25,27	12/jul
6º	11	26,57	27,47	27,42	25,04	27,55	25,25	19/jul

Fonte: O Autor (2017)

Tabela 5 – Desgaste Semanal das Escovas Balancele 11

Semana	Balancele	E1 (mm)	E2 (mm)	E3 (mm)	E4 (mm)	E5 (mm)	E6 (mm)
1 ^a	11	0,02	0,06	0,08	0,05	0,07	0,07
2 ^a	11	0,04	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01
3 ^a	11	0,02	0,05	0,03	0,05	0,03	0,01
4 ^a	11	0,02	0,04	0,05	0,02	0,06	0,02
5 ^a	11	0,03	0,06	0,04	0,01	0,03	0,02

Fonte: O Autor (2017)

Tabela 6 – Valores de Desgaste em Intervalos e Dados Agrupados Bal. 11

Balancele	Semana	E1 (mm)	E2 (mm)	E3 (mm)	E4 (mm)	E5 (mm)	E6 (mm)
11	0-----1	0,02	0,06	0,08	0,05	0,07	0,07
11	1-----2	0,06	0,11	0,11	0,07	0,08	0,08
11	2-----3	0,08	0,16	0,14	0,12	0,11	0,09
11	3-----4	0,10	0,20	0,19	0,14	0,17	0,11
11	4-----5	0,13	0,26	0,23	0,15	0,20	0,13

Fonte: O Autor (2017)

Para o balancele 43, têm-se os valores dispostos nas tabelas abaixo.

Tabela 7 – Dados Coletados Balancele 43

Semana	Balancele	E1 (mm)	E2 (mm)	E3 (mm)	E4 (mm)	E5 (mm)	E6 (mm)	Data
1 ^o	43	27,93	27,92	27,81	25,78	27,97	27,99	15/jun
2 ^o	43	27,89	27,88	27,74	25,74	27,92	27,93	22/jun
3 ^o	43	27,83	27,81	27,68	25,72	27,87	27,89	29/jun
4 ^o	43	27,78	27,76	27,65	25,71	27,83	27,84	06/jul
5 ^o	43	27,74	27,74	27,61	25,67	27,78	27,82	13/jul
6 ^o	43	27,68	27,69	27,58	25,65	27,76	27,77	20/jul

Fonte: O Autor (2017)

Tabela 8 – Desgaste Semanal das Escovas Balancele 43

Semana	Balancele	E1 (mm)	E2 (mm)	E3 (mm)	E4 (mm)	E5 (mm)	E6 (mm)
1 ^a	43	0,04	0,04	0,07	0,04	0,05	0,06
2 ^a	43	0,06	0,07	0,06	0,02	0,05	0,04
3 ^a	43	0,05	0,05	0,03	0,01	0,04	0,05
4 ^a	43	0,04	0,02	0,04	0,04	0,05	0,02
5 ^a	43	0,06	0,05	0,03	0,02	0,02	0,05

Fonte: O Autor (2017)

Tabela 9 – Valores de Desgaste em Intervalos e Dados Agrupados Bal. 43

Balancele	Semana	E1 (mm)	E2 (mm)	E3 (mm)	E4 (mm)	E5 (mm)	E6 (mm)
43	0-----1	0,04	0,04	0,07	0,04	0,05	0,06
43	1-----2	0,10	0,11	0,13	0,06	0,10	0,10
43	2-----3	0,15	0,16	0,16	0,07	0,14	0,15

43	3-----4	0,19	0,18	0,20	0,11	0,19	0,17
43	4-----5	0,25	0,23	0,23	0,13	0,21	0,22

Fonte: O Autor (2017)

O balacele 27 apresentou os seguintes valores demonstrados nas tabelas a seguir.

Tabela 10 – Dados Coletados Balacele 27

Semana	Balacele	E1 (mm)	E2 (mm)	E3 (mm)	E4 (mm)	E5 (mm)	E6 (mm)	Data
1º	27	28,00	27,93	27,81	26,41	28,04	27,96	16/jun
2º	27	27,94	27,88	27,76	26,35	27,92	27,86	23/jun
3º	27	27,91	27,83	27,72	26,33	27,91	27,83	30/jun
4º	27	27,85	27,8	27,68	26,31	27,88	27,80	07/jul
5º	27	27,82	27,77	27,65	26,28	27,83	27,77	14/jul
6º	27	27,78	27,74	27,61	26,26	27,81	27,70	21/jul

Fonte: O Autor (2017)

Tabela 11 – Desgaste Semanal das Escovas Balacele 27

Semana	Balacele	E1 (mm)	E2 (mm)	E3 (mm)	E4 (mm)	E5 (mm)	E6 (mm)
1ª	27	0,06	0,05	0,05	0,06	0,12	0,10
2ª	27	0,03	0,05	0,04	0,02	0,01	0,03
3ª	27	0,06	0,03	0,04	0,02	0,03	0,03
4ª	27	0,03	0,03	0,03	0,03	0,05	0,03
5ª	27	0,04	0,03	0,04	0,02	0,02	0,07

Fonte: O Autor (2017)

Tabela 12 – Valores de Desgaste em Intervalos e Dados Agrupados Bal. 27

Balacele	Semana	E1 (mm)	E2 (mm)	E3 (mm)	E4 (mm)	E5 (mm)	E6 (mm)
27	0-----1	0,06	0,05	0,05	0,06	0,12	0,10
27	1-----2	0,09	0,10	0,09	0,08	0,13	0,13
27	2-----3	0,15	0,13	0,13	0,10	0,16	0,16
27	3-----4	0,18	0,16	0,16	0,13	0,21	0,19
27	4-----5	0,22	0,19	0,20	0,15	0,23	0,26

Fonte: O Autor (2017)

Para o balacele 45, o último da série de medições, os valores de desgastes seguem as tabelas a seguir.

Tabela 13 – Dados Coletados Balacele 45

Semana	Balacele	E1 (mm)	E2 (mm)	E3 (mm)	E4 (mm)	E5 (mm)	E6 (mm)	Data
1º	45	28,02	28,09	28,06	25,92	28,03	28,15	17/jun
2º	45	27,98	28,04	27,99	25,90	27,98	28,08	24/jun

3º	45	27,93	27,98	27,92	25,84	27,90	28,03	01/jul
4º	45	27,87	27,95	27,88	25,81	27,83	27,95	08/jul
5º	45	27,84	27,87	27,82	25,79	27,79	27,88	15/jul
6º	45	27,79	27,85	27,74	25,77	27,73	27,83	22/jul

Fonte: O Autor (2017)

Tabela 14 – Desgaste Semanal das Escovas Balancele 45

Semana	Balacele	E1 (mm)	E2 (mm)	E3 (mm)	E4 (mm)	E5 (mm)	E6 (mm)
1ª	45	0,04	0,05	0,07	0,02	0,05	0,07
2ª	45	0,05	0,06	0,07	0,06	0,08	0,05
3ª	45	0,06	0,03	0,04	0,03	0,07	0,08
4ª	45	0,03	0,08	0,06	0,02	0,04	0,07
5ª	45	0,05	0,02	0,08	0,02	0,06	0,05

Fonte: O Autor (2017)

Tabela 15 – Valores de Desgaste em Intervalos e Dados Agrupados Bal. 45

Balacele	Semana	E1 (mm)	E2 (mm)	E3 (mm)	E4 (mm)	E5 (mm)	E6 (mm)
45	0-----1	0,04	0,05	0,07	0,02	0,05	0,07
45	1-----2	0,09	0,11	0,14	0,08	0,13	0,12
45	2-----3	0,15	0,14	0,18	0,11	0,20	0,20
45	3-----4	0,18	0,22	0,24	0,13	0,24	0,27
45	4-----5	0,23	0,24	0,32	0,15	0,30	0,32

Fonte: O Autor (2017)

4.2 ANÁLISE DOS DADOS

Para esta etapa do trabalho foi utilizado o Software Weibull ++, versão 10 da ReliaSoft, que auxiliará na análise dos dados coletados, determinando qual distribuição melhor se adequa aos valores coletados e o que melhor representa o desgaste das escovas ao longo do tempo.

