UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

RAFAELA GORETTI AGUIAR

ELABORAÇÃO DE UM APLICATIVO QUE VISA A OTIMIZAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE

JUIZ DE FORA
2018

RAFAELA GORETTI AGUIAR

ELABORAÇÃO DE UM APLICATIVO QUE VISA A OTIMIZAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Orientador: DSc., Luiz Henrique Dias Alves

Co-Orientador: DSc.Roberto Malheiros Moreira Filho

JUIZ DE FORA

2018

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração
automática da Biblioteca Universitária da UFJF,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Aguiar, Rafaela Goretti.
Elaboração de um Aplicativo que Visa a Otimização da Manutenção Centrada na Confiabilidade / Rafaela Goretti Aguiar. -- 2018.
91 p.

Orientador: Luiz Henrique Dias Alves
Coorientador: Roberto Malheiros Moreira Filho
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia, 2018.

1. Estado da arte. 2. Confiabilidade. 3. Aplicativo. I. Alves, Luiz Henrique Dias , orient. II. Moreira Filho, Roberto Malheiros , coorient. III. Título.

RAFAELA GORETTI AGUIAR

ELABORAÇÃO DE UM APLICATIVO QUE VISA A OTIMIZAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Aprovada em 26 de novembro de 2018.

BANCA EXAMINADORA

DSc., Luiz Henrique Dias Alves (Orientador)
Universidade Federal de Juiz de Fora

DSc. Roberto Malheiros Moreira Filho (Co-Orientador)
Universidade Federal de Juiz de Fora

DSc., Clarice Breviglieri Porto
Universidade Federal de Juiz de Fora

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus por sempre estar guiando e iluminando meu caminho.

Ao meu irmão, meu maior exemplo nessa vida, por estar sempre me incentivando e ajudando.

Aos meus pais por estarem sempre do meu lado e zelando por mim.

À minha família por todo apoio e amor.

Ao meu orientador Luiz Alves, pela confiança depositada em mim e pela orientação neste estudo, e ao meu coorientador Roberto Malheiros, por toda contribuição e incentivo.

E a todos, que de alguma forma, contribuíram para essa conquista.

RESUMO

O mercado atual exige cada vez mais que as empresas estejam em constantes mudanças e realizem ações diferenciadas, em um mundo marcado pelo avanço da tecnologia, da comunicação e da competitividade. Diante dessa realidade, pode-se verificar a importância da manutenção nesse cenário e a busca pelo conhecimento do estado da arte em manutenção, a confiabilidade, gera para as empresas, inegavelmente, um diferencial competitivo. Através de uma pesquisa com empresas de grande porte, líderes nos mercados em que atuam, verificou-se o quão distante elas estão de alcançar o estado da arte da manutenção. Aproveitando oportunidades nesse cenário, o presente trabalho apresenta métodos que podem otimizar a gestão de manutenção com foco em confiabilidade. Para tal, foi elaborado um aplicativo para Android. Sua validação foi feita por meio dessa mesma pesquisa, aprovando sua utilização pelas companhias.

Palavras-chave: Estado da arte, confiabilidade, aplicativo

ABSTRACT

The current market requires increasingly that companies are in constant change and carry out differentiated actions, in a world marked by the advancement of technology, communication and competitiveness. Faced with this reality, you can verify the importance of maintenance in this scenario and that the search for knowledge of the state of the art in maintenance, the reliability, it generates for companies, undeniably, a competitive differential. Through a research with large companies, leaders in the markets that work, it was verified how far they are from achieving the state of the art of maintenance. Taking advantage of opportunities in this scenario, the present work presents methods that optimize the maintenance management with a focus on reliability. For such, an Android application was developed. Its validation was made through this same research, approving their use by the companies.

Keywords: State of the art, reliability, application

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Manutenção 25
Figura 2 – Definição dos termos e fluxograma de preenchimento do formulário FMEA 35
Figura 3 – Probabilidade determinada, a partir da área sob f(x) 39
Figura 4 – Curva da Banheira: Classificação da função de risco 43
Figura 5 – Curva da banheira e a interferência de β 46
Figura 6 – Diagrama de dispersão de pontos de uma medição qualquer 49
Figura 7 – Fluxograma do desenvolvimento 52
Figura 8 – Layout das *Activitys* do Aplicativo 59
Figura 9 – Abertura *Activity* 60
Figura 10 – Lista *Activity* 61
Figura 11 – Calculo *Activity* 62
Figura 12 – Confiabilidade *Activity* 64
Figura 13 – Taxa *Activity* 65
Figura 14 – Existência de uma área de manutenção 66
Figura 15 – Tempo médio entre falhas 67
Figura 16 – Tempo médio para o reparo 67
Figura 17 – Distruibuição de atividades por tipo de manutenção 68
Figura 18 – Confiabilidade dos ativos 68
Figura 19 – OEE (Overall Equipment Effectivences) 69
Figura 20 – Utilização do RCM 69
Figura 21 – Utilização da Curva da Banheira 70
Figura 22 – Utilização da Distruibuição de Weibull 70
Figura 23 – Importância da Confiabilidade na Manuenção 71
Figura 24 – Impacto do custo na aplicação da confiabilidade na manutenção 71
Figura 25 – Interferência da cultura na implantação da confiabilidade na manutenção 72
Figura 26 – Utilização de um aplicativo que calcula a confiabilidade de um equipamento 72
Figura 27 – Tela de abertura 73
Figura 28 – Tela de selecionar a máquina 74
Figura 29 – Tela de cálculos 75
Figura 30 – Tela com os valores de parâmetro de forma e de escala 76
Figura 31 – Tela com a confiabilidade histórica 77

Figura 32 – Tela com a taxa de falha histórica e análise da fase da vida do equipamento 78
Figura 33 – Cálculo da Confiabilidade pelos parâmetros calculados no Aplicativo e no Minitab 80
Figura 34 – Cálculo da Taxa de Falhas pelos parâmetros calculados no Aplicativo e no Minitab 81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Evolução da Manutenção.....17
Tabela 2 – Critérios recomendados para avaliação de Severidade em DFMEA.....28
Tabela 3 – Critérios recomendados para avaliação de Severidade em PFMEA 29
Tabela 4 – Critérios recomendados para avaliação de Ocorrência em DFMEA.....30
Tabela 5 – Critérios recomendados para avaliação de Ocorrência em PFMEA 31
Tabela 6 – Critérios recomendados para avaliação de Detecção em DFMEA.....32
Tabela 7 – Critérios recomendados para avaliação de Detecção em PFMEA 33
Tabela 8 – Ferramentas Gestão da Manutenção.....38
Tabela 9 – Tempos até falha da máquina da empresa “ProduçãoP” 57
Tabela 10 – Valores da Confiabilidade Aplicativo x Minitab.....80
Tabela 11 – Valores da Taxa de Falhas Aplicativo x Minitab 82

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABRAMAN – Associação Brasileira de Manutenção

AGREE – Advisory Group on the Reliability of Electronic Equipment

α – Parâmetro de escala

β – Parâmetro de forma

Ca – Coeficiente angular

Cl – Coeficiente linear

DFMEA –Análise dos Efeitos e Modos de Falha

d_i – distancia vertical do ponta à linha reta

f(x) – Função densid ade de probabilidade

F(x) – Função distribuição cumulativa

FAB - Força Aérea Brasileira

FMEA – Failure Mode and Effect Analysis (Análise do Modo e Efeito da Falha)

H(t) – Função de risco ou Taxa de risco ou Taxa de falha

j – Número de ordem

λ – Taxa de falhas

MCC/RCM – Manutenção Centrada em Confiabilidade

μ – Taxa de reparo

MTBF - Tempo médio entre falhas

MTTF –Tempo médio até falha

n - Quantidade total de paradas

NASA – National Aeronautics and Space Administration

n_f – Quantidade de unidades que não falharam

NPR – Número de prioridade de riscos

n_s – Quantidade de unidades que falharam

n_0 – Número total de unidades

OEE – Overall Equipment Effectiveness

PFMEA – Análise de Modo e Efeitos de Falha

R(t) – Função de confiabilidade

S(t) – Estimadores

t – tempo

θ – Paramêtro de posição

TMPR – Tempo médio para reparo

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 14

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS 14
1.2 JUSTIFICATIVA 17
1.3 ESCOPO DO TRABALHO 18
1.4 ELABORAÇÃO DOS OBJETIVOS 19
1.5 DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA 19
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO 20

2. REVISÃO DE LITERATURA 21

2.1 TIPOS DE MANUTENÇÃO 21
2.1.1 MANUTENÇÃO CORRETIVA 21
2.1.2 MANUTENÇÃO PREVENTIVA 22
2.1.3 MANUTENÇÃO PREDITIVA 23
2.1.4 MANUTENÇÃO DETECTIVA 24
2.1.5 ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO 24
2.2 ANÁLISE DO TIPO E DO EFEITO DA FALHA (FMEA) 25
2.3 MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE 36
2.4 CONCEITOS ESTATÍSTICOS 38
2.4.1 VARIÁVEIS ALEATÓRIAS 38
2.4.2 FUNÇÃO DENSIDADE DE PROBABILIDADE 39
2.4.3 FUNÇÃO DISTRIBUIÇÃO CUMULATIVA 39
2.5 CONFIABILIDADE 40
2.5.1 EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA CONFIABILIDADE 40
2.5.2 MEDIDAS DE CONFIABILIDADE 41
2.5.2.1 FUNÇÃO DE CONFIABILIDADE (R(T)) 41
2.5.2.2 FUNÇÃO DE RISCO (H(T)) 42
2.5.2.2.1 CLASSIFICAÇÃO DA FUNÇÃO DE RISCO (H(T)) 43
2.5.2.3 TEMPO MÉDIO ATÉ FALHA (MTTF) 44
2.5.3 DISTRIBUIÇÃO DE TEMPO ATÉ FALHAS – DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL 45
2.5.3.1 ESTIMADORES F(T) 47

2.5.4 INDICADORES QUE AUXILIAM NA CONFIABILIDADE DA MANUTENÇÃO NAS EMPRESAS.....47
2.5.4.1 TEMPO MÉDIO ENTRE FALHAS (MTBF) 47
2.5.4.2 TEMPO MÉDIO PARA REPARO (TMPR) 48
2.5.4.3 *OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS* (OEE).....48
2.6 MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS 48
2.6.1 DEDUÇÃO DO MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS PARA O AJUSTE LINEAR 49
2.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 51

3. DESENVOLVIMENTO.....52

3.1 PESQUISA DE MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE 52
3.2 ESTRUTURAÇÃO DO RACIOCÍNIO PARA A PARTE DE CÁLCULO DO APLICATIVO 53
3.2.1 CÁLCULO DOS PARÂMETROS DE WEIBULL 53
3.2.1.1 ELABORAÇÃO GRÁFICO LINEARIZADO DOS DADOS AMOSTRAIS.....54
3.2.2 FORMULAÇÃO DA EQUAÇÃO DA RETA 55
3.2.3 CÁLCULO DA CONFIABILIDADE.....55
3.3 CRIAÇÃO DE UMA EMPRESA FICTÍCIA 55
3.4 COLETA DE DADOS DOS TEMPOS ATÉ FALHA.....56
3.5 FUNCIONALIDADE DO APLICATIVO 58
3.5.1 ABERTURA ANDROID STUDIO 58
3.5.2 ABERTURA *ACTIVITY* 59
3.5.3 LISTA *ACTIVITY*.....60
3.5.4 CALCULO *ACTIVITY* 61
3.5.5 CONFIABILIDADE *ACTIVITY* 63
3.5.6 TAXA *ACTIVITY*.....64

4. RESULTADOS.....66

4.1 QUESTIONÁRIO DA MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE 66
4.2 EXECUÇÃO DO APLICATIVO CONFOT 73

5. CONCLUSÃO.....83

REFERÊNCIAS.....84

APÊNDICE A – PESQUISA DE MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE 88

ANEXO A – TERMO DE AUTENTICIDADE .....ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Para que uma empresa evolua mais rápido que seus concorrentes, não basta ela estar apenas melhorando os seus indicadores. A mudança e exigência do mercado são constantes e ações que antes eram consideradas diferenciadas, como buscar o estado da arte ou mesmo manter seu parque industrial atualizado, passam a ser necessárias para a sobrevivência.

Diante dessa realidade e da constante automatização dos processos produtivos, a gestão da manutenção vem ganhando muita força no contexto industrial. Entanto, sua aplicação de modo eficaz, não diferente de outros processos produtivos, pode apresentar uma certa complexidade. Porém, se for de fato aplicada com eficácia, uma boa gestão da manutenção pode fazer a diferença em uma organização. (NASCIF; KARDEC, 2009).

Kardec e Nascif (2009) e Branco Filho (2008), abordam que o conceito de manutenção começou a ter relevância no mundo a partir de 1930 e ganhou uma expressiva importância com o decorrer dos anos. As fases de entendimento desse processo evolutivo ao longo da história, podem ser divididas em quatro gerações. A primeira geração iniciou-se em 1930, onde a preocupação com o nível de produção não era relevante e as indústrias eram precárias com pouca mecanização. Logo, a manutenção existia apenas como ideia de lubrificação das máquinas e reparo após a quebra das mesmas.

A segunda geração teve início nos anos 50, período após a Segunda Guerra Mundial e marcada pela Guerra Fria, em que inúmeros países estavam se reconstituindo e uma existência da corrida armamentista estava eclodindo com os principais protagonistas, Estados Unidos e União Soviética.

Esse cenário gerou uma grande demanda das indústrias, que apresentavam números de trabalhadores reduzidos, pelo grande número de trabalhadores mortos na guerra mundial. Além de se evidenciar pela primeira vez na história a necessidade de disponibilidade e de uma maior confiabilidade do processo produtivo, com o objetivo de atender essa demanda. Diante disso, a mecanização das indústrias cresceu significativamente (NASCIF; KARDEC, 2009).

Junto com a crescente mecanização das indústrias, aumentou-se a dependência em relação ao funcionamento das máquinas e a preocupação com as falhas que elas poderiam gerar, atrasando a produção. Essa preocupação estimulou a criação e adoção da manutenção preventiva, em que os equipamentos começaram a se comportar de acordo com a curva da

banheira, que será explicada mais adiante. Iniciando-se, dessa forma, a intervenção nos equipamentos feitas em intervalos fixos. (SELEME, 2015).

A terceira geração teve como princípio na década de 70, e foi marcada pelo desenvolvimento do conceito do *Just In Time*. Esse conceito corroborou para uma intensa preocupação de produção paralisada, de aumento dos custos e de qualidade da entrega dos produtos fossem criadas na época.

Apesar de a segunda geração apresentar uma necessidade inicial de confiabilidade, é na terceira geração que se ganha força nesse conceito. Qualquer coisa que pudesse tornar real a preocupação que eles tinham e o não atingimento da confiabilidade era inaceitável. Então buscou-se maneiras de impedir isso, introduzindo o conceito de manutenção preditiva.

A quarta geração teve início no final dos anos 90 e dura até os dias atuais. Nela continuou-se com os propósitos da terceira geração. No entanto, com algumas inovações, conceitos, entendimentos e adaptação ao cenário atual. Ela vem focando em reduzir falhas prematuras dos equipamentos, visando impedir possíveis paradas do processo produtivo que podem comprometer a produção, e por questões de segurança dos trabalhadores. Além da importância dada a percepção do entendimento e da ligação entre a gestão da manutenção e a estratégia da empresa, que vem sendo de grande relevância, juntamente com o gerenciamento dos seus ativos (COSTA, 2013).

Outra mudança na prática dessa geração é o aprimoramento da contratação ou da terceirização, buscando contratos mais estratégicos de longo prazo, em uma relação de parceria, com indicadores que medem os resultados que interessam ao negócio.

Os conceitos abordados sobre as quatro gerações estão resumidos na Tabela 1.

Kardec e Ribeiro (2002) acreditam que a manutenção tem que estar alinhada com os resultados empresarias da organização, para ser estratégica. Essa posição corrobora a visão de que a gestão da manutenção vem ganhando destaque no sentido, se bem aplicada e gerida, tornar-se um diferencial para as empresas, especialmente quando alinhada com as estratégias das mesmas.

Com o avanço da comunicação, da tecnologia e consequentemente do aumento da competitividade entre os mercados, o entendimento do tipo de manutenção que deve ser utilizada por cada ativo e o acompanhamento de medições por indicadores de desempenho, se tornam um diferencial positivo para a companhia.

Aproveitando oportunidades nesse cenário, essa pesquisa propõe, com base numa revisão bibliográfica, descrever o estado da arte em gestão de manutenção; avaliar por meio de

um questionário a confiabilidade da manutenção nas indústrias de destaque do sudeste brasileiro; e propor um aplicativo que contribui para otimização da manutenção centrada em confiabilidade nas indústrias, ampliando o acesso de informações técnicas ao alcance do chão de fábrica, no momento em que é usado.

Tabela 1: Evolução da Manutenção

Evolução da Manutenção				
	Primeira Geração	**Segunda Geração**	**Terceira Geração**	**Quarta Geração**
Aumento das expectativs em relação à Manutenção	Conserto após a falha;	Disponibilidade crescente; Maior vida útil do equipamento;	Maior confiabilidade; Maior disponibilidade; Melhor relação custo-benefício; Preservação do meio ambiente;	Maior confiabilidade; Maior disponibilidade; Preservação do meio ambiente; Segurança; Influir nos resultados do negócio; Gerenciar os ativos;
Visão quanto à falha do equipamento	Todos os equipamentos se desgastam com a idade e, por isso, falham;	Todos os equipamentos se comportam de acordo com a curva da banheira;	Existência de 6 padrões de falhas;	Reduzir drasticamente falhas prematura dos padrões A e F;
Mudanças nas técnicas de Manutenção	Habilidades voltadas para o reparo;	Planejamento manual da manutenção; Computadores grandes e lentos; Manutenção Preventiva (por tempo);	Monitoramento da condição; Manutenção Preditiva Análise de risco; Computadores pequenos e rápidos; Softwares potentes; Grupos de trabalho multidisciplinares; Projetos voltados para a confiabilidade; Contratação por mão de obra e serviços;	Aumento da Manutenção Preditiva e Monitoramento da Condição; Minimização nas Manutenções Preventiva e Corretiva não Planejada; Análise de Falhas; Técnicas de confiabilidade; Manutenibiidade; Engenharia de Manutenção; Projetos voltados para confiabilidade, manutenbilidade e Custo do Ciclo de Vida; Contratação por resultados;

Fonte: Adaptado de NASCIF e KARDEC, 2009.

1.2 JUSTIFICATIVA

O entendimento da importância da gama de informações e da expansão do tema na atualidade motivaram a elaboração desse trabalho. Percebe-se que a manutenção e sua gestão podem ser um diferencial para as empresas. No entanto, apesar de sua importância vir crescendo,

o tema ainda tem muito que se explorar no aspecto da busca pelo estado da arte da manutenção, e no número de suas aplicabilidades de alto grau de complexidade ser significativo devido à busca por métodos que otimizem a gestão de manutenção com foco em confiabilidade. Desta forma esse trabalho se justifica, visto que está totalmente alinhado com os objetivos da engenharia de produção, especialmente nas áreas de gestão e operações.

Em pesquisa feita pela autora, não foi encontrado nenhum aplicativo que calcula valores relacionados ao tema confiabilidade de uso rápido e fácil para a companhia, o que reforça o desenvolvimento desse trabalho.

1.3 ESCOPO DO TRABALHO

O trabalho inicialmente apresenta um referencial teórico abordando sobre a manutenção, sua gestão, alguns conceitos de probabilidade e confiabilidade, e por fim apresenta os métodos dos mínimos quadrados.