Na análise, pelo fato dos balanceles possuírem as mesmas características físicas e exercerem as mesmas funções dentro do processo produtivo, as tabelas 1 a 15 foram criadas e obtidas separadamente para facilitar a coleta de dados e controlar a sequência exata nas medições, respeitando o intervalo semanal, como proposto inicialmente, porém as escovas são tratadas como sendo as mesmas, apenas sendo subdivididas em E1 (escova 1), E2 (escova 2), E3 (escova 3), E4 (escova 4), E5 (escova 5) e E6 (escova 6), esta divisão justifica-se na análise pontual das escovas e verificar qual será a escova crítica dentro do conjunto.

Tabela 16 – Dados Acumulados Semanalmente das Escovas

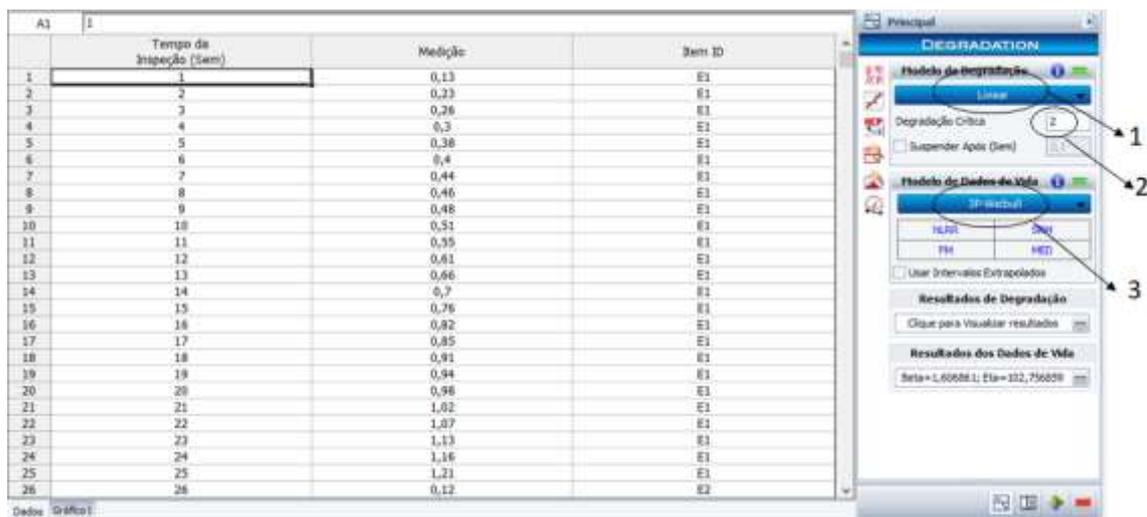
Semana	E1(mm)	E2(mm)	E3(mm)	E4(mm)	E5(mm)	E6(mm)	Balacele
0----1	0,13	0,12	0,28	0,13	0,26	0,20	59
1----2	0,23	0,22	0,36	0,23	0,30	0,29	
2----3	0,26	0,24	0,38	0,28	0,33	0,33	
3----4	0,30	0,29	0,44	0,33	0,38	0,34	
4----5	0,38	0,37	0,52	0,43	0,46	0,44	
5----6	0,40	0,43	0,60	0,48	0,53	0,51	11
6----7	0,44	0,48	0,63	0,50	0,54	0,52	
7----8	0,46	0,53	0,66	0,55	0,57	0,53	
8----9	0,48	0,57	0,71	0,57	0,63	0,55	
9---10	0,51	0,63	0,75	0,58	0,66	0,57	
10—11	0,55	0,67	0,82	0,62	0,71	0,63	43
11—12	0,61	0,74	0,88	0,64	0,76	0,67	
12—13	0,66	0,79	0,91	0,65	0,80	0,72	
13—14	0,70	0,81	0,95	0,69	0,85	0,74	
14—15	0,76	0,86	0,98	0,71	0,87	0,79	
15—16	0,82	0,91	1,03	0,77	0,99	0,89	27
16—17	0,85	0,96	1,07	0,79	1,00	0,92	
17—18	0,91	0,99	1,11	0,81	1,03	0,95	
18—19	0,94	1,02	1,14	0,84	1,08	0,98	
19—20	0,98	1,05	1,18	0,86	1,10	1,05	
20—21	1,02	1,10	1,25	0,88	1,15	1,12	45
21—22	1,07	1,16	1,32	0,94	1,23	1,17	
22—23	1,13	1,19	1,36	0,97	1,30	1,25	
23—24	1,16	1,27	1,42	0,99	1,34	1,32	
24—25	1,21	1,29	1,50	1,01	1,40	1,37	

Fonte: O Autor (2017)

Na análise de degradação Weibull ++, foram compilados 150 valores de desgaste acumulado, sendo 25 valores para cada escova, lembrando que não foram considerados especificamente as condições de cada balacele e somente o conjunto de escovas, por exemplo: as escovas E1 foram consideradas como uma só independente do balacele em que a mesma estava acoplada.

Os dados foram na tabela de análise de degradação conforme disposta na tabela 16, como apresentada na figura 4.2.

Figura 4.2 – Dados Compilados na Análise de Degradação Weibull ++



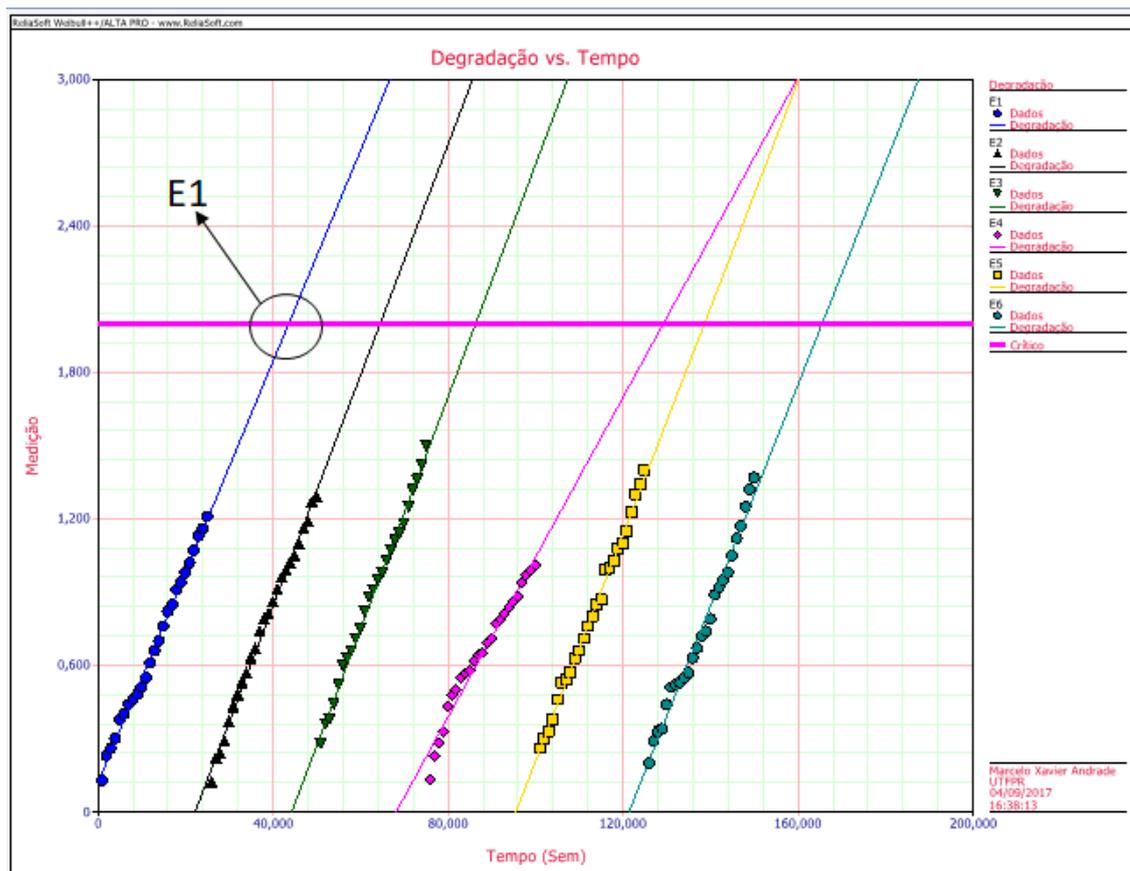
Fonte: Adaptado Software ReliaSoft (2017)

Da figura 4.2, tem-se:

1. A curva característica que melhor se ajustou aos dados compilados para o método de degradação foi a Linear;
2. A degradação crítica com valor de 2mm, selecionado este valor pois o mesmo é utilizado atualmente nas manutenções preventivas e é o valor de desgaste máximo tolerável;
3. O modelo selecionado foi o Weibull 3 parâmetros, a escolha por este modelo foi determinada devido seu coeficiente de correlação (Rho) ser mais próximo de 1 dentre os outros modelos.

Através da figura 4.3, pode-se analisar o comportamento do desgaste das escovas até o limite de degradação fornecido.

Figura 4.3 – Gráfico Degradação (2mm) x Tempo



Fonte: Adaptado Software ReliaSoft (2017)

Com o auxílio do gráfico da figura 4.3, percebe-se que a escova crítica dentro do conjunto é a escova E1, em que a mesma alcança o valor de degradação conforme apresentado na tabela 17.

Tabela 17 – Tempos até Falhas para as Escovas

Número do Item	Condição F ou S	Tempo até F ou S (Sem)	Subconjunto ID 1
1	F	43,59	E1
2	F	64,48	E2
3	F	86,31	E3
4	F	129,21	E4
5	F	138,60	E5
6	F	165,48	E6

Fonte: Adaptado Software ReliaSoft V10 (2017)

A partir da análise de degradação, foi realizada uma análise de degradação somente da E1, figura 4.4.

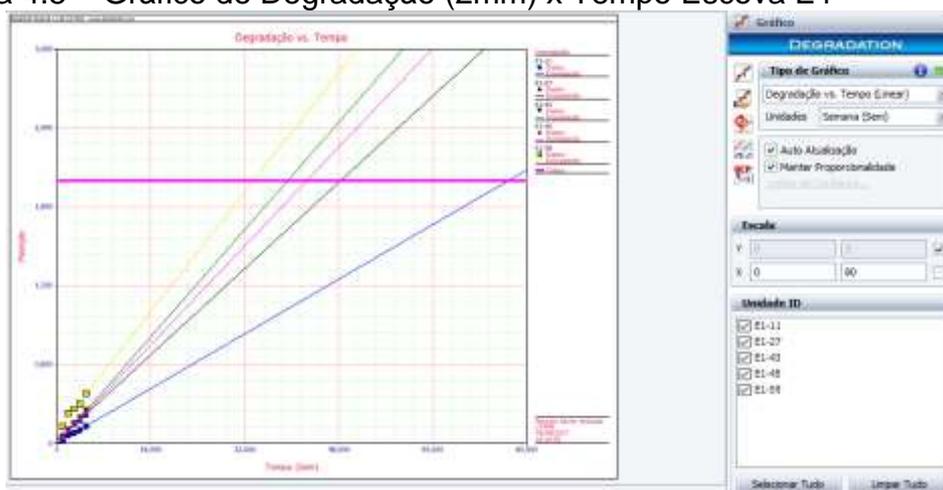
Figura 4.4 – Estudo de Degradação para Escova E1

	Tempo da Inspeção (Sem)	Medição	Item ID
1	1	0,02	E1-11
2	2	0,06	E1-11
3	3	0,08	E1-11
4	4	0,1	E1-11
5	5	0,13	E1-11
6	1	0,06	E1-27
7	2	0,09	E1-27
8	3	0,15	E1-27
9	4	0,18	E1-27
10	5	0,22	E1-27
11	1	0,04	E1-43
12	2	0,1	E1-43
13	3	0,15	E1-43
14	4	0,19	E1-43
15	5	0,25	E1-43
16	1	0,04	E1-45
17	2	0,09	E1-45
18	3	0,15	E1-45
19	4	0,18	E1-45
20	5	0,23	E1-45
21	1	0,13	E1-59
22	2	0,23	E1-59
23	3	0,26	E1-59
24	4	0,3	E1-59
25	5	0,38	E1-59
26			

Fonte: Adaptado Software ReliaSoft (2017)

E o seu gráfico de degradação está representado na figura 4.5.

Figura 4.5 – Gráfico de Degradação (2mm) x Tempo Escova E1



Fonte: Adaptado Software ReliaSoft (2017)

Por meio do gráfico de degradação, os valores são extrapolados até o ponto de degradação pré determinado, neste caso, 2mm. O software fornece os valores de intersecção, tabela 18, entre a extrapolação das retas com o valor de degradação e com estes pontos conhecidos a análise de dados de vida da escova E1 é possível determinar.

Tabela 18 – Tempos até Falha, Beta, Eta e Gama para Escova E1 (2mm degradação).