Posteriormente, ele é dirigido para o setor industrial, com a finalidade de levantar informações sobre as práticas da confiabilidade da manutenção nas empresas em um âmbito gerencial e verificar a viabilidade de elaboração de um aplicativo voltado ao conceito de confiabilidade da manutenção. Para alcançar esse propósito um questionário com treze perguntas foi aplicado e respondido por sete empresas da região sudeste do país.

Então, depois se caminha para a construção de um método que visa contribuir para a otimização da gestão da manutenção centrada em confiabilidade, voltado para cálculos considerados de elevada complexidade. Ele se dá através do desenvolvimento de um aplicativo, que se modela a partir da distribuição de *Weibull*, no cálculo dos seus parâmetros, da confiabilidade, da taxa de falhas históricas e da realização de uma análise da fase de vida que uma determinada máquina se encontra.

Os dados de entrada do aplicativo são os tempos até falhas de uma determinada máquina. Nesse trabalho, esses dados foram coletados de um equipamento da Força Aérea Brasileira (FAB) e no livro Confiabilidade e Manutenção Industrial de Fogliatto e Ribeiro (2011). No entanto, devido à restrição de divulgação, os dados da FAB não são expostos nessa pesquisa.

A criação e a manutenção de um servidor real não fazem parte do presente trabalho. Uma vez que, normalmente, os dados já se encontram em um servidor interno existente na companhia.

1.4 ELABORAÇÃO DOS OBJETIVOS

Esse trabalho tem como objetivo principal propor um modelo com foco em auxiliar na validação da confiabilidade na manutenção, que possa servir como orientação para as organizações melhorarem seu desempenho e gestão.

Para atender a esse objetivo principal propõe-se os seguintes objetivos específicos:

- Determinar por meio de uma revisão bibliográfica qual o estado da arte na gestão da manutenção com foco em confiabilidade;
- Avaliar com base em um questionário qual a importância da confiabilidade como estratégia organizacional e a viabilidade da construção de um aplicativo centrado em confiabilidade;
- Desenvolver um aplicativo que possa ser utilizado pelas organizações para a visualização da confiabilidade e taxa de falha histórica das máquinas da companhia, de forma a auxiliar na gestão da manutenção da mesma.

1.5 DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA

Essa pesquisa é de natureza aplicada, uma vez que seus resultados poderão ser aplicados como ferramenta de gestão manutenção. Quanto aos objetivos, são exploratórios, uma vez que busca propor um modelo otimizado de manutenção.

A pesquisa apresenta uma abordagem qualitativa, pois contará com a aplicação de um questionário envolvendo gestores que realmente aplicam a manutenção em suas organizações e por fim conta com a elaboração de um aplicativo que visa contribuir para otimização da manutenção centrada em confiabilidade das máquinas de uma determinada indústria, apresentando dessa forma uma abordagem também quantitativa.

Seu desenvolvimento se dá atendendo os itens a seguir:

A primeira parte da pesquisa é o referencial teórico, que apresenta como finalidade abranger conceitos que auxiliarão no entendimento da desenvoltura do trabalho;

A segunda parte é composta pela elaboração e aplicação do questionário da confiabilidade de manutenção nas empresas da região sudeste.

A terceira parte trata da elaboração do aplicativo que apresenta como foco a contribuição na otimização da confiabilidade de manutenção dos ativos de uma companhia.

A quarta parte apresenta a análise do resultado do questionário

A quinta parte constitui na análise dos resultados gerados pelo aplicativo, fazendo uma comparação de valores com o software Minitab, afim de verificar a precisão dos resultados do aplicativo.

A sexta parte mostra uma conclusão acerca dos objetivos do trabalho e agrega sugestões de trabalhos futuros.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está dividido em cinco capítulos. No primeiro capítulo, é apresentado a motivação da realização do mesmo, o seu escopo, seus objetivos e sua metodologia.

O segundo capítulo apresenta uma abordagem sobre o estado da arte em manutenção e os conceitos que auxiliarão no entendimento e darão suporte ao desenvolvimento da pesquisa.

O terceiro aborda todo o desenvolvimento prático da pesquisa, a elaboração e aplicação do questionário e o desenvolvimento do aplicativo.

O quarto capítulo trata dos seus resultados da pesquisa e dos valores retornados pelo aplicativo.

O quinto capítulo, é voltado para conclusão e sugestões de trabalhos futuros.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Essa sessão aborda conteúdos teóricos que serão de relevância para o desenvolvimento do trabalho.

2.1 TIPOS DE MANUTENÇÃO

O conceito de manutenção pode ser definido pela forma como é feita a intervenção nos equipamentos, sistemas ou instalações. Segundo Kardec e Nascif (2009), são classificados seis tipos principais de manutenção:

- Manutenção Corretiva: Não-Planejada e Planejada
- Manutenção Preventiva
- Manutenção Preditiva
- Manutenção Detectiva
- Engenharia de Manutenção

2.1.1 MANUTENÇÃO CORRETIVA

A manutenção corretiva pode ser caracterizada como a pioneira e a mais simples dentre os seis tipos. Na análise do contexto histórico verifica-se que apenas a sua atuação era existente até o decorrer da Segunda Guerra mundial. Uma vez que ela atendia satisfatoriamente o cenário mundial da época, que não apresentava prioridade em produtividade, as indústrias apresentavam equipamentos simples e era pouco mecanizada.

Segundo Kardec e Nascif (2009, p. 38), “manutenção corretiva é a atuação para a correção da falha ou do desempenho menor do que o esperado”. Dessa forma, a sua atuação acontece devido a ocorrência de uma falha ou pela identificação através de um programa de monitoramento de um problema, ou ainda pela perda de performance do equipamento, não atingindo a produtividade esperada.

A opção deste tipo de manutenção tem que levar em consideração os fatores econômicos, caso seja de menor custo que a manutenção preventiva, deve ser escolhida. Mas sem esquecer do fato de que a disponibilidade diminui e ocasiona perdas de produção, o que altera o custo real. O custo específico de manutenção corretiva é relativamente mais baixo que a preventiva, mas, pode ocasionar perdas. Por isso deve ser considerado os seguintes fatores: se existem

medidas preventivas que podem ser realizadas e, caso existam, se são economicamente viáveis, caso contrário a manutenção corretiva é adequada; se existe a possibilidade da falha ocorrer e causar longo tempo de interrupção, podendo trazer prejuízos para a empresa (XENOS, 1998).

Conforme citado por Nascif e Kardec (2009) as formas de manutenção corretiva podem ser:

- Manutenção Corretiva Não Planejada
- Manutenção Corretiva Planejada

A manutenção corretiva não planejada é aquela caracterizada por ser emergencial, ou seja, é aquela que irá corrigir uma falha quando a ocorrência for aleatória. A sua atuação é posterior ao fato ocorrido.

Na visão de custos ela pode aumentá-los devido a uma parada da produção ou pela substituição de máquinas e equipamentos pela ocorrência do problema.

A manutenção corretiva planejada, também conhecida como previsível, é segundo Kardec e Nascif (2009), a correção do desempenho menor que o esperado ou da falha, por decisão gerencial. Isto é, pela atuação em função de acompanhamento preditivo ou pela decisão de operar o equipamento até a sua quebra.

A escolha deve ser realizada diante da realidade da empresa, de acordo com um planejamento, uma vez que a escolha de operar um equipamento até a falha, tem como fator a queda de produtividade devido a diminuição de um desempenho de um equipamento e estar sujeito que o equipamento quebre em qualquer momento.

2.1.2 MANUTENÇÃO PREVENTIVA

No contexto histórico, o conceito e aplicabilidade de manutenção preventiva surgiu durante a Segunda Guerra Mundial, onde o cenário da época exigia produções cada vez maiores e enxutas. A partir de então que se começou a praticar o monitoramento de máquinas e equipamentos levando em consideração o tempo (BRANCO FILHO,2008).

Manutenção Preventiva é aquela moldada por um planejamento que leva em considerações intervalos de tempos com o objetivo de evitar ou reduzir o número de falhas ou queda no desempenho.

Segundo Xenos (1998) a manutenção preventiva consiste do seguinte:

1) Inspeções periódicas com medições de parâmetros dos equipamentos, a fim de monitorar sua degradação, verificar sinais de falha e de condições fora da normalidade.

2) Reformas regulares dos equipamentos, necessárias devido ao desgaste natural com o tempo.

3) Troca de equipamento regularmente, devido a desgaste natural com o tempo.

Xenos (1998) aborda sobre os benefícios que esse tipo de manutenção trás, como: redução de frequência das falhas, aumento das disponibilidades dos equipamentos e diminuição das interrupções não esperadas da produção. No entanto, Kardec e Nascif (2009), destacam que apesar dos benefícios que essa manutenção trás, para sua realização, das atividades que foram programadas, ela retira a máquina da operação. Assim, deve-se usar essa política de forma que ela seja adequada à realidade dos equipamentos e da empresa.

O desenvolvimento de planos de manutenção é baseado nos tempos de vida dos equipamentos, definido pelo fabricante do mesmo. A partir disso, consegue prever falhas que possam vir a acontecer nos equipamentos. Kardec e Nascif (2009) também ressaltam esse fato como algo que pode vir a ser negativo, uma vez que nem sempre os fabricantes irão fornecer dados precisos para a adoção nos planos de manutenção.

2.1.3 MANUTENÇÃO PREDITIVA

A Manutenção Preditiva teve marco inicial na década de 60, diante do cenário de avanços tecnológicos, de inovações de medição, controle, análise de falhas, e foco no aproveitamento de recursos disponíveis (COSTA, 2013).

“Manutenção Preditiva é a atuação realizada com base em modificação de parâmetro de condição ou desempenho, cujo acompanhamento obedece a uma sistemática” (KARDEC; NASCIF, 2009, p. 44). Esse tipo de manutenção é moldado pelo monitoramento periódico dos equipamentos e permite uma operação continua do equipamento por um período de tempo maior. Sua intensificação ocorre de acordo com o grau de tecnologia aplicada, uma vez que esta permite que uma avaliação mais confiável dos sistemas e instalações da empresa.

A manutenção preditiva apresenta como vantagens a redução dos custos de manutenção e dos prazos de fabricação, de forma a melhorar as condições de operação dos equipamentos, além de possibilitar a previsão de falhas (REIS, 2010). Mas Kardec e Nascif (2009) defendem que deve ser feita uma análise para a utilização desse tipo de manutenção.

2.1.4 MANUTENÇÃO DETECTIVA

A manutenção detectiva surgiu na década de 90, com a evolução tecnológica, surgimento de novas metodologias de controle e equipamentos de maior precisão. Ela é uma forma de atuação que opera em sistemas que apresentam como finalidade a proteção, de forma a buscar detectar falhas ocultas ou que não sejam perceptíveis aos colaboradores voltados para a operação e manutenção (ARAÚJO ; SANTOS, 2008).

A utilização desse tipo de manutenção passa a ser mais expressiva quando o processo é crítico e não aceita falhas (COSTA, 2013). Requer um time especializado e os equipamentos devem realmente necessitar ou justificar o emprego dessa abordagem. Uma área que emprega muito esse tipo de manutenção é a área de equipamentos laboratoriais.

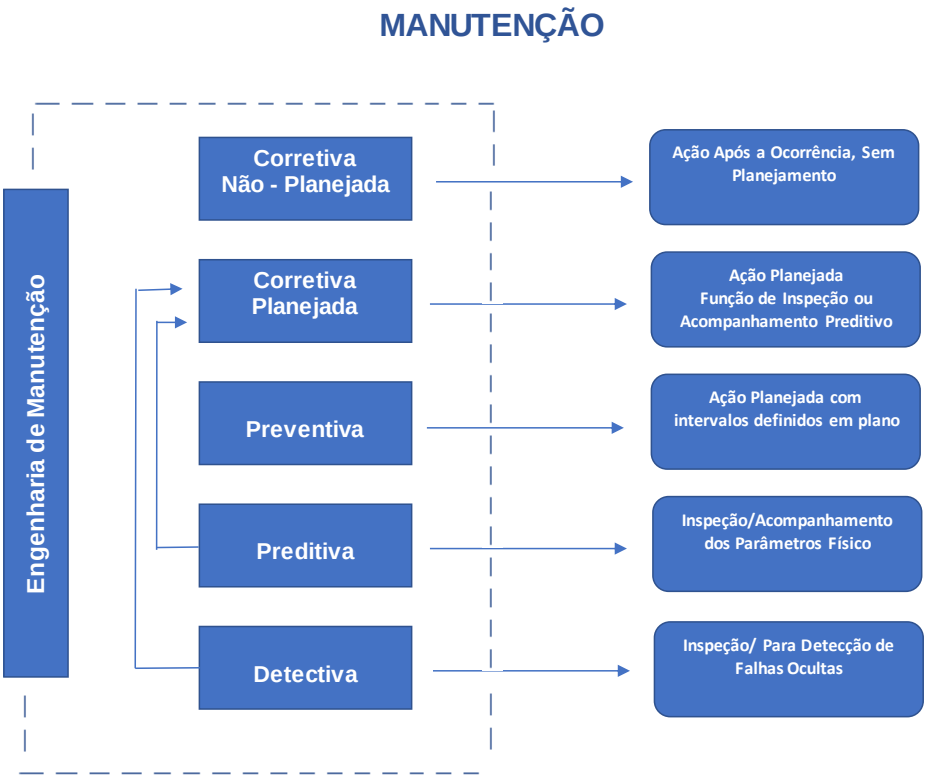
2.1.5 ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO

O conceito de engenharia de manutenção veio como um paradigma da manutenção. Ele é a otimização de todos os tipos de manutenção citados anteriormente, em que a identificação das causas raiz do problema, bem como a modificação de situações que reduzem o desempenho, e a aplicação de *feedbacks* do projeto, ajudam a evitar a necessidade de conserto contínuo dos equipamentos (ARAÚJO; SANTOS, 2008).

O sistema preditivo auxilia a engenharia de manutenção nas suas análises e propostas de melhoria. As técnicas estatísticas bem como as atuações constantes dos operadores por meio de observações e registros que facilitam a obtenção de informações também corroboram essa abordagem. Ou seja, ela utiliza dados adquiridos pela manutenção, visando a melhoria continua, com a finalidade de proporcionar o aumento da disponibilidade, confiabilidade, segurança, elaboração de planos de manutenção e acompanhamento de indicadores (KARDEC; NASCIF, 2009).

A Figura 1 resume os conceitos abordados até então.

Figura 1 – Manutenção



Fonte: Adaptado de KARDEC e NASCIF, 2009.

2.2 ANÁLISE DO TIPO E DO EFEITO DA FALHA (FMEA)

Com toda a evolução dos equipamentos e em especial da engenharia, a área de análise e prevenção de falhas, especialmente da indústria aeronáutica e automotiva peceberam a necessidade de atuar de forma mais analítica de modo a dar suporte a toda essa evolução. Desta forma várias ferramentas de análise e prevenção de falhas e melhoria do desempenho de equipamentos foram criadas. Dentre essas ferramentas destaca-se o FMEA-*Failure Mode and Effect Analysis* ou Análise do Modo e Efeito da Falha. (ASM Handbook, Failure Analisys and Prevenction, V.11, p. 30). O FMEA é uma metodologia analítica combinada (qualitativa e quantitativa) que apresenta como objetivo reconhecer e avaliar falhas potenciais de acontecimentos em um processo ou produto, seus efeitos e causas. De forma a identificar ações que possam reduzir a chance de sua ocorrência (RODRIGUES; MATSCHULAT; DORNELES; MUGGE, 2010). Ao aplicar essa metodologia, busca-se aumentar a confiabilidade do processo ou produto em estudo além de aumentar o MTBF (tempo médio entre falhas).

Segundo Gonçalves (2010), o FMEA surgiu em 1949 nos Estados Unidos para utilização em operações militares. Nos anos 60, a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) implementou o método para identificar potenciais falhas em sistemas, produtos e processos, seus efeitos, e assim definir ações para diminuir ou eliminar o risco associado diretamente a estas falhas. A utilização do método de forma abrangente só veio a ocorrer em 1977, quando a Ford Motors Company começou a usá-lo na fabricação de automóveis.

Toledo e Amaral (2006) abordam que existem dois tipos principais de FMEA, o de projeto, também conhecido como DFMEA, e o de processo, também conhecido como PFMEA. No DFMEA, são consideradas falhas que podem vir a ocorrer com o produto dentro das especificações do projeto. Já o PFMEA, são consideradas falhas no planejamento e execução do processo. Em ambos, as etapas e maneira de realização da análise é a mesma, diferenciando-se somente quanto ao objetivo. Mas, ambas as abordagens de FMEA podem ser empregadas pela engenharia de manutenção.

De acordo com Rodrigues, Matschulat *et al* (2010), a metodologia pode ser dividida em três etapas, são elas: Identificação dos riscos, priorização dos riscos e eliminação dos riscos.

Identificação dos riscos:

Iniciando o FMEA, na etapa identificação dos riscos, devem-se coletar os dados de entrada: a descrição do produto e a sua função. Finalizado o levantamento dos dados, o próximo passo é relacionar a eles todos os modos de falha (tipo de falha potencial) que possam vir a acontecer.

Para cada modo de falha que for identificado, deve-se relacionar os possíveis efeitos que a falha pode gerar para o cliente interno, que são as próximas operações do fluxograma de processo, e para o cliente externo, aquele que irá utilizar o produto. Posteriormente, deve-se identificar a causa ou condição que podem ser responsáveis pela ocorrência da falha.

Ao final dessa etapa, deve-se determinar os controles atuais, que são: controles de detecção, estes atuam detectando o modo de falha, e controles de prevenção de falhas, estes atuam nas causas, que estão implementados. (RODRIGUES; MATSCHULAT; DORNELES; MUGGE, 2010).

Priorização dos riscos:

Na segunda etapa, a etapa de priorização dos riscos, são definidos a severidade dos efeitos dos modos de falha, a ocorrência dos modos de falhas e a detecção das causas dos modos de falha.

A severidade é definida como aquela que sente o efeito potencial da falha, ela é um índice que possui escala de 1 a 10, sendo 1 o melhor resultado possível e 10 o pior resultado possível (ROSS; DIESEL; MORAES; ROSA, 2007). A Tabela 2 apresenta alguns critérios para a avaliação de severidade em DFMEA e a Tabela 3 em PFMEA.

Tabela 2: Critérios recomendados para avaliação de Severidade em DFMEA

Efeito	Critérios: Severidade do Efeito no Produto (Efeito no Cliente)	Classificação
Falha em Atender a Requisitos de Segurança e/ou Regulatórios	Modo de falha potencial afeta a operação segura do veículo e/ou envolve não-conformidade com regulamentação governamental, sem prévio aviso.	**10**
	Modo de falha potencial afeta a operação segura do veículo e/ou envolve não-conformidade com regulamentação governamental, com prévio aviso.	**9**
Perda ou Degradação de Função Primária	Perda de função primária (veículo inoperável, não afeta a operação segura do veículo).	**8**
	Degradação de função primária (veículo operável, mas com um nível reduzido de desempenho).	**7**
Perda ou Degradação de Função Secundária	Perda de função secundária (veículo operável, mas as funções de conforto/conveniência estão inoperáveis).	**6**
	Degradação de função secundária (veiculo operável, mas as funções de conforto/conveniência apresentam um nível reduzido de desempenho).	**5**
Incômodo	Aparência ou Ruído Audível, veículo operável, item não conforme e percebido pela maioria dos clientes (> 75%).	**4**
	Aparência ou Ruído Audível, veículo operável, item não conforme e percebido por muitos clientes (> 55%).	**3**
	Aparência ou Ruído Audível, veículo operável, item não conforme e percebido por clientes observadores (< 25%).	**2**
Nenhum efeito	Nenhum efeito perceptível.	**1**

Fonte: Manual do FMEA da AIAG, 4 ª edição

Tabela 3: Critérios recomendados para avaliação de Severidade em PFMEA

Efeito	Critérios: Severidade do Efeito no Produto (Efeito no Cliente)	Classificação	Efeito	Critérios: Severidade do Efeito no Processo (Efeito na Fabricação/Montagem)
Falha em Atender a Requisitos de Segurança e/ou Regulatórios	Modo de falha potencial afeta a operação segura do veículo e/ou envolve não-conformidade com regulamentação governamental, sem prévio aviso.	**10**	**Falha em Atender a Requisitos de Segurança e/ou Regulatórios**	Pode trazer perigo ao operador (de máquina ou montagem), sem prévio aviso.
	Modo de falha potencial afeta a operação segura do veículo e/ou envolve não-conformidade com regulamentação governamental, com prévio aviso.	**9**		Pode trazer perigo ao operador (de máquina ou montagem), com prévio aviso.
Perda ou Degradação da Função Primária	Perda da função primária (veículo inoperável, não afeta a operação segura do veículo).	**8**	**Interrupção Maior**	100% dos produtos podem ser refugados. Parada da linha de produção ou parada de embarque (expedição).
	Degradação da função primária (veículo operável, mas com um nível reduzido de desempenho).	**7**	**Interrupção Significante**	Uma parcela do lote de produção pode ser refugada. Desvio do processo primário, incluindo velocidade reduzida da linha de produção e acréscimo de mão de obra.
Perda ou Degradação da Função Secundária	Perda da função secundária (veículo operável, mas as funções de conforto/conveniência estão inoperáveis).	**6**	**Interrupção Moderada**	100% do lote de produção pode ser retrabalhado fora da linha e aceito.
	Degradação da função secundária (veículo operável, mas as funções de conforto/conveniência apresentam um nível reduzido de desempenho).	**5**		Uma parcela do lote de produção pode ser retrabalhada fora da linha e aceita
Incômodo	Aparência ou Ruído Audível, veículo operável, item não conforme e percebido pela maioria dos clientes (> 75%).	**4**	**Interrupção Moderada**	100% do lote de produção pode ser retrabalhado na estação, antes de ser processado.
	Aparência ou Ruído Audível, veículo operável, item não conforme e percebido por muitos clientes (> 55%).	**3**		Uma parcela do lote de produção pode ser retrabalhada na estação, antes de ser processado.
	Aparência ou Ruído Audível, veículo operável, item não conforme e percebido por clientes observadores (< 25%)	**2**	**Interrupção Menor**	Ligeira inconveniência para o processo, operação ou operador.
Nenhum efeito	Nenhum efeito perceptível.	**1**	**Nenhum efeito**	Nenhum efeito perceptível.

Fonte: Manual do FMEA da AIAG, 4 ª edição

A ocorrência é definida como aquela que classifica a probabilidade de a falha acontecer. Ela também é um índice que possui escala de 1 a 10, sendo 1 o melhor resultado possível e 10 o pior resultado possível (ROSS; DIESEL; MORAES; ROSA, 2007). A Tabela 4 apresenta alguns critérios para a avaliação de ocorrência em DFMEA e a Tabela 5 em PFMEA.

Tabela 4: Critérios recomendados para avaliação de Ocorrência em DFMEA

Probabilidade de Falha	Critérios: Ocorrência de Causa - DFMEA (Vida útil do Projeto / confiabilidade do item/veículo)	Critérios: Ocorrência de Causa - DFMEA (Incidentes por itens/veículos)	Classificação
Muito Alta	Nova tecnologia/novo projeto, sem histórico.	≥ 100 por mil ≥ 1 em 10	10
Alta	A falha é inevitável, com novo projeto/nova aplicação, ou alteração no ciclo de trabalho/condições operacionais.	50 por mil 1 em 20	9
	A falha é provável, com novo projeto/nova aplicação, ou alteração no ciclo de trabalho/condições operacionais.	20 por mil 1 em 50	8
	A falha é incerta, com novo projeto/nova aplicação, ou alteração no ciclo de trabalho/condições operacionais.	10 por mil 1 em 100	7
Moderada	Falhas freqüentes associadas a projetos similares, ou em simulação e testes de projeto.	2 por mil 1 em 500	6
	Falhas ocasionais associadas a projetos similares, ou em simulação e testes de projeto.	0,5 por mil 1 em 2,000	5
	Falhas isoladas, associadas a projeto similar, ou em simulação e testes de projeto.	0,1 por mil 1 em 10.000	4
Baixa	Somente falhas isoladas, associadas a projeto praticamente idêntico, ou em simulação e testes de projeto.	0,01 por mil 1 em 100.000	3
	Falhas não observadas, associadas a projeto praticamente idêntico, ou em simulação e testes de projeto.	≤ 0,001 por mil 1 em 1.000.000	2
Muito Baixa	A falha é eliminada por controle preventivo.	A falha é eliminada por controle preventivo	1

Fonte: Manual do FMEA da AIAG, 4 ª edição

Tabela 5: Critérios recomendados para avaliação de Ocorrência em PFMEA

Probabilidade de Falha	Critérios: Ocorrência de Causa - PFMEA (Incidentes por itens/veículos)	Classificação
Muito Alta	≥ 100 por mil ≥ 1 em 10	10
Alta	50 por mil 1 em 20	9
	20 por mil 1 em 50	8
	10 por mil 1 em 100	7
Moderada	2 por mil 1 em 500	6
	0,5 por mil 1 em 2.000	5
	0,1 por mil 1 em 10.000	4
Baixa	0,01 por mil 1 em 100.000	3
	≤ 0,001 por mil 1 em 1.000.000	2
Muito Baixa	A falha é eliminada através de controle preventivo.	1

Fonte: Manual do FMEA da AIAG, 4 ª edição

A detecção é definida como aquela que classifica qual é a probabilidade de identificar o modo de falha. Ela também é um índice que possui escala de 1 a 10, sendo 1 o melhor resultado possível e 10 o pior resultado possível (ROSS; DIESEL; MORAES; Rosa, 2007). A tabela 6 apresenta alguns critérios para a avaliação da detecção em DFMEA e a tabela 7 em PFMEA.

Tabela 6: Critérios recomendados para avaliação de Detecção em DFMEA

Oportunidade para Detecção	Critérios: Probabilidade de Detecção através do Controle de Projeto	Classificação	Probabilidade Detecção
Nenhuma oportunidade de detecção.	Nenhum controle de projeto atual. Não se pode detectar, ou não está analisado.	10	**Praticamente Impossível**
Improvável detectar em qualquer estágio.	Os controles de análise/detecção de projeto têm uma fraca capacidade de detecção. Análise Virtual (por exemplo, CAE, FEA, etc.) **não está correlacionada** às condições operacionais reais esperadas.	9	**Muito Remota**
Após o "Congelamento" do Projeto (momento a partir do qual não se deve mais modificar o projeto) e antes do lançamento	Verificação/validação do produto, após o "Congelamento" do Projeto e antes do lançamento, com ensaios **passa/falha** (testes de subsistema ou sistema, com critérios de aceitação tais como condução e manuseio, avaliação de transporte etc.).	8	**Remota**
	Verificação/validação do produto, após o "Congelamento" do Projeto e antes do lançamento, com ensaios de **teste para falhar** (testes de subsistema ou sistema, até que a falha ocorra, testes de interações de sistema etc.).	7	**Muito Baixa**
	Verificação/validação do produto, após o "Congelamento" do Projeto e antes do lançamento, com **ensaios de degradação** (testes de subsistema ou sistema após teste de durabilidade, por exemplo, verificação de função).	6	**Baixa**
Antes do "Congelamento" do Projeto	Validação do produto (ensaio de confiabilidade, testes de desenvolvimento ou validação), antes do "Congelamento" do Projeto, usando ensaios **passa/falha** (por exemplo, critérios de aceitação para desempenho, verificações de função etc.).	5	**Moderada**
	Validação do produto (ensaio de confiabilidade, testes de desenvolvimento ou validação), antes do "Congelamento" do Projeto, usando **teste para falhar** (por exemplo, até vazar, ceder, rachar etc.).	4	**Moderadamente Alta**
	Validação do produto (ensaio de confiabilidade, testes de desenvolvimento ou validação), antes do "Congelamento" do Projeto, usando **ensaios de degradação** (por exemplo, tendências de dados valores antes/depois etc.).	3	**Alta**
Análise Virtual – Correlacionada	Os controles de análise/detecção de projeto têm uma forte capacidade de detecção. Análise Virtual (por exemplo, CAE, FEA, etc.) **está altamente correlacionada** às condições operacionais reais esperadas antes do "Congelamento" do Projeto.	2	**Muito Alta**
Detecção não aplicável. Prevenção de Falha.	A causa de falha ou modo de falha não pode ocorrer porque foi totalmente prevenida através de soluções de projeto (por exemplo, padrão de projeto comprovado, melhor prática, ou material comum, etc.).	1	**Praticamente Certa**

Fonte: Manual do FMEA da AIAG, 4ª Edição

Tabela 7: Critérios recomendados para avaliação de Detecção em PFMEA

Oportunidade para Detecção	Critérios: Probabilidade de Detecção por Controle de Processo	Classificação	Probabilidade de Detecção
Nenhuma oportunidade de detecção.	Nenhum controle de processo. Não se pode detectar, ou não está analisado.	10	**Praticamente Impossível**
Improvável detectar em qualquer estágio.	Modo de falha e/ou Erro (Causa) não é facilmente detectável (por exemplo, auditorias aleatórias).	9	**Muito Remota**
Detecção do Problema Pós-Processamento	Detecção do modo de falha pós-processamento, pelo operador, através de meios visuais/táteis/audíveis.	8	**Remota**
Detecção do Problema na Origem	Detecção do modo de falha, na estação, pelo operador, através de meios visuais/táteis/audíveis, ou pós-processamento, através do uso de medição por atributo (passa/não-passa, verificação de torque manualmente/por chave de estalo etc.).	7	**Muito Baixa**
Detecção do Problema Pós-Processamento	Detecção do modo de falha, pós-processamento, pelo operador, através do uso de medição por variável, ou na estação, pelo operador, através do uso de medição por atributo (passa/não-passa, verificação de torque manualmente/por chave de estalo etc.).	6	**Baixa**
Detecção do Problema na Origem	Detecção do modo de falha ou Erro (Causa) na estação, pelo operador, através do uso de medição por variável, ou por controles automáticos na estação, que detectarão peças discrepantes e notificarão o operador (luz, campainha etc.). Medição realizada no setup e verificação da primeira peça (somente para causas de setup).	5	**Moderada**
Detecção do Problema Pós-Processamento	Detecção do modo de falha pós-processamento, por controles automáticos, que detectarão peças discrepantes e travarão a peça, para impedir processamento subseqüente.	4	**Moderadamente Alta**
Detecção do Problema na Origem	Detecção do modo de falha na estação, por controles automáticos, que detectarão peças discrepantes e automaticamente travarão a peça na estação, para impedir processamento subseqüente.	3	**Alta**
Detecção do Erro e/ou Prevenção do Problema	Detecção de Erro (Causa), na estação, por controles automáticos, que detectarão o erro e impedirão que a peça discrepante seja produzida.	2	**Muito Alta**
Detecção não aplicável. Prevenção do Erro.	Prevenção de Erro (Causa) como resultado do projeto do dispositivo de fixação, projeto da máquina, ou projeto da peça. Peças discrepantes não podem ser produzidas porque o item foi tornado à prova de erro, pelo projeto do processo/produto.	1	**Praticamente Certa**

Fonte: Manual do FMEA da AIAG, 4ª Edição

Definidos os valores dos índices de severidade, ocorrência e detecção, deve-se calcular o número de prioridade de riscos (NPR), sendo:

NPR= índice severidade x índice ocorrência x índice detecção

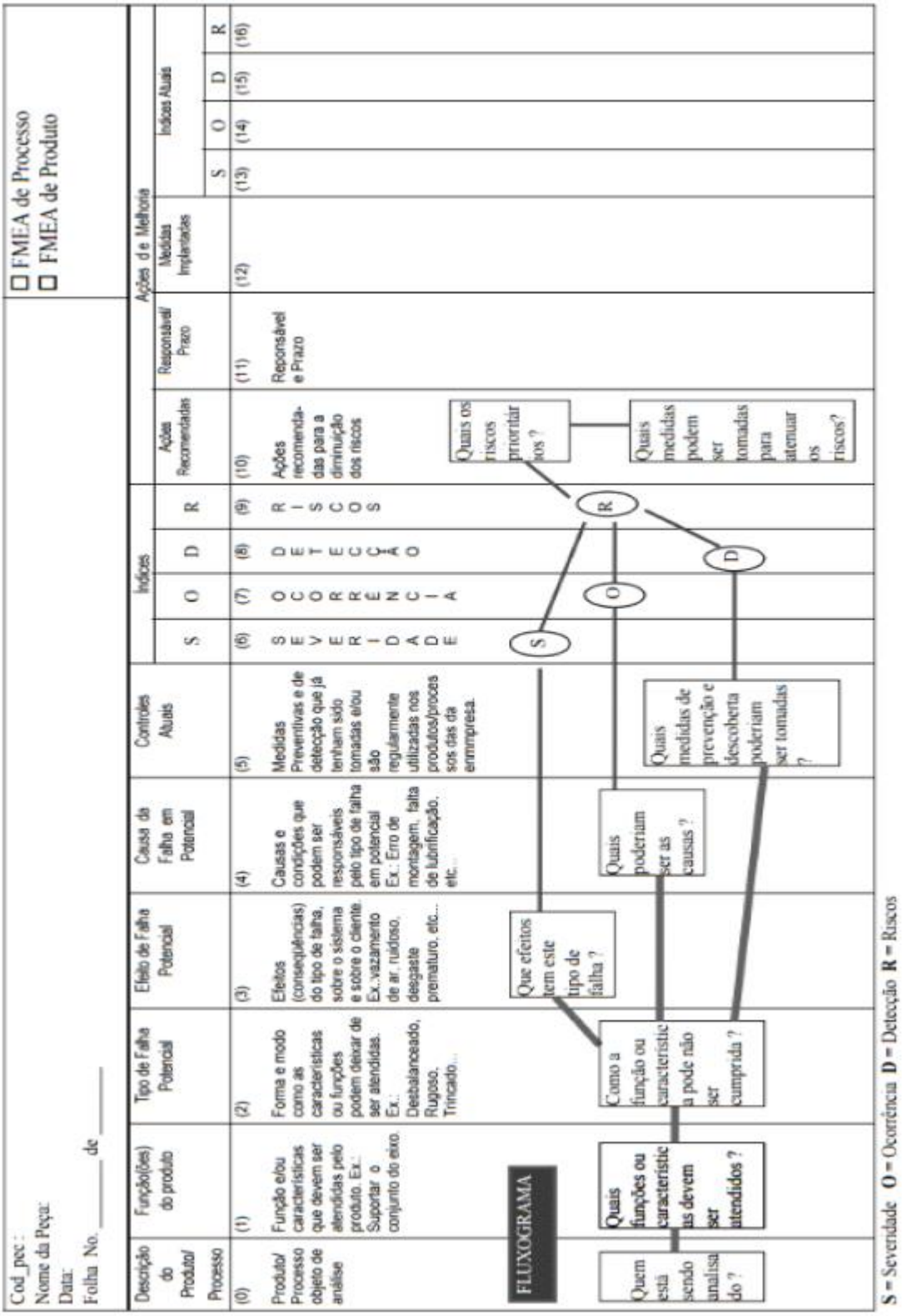
Eliminar ou Minimizar os Riscos

O objetivo da terceira e última etapa é a eliminação ou redução dos riscos. As ações para que isso ocorra devem ser realizadas com preferência nos ativos com maiores NPRs, de forma a reduzir a severidade, a ocorrência e a detecção, respectivamente.

Para a classificação dos riscos, existem três tipos de escalar. O risco pode ser aceitável, entre 1 a 64 (denominada faixa verde), médio entre 65 a 343 (denominada faixa amarela e alto entre 344 e 1000 (denominada faixa vermelha) (MIGUEL; SEGISMUNDO,2008).

Todas essas etapas podem ser verificadas no documento padrão do FMEA mostrado na Figura 2, ela apresenta um fluxograma com perguntas que auxiliarão no preenchimento do mesmo.

Figura 2 – Definição dos termos e fluxograma de preenchimento do formulário FMEA



Fonte: Toledo e Amaral, 2006

2.3 MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE

A Manutenção Centrada em Confiabilidade (RCM ou MCC) é uma metodologia que mensura e identifica a confiabilidade de uma sistema, equipamentos, máquinas e processos, propondo meios para o aumento da confiabilidade (MARCORIN; LIMA,2003). Ela visa garantir que os equipamentos de uma planta fabril irão continuar a realizar suas funções especificadas.

A RCM gera como benefícios o aumento dos lucros e redução de custos, através de menores custos com manutenção, de operação e apoio, menores chances de acidentes, menores paradas não programadas, diminuindo a chance de impactos na produção. Ela pode providenciar como benefícios soluções inovadoras para a indústria no sentido do aumento da produção, da flexibilidade, diminuição do tempo de entrega, cumprimento mais eficientes de questões de segurança e ambientais.

No desenvolvimento da metodologia RCM são feitas sete perguntas básicas sobre cada item em estudo:

1- Quais são as funções e padrões de desempenho do ativo no seu contexto atual de operação?
2- De que forma ele falha em cumprir sua função?
3- O que causa cada falha funcional?
4- O que acontece quando ocorre cada falha?
5- De que modo cada falha importa?
6- O que pode ser feito para predizer ou prevenir cada falha?
7- O que deve ser feito se não for encontrada uma tarefa proativa apropriada?

O desenvolvimento das respostas das perguntas básicas, podem ser desenvolvidas em sete passos (KRONER, 1999):

Passo 1- Selecionar a área do processo produtivo que será realizada a manutenção. Nesse passo serão levantados os ativos que serão submetidos a metodologia, levando em consideração o quanto os mesmos irão se beneficiar e se os recursos requeridos compensarão o investimento realizado.

Passo 2- Definir as funções e parâmetros de desempenho desejados. Deve-se definir o desempenho do ativo (máquina, equipamento), de forma a garantir que ele seja capaz de executar aquilo que foi planejado de ser executado.

Passo 3- Determinar as falhas funcionais:

As falhas podem ser definidas como falhas parciais e totais, aquelas definidas como perda completa da função do ativo; como falhas limites superiores e inferiores, são falhas que estão associadas a limites, fora do limite especificado elas acontecem; e como falhas no contexto operacional, que são as falhas que ocorrem durante a operação.

Neste passo, deve-se registrar e analisar as falhas funcionais dos ativos, classificando-as de acordo com o seu tipo. Isso auxiliará que a equipe de manutenção tenha mais conhecimento e controle dos equipamentos.

Passo 4 - Determinar o modo de falha, seus efeitos e consequências:

Nessa etapa, para a identificação de todos os modos de falhas que causam uma falha, seus efeitos e suas consequências, utiliza-se a metodologia de Análise de Modos de Falhas e Seus Efeitos (FMEA).

Passo 5 - Selecionar o tipo de manutenção: Após finalizar o FMEA, deve-se selecionar se a manutenção é baseada no tempo (manutenção preventiva), se é baseada na condição (manutenção preditiva) ou baseada em testes para descobrir a falha (manutenção detectiva) (LAFRAIA, 2001).

Passo 6 - Formular e implementar o plano de manutenção:

Após a formulação e implementação do RCM, deve-se reformular o plano já existente, inserindo novas atividades e eliminando outras (KRONER, 1999).

Passo 7 - Melhoria Contínua:

A aplicação do RCM é caracterizada pela melhoria contínua, em que as atividades passam por revisões periódicas, visando a redução das falhas, o aumento da qualidade da manutenção e a disponibilidade dos recursos.

A Tabela 8, apresentada pela Associação Brasileira de Manutenção (ABRAMAN), descreve como o investimento em gestão da manutenção vem crescendo no Brasil ao decorrer dos anos.