Dados Brutos			
Número do Item	Condição F ou S	Tempo até F ou S (Sem)	Subconjunto ID 1
1	F	33,52631579	E1-59

2	F	39,35294118	E1-43
3	F	42,61702128	E1-45
4	F	48,36585366	E1-27
5	F	76,92307692	E1-11
Beta	0,747477		
Eta (Sem)	17,011362		
Gama (Sem)	32,452895		

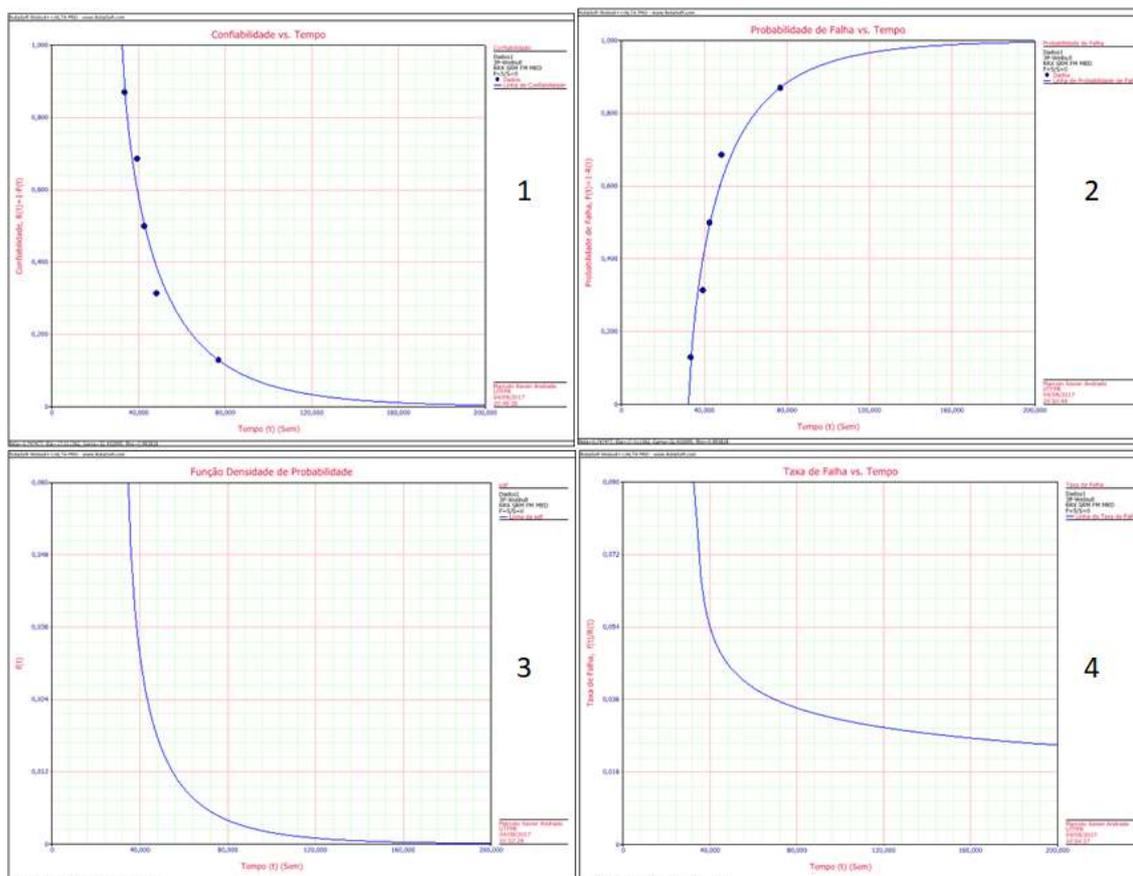
Fonte: Adaptado Software ReliaSoft (2017)

Para as escovas E1, tem-se:

- Beta = 0,747477, para este valor de beta indica que a taxa de falha é decrescente ao longo do tempo, caracteriza como uma falha prematura;
- Eta = 17,01 (sem.), este valor indica a ocorrência de 63,2% das escovas falharão;
- Gama = 32,45 (sem.), indica que ocorreu um deslocamento positivo no eixo X, e que até este valor a confiabilidade da escova será 100%, ou seja, este valor de Gama indica que somente após a 32ª semana a escova terá sua probabilidade de falha iniciada, sua degradação.

Verificando os parâmetros acima, têm-se que o gama sofreu um deslocamento em X para a direita, é correto afirmar que a vida característica Eta neste caso será na semana 17,01, porém é necessário somar estes dois valores, sendo assim, 63,2% das falhas ocorrerão na semana 49,46, (Eta +Gama).

Figura 4.6 – Gráficos Medidas de Confiabilidade



Fonte: Adaptado Software ReliaSoft (2017)

A figura 4.6 apresentam as medidas da confiabilidade:

1. Gráfico Confiabilidade x Tempo;
2. Gráfico Probabilidade de Falha x Tempo;
3. Gráfico Função Densidade Probabilidade;
4. Gráfico Função Taxa de Falha.

Percebe-se em todos os gráficos acima que não ocorre falhas nas escovas E1 até a 32ª semana, aproximadamente, porém após este período a queda na confiabilidade (1) é significativa ao longo do tempo, enquanto sua taxa de falha (4) decresce ao longo do tempo, justificado pelo beta menor que um.

Este comportamento para as escovas se deve ao fato de que a substituição dos barramentos ocorrem menos frequentemente que as escovas, sendo assim, ao serem substituídas, ocorre um desgaste acentuado das escovas até que consigam absorver as imperfeições ao longo de todo barramento, outro fator que influencia consideravelmente é a pressão dada

pelas molas que mantem as escovas em constante contato com o barramento.

4.2.1 Dados Atuais x Dados Reais

Conforme já abordado no capítulo 1, no subtítulo 1.2 PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA, as escovas são substituídas quando as mesmas alcançam 2mm de desgaste, a determinação deste valor para troca não é clara, presumisse apenas que é uma atitude conservadora e pela dificuldade em realizar o reparo, substituição, caso a mesma venha a falhar, dificuldade não em realizar a manutenção e sim sob as condições do local em que isto se dará, figura 4.7, as dificuldades são relacionadas abaixo, como:

- ✓ Em qual trecho de toda extensão do circuito aéreo de portas;
- ✓ Local inseguro fora da zona de manutenção determinada;
- ✓ Acesso para realizar a manutenção.

Figura 4.7 – Apresentação Circuito Aéreo de Portas



Fonte: O Autor (2017)

A posição 1 mostra o circuito aéreo de portas, seu acesso e todas as partes que o compõem, na posição 2 apresenta a parte térrea da área de montagem e também as partes que a compõem. Ambas as posições 1 e 2 geram uma grande dificuldade de acesso devido suas estruturas e componentes que fazem parte do processo produtivo.