Tabela 8: Ferramentas Gestão da Manutenção

Ferramentas Utilizadas para Promover a Qualidade (% de Respostas)								
Ano	MCC	5S	FMEA	RCFA	CCQ	TPM (MPT)	6 Sigma	Outros
2013	19,25	23,26	16,31	17,91	-	12,83	10,43	0,00
2011	17,03	27,86	17,34	15,79	-	12,69	9,29	0,00
2009	16,48	28,74	14,94	16,09	-	13,03	10,73	0,00
2007	18,65	27,22	22,02	17,13	-	10,09	0,92	3,98
2005	15,20	41,18	-	-	10,78	15,69	7,35	9,80
2003	20,31	37,50	-	-	8,33	16,15	5,73	11,98
2001	17,35	37,90	-	-	11,42	14,61	-	18,72
1999	5,62	40,45	-	-	16,29	20,79	-	16,85
1997	2,89	46,24	-	-	12,14	18,50	-	20,23
1995	-	39,83	-	-	17,37	21,61	-	21,19

Fonte: ABRAMAN (Associação Brasileira de Manutenção), 2013

2.4 CONCEITOS ESTATÍSTICOS

Para o entendimento das medidas de confiabilidade que serão abordadas no próximo tópico (2.5), serão apresentados alguns conceitos estatísticos nessa seção.

2.4.1 VARIÁVEIS ALEATÓRIAS

Segundo Montgomery (2004), uma variável aleatória é uma variável numérica, cujo valor da sua medição pode variar de experimento para experimento. Ou seja, é uma variável quantitativa que o resultado depende de diferentes fatores aleatórios.

Existem dois tipos de variáveis aleatórias: as continuas e as discretas. Quando o conjunto de valores possíveis de uma variável aleatória X for finito ou infinito enumerável, a mesma é considerada discreta. Já a variável aleatória continua o conjunto de valores não é enumerável.

2.4.2 FUNÇÃO DENSIDADE DE PROBABILIDADE

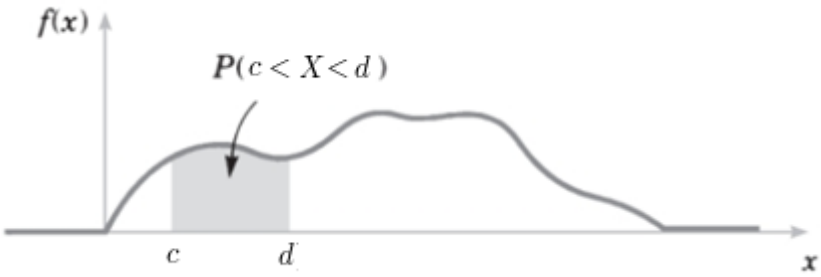
De acordo com Montgomery (2004), a distribuição de probabilidades, ou simplesmente distribuição de uma variável aleatória X, é uma descrição do conjunto das probabilidades associadas com os valores possíveis para X.

A função densidade de probabilidade f(x) de uma variável aleatória continua é usada para determinar probabilidades conforme mostrada por (1):

$$P(c < X < d) = \int_c^d f(x)dx \qquad (1)$$

A Figura 3 mostra graficamente a probabilidade a partir da área sob f(x):

Figura 3 – Probabilidade determinada, a partir da área sob f(x)



Fonte: Montgomery, 2004

2.4.3 FUNÇÃO DISTRIBUIÇÃO CUMULATIVA

Segundo Montgomery (2004), a função distribuição cumulativa de uma variável aleatória continua X, com função densidade de probabilidade f(x) é expressa por (2):

$$F(x) = P(X \leq x) = \int_{-\infty}^{x} f(u)du, \ para \ -\infty < x < \infty \qquad (2)$$

A função distribuição cumulativa F(x) pode ser relacionada à função densidade de probabilidade f(x) e pode ser usada para obter probabilidades, (3).

$$P(a < X < b) = \int_a^b f(x)dx = \int_{-\infty}^{b} f(x)dx - \int_{-\infty}^{a} f(x)dx = F(b) - F(a) \qquad (3)$$

2.5 CONFIABILIDADE

Lafraia (2014, p.1) define o conceito de confiabilidade como:

> "a probabilidade de que um componente, equipamento ou sistema exercerá sua função sem falhas, por um período de tempo previsto, sob condições de operação especificadas".

Já Leemis (1995) apud Fogliatto (2011, p. 2), conceitua como:

> a confiabilidade de um item corresponde à sua "probabilidade de desempenhar adequadamente o seu propósito especificado, por um determinado período de tempo e sob condições ambientais predeterminadas"

Diante das definições de Leemis (1995) e Lafraia (2014) verifica-se que a confiabilidade é a probabilidade do item em estudo não falhar, dessa forma seu valor deve estar no intervalo de 0 a 1 e as premissas de probabilidade também devem ser aplicadas a ela, ou seja, é a capacidade de um item executar a sua função, em um determinado de tempo sob condições operacionais estabelecidas.

2.5.1 EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA CONFIABILIDADE

A história da confiabilidade, de acordo com Knight (1991), teve início quando todos os mísseis V-1 desenvolvidos durante a Segunda Guerra Mundial falharam, explodindo antes do alvo. A partir desse acontecimento, o sistema operacional dos mesmos foram analisados, sendo proposto a lei da probabilidade de um produto com itens em séries, que determinava que a confiabilidade de um sistema em série é igual ao produto das confiabilidade de suas partes componentes.

Nos anos 60, o interesse do desenvolvimento de misseis intercontinentais e na pesquisa espacial pelos norte-americanos, além da corrida para ser o primeiro país a enviar uma missão tripulada à lua, motivaram os avanços na área de confiabilidade. Nestes anos o conceito de confiabilidade se expandiu significativamente, em que vários livros-texto sobre confiabilidade foram publicados.

Em 1963, surgiu nos Estados Unidos a primeira associação de engenheiros de confiabilidade. Posteriormente, este comitê se transformou num grupo permanente chamado *Advisory Group on the Reliability of Electronic Equipment* (AGREE).

Já na década de 70, a confiabilidade esteve centrada na análise dos riscos associados na construção e operação de usinas nucleares. Nessa mesma época, a sua aplicação em diversas

áreas se consolidou, como na área de qualidade, análises de risco e segurança, otimização da manutenção, proteção ambiental, projeto de produtos.

2.5.2 MEDIDAS DE CONFIABILIDADE

Neste tópico são abordadas três medidas de confiabilidade, a função de confiabilidade R(t), a função de risco H(t) e o tempo médio até falha (MTTF). Essas medidas são abordadas para unidades não reparável.

Para o entendimento das medidas, é necessário o entendimento do conceito "tempo até falha", definido por Fogliatto e Ribeiro (2011) como o tempo transcorrido desde o momento em que a unidade é colocada em operação até a sua primeira falha. Ele será definido como a variável aleatória T, em que se convenciona o início da operação do sistema como T=0.

No proposto trabalho o tempo até falha será adotado como uma variável que se distribui continuamente, com função de distribuição (4).

$$F(t) = P(T \leq t) = \int_0^t f(u)du, \;\; t > 0 \tag{4}$$

Ou seja, F(t) indica a probabilidade de falha de alguma unidade em um tempo menor ou igual a t. E com densidade de probabilidade definida em (5).

$$f(t) = F'(t) = \frac{d}{dt}\, F(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{\Delta t} \;\; = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{P(t < T \leq t + \Delta t)}{\Delta t} \tag{5}$$

2.5.2.1 FUNÇÃO DE CONFIABILIDADE (R(T))

Segundo Fogliatto e Ribeiro (2011), a função de confiabilidade tem como o objetivo informar a probabilidade da unidade não apresentar falha (sucesso na operação) no intervalo de tempo determinado.

Em um ambiente operacional, uma amostra é composta por n_0 unidades idênticas submetida a testes em condições que já foram definidas. Transcorrido o tempo t, observa-se uma determinada quantidade de unidades falharam, n_f(t), e outras unidades não falharam,

chamando-as de sobreviventes, n_s (t). Como a função de confiabilidade (R(t)) é definida pela probabilidade acumulada de sucesso, tem-se:

$$R(t) = \frac{n_s\ (t)}{n_0}, t \geq 0 \tag{6}$$

Sendo n_0 igual ao número total de unidades, ou seja, as unidades que falharam mais as unidades que tiveram sucesso:

$$R(t) = \frac{n_s(t)}{n_0} = \frac{n_s(t)}{n_s(t) + n_f(t)} = \frac{n_s(t) + n_f(t) - n_f(t)}{n_s(t) + n_f(t)} = 1 - \frac{n_f(t)}{n_s(t) + n_f(t)} = 1 - \frac{n_f(t)}{n_0}, t \geq 0 \tag{7}$$

A função de confiabilidade de um tempo t, pode ser expressa como segue (8):

$$R(t) = P(T > t) \tag{8}$$

Já a função de distribuição de T, F(t), é o complemento de R(t), sendo expressa como (9):

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - \int_0^t f(u)du = \int_t^{+\infty} f(u)du \tag{9}$$

2.5.2.2 FUNÇÃO DE RISCO (H(T))

A função de risco ou também chamada de taxa de risco ou taxa de falhas, segundo Fogliatto e Ribeiro (2011) pode ser interpretada como como a quantidade de risco associada a uma unidade de tempo t. A 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.

A probabilidade de falha entre t e t + Δt, dada por (10):

$$P(t \leq T \leq t + \Delta t) = \int_t^{t+\Delta t} f(u)du = R(t) - R(t + \Delta t) \tag{10}$$

A partir do conceito de probabilidade condicional, de forma a condicionar o evento de a unidade estar operando no tempo t, obtém-se (11):

$$P(t \leq T \leq t + \Delta t | T \geq t) = \frac{P(t \leq T \leq t + \Delta t)}{P(T \geq t)} = \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{R(t)} \tag{11}$$

A taxa de falha média no intervalo (t, t + Δt) é obtida dividindo a equação acima por Δt. A função de risco H(t) (12), que é a taxa média instantânea, é obtida considerando Δt → 0:

$$H(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{R(t)\Delta t} = \frac{-R(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{R(t)}, t \geq 0 \qquad (12)$$

A unidade de H(t) é de falhas por unidade de tempo.

A função acumulada é definida como (13):

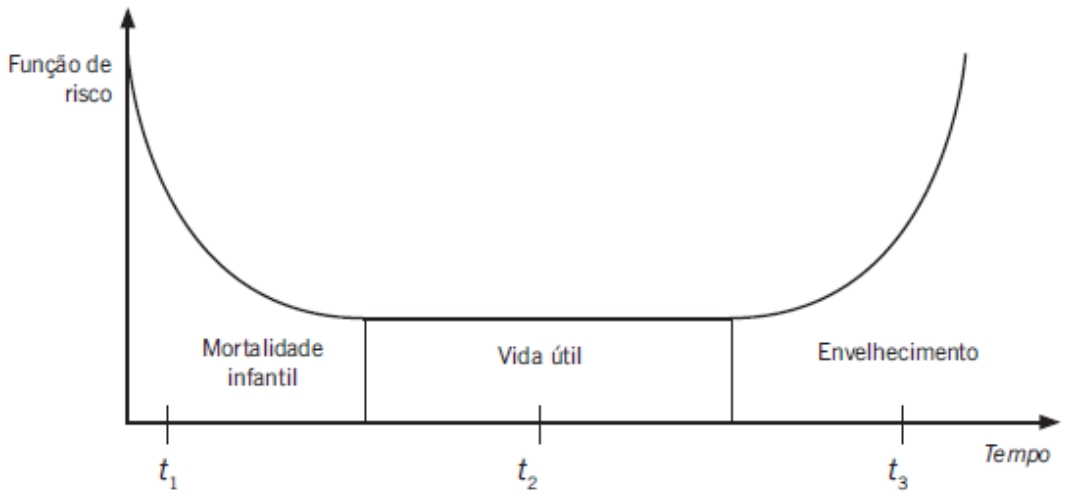
$$H(t) = \int_0^t h(u)du, t \geq 0 \qquad (13)$$

A classificação que será mostrada no subitem 2.5.2.2.1 não pode ser realizada pela função acumulada, uma vez que ela não se apresentará na forma de uma função decrescente.

2.5.2.2.1 CLASSIFICAÇÃO DA FUNÇÃO DE RISCO (H(T))

A forma da função de risco expressa a maneira como a unidade em estudo envelhece, conforme pode ser verificado na curva da banheira. A função do risco é classificada em decrescente ou fase de mortalidade infantil, constante ou fase de vida útil e crescente ou fase de envelhecimento. A Figura 4, adaptada de Sellitto (2005), mostra de forma esquemática o desempenho de um ativo ou equipamento desde o seu início de operação.

Figura 4 – Curva da Banheira: Classificação da função de risco



Fonte: Adaptado – Sellitto, 2005

A fase de mortalidade infantil pode estar relacionada a erros de fabricação, problemas em componentes novos, acomodações dos componentes, problemas de projeto, falta de adaptação da equipe de manutenção ou falta de habilidade operacional. Na fase de vida útil, existe pouca variação da quantidade das falhas. O item em estudo se encontra em uma fase de maturidade, em que as causas de falhas são advindas de fatores externos do ambiente de operação. Já a fase de envelhecimento, indica a fase de mortalidade senil do item em estudo, representando o fim da vida útil (SELLITTO, 2005).

2.5.2.3 TEMPO MÉDIO ATÉ FALHA (MTTF)

O tempo médio até falha de uma unidade, designado por MTTF (do inglês: *mean time to failure*), pode ser definida como (14):

$$MTTF = \int_0^{+\infty} R(t)dt \tag{14}$$

Demonstração:

O MTTF é o valor esperado da variavel T, então

$$MTTF = E(T) = \int_0^{+\infty} tf(t)dt \tag{15}$$

Sendo $f(t) = -R'(t)$, MTTF pode ser escrita como:

$$MTTF = -\int_0^{+\infty} tR'(t)dt \tag{16}$$

Integrando por partes, obtem-se:

$$MTTF = -[tR(t)]_0^{\infty} + \int_0^{+\infty} R(t)dt \tag{17}$$

Se o $MTTF < \infty$, $[tR(t)]_0^{\infty} = 0$. Logo,

$$MTTF = \int_0^{+\infty} R(t)dt \tag{18}$$

2.5.3 DISTRIBUIÇÃO DE TEMPO ATÉ FALHAS – DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL

A definição mais comum de confiabilidade de um ativo é dada em termos de sua probabilidade de sobreviver até um determinado tempo t. A obtenção dessa probabilidade é possível através da modelagem dos tempos até falha da unidade em estudo. Conhecendo a distribuição de probabilidade que melhor se ajusta a esses tempos, é possível estimar a confiabilidade para qualquer tempo t, bem como as outras medidas de confiabilidade apresentadas na seção anterior (FOGLIATTO ; RIBEIRO,2011).

Segundo Lafraia (2001), a distribuição de probabilidade de Weibull é apropriada à modelagem de tempos até a falha, apresentando funções de risco constante estritamente crescente e estritamente decrescente.

Devido a sua flexibilidade e capacidade de representação de amostras de tempos até falha com comportamentos diversos, é uma das principais distribuições no cálculo da confiabilidade (FOGLIATTO ; RIBEIRO, 2011).

O primeiro modelo proposto da distribuição de Weibull por Waloddi Weibull (1951) apud Fogliatto e Ribeiro(2011. P.29) foi o da distribuição triparamétrica, como é apresentado em (19):

$$f(t) = \frac{\beta}{\alpha}(\frac{t-\theta}{\alpha})^{\beta-1} e\exp[-(\frac{t-\theta}{\alpha})^{\beta}] \tag{19}$$

A equação 19, apresenta três parâmetros: O θ, conhecido como parâmetro de posição; o α, como de parâmetro de escala; e o β chamado de parâmetro de forma.

Quando θ é igual a zero, (19) assume um caso especial, chamado de distribuição bi-paramétrica. A função densidade de falha da distribuição de Weibull passa a ser definida como (ALLAN; BILLINTON,1992 & JIANG; MURTHY; XIE, 2008):

$$f(t) = \frac{\beta . t^{\beta-1}}{\alpha^{\beta}} \exp[-(\frac{t}{\alpha})^{\beta}] \tag{20}$$

A partir de (20), é definido a função confiabilidade, a função de risco e o tempo médio até a falha representadas, respectivamente, por (21), (22) e (23):

$$R(t) = \exp[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta}] \tag{21}$$

$$\lambda\,(t) = \frac{\beta . t^{\beta-1}}{\alpha^{\beta}} \tag{22}$$

$$MTTF = t_0 + \theta . \Gamma(1 + \frac{1}{\beta}) \tag{23}$$

Sendo T(x) calculado como $\Gamma(x) = (x - 1)!$ (24)

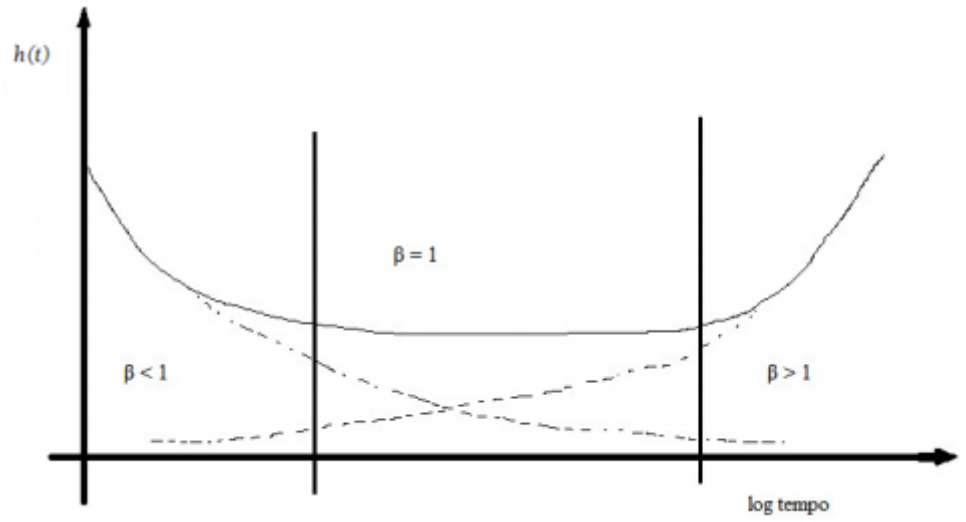
Em que t_0 é o tempo até a falha inicial, t é o período de vida útil, como exemplo o tempo de funcionamento.

O fator de forma está ligado ao comportamento da função da taxa de falhas, sendo:

- β< 1: Mortalidade infantil
- β = 1: Maturidade
- β> 1: Mortalidade senil

E podemos ver graficamente, a partir da curva de banheira, explicada na sessão 2.5.2.2.1, o seu comportamento na Figura 5.

Figura 5 – Curva da banheira e a interferência de β



Fonte: Adaptado Lafraia, 2001

2.5.3.1 ESTIMADORES F(T)

Devido a dificuldade de se encontrar a probabilidade acumulada de falha $(F(t))$ de cada tempo coletado na distribuição de Weibull, existem propostas de estimadores para $F(t)$. Assim, um campo de estudo na literatura, é a precisão dos mesmos (VIEIRA, 1989).

Entre os estimadores $(S(t))$ em estudo, se destacam o estimador de Johnson, de Benard, de Kaplan e de KaplanMeier, apresentados, respectivamente, por (25), (26), (27) e (28).

$$S(t) = \frac{j}{(n+1)} \tag{25}$$

$$S(t) = \frac{(j-0{,}3)}{(n+0{,}4)} \tag{26}$$

$$S(t) = \frac{(j-0{,}5)}{n} \tag{27}$$

$$S(t) = \frac{j}{n} \tag{28}$$

Em que j é posição da ocorrência da parada devido a falha (número de ordem). E n é a quantidade total de paradas.

2.5.4 INDICADORES QUE AUXILIAM NA CONFIABILIDADE DA MANUTENÇÃO NAS EMPRESAS

Indicadores de desempenho apresentam como função a busca pela garantia que os resultados estejam em conformidade com os requisitos de desempenho da produção, são elementos-chaves.

Nesse subitem são abordados quatro indicadores de manutenção que dão suporte no gerenciamento da confiabilidade dos ativos da companhia.

2.5.4.1 TEMPO MÉDIO ENTRE FALHAS (MTBF)

O tempo médio entre falhas é uma medida que se refere à vida inédita de uma população (KARDEC; NASCIF, 2009).

Ele é calculado pela soma dos valores de tempo observados sem a ocorrência de falhas e o número de observações. Ou pelo inverso da taxa de falhas, conforme apresentado em (29).

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \tag{29}$$

2.5.4.2 TEMPO MÉDIO PARA REPARO (TMPR)

O TMPR está ligado a performance da manutenção (KARDEC; NASCIF,2009). Ele é calculado pelo inverso da taxa de reparo (μ).

$$\mu = \frac{número\ de\ reparos\ efetuados}{tempo\ total\ de\ reparo\ da\ unidade} \tag{30}$$

$$TMPR = \frac{1}{\mu} \tag{31}$$

2.5.4.3 *OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS* (OEE)

O OEE é um indicador que apresenta como finalidade analisar a eficiência (global) dos equipamentos, buscando a melhora do desempenho por meio do aumento da disponibilidade, da qualidade e da performance, alinhado às estratégias de manutenção da companhia.

Melhorar esse indicador acarretará no aumento da qualidade, da produtividade, da satisfação do cliente, da segurança no trabalho e na redução dos custos (AZEVEDO, 2004).

O cálculo OEE é realizado conforme (32), onde disponibilidade, performance e qualidade referem-se a índices calculados de forma separada,refletindo o desempenho dessas funções no processo produtivo.

$$OEE = (Disponibilidade\ x\ Performance\ x\ Qualidade)\ x\ 100\% \tag{32}$$

2.6 MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS

O método dos mínimos quadrados foi desenvolvido pelo matemático Carl Friedrich Gauss. Essa é uma técnica que envolve duas ou mais grandezas de um fenômeno para se determinar os parâmetros de uma relação funcional.

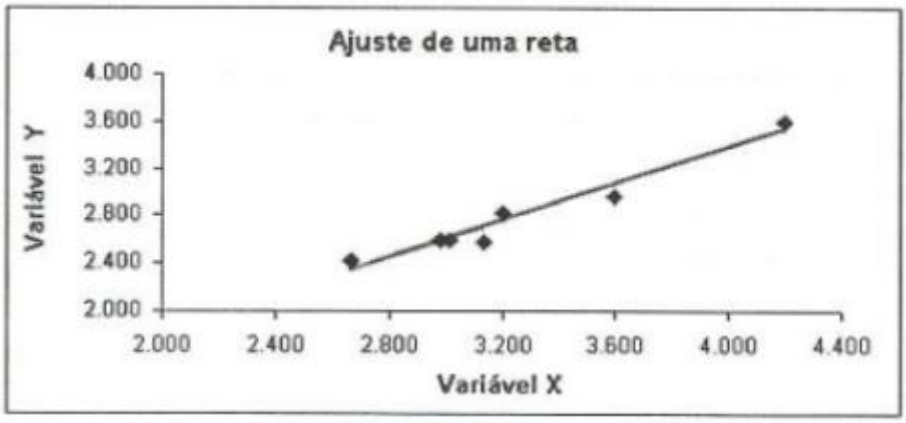
É um método matemático que possibilita a determinação de uma reta que seja capaz de descrever como uma função de variável independente interfere no comportamento de uma de

variável dependente. Ao se considerar um conjunto de dados que apresentam um padrão linear, este método se torna adequado para ajustá-los em uma reta (TORRES JUNIOR;LIMA;FREITAS JUNIOR, 2013).

O seu nome Mínimos Quadrados, está ligado com o seu objetivo, que é o de minimizar a soma dos quadrados dos erros existentes entre o modelo e o sistema em estudo.

Quando a relação funcional for linear, deve-se traçar uma reta que atinja o objetivo desse método. A Figura 6 apresenta uma relação funcional.

Figura 6 – Diagrama de dispersão de pontos de uma medição qualquer



Fonte: Torres Junior,2013

2.6.1 DEDUÇÃO DO MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS PARA O AJUSTE LINEAR

Nessa sessão é apresentada a dedução matemática do método dos mínimos quadrados para ajuste linear. Ela foi baseada em Schmidt Junior (2010).

Inicialmente, tem-se a equação de uma reta na forma $\hat{y}_i = \beta_1 x_i + \beta_0$ (33). Em que a e b são os parâmetros do modelo, x_i é a variável independente e y_i a variavel dependente.

Define $\hat{y}_i$ como imagem de x, onde $d_i = y_i - \hat{y}_i$ (34). É chamado de desvio, e é distancia vertical do ponto à linha reta. Se for considerado a soma dos quadrados dos desvios, obtém-se o desvio total dos pontos que são utilizados na reta estimada. Conforme apresentado em (35).

$$\sum_{i=1}^{n} {d_i}^2 \qquad (35)$$

Como (35) depende dos parâmetros do modelo, podemos representá-lo em (36).

$$D(\beta_0, \beta_1) = \sum_{i=1}^{n} {d_i}^2 \tag{36}$$

Substituindo (34) em (36), tem-se

$$D(\beta_0, \beta_1) = \sum_{i=1}^{n} (y_i - \hat{y}_i)^2 \tag{37}$$

Ainda substituindo (33) em (37), obtém-se:

$$D(\beta_0, \beta_1) = \sum_{i=1}^{n} (y_i - (\beta_0 + \beta_1 x_i))^2 \tag{38}$$

Pretende-se obter o valor minimo de $D(\beta_0, \beta_1)$, de forma a minimizar os valores dos parametros β_0 e β_1. Diante disso, é necessário resolver equações homogeneas:

$$D(\beta_0, \beta_1) = \sum_{i=1}^{n} {d_i}^2 = \sum_{i=1}^{n} (y_i - \beta_0 - \beta_1 x_i)^2 \tag{39}$$

e

$$\frac{\partial \mathrm{D}(\beta_{0,}\beta_1)}{\partial \beta_0} = \sum_{i=1}^{n} -2(y_i - \beta_0 - \beta_1 x_i) \tag{40}$$

$$\frac{\partial \mathrm{D}(\beta_{0,}\beta_1)}{\partial \beta_0} = \sum_{i=1}^{n} -2x_i(y_i - \beta_0 - \beta_1 x_i) \tag{41}$$

Com a finalidade da função representada em (39), apresentar valor mínimo, iguala (40) e (41) a zero, e resolve as equaçaões homogenas, conforme mostrado abaixo:

$$\begin{cases} -2\sum_{i=1}^{n}(y_i - \beta_0 - \beta_1 x_i) = 0 \\ -2\sum_{i=1}^{n}(y_i x_i - \beta_0 x_i - \beta_1 x_i^2) = 0 \end{cases}$$

Sistema 01

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{n} y_i - nb_0 - b_1\sum_{i=1}^{n} x_i = 0 \\ \sum_{i=1}^{n} y_i x_i - b_0\sum_{i=1}^{n} x_i - b_1\sum_{i=1}^{n} x_i^2 = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} b_0 = \frac{\sum_{i=1}^{n} y_i - b_1\sum_{i=1}^{n} x_i}{n} \\ -b_1\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i \sum_{i=1}^{n} y_i - b_1\sum_{i=1}^{n} x_i \sum_{i=1}^{n} x_i}{n} = -\sum_{i=1}^{n} x_i y_i \end{cases}$$

Potanto,

$$b_0 = \frac{\sum_{i=1}^{n} y_i - b_1\sum_{i=1}^{n} x_i}{n} \tag{42}$$

$$b_1 = \frac{n\sum_{i=1}^{n} x_i y_i - \sum_{i=1}^{n} x_i \sum_{i=1}^{n} y_i}{n\sum_{i=1}^{n} {x_i}^2 - (\sum_{i=1}^{n} x_i)^2} \tag{43}$$

2.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

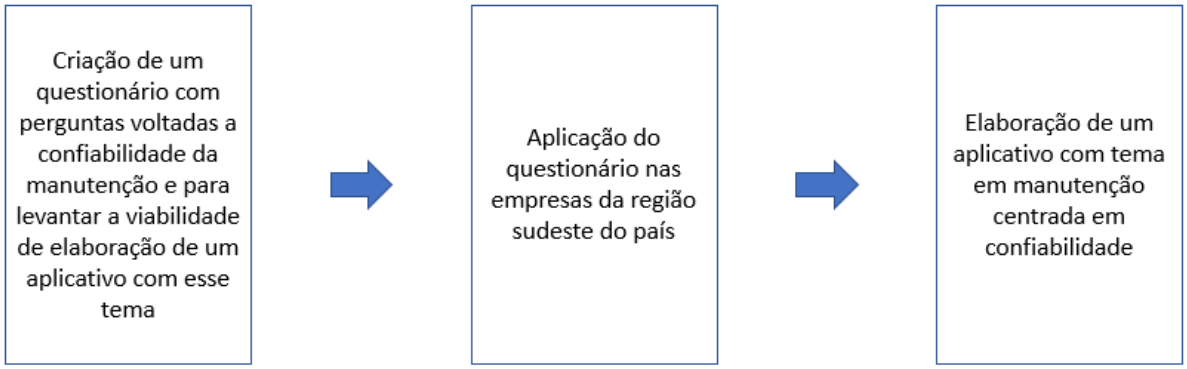
Não existe um único tipo de manutenção adequado para se aplicar na indústria. Diante das possibilidades existentes, deve-se analisar a real situação de cada equipamento e o setor da empresa, levando em consideração o custo da sua aplicação, a disponibilidade da linha produtiva, a quantidade de reserva de equipamentos. Para que dessa forma se escolha qual será utilizada.

Um importante conceito que está intrínseco na estratégia da manutenção e define o seu atual estado da arte, é a confiabilidade. Ter o conhecimento de como defini-la e garantir que ela ocorra de forma satisfatória, gera para companhia um diferencial competitivo.

3. DESENVOLVIMENTO

Tal como apresentado nos objetivos, a motivação principal para o desenvolvimento desse trabalho foi a criação de um aplicativo capaz de fornecer os valores dos parâmetros de forma e de escala, da distribuição de Weibull, a confiabilidade histórica e a taxa de falhas de uma máquina. Porém, sempre fica uma dúvida sobre a real necessidade e importância de um aplicativo. Nesse cenário, buscou-se uma maneira de obter essa resposta sobre a importância do aplicativo por meio de uma pesquisa de campo sobre MCC- Manutenção centrada em confiabilidade e a relevância desse projeto com gestores de manutenção de renomadas organizações do sudeste brasileiro. Todo esse trabalho foi feito por etapas. A Figura 7 mostra resumidamente essas etapas, que são melhor detalhadas nessa seção.

Figura 7 – Fluxograma do desenvolvimento



Fonte: Elaborado pela autora

3.1 PESQUISA DE MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE

A primeira parte do projeto consistiu da elaboração de uma pesquisa de campo documental cujo tema foi a gestão da manutenção, com foco em manutenção centrada em confiabilidade. Direcionou-se essa pesquisa para empresas que são referências no assunto na região Sudeste Brasileira, de forma a verificar a viabilidade da elaboração do aplicativo proposto no trabalho.

O questionário se baseou no estado da arte em MCC e foi constituído por treze perguntas, sendo as doze primeiras direcionadas a parte de manutenção centrada na confiabilidade

propriamente dita, e a décima terceira pergunta foi mais contundente, ou seja, focava na relevância de se ter e utilizar um aplicativo que contemple a confiabilidade de um ativo ou componente. Esse aplicativo a partir de agora passa a ser chamado de “ConfOt”

Toda a pesquisa bem como o questionário se encontra disponível no apêndice A.

3.2 ESTRUTURAÇÃO DO RACIOCÍNIO PARA A PARTE DE CÁLCULO DO APLICATIVO

3.2.1 CÁLCULO DOS PARÂMETROS DE WEIBULL

Devido a distribuição biparamétrica ser referida como o modelo padrão de Weibull (JIANG; MURTHY; XIE, 2008), optou-se por restringir a aplicação do proposto trabalho ao modelo biparamétrico.

A estruturação do raciocínio dos cálculos dos parâmetros de forma e de escala foram baseadas nos artigos de Nwobi (2014) e Rocha (2015).

Conforme (9), define-se a função de confiabilidade como sendo um menos a distribuição acumulada da falha. Substituindo em (21) e realizando sua manipulação, tem-se:

$$F(t) = 1 - \exp[-(\frac{t}{\alpha})^{\beta}] \tag{44}$$

Em que t é o tempo médio até falha de uma determinada máquina.

Quando (44) é aplicada a dados experimentais, é necessária a aplicação de técnicas que estimarão os parâmetros de escala e de forma, uma vez que eles não são conhecidos.

Diante disso, o raciocínio para o cálculo dos parâmetros se baseia em aplicação de métodos gráficos. Inicialmente, consiste na elaboração de um gráfico linearizado dos dados amostrais do tempo entre falhas. Posteriormente, a formulação da equação de reta que apresenta como finalidade estimar o alfa e beta (parâmetros da distribuição de Weibull).

3.2.1.1 ELABORAÇÃO GRÁFICO LINEARIZADO DOS DADOS AMOSTRAIS

O primeiro passo é a elaboração da curva linearizada da distribuição acumulada de falha de Weibull. Dessa maneira, deve-se iniciar isolando o fator exponencial de (44), resultando em (45) (JIANG; MURTHY; XIE, 2008):

$$1 - F(t) = \exp[-(\frac{t}{\alpha})^{\beta}] \tag{45}$$

Aplica-se em seguida o logaritmo em (45), resultando em:

$$\ln\big(1 - F(t)\big) = -(\frac{t}{\alpha})^{\beta} \tag{46}$$

$$\ln\ (-\ln(1 - F(t))) = \beta.\ln(t) + \beta.\ln(\frac{1}{\alpha}) \tag{47}$$

Como a equação de uma reta pode ser escrita na forma $Y = AX + B$ (48), é feita uma analogia desta com (47), resultando em uma expressão linearizada. Em que:

$$Y = \ln\big(-ln\big(1 - F(t)\big)\big) \tag{49}$$

$$X = \ln(t) \tag{50}$$

$$Ca\ (coeficiente\ angular) = \beta \tag{51}$$

$$Cl\ (coeficiente\ linear) = \beta.\ln(\frac{1}{\alpha}) \tag{52}$$

O próximo passo é estimar valores de $F(t)$. Conforme (4) mostra, ele é calculado por meio de uma integral. No entanto, para o algoritmo criado na construção do aplicativo, se torna complexo seu cálculo dessa maneira. Diante disso, conforme a literatura, é utilizado o estimador que melhor se aproxima de $F(t)$, estimador Kaplan , representado em (53).

$$S(t) = \frac{j - 0{,}5}{N} \tag{53}$$

A (53) é substituída em $F(t)$ em (47), conforme (54) aborda.

$$\ln\big(-\ln\big(1 - S(t)\big)\big) = \beta.\ln(t) + \beta.\ln\left(\frac{1}{\alpha}\right) \tag{54}$$

3.2.2 FORMULAÇÃO DA EQUAÇÃO DA RETA

O método escolhido para calcular a reta que melhor se ajusta aos dados experimentais foi dos mínimos quadrados. Esse foi adotado a efeito de validação do resultado da distribuição de Weibull oferecida pelo software Minitab versão 2018, que é calculado pelo método dos mínimos quadrados.

Antes da sua aplicação, é necessário colocar os dados experimentais dos tempos até falhas em ordem crescente.

Dessa maneira, calcula-se o coeficiente angular e linear, conforme (55) e (56) apresenta.

$$Ca = \frac{n.\sum(x_i.y_i) - \sum x_i.\sum y_i}{n\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \tag{55}$$

$$Cl = \frac{\sum y_i - Ca.\sum x_i}{n} \tag{56}$$

Como Beta é igual a Ca, acha-se o valor do parâmetro de forma. Já o valor do parâmetro de escala é obtido através de (57), em que Cl e beta já foram calculados.

$$\alpha = \exp[\frac{-Cl}{\beta}] \tag{57}$$

3.2.3 CÁLCULO DA CONFIABILIDADE

Calculados os parâmetros da distribuição de Weibull, e conhecido os tempos até falha da máquina, obtém- se por meio de (21), a sua confiabilidade histórica e de (22), a sua taxa de falhas histórica.

3.3 CRIAÇÃO DE UMA EMPRESA FICTÍCIA

O aplicativo do presente trabalho foi desenvolvido para uma empresa fictícia “ProduçãoP”. Sua elaboração é diferenciada para cada empresa, uma vez que para sua construção são necessários os tempos até falha de cada equipamento.

A “ProduçãoP” é constituída de cinco máquinas. O aplicativo adquire os tempos de cada máquina do servidor interno da companhia, ou seja, sua intranet. No entanto, a empresa fictícia

só apresenta o histórico dos tempos da primeira máquina. Dessa forma, a utilização do aplicativo será limitado a esse equipamento.

3.4 COLETA DE DADOS DOS TEMPOS ATÉ FALHA

Para a construção do aplicativo é necessário a obtenção dos tempos médio até falha de cada equipamento que são armazenados no servidor da empresa, pois é a partir deles que são calculados os parâmetros de forma, de escala, a confiabilidade histórica do equipamento e sua taxa de falhas.

Os tempos da máquina um, da empresa “ProduçãoP”, apresentados na Tabela 9, foram obtidos do livro Confiabilidade e Manutenção Industrial (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011).

Tabela 9 – Tempos até falha da máquina da empresa “ProduçãoP”.

J [n° de ordem]	t [tempo até falha]
1	15
2	23
3	62
4	78
5	80
6	85
7	97
8	105
9	110
10	112
11	119
12	121
13	125
14	128
15	132
16	137
17	140
18	145
19	149
20	153
21	158
22	162
23	167
24	171
25	175
26	183
27	189
28	190
29	197
30	210
31	218
32	225
33	230
34	237
35	243
36	255
37	264
38	273
39	282
40	301
41	312
42	330
43	345
44	360
45	383
46	415
47	436
48	457
49	472
50	572

Fonte: Adaptado Fogliatto e Ribeiro,2011

Foram coletados os tempos até falha de um componente da Força Aérea Brasileira. No entanto, eles não são apresentados no trabalho devido ao fato da empresa não autorizar a sua divulgação, servindo apenas para comparação do resultado do aplicativo com o gerado pelo software Minitab.

3.5 FUNCIONALIDADE DO APLICATIVO

A funcionalidade do aplicativo consiste inicialmente no cálculo dos parâmetros alfa e beta baseado nos tempos até falhas das máquinas de uma determinada empresa, sendo adquiridos por meio de um servidor online chamado *000Webhost*, considerado na empresa fictícia como o servidor interno da mesma. A partir disso, será possível a visualização gráfica da confiabilidade histórica e da taxa de falhas do equipamento, conjuntamente da análise da sua vida útil.

3.5.1 ABERTURA ANDROID STUDIO

Ao desenvolver um aplicativo, torna-se necessário a análise e o trabalho em cima de dois aspectos: o design gráfico (layout) e o desenvolvimento de algoritmos que se relacionam com as componentes gráficas desse layout, validando-as. O conjunto layout/algoritmo denomina-se *activity*. As *activitys* de um programa se interagem entre si de forma a criar a lógica para o mesmo.