Figura 4.8 – Plano de Manutenção Preventiva para Balaceles

ORDEN DE TRABALHO PREVENTIVA			
Tarefa D A realizar		Prioridade média	TYPE 19782196
Atividade: 016MEPEL MAINT. PROG. 016 EL		1	3VPM02881
Tipo Atividade: 03 Preventiva sistemática			Class
Localidade:		Unidade:	CAC 021208
Modelo	Designação	Material	Quantidade
000000000	BALANCE PORTAS 48 BP	WIP0000	1000126
FT: YPR_R_WF_P30_P04_M4_BNA (Ativ) Process: PREPARAÇÃO SEGURANÇA (Ativ) Process: PREPARAÇÃO POK (Ativ) Process: POK TRANSPORTE (Ativ) Process: TRANSPORTE AEREO			
Operador: M01 MONTAGEN 1		Data prevista: 13/05/17	Quantidade: 25
Código de: 000017 0000		Plano de manutenção: 07 00000	
Especificação prevista: EL ELETRICO		Legendas: <input type="checkbox"/> Atividade em andamento / <input type="checkbox"/> Atividade concluída <input type="checkbox"/> Atividade em planejamento / <input type="checkbox"/> Atividade em execução	
RESPEITAR AS PRECIZAÇÕES DE SEGURANÇA			
<u>ACTIVIDADES</u>			
SUB CONSULTO / Elemento		Estado Previsto	
OP	Estado Mínimo Lógico	Período	
BAFO DIANTEIRO / SENSOR(ES)			
10	WEP CONTROLAR FIBRACAO (FENÇA M2)	16	<input type="checkbox"/>
CAIXA DE ESCOVAS / ESCOVAS(B)			
20	WEP CONTROLAR ALINHAMENTO (10-2MM)	16	<input type="checkbox"/>
CAIXA DE ESCOVAS / CONECTORES			
30	WEP CONTROLAR TORÇAO DOS BORNES	16	<input type="checkbox"/>
CAIXA DE ESCOVAS / ESCOVAS(B)			
40	WEP CONTROLAR DESSGASTE (SE = 0MM)	16	<input type="checkbox"/>

Fonte: O Autor (2017)

O plano de preventiva apresenta dados relevantes para este trabalho, como:

1. Periodicidade do plano de preventiva, neste caso, a realização ocorre a cada 16 semanas;
2. Equipamento o qual deverá ser realizado a manutenção;
3. Item que deverá ser executado a manutenção;

4. Execução e controle da tarefa, para esta situação, controlar desgaste e substituir se $> 8\text{mm}$.

Observando o comportamento do desgaste das escovas apresentado na figura 4.5 e considerando a vida BX% das escovas em 5%, isto significa, o valor do tempo t em que 5% das falhas ocorrerão, e com um nível de confiança bilateral de 95%, figura 4.9.

Figura 4.9 – Cálculo Vida BX%



Fonte: Adaptado Software ReliaSoft (2017)

O valor encontrado foi de 32,773 semanas, ou seja, neste tempo 5% das escovas terão falhado, e sua confiabilidade será de 95%, figura 4.10.

Figura 4.10 – Valor da Confiabilidade



Fonte: Adaptado Software ReliaSoft (2017)

Fazendo um comparativo entre o que é realizado no plano de preventiva, observa-se que a inspeção é realizada com 16 semanas de antecipação, onde a verificação do desgaste e a possível substituição poderá seguramente ser realizado com 32 semanas.

Segundo a figura 2.4, o fabricante estipula para este modelo de escova um desgaste permissível de até 7mm, então, atualmente ocorre uma

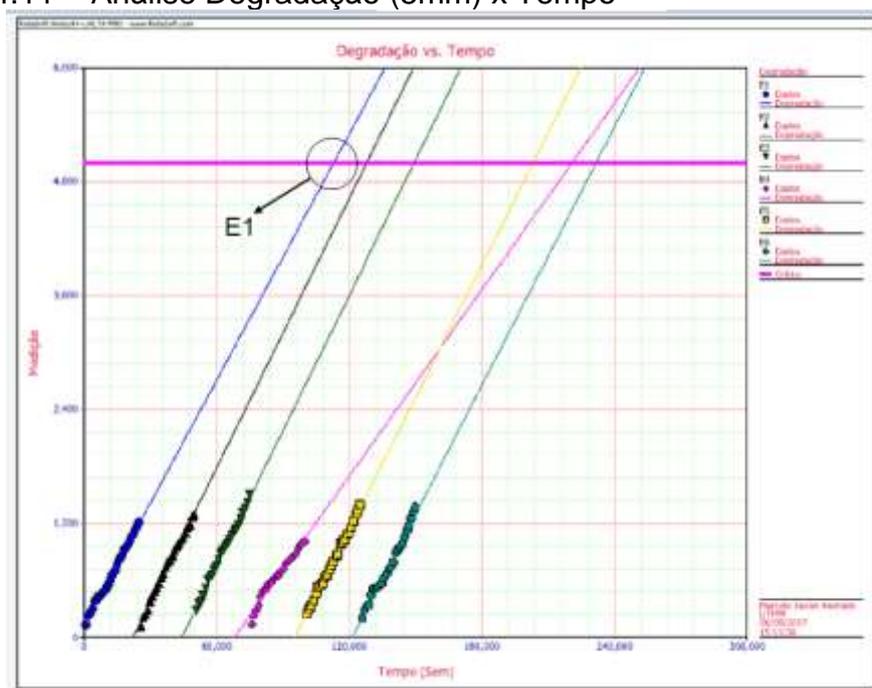
substituição prematura das escovas, também comprovada pelo cálculo de confiabilidade.

É interessante neste momento verificar a possibilidade e os ganhos se a substituição for realizada com desgaste de 5mm, mantendo ainda uma margem de 2mm no valor total estipulado pelo fabricante.

4.2.2 Análise da Escova E1 com Desgaste 5mm

Como neste item será realizado uma análise de degradação utilizando 5mm como degradação crítica, para isto foi utilizado novamente os dados da tabela 16 e verificar se a escova E1 ainda permanecerá como escova crítica dentro do conjunto.

Figura 4.11 – Análise Degradação (5mm) x Tempo



Fonte: Adaptado Software ReliaSoft (2017)

Como mostra a figura 4.11, a escova E1 continua sendo a escova crítica do conjunto, em comparação com a figura 4.3, ocorreu apenas uma mudança entre a escova E4 e E5, onde que para esta novo ponto de degradação crítico (5mm) a escova E5 apresenta desgaste mais prematuro que a escova E4.

O modelo de degradação e modelo de dados de vida que melhores se adequaram foram: Modelo Degradação Linear, Modelo de Dados de Vida Weibull 3 Parâmetros.

Analisando pontualmente a escova E1, os novos tempos até falha e os parâmetros Beta, Eta e Gama são demonstrados na tabela 19.

Tabela 19 – Tempos até Falha, Beta, Eta e Gama para Escova E1 (5mm degradação)

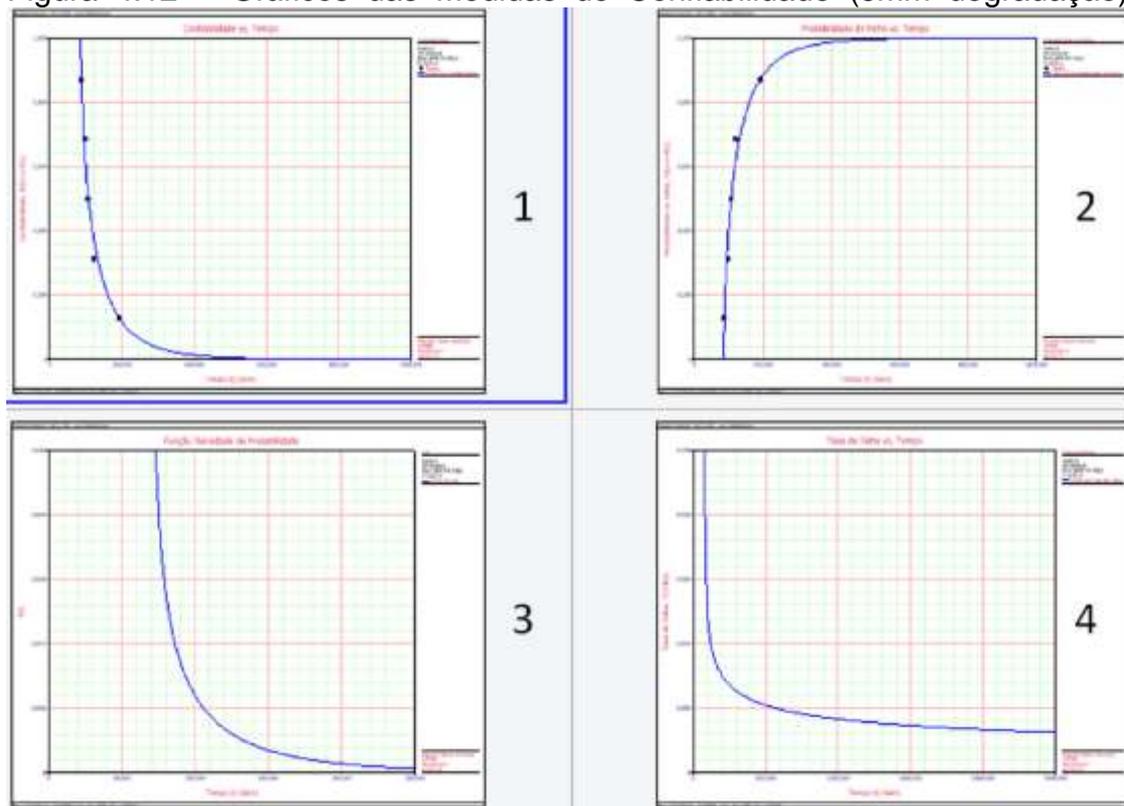
Dados Brutos			
Número do Item	Condição F ou S	Tempo até F ou S (Sem)	Subconjunto ID 1
1	F	86,15789474	E1-59
2	F	98,17647059	E1-43
3	F	106,4468085	E1-45
4	F	121,5365854	E1-27
5	F	192,3076923	E1-11
Beta	0,701754		
Eta (Sem)	38,685909		
Gama (Sem)	84,103947		

Fonte: Adaptado Software ReliaSoft (2017)

Esta nova configuração para degradação apresentou novos tempos até falha, onde em comparação com a tabela 18 houve um aumento significativo.

O parâmetro Beta teve seu valor diminuído, porém ainda tem como característica uma taxa de falha decrescente ao longo do tempo, para Eta ocorreu um aumento de aproximadamente 227,41% e o Gama obteve um acréscimo de 259,16%.

Figura 4.12 – Gráficos das Medidas de Confiabilidade (5mm degradação)



Fonte: Adaptado Software ReliaSoft (2017)

Observando as medidas de confiabilidade da figura 4.6 com as da figura 4.12 percebe-se que há semelhança entre elas, onde a confiabilidade diminui acentuadamente após a 84ª semana e sua taxa de falha decresce ao longo do tempo, a diferença entre elas está no parâmetro de vida característica Eta e no parâmetro de vida mínima Gama.

Mantendo os mesmos valores de confiabilidade 95% e o nível de confiança bilateral de 95% os valores foram os seguintes.

Figura 4.13 – Valores Vida BX% e Confiabilidade (5mm degradação)



Fonte: Adaptado Software ReliaSoft (2017)

A confiabilidade determinada foi de 84 semanas, a substituição prematura das escovas fica claro e evidenciada pela análise de degradação e a análise de dados de vida realizado, porém em conjunto com as informações dadas pelo fabricante em relação ao desgaste máximo aceitável para este modelo de escovas, lembrando que apenas foi utilizado um valor de degradação crítica de 5mm, com a utilização deste valor o ganho financeiro e tempo são uma realidade.

As escovas são itens não reparáveis, ou seja, uma vez alcançando o limite de desgaste ou ocorrendo uma falha, esta não poderá ser reparada, com isto o MTTF com degradação de 2mm e 5mm serão comparados a seguir.

Figura 4.14 – Tempo Médio até Falha Escova E1 (2mm degradação)



Fonte: Adaptado Software ReliaSoft (2017)

Figura 4.15 – Tempo Médio até Falha Escova E1 (5mm degradação)



Fonte: Adaptado Software ReliaSoft (2017)

O valor de MTTF para degradação de 5mm, figura 15 têm um aumento significativo de aproximadamente 252% em comparação a degradação de 2mm.

Porém ambos os valores de MTTF garantem com um nível de confiança de 95% um valor mínimo de 37 semanas para degradação 2mm, e 94 semanas para degradação de 5mm.

4.3 CONSUMO E CUSTOS DE ESCOVAS

Segundo os dados obtidos no setor de almoxarifado da empresa, o consumo e custos no ano de 2017 com escovas elétricas são apresentados na tabela 20, o consumo varia a cada mês devido a demanda de manutenção preventiva e a necessidade de substituição, quanto ao custo, a sua variação ocorre devido ser um produto importado, então o seu valor unitário depende da variação cambial.

Tabela 20 – Consumo e Custo de Escova Ano 2017

Mês	Consumo 2017 (peça)	Custo (R\$)
1	20	R\$ 4.825,10
2	30	R\$ 7.237,65
3	62	R\$ 14.957,81
4	30	R\$ 7.237,66
5	45	R\$ 10.856,49
6	55	R\$ 13.269,03
8	107	R\$ 25.391,10
9	40	R\$ 9.492,00
Σ	389	R\$ 93.266,84

Fonte: O Autor (2017)

Até o presente momento, conclusão deste trabalho, houve um consumo médio de 43 escovas mensais a um custo médio de R\$10.309,70 mensais.

Na tabela 21, apresenta a situação atual com o consumo de escovas, custos com escovas, custo homem/hora e custo com equipamento parado para realização manutenção.

Tabela 21 – Consumo e Custos para Situação Atual

Linha	Degradação. 2mm/sem análise	Dados
1	Situação Atual	16 sem
2	Quantidade Balancele	125
3	Quantidade Escovas/bal.	6
4	Repetições Preventiva/Ano	3
5	Total Escovas	2250
6	Valor Unitário Escova	R\$ 241,00
7	Total R\$	R\$ 542.250,00
8	Custo Homem/Hora (R\$)	R\$ 25,00
9	Tempo Execução (h)	1
10	Quantidade Bal./Ano	375
11	Custo Total HH/Ano	R\$ 9.375,00
12	Custo Balancele Parado/hora (R\$)	R\$ 143,00
13	Quantidade Bal./Ano	375
14	Custo Balancele Parado/Ano (R\$)	R\$ 53.625,00
15	Confiabilidade	Não Analisada
16	Custo total Balancele/Ano (R\$)	R\$ 605.250,00

Fonte: O Autor (2017)

Na linha 1 da tabela 21, apresenta a situação atual, a preventiva é realizada a cada 4 meses (16 semanas), então, o mesmo balacele é verificado três vezes no ano (linha 4). Para a linha 8 (custo homem/hora) o valor é aproximado, foi utilizado uma média, podendo este valor variar e assim alterar o seu custo, também para a linha 12 (custo balacele parado/hora) foi utilizado um valor aproximado.