O proposto trabalho constitui de cinco *Activitys:*

- Abertura *Activity*

- Lista *Activity*

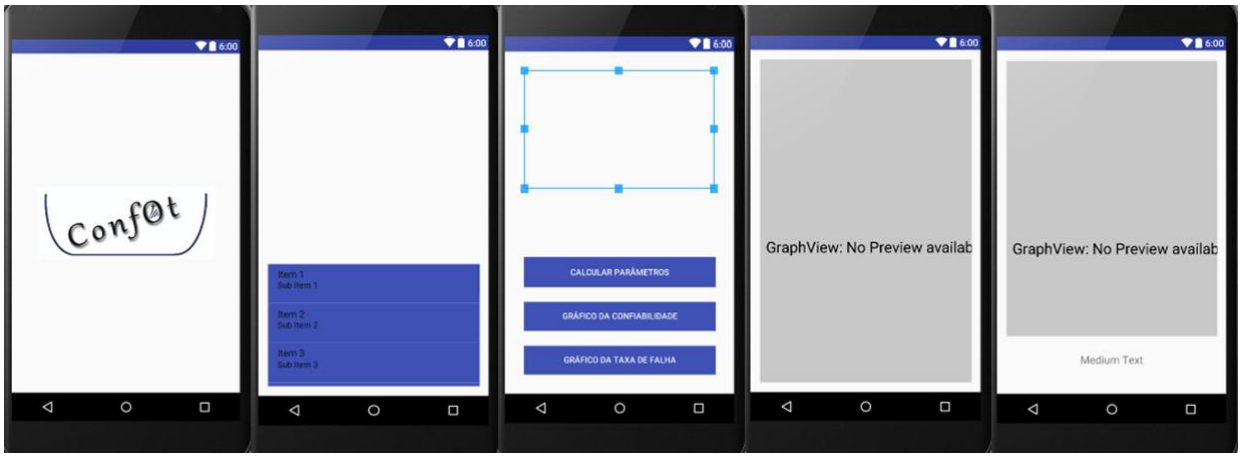
- Calculo *Activity*

- Confiabilidade *Activity*

- Taxa *Activity*

A Figura 8 apresenta o layout das mesmas.

Figura 8 – Layout das *Activitys* do Aplicativo



Fonte: Elaborado pela autora

3.5.2 ABERTURA *ACTIVITY*

A primeira *Activity*, denominada Abertura *Activity*, representa a tela de abertura do aplicativo no Android.

A Figura 9 exibe o seu layout, no qual é constituído por uma imagem composta pelo nome do aplicativo e pela curva da banheira. Apresentando como objetivo, transmitir uma ideia subjetiva ao usuário do que o programa irá tratar. Ela é exibida em um intervalo de tempo curto, com duração de dez segundos, transmitindo a ideia de inicialização do aplicativo.

Ao finalizar o tempo de apresentação, a Abertura *Activity* será finalizada e a Lista *Activity* será introduzida na interface do dispositivo móvel.

Figura 9 – Abertura *Activity*

Fonte: Elaborado pela autora

3.5.3 LISTA *ACTIVITY*

A segunda *activity* , nomeada de Lista *Activity*, apresenta em seu layout uma lista *(list view)* que reúne as cinco máquinas da empresa “ProduçãoP”, conforme a Figura 10 mostra.

Ao ser inicializada, o usuário deve escolher na lista a máquina em que deseja obter as informações acerca da confiabilidade da manutenção da mesma. Ao selecioná-la, será enviado para a *activity* seguinte a informação de qual máquina se deseja obter os dados.

Por fim do processo, é introduzida a *activity* responsável pelo tratamento de dados das máquinas, chamada de Calculo *Activity*.

Figura 10 – Lista *Activity*

Fonte: Elaborado pela autora

3.5.4 CALCULO *ACTIVITY*

O design da terceira *activity*, denominada de Calculo *Activity*, é constituído de três botões, conforme apresentado na Figura 11:

- Calcular parâmetros
- Gráfico da Confiabilidade
- Gráfico da Taxa de Falha

Figura 11 – Calculo *Activity*

Fonte: Elaborado pela autora

O sistema android apesar de fornecer uma vasta gama de artifícios atendendo diversas aplicações, existem casos em que elas necessitam do auxílio de bibliotecas, que atuam atendendo as requisições não supridas pelos recursos do programa.

No caso do tratamento e da aquisição das informações enviadas pelo servidor, o uso da biblioteca *Volley* se faz necessário. Ela se encarrega de todo o processo de recepção de dados da rede, deixando ao cliente, somente a função de escolher a maneira mais viável de armazená-los, segundo o propósito da aplicação.

Devido à complexidade de artifícios matemáticos dessa *activity* advindos do cálculo dos parâmetros, a biblioteca *Java.math* foi escolhida para auxiliar a aplicação. Essa é caracterizada pela vasta quantidade de métodos matemáticos, como exemplo cálculo logarítmico e de potenciação. Também foi utilizada a biblioteca *Java.arrays*, que tem como finalidade dar suporte a manipulação de dados de um vetor. Como exemplo, ordenar os valores de um vetor.

Na inicialização dessa *activity*, ocorre o armazenamento dos dados do servidor, o cálculo dos parâmetros de escala e forma, da confiabilidade histórica e da taxa de falhas da máquina baseados na teoria do cálculo apresentada na seção 3.2.1.

A exibição do resultado dos parâmetros na tela só acontece quando o usuário seleciona o botão “Calcular Parâmetros”.

O objetivo dos cálculos logo na inicialização é deixar os botões com uma hierarquia paralela, permitindo ao usuário obter os recursos do segundo ou do terceiro botão, sem precisar selecionar primeiro.

O usuário ao selecionar o botão “Gráfico da Confiabilidade”, permite o envio dos dados calculados da confiabilidade e o tempo de falha do equipamento para a *activity* responsável pela construção do gráfico dessas informações, chamada de Confiabilidade *Activity*. E finaliza a *activity* atual, dando lugar a quarta.

Já ao selecionar o botão “Gráfico da Taxa de Falha”, é permitido o envio dos dados calculados da taxa de falha, do parâmetro de forma e o tempo de falha do hardware para *activity*, chamada de Taxa *Activity*, cuja função é plotar o gráfico da taxa de falha e analisar o estado de vida do equipamento. Finaliza-se a *activity* atual, dando lugar a quinta.

3.5.5 CONFIABILIDADE *ACTIVITY*

A quarta *activity*, nomeada de Confiabilidade *Activity*, apresenta em seu layout o gráfico da confiabilidade histórica da máquina selecionada pelo usuário na Lista *Activity*, com os dados adquiridos da Calculo *Activity*.

Para construção de gráficos no Android Studio é necessário a importação de uma biblioteca que de suporte as demandas gráficas. O proposto projeto requer demandas menos complexas de construções gráficas, diante disso a biblioteca escolhida foi a *graphview*, que supre as necessidades solicitadas para o desenvolvimento do trabalho.

Dentre os elementos do gráfico é de importante destaque que o eixo horizontal representa os valores do tempo de falhas da máquina solicitada. Já o eixo vertical corresponde ao valor da confiabilidade para cada valor de x, gerando como resultado uma curva exponencial.

A Figura 12 apresenta o layout da *activity* abordada nessa seção.

Figura 12 – Calculo *Activity*

Fonte: Elaborado pela autora

3.5.6 TAXA *ACTIVITY*

A quinta *activity*, denominada de Taxa *Activity*, apresenta em seu design uma região para apresentação do gráfico da taxa de falha do equipamento e embaixo um espaço (*textview*) que é usado para análise do estado de vida da máquina. Conforme mostrado na Figura 13.

Figura 13 – Taxa *Activity*

Fonte: Elaborado pela autora

A construção do gráfico é baseada nos dados enviados pela Calculo *Activity*. O eixo horizontal representa o tempo entre falhas do hardware selecionado na segunda *activity*. Já o eixo vertical corresponde ao valor da taxa de falha relacionada aos tempos do x, dando origem a uma curva que será influenciada pelo valor do parâmetro de forma. Ou seja, a imagem ilustrará qual é o estado de vida da máquina.

A análise realizada por essa *activity* é advinda do valor do parâmetro de forma, o texto apresentado será no formato: “O equipamento está em sua___”, em que o espaço em branco é complementado por um dos três textos, de acordo com o valor de beta: “O equipamento está em sua mortalidade infantil”; ”O equipamento está em sua vida útil”; ”O equipamento está em sua vida sênior”.

4. RESULTADOS

4.1 QUESTIONÁRIO DA MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE

O questionário proposto nesse trabalho teve como objetivo realizar um levantamento de práticas de manutenção centrada em confiabilidade de empresas da região sudeste, buscando identificar se elas se aproximam do Estado da Arte, definido no capítulo dois desse trabalho, e da viabilidade da elaboração de um aplicativo com foco nesse tema.

Como abordado no capítulo 3, o questionário foi constituído por treze perguntas, sendo as doze primeiras direcionadas para a manutenção centrada em confiabilidade e a décima terceira, voltada para a relevância da construção de um aplicativo que contemple a confiabilidade de um ativo ou componente.

O questionário foi enviado para dez empresas, sendo que dessas sete responderam.

A primeira pergunta da pesquisa permite verificar que todas as empresas entrevistadas apresentam uma área destinada a manutenção. Como a Figura 14 exibe.

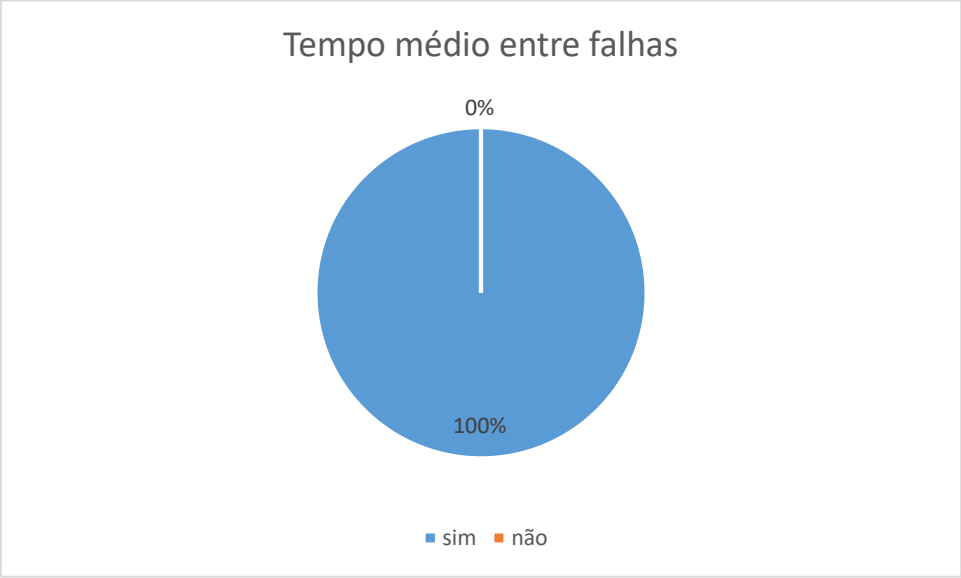
Figura 14 – Existência de uma área de manutenção

Fonte: Elaborado pela autora

A segunda pergunta tem como finalidade verificar a utilização de indicadores que auxiliam na confiabilidade da manutenção nas empresas, sendo estes: tempo médio entre falhas, tempo médio para reparo, distribuição de atividades por tipo de manutenção, confiabilidade dos ativos e OEE. Podemos perceber pelas Figuras de 15 a 19, que a maioria dos indicadores são

utilizados pelas companhias. No entanto, o indicador de confiabilidade, exibido na Figura 18, que mede diretamente a confiabilidade do ativo, é o que apresenta a menor aderência.

Figura 15 – Tempo médio entre falhas

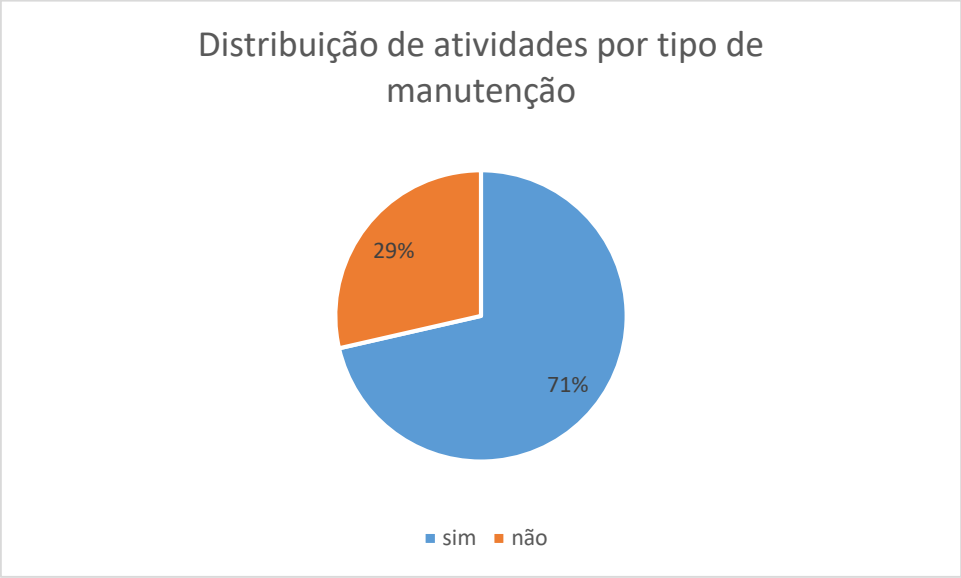


Fonte: Elaborado pela autora

Figura 16 – Tempo médio para o reparo

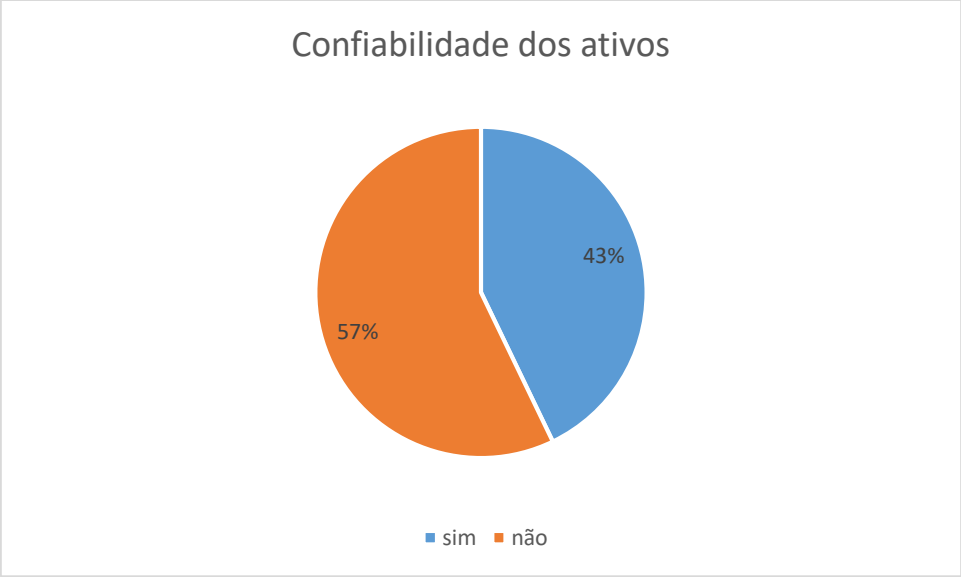
Fonte: Elaborado pela autora

Figura 17 – Distruibuição de atividades por tipo de manutenção



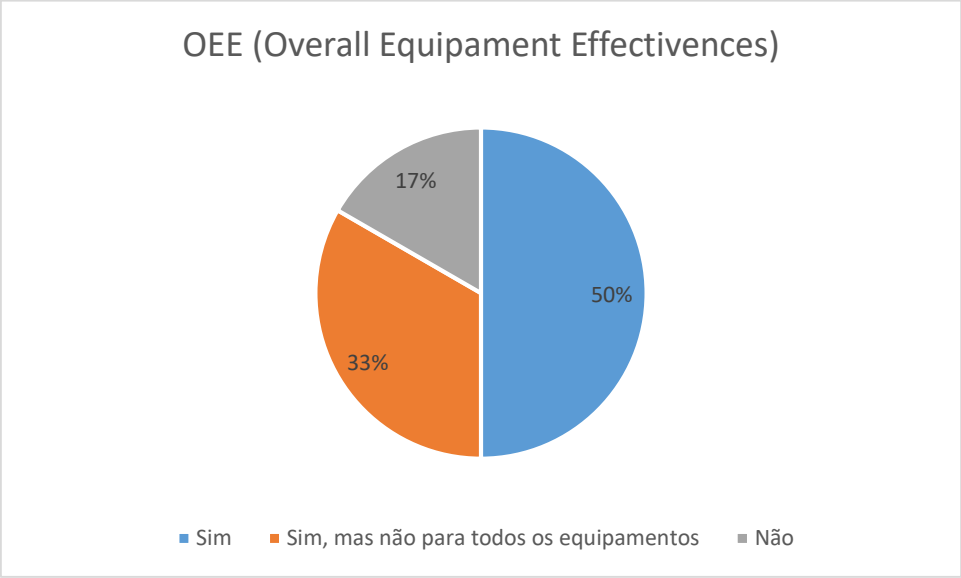
Fonte: Elaborado pela autora

Figura 18 – Confiabilidade dos ativos



Fonte: Elaborado pela autora

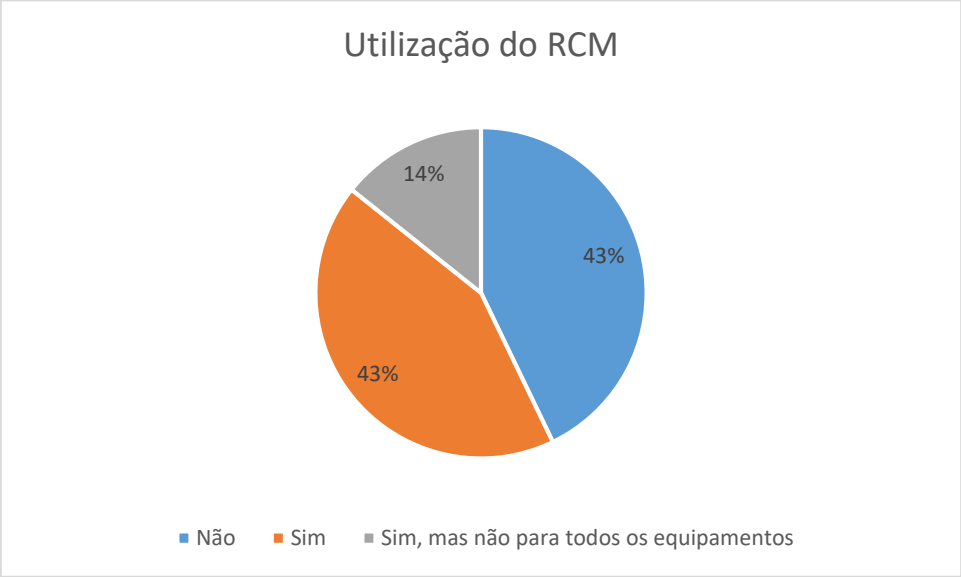
Figura 19 – OEE (Overall Equipment Effectivences)



Fonte: Elaborado pela autora

Através da Figura 20, pode-se verificar que o RCM, um método de manutenção centrada em confiabilidade, não é utilizado por cerca de 43% das empresas.