Tabela 22 - Consumo e Custos para Estudo Proposto com Degradação 2mm

Linha	Degradação. 2mm/Estudo Proposto	Dados
1	Situação Proposta	32 sem
2	Balacele	125
3	Quantidade Escovas/bal.	6
4	Repetições Preventiva/Ano	2
5	Total Escovas	1500
6	Valor Unitário Escova	R\$ 241,00
7	Total R\$	R\$ 361.500,00
8	Custo Homem/Hora (R\$)	R\$ 25,00
9	Tempo Execução (h)	1
10	Quantidade Balacele/Ano	250
11	Custo Total HH/Ano	R\$ 6.250,00
12	Custo Balacele Parado/hora (R\$)	R\$ 143,00
13	Quantidade Balacele/Ano	250
14	Custo Balacele Parado/Ano (R\$)	R\$ 35.750,00
15	Confiabilidade	100%
16	Custo Total Balacele/Ano (R\$)	R\$ 403.500,00

Fonte: O Autor (2017)

Na tabela 22, linha 1, apresenta o tempo sugerido para substituição da escova, 32 semanas, tempo este definido pela escova crítica (E1) por meio da análise de degradação, como consequência deste tempo encontrado o número de repetição de preventiva para o mesmo balacele (linha 4) diminuiu para duas vezes, desta forma, o custo total em comparação ao custo apresentado na tabela 21 diminuiu em aproximadamente 33%.

Tabela 23 - Consumo e Custos para Estudo Proposto com Degradação 5mm

Linha	Degradação. 5mm/Estudo Proposto	Dados
1	Situação Proposta	84 sem
2	Balacele	125
3	Quantidade Escovas/bal.	6
4	Repetições Preventiva/Ano	1

5	Total Escovas	750
6	Valor Unitário Escova	R\$ 241,00
7	Total R\$	R\$ 180.750,00
8	Custo Homem/Hora (R\$)	R\$ 25,00
9	Tempo Execução (h)	1
10	Quantidade Balancele/Ano	125
11	Custo Total HH/Ano	R\$ 3.125,00
12	Custo Balancele Parado/hora (R\$)	R\$ 143,00
13	Quantidade Balancele/Ano	125
14	Custo Balancele Parado/Ano (R\$)	R\$ 17.875,00
15	Confiabilidade	100%
16	Custo Total Balancele/Ano (R\$)	R\$ 201.750,00

Fonte: O Autor (2017)

Para a tabela 23, foi considerado um valor de desgaste de 5mm, lembrando que este valor está dentro da tolerância de desgaste estipulado pelo fabricante, sendo assim, considerando o tempo de degradação fornecido pela escova crítica, o tempo obtido foi de 84 semanas (acima de um ano, 52 semanas), para os custos demonstrados na tabela 23 foi considerado a repetição preventiva/ano (linha 4) como sendo apenas uma vez, ou seja, a substituição realizada apenas uma vez ao ano, os custos diminuiriam em comparação ao valor total apresentado na tabela 21 em aproximadamente 67%.

Analisando as tabelas 21, 22 e 23 fica evidenciado o ganho financeiro obtido com a realização deste estudo, a estimativa de ganho mesmo que se mantenha o limite de desgaste de 2mm é de quase 40%.

4.4 SÍNTESE DOS RESULTADOS

A realização deste trabalho agregou importantes conceitos e conhecimentos da engenharia da confiabilidade dentro do processo produtivo ao qual está inserido o objeto de estudo, escovas elétricas.

Sua importância destaca-se desde a análise de vida de um item, componente a até a otimização de todo um processo produtivo, o conhecimento antecipado através de estimativas confiáveis norteadas pela engenharia da confiabilidade dão segurança na tomada de decisões, prever o que ainda não ocorreu talvez seja a parte interessante deste processo.

Contudo, a elaboração deste trabalho trouxe conhecimentos e informações suficientes sobre os dados de vida das escovas que até então eram desconhecidos, e devido esta falta de conhecimento fizeram com que as mesmas sejam substituídas e inspecionadas de forma conservadora, ou seja, deixando-a de ser utilizada de forma eficiente e como consequência sua troca prematura.

4.5 DIFICULDADES ENCONTRADAS

Vale ressaltar algumas dificuldades encontradas ao longo da realização deste trabalho, onde são destacadas abaixo:

1. O tempo para a realização das medições foi mencionado como dificuldade devido ao grande número de balanceles existentes, 130 balanceles, e as análises das escovas elétricas implicariam em desviar os balanceles previamente selecionados, ou seja, tempo de espera para o desvio do balancele no ponto correto para a retirada do fluxo de trabalho. Assim sendo, o tempo total entre desvio balancele e medição das escovas era de aproximadamente uma hora, e esta dificuldade se intensificava em ter que conciliar as medições das escovas com as minhas atividades cotidianas.
2. O número total de balanceles dentro do fluxo produtivo é de 125, determinar o número de amostras que representasse essa população ficou comprometida devido o tempo disponível para a realização das medições.
3. O custo para a realização das medições foi mencionado, pois para a realização das medições de desgaste as escovas foram substituídas, custo com tempo do balancele parado para medições, custo com mão de obra para realizar a atividade.
4. Os desgastes das escovas são irregulares, não linear, dificuldade em garantir a medição das escovas e sua repetibilidade.

Contudo, as dificuldades mencionadas foram superadas e a tratativa destas dificuldades seguem no próximo item.

4.6 SOLUÇÕES PARA AS DIFICULDADES ENCONTRADAS

As dificuldades foram tratadas como descrito a seguir:

1. Os tempos para desvios (retiradas do processo produtivo) e medições não foram solucionadas completamente, porém foram diminuídas ao máximo com o auxílio do turno anterior, ou seja, foi montado uma estratégia para o desvio diário de cada balacele selecionado de segunda a sexta, desviado o balacele do dia ao final do turno, desta maneira, iniciava o turno de trabalho com as medições e sua liberação ocorria em um tempo de aproximadamente 20 minutos.
2. A determinação do tamanho das amostras foi de difícil decisão, contudo dentro do tempo que havia disponível para as medições, manter o balacele inoperante; tempo disponível para o desvio de minhas funções, assim sendo, levando em consideração estes dois fatores foi definido um balacele por dia e com um menor impacto no processo produtivo possível, desta forma, foram determinados e liberados apenas cinco balaceles para este estudo com um período de medições de seis semanas. Em relação ao número de balaceles existentes talvez a quantidade definida não foi a ideal, porém foi com certeza o início de um estudo mais abrangente observando os resultados obtidos.
3. O custo também foi um ponto importante para a definição da quantidade de balaceles em análise, a proposta foi substituir as escovas dos balaceles selecionados por escovas novas, então, cada balacele há seis escovas em um total de cinco, nós daria o total de 30 escovas novas a um custo unitário de R\$ 241,00 aproximadamente, custo com escovas de R\$ 7230,00, para este problema foi selecionado os balaceles que

havia sido substituídas as escovas em preventiva próximo ao início das medições, ou seja, uma semana. O custo com balacele inoperante e custo com mão de obra também foram diminuídos consideravelmente conforme relatado no item 1 desta seção.

4. Para a medição das escovas cujo desgaste é irregular, foi criado um gabarito para que a medição seja mantida sempre no mesmo ponto, não ocorrendo variação na medição devido a inclinação e também garantindo a repetibilidade na medição, figuras 2.5 e 2.6.

4.7 SÍNTESES E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Este capítulo apresentou aspectos importantes para o estudo de caso proposto, onde demonstra a importância da coleta de dados para uma análise segura e confiável do comportamento do desgaste das escovas, os valores obtidos e analisados demonstraram a eficiência do método utilizado para a comparação entre o que é realizado atualmente com relação a manutenção preventiva das escovas e o que poderá ser melhorado em termos de novos tempos de inspeção e substituição.

As questões abordadas neste capítulo terá uma grande importância no auxílio para a determinação de uma nova estratégia na utilização das escovas elétricas, ou seja, as informações de confiabilidade obtidas e o conhecimento da estimativa de vida ao longo do tempo das escovas darão segurança nas tomadas de decisões.

Atualmente as escovas são utilizadas de forma ineficiente, pois a periodicidade para a execução e inspeção tem como consequência a parada de produção do balacele deixando-o improdutivo por certo período de tempo, com o conhecimento mais preciso de sua durabilidade a otimização no uso será mais assertivo e eficiente.

O capítulo seguinte trará a síntese deste trabalho, as repostas as questões abordadas nos capítulos anteriores serão respondidas de forma clara e objetiva, sendo o presente capítulo a base para estas repostas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização deste trabalho contribuiu para a avaliação do comportamento do desgaste das escovas, e determinar uma nova estratégia de substituição.

Ficou demonstrado que, os intervalos de inspeção e manutenção preventiva, são realizados em um período de tempo muito inferior ao tempo de vida que uma escova suporta, aproximadamente o dobro do tempo, e como consequência disto, a elevação considerável do custo anual na substituição das escovas.

Contudo, apenas analisando o comportamento da escova crítica, a mesma forneceu dados de que é possível utilizá-la o dobro do tempo em comparação do que é utilizada atualmente e como uma confiabilidade de 100%. O aumento da disponibilidade dos balaceles também ficou evidenciado na diminuição da repetição de preventivas/ano conforme apresentado nas tabelas 22 e 23, em que a redução dos custos e quantidade balacele parado ficou entre 33% para desgaste 2mm e 67% para desgaste de 5mm. O ganho mínimo demonstrado foi de 33% em comparação a ao plano atual de substituição demonstrando a importância deste estudo

Desta forma, a Análise dos Dados de Vida utilizada neste trabalho mostrou-se ser um método muito importante e eficiente a qual deve ser

largamente utilizada dentro da área de manutenção. Pois, permite estabelecer estratégias de manutenção baseada em dados estatísticos e tornando assim a tomada de decisões mais assertivas, um maior controle dos custos e gastos com manutenção e planos de manutenção adequados, elevando a disponibilidade dos ativos.

5.1 BENEFÍCIOS PARA EMPRESA

Os benefícios obtidos com a realização deste trabalho são apresentados abaixo:

- ✓ Conhecimento do tempo de desgaste das escovas;
- ✓ Estabelecer uma nova estratégia de manutenção para as escovas;
- ✓ Possibilidade de diminuição do custo com substituição das escovas/ano;
- ✓ Possibilidade de diminuição das escovas em estoque;
- ✓ A partir da escova crítica encontrada, verificar o estado do barramento desta escova;
- ✓ Melhorar a uniformidade do desgaste das escovas e/ou montar uma estratégia de inversão do lado de maior desgaste das escovas baseado no tempo de vida;
- ✓ Fomentar e ampliar o estudo para outros componentes ou equipamentos;

Um benefício não citado acima, porém fará a diferença em um contexto geral é a mudança de cultura com relação a manutenção e uma nova visão que a Engenharia da Confiabilidade fornece ao implementá-la.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Os resultados obtidos com a realização deste trabalho remete e incentiva a continuidade na análise de desgaste, se para este trabalho o tamanho da amostra definida foi um problema, a sugestão seria a de dar

seguimento ao estudo com um tamanho maior de amostras e confirmar o que neste trabalho foi demonstrado.

A extensão deste trabalho para os demais componentes do balancele de portas seria interessante para a definição do componente crítico e assim aumentar sua confiabilidade.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR – 5462 Confiabilidade e Manutenibilidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ABRISCO – Associação Brasileira de Análise de Risco, Segurança de Processos e Confiabilidade. Página eletrônica: <<http://www.abrisco.com.br/>>. Acesso em 25 jul. 2017.

COSTA, Mariana de A. **Gestão Estratégica da Manutenção: Uma Oportunidade para melhorar o Resultado Operacional**. 2013. 103 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora. 2013.

DÁVILA, Víctor H. L. **Principais Modelos Contínuos**. Campinas, São Paulo. 2016. Disponível em: <<http://www.ime.unicamp.br/~hlauchos/ModelosContinuos.pdf>>. Acesso em: 14 ago. 2017.

FOGLIATTO, Flávio S; RIBEIRO, João L. D. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

FREITAS, Ítalo. **Otimização do Tempo de Intervenção em Unidades Geradoras com Análise de Confiabilidade em Escovas**. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CONFIABILIDADE. 2003. Rio de Janeiro.

KNEZEVIC, Jezdimir. **Reliability, Maintainability and Supportability: A Probabilistic Approach**. England: McGraw-Hill, 1993.

LAFRAIA, João C. B. **Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobras, 2001.

MATOS, Paulo Z. de; ZOTTI, Daianne M. **Análise de Confiabilidade Aplicada À Indústria para Estimações de Falhas e Provisionamento de Custos**. 2010. 59 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Estatística). Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2010.

OLMOS, Marli. **Anfavea: Produção de Veículos Sobe 33,8% em maio e Venda Avança 16,4%**. Revista Valor Econômico. [on-line]. Edição 1: São Paulo: Globo, 2017, junho 2017. Disponível em: <
<http://www.valor.com.br/empresas/4994550/anfavea-producao-de-veiculos-sobe-338-em-maio-e-venda-avanca-164>>. Acesso em: 12 de jun. 2017.

PATRZYK, Rafael. **Análise de Vida Útil de Escovas Empregadas nos Circuitos de Força com Barramento Unipolar em Sistemas de Transportador Aéreo da linha de Produção Automotiva**. 2014. 103 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia em Materiais) – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento. Instituto de Engenharia do Paraná. Curitiba.

RELIAWIKI. Página eletrônica: <
http://reliawiki.org/index.php/Introduction_to_Life_Data_Analysis>. Acesso em 10 ago. 2017.