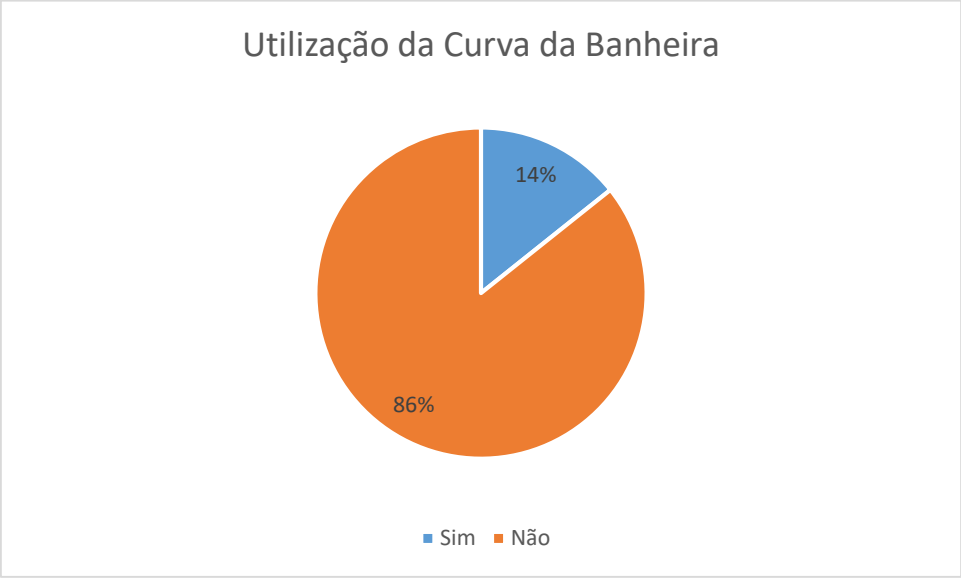
Figura 20 – Utilização do RCM



Fonte: Elaborado pela autora

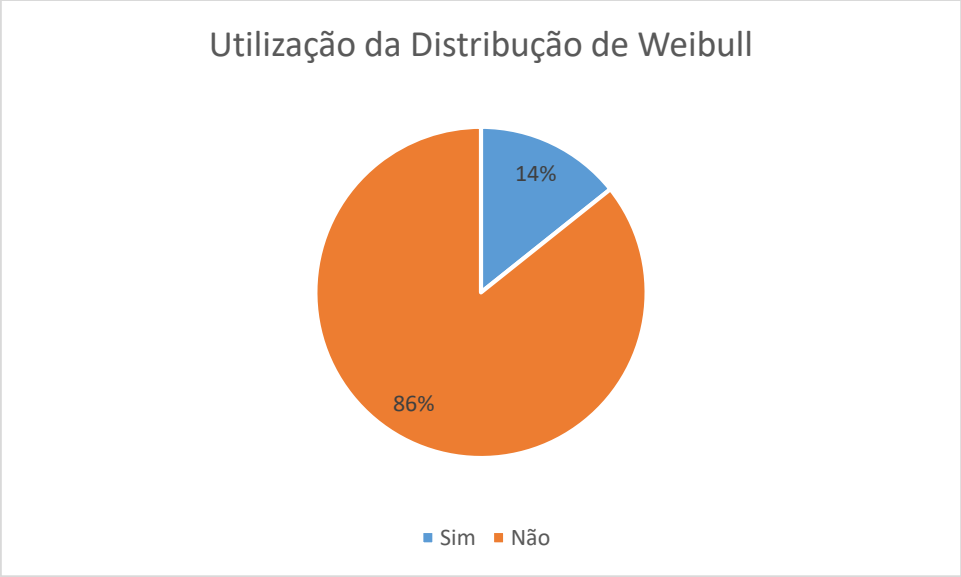
A Figura 21 e 22, demostram a baixa utilização da curva da banheira e da distribuição de Weibull, em que apenas 14% das empresas utilizam esses conceitos.

Figura 21 – Utilização da Curva da Banheira



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 22 – Utilização da Distruibuição de Weibull

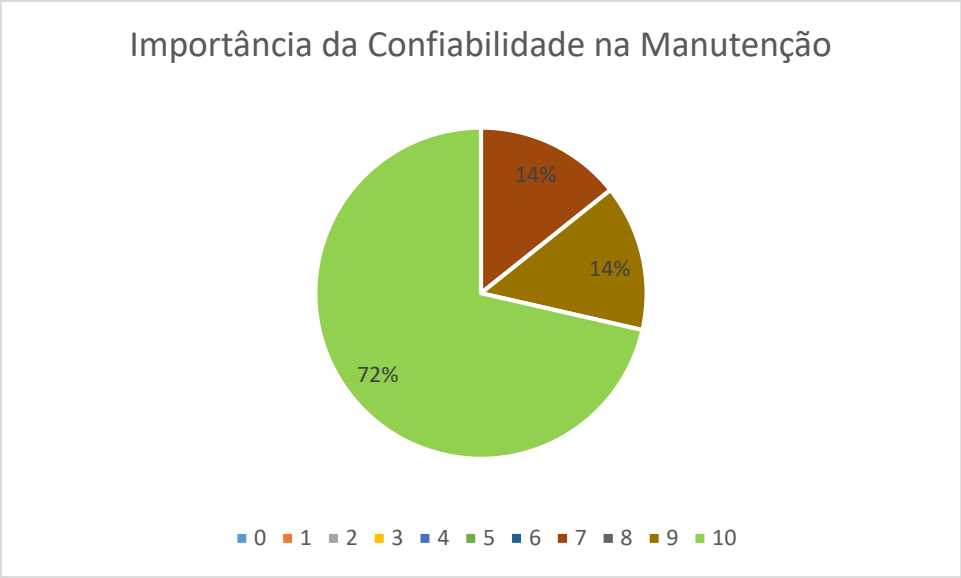


Fonte: Elaborado pela autora

Dessa maneira, as respostas da pergunta número 4 e número 5 sustentam a menor aderência no indicador de confiabilidade, uma vez que os métodos que são indicados pela literatura não são adotados pela maioria das empresas.Pela Figura 23, verifica-se o quanto o conceito de confiabilidade na manutenção é de grande importância para as empresas. Existindo

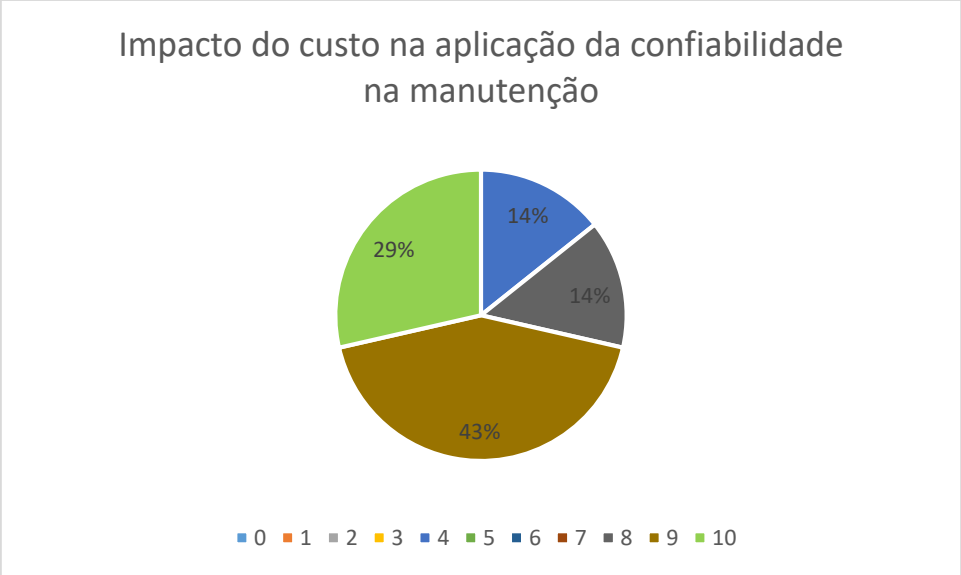
uma ideia de uma considerável relevância do impacto do custo e da cultura da empresa na implantação da confiabilidade, como mostra as Figuras 24 e 25, respectivamente. Nos gráficos representados pelas Figuras de 23 a 25 utiliza-se uma escala de zero a dez, sendo dez o maior conceito de relevância.

Figura 23 – Importância da Confiabilidade na Manuenção



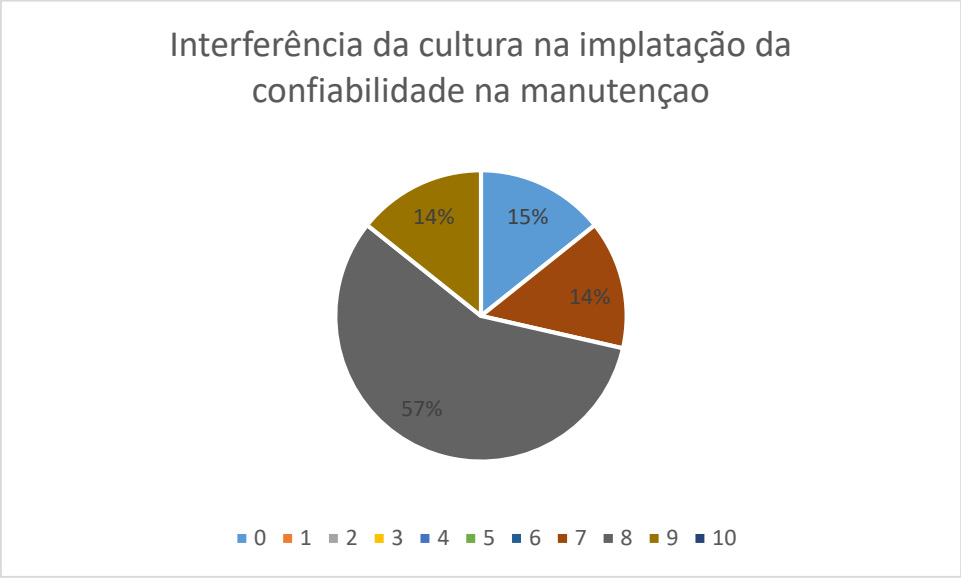
Fonte: Elaborado pela autora

Figura 24 – Impacto do custo na aplicação da confiabilidade na manutenção



. Fonte: Elaborado pela autora

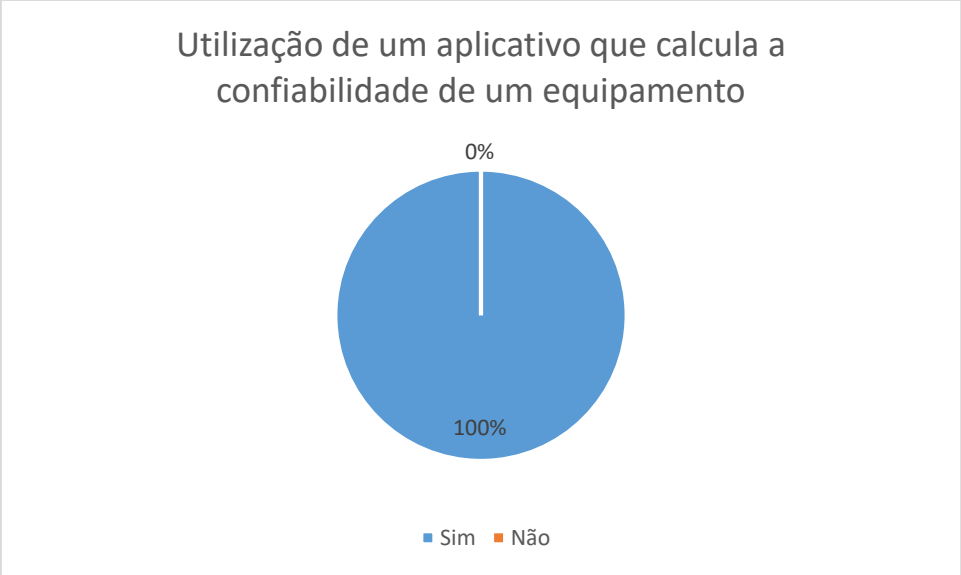
Figura 25 – Interferência da cultura na implantação da confiabilidade na manutenção



Fonte: Elaborado pela autora

Por fim, a Figura 26 verifica a viabilidade da elaboração de um aplicativo que contemple a confiabilidade de um ativo ou componente, e sua taxa de falhas. Em que 100% das empresas usariam o mesmo.

Figura 26 – Utilização de um aplicativo que calcula a confiabilidade de um equipamento



Fonte: Elaborado pela autora

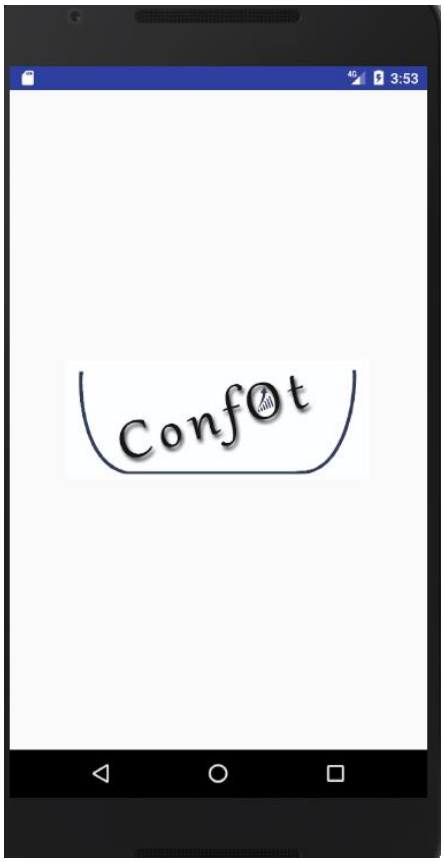
4.2 EXECUÇÃO DO APLICATIVO CONFOT

Uma das propostas do presente trabalho, consiste na elaboração de um aplicativo que nos forneça os valores dos parâmetros de forma e de escala da distribuição de Weibull de um determinado ativo, a confiabilidade histórica, a taxa de falha do mesmo e proporcione uma análise da fase da vida do ativo. Como o objetivo do programa é demostrar os resultados qualitativos e quantitativos das máquinas de uma empresa, ao utilizá-lo na empresa fictícia "ProduçãoP", a demonstração do resultado de apenas uma máquina contempla sua funcionalidade.

Durante a execução, a primeira e a segunda tela, apresentadas respectivamente pelas Figuras 27 e 28 apresentam uma função introdutória, sendo a primeira responsável pela abertura do programa e a segunda a que faz o contato inicial do aplicativo com o cliente, solicitando que o mesmo escolha a máquina em que deseja obter os resultados.

Ao clicar na opção máquina 1 da lista, os dados que serão apresentados nas próximas telas são calculados a partir do tempo médio até falha desse equipamento.

Figura 27 – Tela de abertura



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 28 – Tela de selecionar a máquina

Fonte: Elaborado pela autora

A terceira tela, representada pela Figura 29, é constituída pelos botões “Calcular Parâmetros”, “Confiabilidade” e “Taxa de Falhas”. É nessa página que são calculados os valores da proposta do aplicativo, sendo exibidos quando o usuário seleciona os botões. Essa ação mantém a interação do cliente com o aplicativo.

Figura 29 – Tela de cálculos

Fonte: Elaborado pela autora

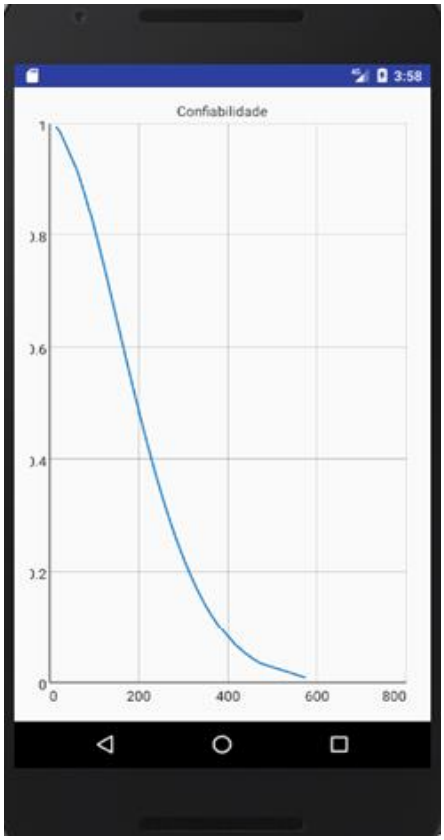
O primeiro botão, Calcular Parâmetros, ao ser clicado, retorna os valores do parâmetro de forma e de escala, que são como a Figura 30 apresenta. Os valores de beta e alfa da máquina 1 são, respectivamente, 1,795 e 239,183.

Figura 30 – Tela com os valores de parâmetro de forma e de escala

Fonte: Elaborado pela autora

Já ao selecionar o segundo botão, Confiabilidade, será exibida uma tela com os valores da confiabilidade ao decorrer do tempo até falha representados por um gráfico, como a Figura 31 mostra. Pode-se observar que a confiabilidade da máquina 1 foi reduzindo ao decorrer do tempo, e que isso ganhou intensidade próximo ao tempo de 150 horas, o que em uma análise crítica pode representar um desgaste do equipamento e uma transição para a fase de vida sênior do mesmo.

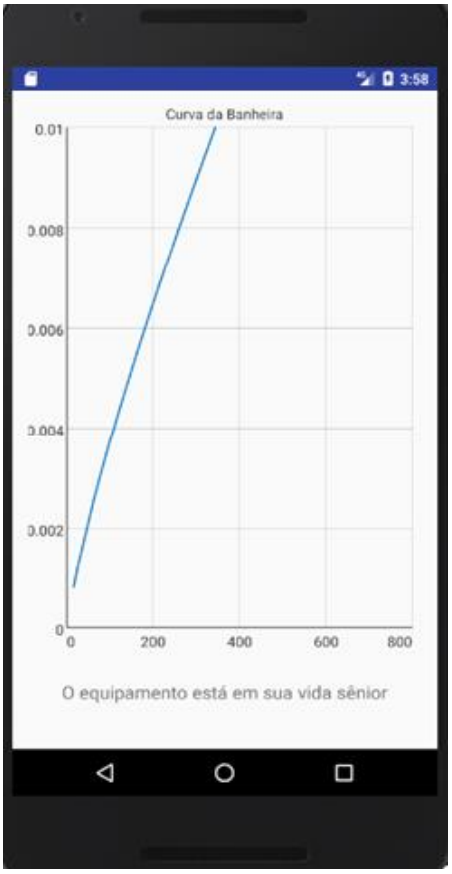
Figura 31 – Tela com a confiabilidade histórica



Fonte: Elaborado pela autora

O terceiro botão, Taxa de Falhas, ao ser clicado direcionará para uma tela que contenha os valores das taxas de falhas ao longo do tempo médio entre falhas do equipamento, também representados por um Gráfico. Nessa tela, também é exibido a análise da fase de vida que o equipamento se encontra, realizada a partir do parâmetro de forma. Essa tela é apresentada na Figura 32. Percebe-se que ao decorrer do tempo o número de taxa de falhas da máquina 1 aumenta, e se intensifica no mesmo tempo que a confiabilidade reduz mais rapidamente. O retorno da análise da vida da máquina é que ela se encontra na fase sênior, o que é coerente devido ao valor de beta ser maior que um e a forma do gráfico, crescente. O que ratifica a análise do gráfico 31.

Figura 32 – Tela com a taxa de falha histórica e análise da fase da vida do equipamento



Fonte: Elaborado pela autora

Com o objetivo de verificar a precisão dos valores gerados pelo aplicativo, os tempos até falha, apresentados na tabela 9, foram inseridos no Minitab versão 18, de forma a encontrar os valores dos parâmetros de forma e escala a efeito de comparação com os gerados pelo aplicativo.

Ao inserir o tempo médios até falhas no Minitab, foi selecionada a opção "*Parametric Distribution Analysis"*, escolhendo a opção da distribuição de Weibull e o método de estimação dos mínimos quadrados. Dessa maneira, o software retornou o valor do parâmetro de forma como 1,795 e do parâmetro de escala como 237,820. Como beta é maior que um, não ocorreu variação da fase de vida que a máquina 1 em relação ao aplicativo. A escolha de três casas decimais consideradas no presente trabalho, foi a título de uma maior precisão nos dados.

Com o objetivo, de verificar a variação dos valores dos parâmetros gerados pelos dois softwares e o impacto que isso gera no cálculo da confiabilidade e taxa de falhas para a companhia, foram calculadas as porcentagens de erros dos parâmetros encontrados no

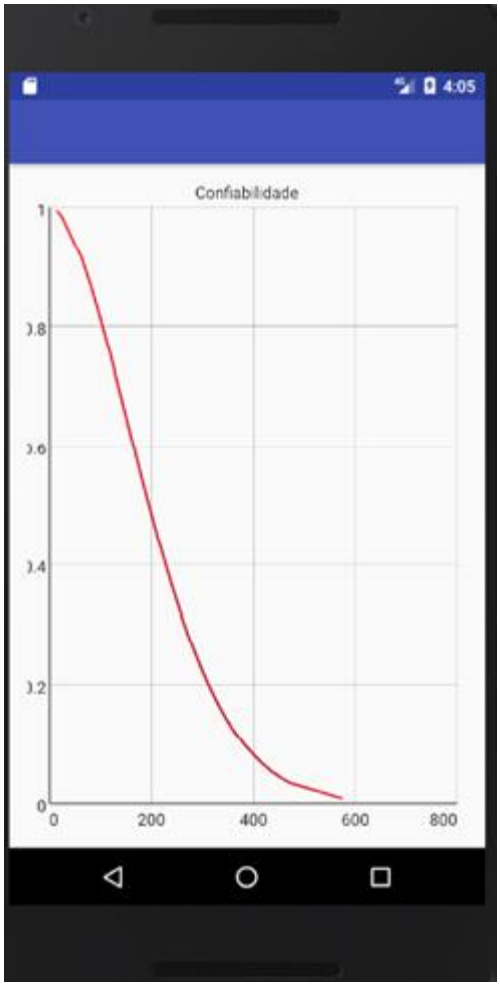
aplicativo em relação aos encontrados no Minitab. Assim, podemos notar um erro de 0% de beta e um de 0,570% de alfa. Concluindo, que a porcentagem é baixa.

Posteriormente, as telas que exibem os valores da confiabilidade e da taxa de falhas foram adaptadas para que se possa ver o impacto desse erro para a máquina nesses quesitos.

Foi armazenado os dados já calculados e foram adicionados manualmente no código do programa os valores do beta e do alfa gerados pelo Minitab, e partir deles foi calculada uma nova confiabilidade e taxa de falhas histórica.

A partir disso, a plotagem do gráfico de que exibe a confiabilidade histórica, foi feita recebendo o conjunto de valores da confiabilidade advinda dos parâmetros do aplicativo e do Minitab, gerando duas curvas, mostradas na Figura 33. A curva azul advém dos parâmetros gerados pelo aplicativo, já a vermelha pelos do Minitab. No entanto, elas estão sobrepostas, não sendo possível verificar a coloração de ambas, apenas a da curva vermelha. Selecionando a confiabilidade de 0,8, pode-se concluir que a probabilidade da máquina 1 não quebrar em um período de 100 horas aproximadamente é de 80% para ambas as curvas. Dessa forma, verifica a precisão dos dados do aplicativo para o cálculo da confiabilidade.

Figura 33 – Cálculo da Confiabilidade pelos parâmetros calculados no Aplicativo e no Minitab



Fonte: Elaborado pela autora

Para verificar os valores gerados pelo aplicativo e pelo Minitab com uma maior precisão, foi construída uma tabela (10) com alguns valores de tempos e suas respectivas confiabilidades.

Tabela 10: Valores da Confiabilidade Aplicativo x Minitab

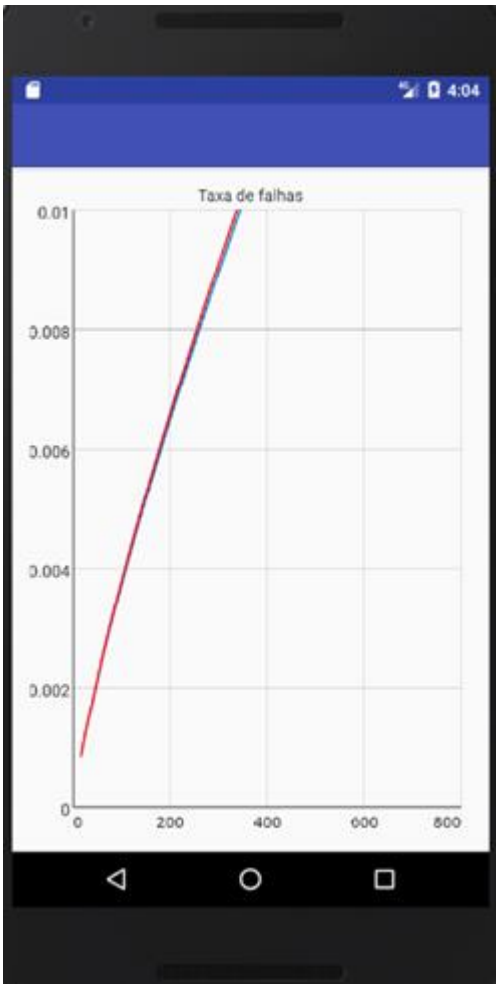
t	R(t) Aplicativo	R(t) Minitab
100	0,811	0,81
200	0,484	0,481
300	0,223	0,219
400	0,081	0,079
500	0,023	0,022

Fonte: Elaborado pela autora

No mesmo raciocínio, foi exibida a tela que contém o gráfico da taxa de falhas, mostrada na Figura 34, no entanto ela recebeu o conjunto de valores da taxa de confiabilidade. A curva azul advém dos parâmetros gerados pelo aplicativo, já a vermelha pelos do Minitab. Na análise do gráfico, selecionando a taxa de falhas de 0,008, verifica que essa acontece para o tempo aproximado de 220 horas para ambos gráficos. A diferença de horas entre eles é muito pequena, não apresentando efeito na análise da taxa de falha para a companhia, validando dessa forma a precisão dos dados do aplicativo para a função de risco.

A análise da fase de vida do equipamento foi retirada da tela, pois como dito anteriormente, verificou-se que os resultados de ambos softwares coincidem na fase de vida sênior.

Figura 34 – Cálculo da Taxa de Falhas pelos parâmetros calculados no Aplicativo e no Minitab



Fonte: Elaborado pela autora

Para verificar os valores gerados pelo aplicativo e pelo Minitab com uma maior precisão, foi construída uma tabela (11) com alguns valores de tempos e suas respectivas taxa de falhas (λ).

Tabela 11: Valores da Taxa de Falhas Aplicativo x Minitab

t	λ Aplicativo	λ Minitab
50	0,002	0,002
100	0,004	0,004
150	0,005	0,005
200	0,007	0,007
250	0,008	0,008

Fonte: Elaborado pela autora

5. CONCLUSÃO

A aplicabilidade da manutenção nas indústrias é muito ampla e não há um padrão pré-estabelecido em forma de manual como um procedimento a ser seguido para garantir os melhores resultados nesse quesito. No entanto, a busca pelo conhecimento do atual estado da arte em manutenção, a confiabilidade, pode gerar para as empresas, inegavelmente, um diferencial competitivo.

É notório que, após a chegada do século XXI, grandes empresas adotaram práticas de confiabilidade e pode-se verificar através das análises relacionadas aos questionários deste trabalho que o atingimento do estado da arte em manutenção ainda está em um estágio incipiente e muitos desafios ainda deverão ser ultrapassados, principalmente no que se diz respeito às medidas de confiabilidade.

A utilização do aplicativo elaborado nesse trabalho que calcula essas medidas, a partir da distribuição de Weibull, que são o cálculo da confiabilidade, da taxa de falha de um ativo a partir do tempo até falhas, e com a análise do estado de vida do equipamento, visa diminuir a distância de se atingir esse estado, ou seja, colabora para otimização da confiabilidade nas empresas.

A manipulação dessa distribuição apresenta uma alta gama de operações e um alto nível de complexidade o que pode retrair a sua utilização, e, consequentemente, o estado da arte da manutenção. Diante disso, com a finalidade de que as empresas caminhem em direção a esse estado, o aplicativo pode diminuir a distância no atingimento dessa realidade, ampliando dessa forma a possibilidade de sucesso para empresas que adotam o ConfOt.

Sem a pretensão de esgotar o tema proposto neste trabalho, indica-se acrescentar à utilização do aplicativo o cálculo do ponto de *Life Cycle Cost* (LCC) do equipamento em trabalhos futuros, de forma a buscar uma minimização do custo de vida do equipamento.

REFERÊNCIAS

ABRAMAN. Página eletrônica:< http://www.abraman.org.br/>. Acesso em 10 jul. 2018

AIAG. Manual de referência FMEA 4ª edição. **AIAG - Automotive Industry Action Group - AIAG Reference guide - Potential Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)**, 4th Edition STANDARD published by AIAG, 2008.

ALLAN, R. N.; BILLINTON, R. **Reliability Evaluation of Engineering Systems: concepts and techniques**. 2 ed. New York: Plenum Press, 1992. 453 p.

ARAÚJO, I. M.; SANTOS, C. K. S. **Manutenção elétrica industrial**. Disponível em: <http://www.dee.ufrn.br/~joao/manut/02%20-%20Apresenta%E7%A6o.pdf > Acesso em: 20 jun. 2018.

AZEVEDO, T. S. A. **Planejamento da capacidade produtiva em uma indústria gráfica**. 2004. 115 f. TCC - Curso de Engenharia de Produção, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

BRANCO FILHO, G. **Indicadores e Índices de Manutenção**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2008

COSTA, M. A. **Gestão estratégica da Manutenção: uma oportunidade para melhorar o resultado operacional**. 2013. 103f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2013.

FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, J. L. D. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. São Paulo: Campus-Elsevier, 2011. v. 1.

GONÇALVES, P. R. **Aplicação da FMEA no desenvolvimento de novos produtos**. Universidade de Aveiro. 2010.

JIANG, H.; XIE, M.; TANG, L. C. **On the odd Weibull distribution. Journal of Risk and Reliability**, v.222, 2008.

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

KNIGHT, C. R.. **Four decades of reliability progress. Proceedings of the Annual Reliability and Maintainabiliity Symposium** [S.1]: IEEE Reliability Society. pág. 156 – 159,1991.

KRONER, W. **Produtividade e qualidade na manutenção**. Apostila apresentada no curso para Gerenciamento da Manutenção – Weiland Kroner, São Paulo, 1999.
LAFRAIA, J. R. B. **Manual de confiabilidade, mantenabilidade e disponibilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

MARCORIN. W. R; LIMA, C. R. C. **Análise dos Custos de Manutenção e de Não-manutenção de Equipamentos Produtivos**. Revista De Ciência & Tecnologia, São Paulo. v. 11, n 22, p. 35-42, 2003.

MONTGOMERY, D. C**. Introdução ao Controle Estatístico de Qualidade**. Rio de Janeiro: LTC, 2004

NWOBI, F.N.; UGOMMA, C.A. **A comparison of Methods for the Estimation of Weibull Disribuition Parameters**. Metodološki zvezki, Vol. 11, No. 1, 2014, 65-78

REIS, Z. C.; DENARDIN, C. D.; MILAN, G. S. **A Implantação de um Planejamento e Controle da Manutenção**: Um estudo de caso desenvolvido em uma empresa do ramo alimentício. In: VI Congresso Nacional de Excelência em Gestão, 2010, Niterói. Disponível em: < http://www.excelenciaemgestao.org/Portals/2/documents/cneg6/anais/T10_0268_0981.pdf > Acesso em 6 jun. 2018.

ROCHA, J.R. **Estudo sobre métodos de estimação de F(t) para o cálculo dos parâmetros de distribuições Weibull com a aplicação em uma análise de falhas de garrafas PET**. Universidade Federal de Santa Catarina. SC,2015.

RODRIGUES, D. M.; MATSCHULAT, E.; DORNELES, V.; MUGGE, T. **Análise de Modo e Efeito de Falha Potencial – FMEA**. SENAI, São Leopoldo, Rio Grande do Sul, 2010

ROOS, C.; DIESEL, L.; MORAES, J. A. R..; ROSA, C. **Ferramenta FMEA**: Uma abordagem voltada para a melhoria da qualidade nos serviços de transporte. Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Foz do Iguaçu, PR, out. 2007.

SCHMIDT JUNIOR, L. F. **Obtenção de Equações de Desempenho de Difusores de Ar**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), RS, 2010.

SEGISMUNDO, A.; MIGUEL, P.A.C. **Gerenciamento de riscos em projetos: Proposição inicial de um conceito integrado para as fases de desenvolvimento de produto – Estudo em uma empresa automotiva**. Artigo aceito para o XIV SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE ENGENHARIA AUTOMOTIVA; SIMEA , São Paulo, 2006.

SELEME, R. **Manutenção Industrial**. Editora Intersaberes, 1ª Edição,2015.

SELLITTO, M. **Formulação estratégica da manutenção industrial com base na confiabilidade dos equipamentos**. Produção, v. 15, n. 1, 2005.

TOLEDO, J. C.; AMARAL, D. C. **FMEA - Análise do Tipo e Efeito de Falha**. GEPEQ - Grupo de Estudos e Pesquisa em Qualidade, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

TORRES JÚNIOR, F.; LIMA, M. N.; FREITAS JÚNIOR, A. A. **Métodos dos Mínimos Quadrados aplicado na análise Custo x Volume x Lucro**. Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), RJ, 2013.

VIEIRA, M., T., DE LIMA, A., P., RAMOS, A., M., REBELO, C., A. **"Novos Materiais: que futuro?"**. Coimbra: 4º Encontro da Sociedade Portuguesa de Materiais, pp 55- 66 mar. 1989.

XENOS, H. G. **Gerenciando a Manutenção Produtiva**. 1ª edição. Rio de Janeiro: INDG, 1998

APÊNDICE A – PESQUISA DE MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE

Pesquisa – Confiabilidade na Manutenção

1- A companhia apresenta uma área voltada para manutenção? Em caso negativo, existe um responsável pela manutenção?

_____

_____

2- A empresa utiliza os indicadores abaixo, caso a resposta seja positiva, como é medido?

2.1 Tempo médio entre falhas (MTBF)

_____

2.2 Tempo médio para reparo (MTTR)

_____

2.3 Distribuição de atividades por tipo de manutenção

_____

2.4 Confiabilidade dos ativos

_____

2.5 OEE (Overall Equipment Effectivences)

3- A empresa utiliza o método de manutenção centrada em confiabilidade (RCM)?

4- A companhia a utiliza a curva da banheira?

5- A companhia a utiliza a distribuição de Weibull?

6- Qual o nível de importância que você julga para a confiabilidade na manutenção?
(0 – Importância Mínima; 10 – Importância Máxima)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

7- Em sua opinião, o quanto o custo impacta na aplicabilidade da confiabilidade na manutenção em uma empresa?
(0 – Impacto baixo ; 10 – Impacto alto)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

8- Em sua opinião, o quanto a cultura da empresa interfere na implantação da confiabilidade? (0 – Baixa Interferência; 10 – Alta interferência)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

9- Você utilizaria um aplicativo que calcula a confiabilidade de um equipamento?

Sim	Não

ANEXO A – TERMO DE AUTENTICIDADE

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA

Termo de Declaração de Autenticidade de Autoria

Declaro, sob as penas da lei e para os devidos fins, junto à Universidade Federal de Juiz de Fora, que meu Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Graduação em Engenharia de Produção é original, de minha única e exclusiva autoria. E não se trata de cópia integral ou parcial de textos e trabalhos de autoria de outrem, seja em formato de papel, eletrônico, digital, áudio-visual ou qualquer outro meio.
Declaro ainda ter total conhecimento e compreensão do que é considerado plágio, não apenas a cópia integral do trabalho, mas também de parte dele, inclusive de artigos e/ou parágrafos, sem citação do autor ou de sua fonte.
Declaro, por fim, ter total conhecimento e compreensão das punições decorrentes da prática de plágio, através das sanções civis previstas na lei do direito autoral[1] e criminais previstas no Código Penal[2], além das cominações administrativas e acadêmicas que poderão resultar em reprovação no Trabalho de Conclusão de Curso.

Juiz de Fora, 26 de Novembro de 2018.

RAFAELA GORETTI AGUIAR	201449042
NOME LEGÍVEL DO ALUNO (A)	Matrícula
Rafaela Goretti Aguiar	07692806643
ASSINATURA	CPF

[1] LEI Nº 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998. Altera, atualiza e consolida a legislação sobre direitos autorais e dá outras providências.
[2] Art. 184. Violar direitos de autor e os que lhe são conexos: Pena - detenção, de 3 (três) meses a 1 (um) ano, ou multa.

Repositório Institucional

Termo de Autorização para publicação de trabalhos acadêmicos em formato eletrônico no Repositório Institucional Digital da Produção Científica e Intelectual da UFJF

1. Identificação da material bibliográfico: ( )Tese ( ) Dissertação
(x) TCC graduação ( ) TCC Especialização

2. Identificação da Tese ou Dissertação
Autor: Rafaela Goretti Aguiar
Matrícula: 201449042 CPF: 07672801643 Telefone fixo: -
Telefone celular: (32) 98829-7655 E-mail: rafaela.goretti@engenharia.ufjf.br
Nome do orientador: Luiz Henrique Dias Alves.
Título do trabalho: ELABORAÇÃO DE UM APLICATIVO QUE VISA A OTIMIZAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE.
Co-orientador: Roberto Malheiros Moreira Filho.
Membros da Banca: Luiz Henrique Dias Alves; Roberto Malheiros Moreira Filho; Clarice Breviglieri Porto.

Pós Graduação Stricto Sensu (Mestrado e Doutorado)
Programa: _____ Curso: _____
Área do Conhecimento: _____ Palavras-chave: _____
_____ Data da defesa: __/__/____

Pós-graduação Lato Sensu (especialização)
Curso de Pós-Graduação: _____
Área do Conhecimento: _____ Palavras-chave: _____
_____ Data da defesa: __/__/____

Graduação
Curso: Engenharia de Produção Data da defesa: 26 /11 /2018
Área do Conhecimento: Gestão da Manutenção.
Palavras-chave: Estado da arte, confiabilidade, aplicativo.

3. Agência (s) de fomento (se houver): _____

4. Licença de uso
Na qualidade de titular dos direitos de autor do conteúdo supracitado, autorizo o Centro de Difusão do Conhecimento da Universidade Federal de Juiz de Fora a disponibilizar a obra no Repositório Institucional gratuitamente, de acordo com a licença pública ***Creative Commons*** Licença 4.0 Internacional por mim declarada sob as seguintes condições.
Permite uso comercial de sua obra? ( ) Sim (x) não
Permite alterações em sua obra? ( ) sim ( ) sim, desde que outros compartilhem pela mesma licença (x) não
A obra continua protegida por Direitos Autorais e/ou por outras leis aplicáveis. Qualquer uso da obra que não o autorizado sob esta licença ou pela legislação autoral é proibido.

4. Informação de acesso ao documento:
Liberação para publicação: (x) Total ( ) Parcial
A restrição (parcial ou total) poderá ser mantida por até um ano a partir da data de autorização da publicação. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à PROPP ou PROGRAD. Em caso de publicação parcial, o embargo será de 12 meses. Especifique o (s) arquivo(s) capítulo(s) restritos:
_____

Declaração de distribuição não-exclusiva
O referido autor:
a) Declara que o documento entregue é seu trabalho original e que detém o direito de conceder os direitos contidos nesta licença. Declara também que a entrega do documento não infringe, tanto quanto lhe é possível saber, os direitos de qualquer pessoa ou entidade.
b) Se o documento entregue contém material do qual não detém os direitos de autor, declara que obteve autorização do detentor dos direitos de autor para conceder à Universidade Federal de Juiz de Fora os direitos requeridos por esta licença e que esse material, cujos direitos são de terceiros, está claramente identificado e reconhecido no texto ou conteúdos do documento entregue.
c) Se o documento entregue é baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não a UFJF, declara que cumpriu quaisquer obrigações exigidas pelo contrato ou acordo.

Assinatura do autor Rafaela Goretti Aguiar **Data** 26/11/2018