



**DESENVOLVIMENTO DE UM PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA E
PREDITIVA PARA A MELHORIA DA CONFIABILIDADE
DE UM PROCESSO INDUSTRIAL AUTOMATIZADO**

Mariane Cristina dos Santos

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM SISTEMAS MECATRÔNICOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

FACULDADE DE TECNOLOGIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia Mecânica
Programa de Pós-Graduação em Sistemas Mecatrônicos

**DESENVOLVIMENTO DE UM PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA E
PREDITIVA PARA A MELHORIA DA CONFIABILIDADE
DE UM PROCESSO INDUSTRIAL AUTOMATIZADO**

Brasília/DF, 27 de março de 2019.

Mariane Cristina dos Santos

**DESENVOLVIMENTO DE UM PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA E
PREDITIVA PARA A MELHORIA DA CONFIABILIDADE
DE UM PROCESSO INDUSTRIAL AUTOMATIZADO**

Dissertação apresentada à Universidade de Brasília como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Sistemas Mecatrônicos.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Piratelli Filho

Brasília/DF, 27 de março de 2019.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia Mecânica

**DESENVOLVIMENTO DE UM PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA E
PREDITIVA PARA A MELHORIA DA CONFIABILIDADE
DE UM PROCESSO INDUSTRIAL AUTOMATIZADO**

MARIANE CRISTINA DOS SANTOS

*Dissertação de Mestrado submetida ao Departamento de Engenharia
Mecânica da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília
como parte dos requisitos necessários para a obtenção
do grau de Mestre em Sistemas Mecatrônicos*

Banca Examinadora

Prof. Dr. ANTÔNIO PIRATELLI FILHO, _____
ENM/FT/UnB
Orientador

Prof. Dr. EDSON PAULO DA SILVA, _____
ENM/FT/UnB
Examinador interno

Prof. Dra. DIANNE MAGALHÃES VIANA, _____
ENM/FT/UnB
Examinadora externa

Brasília/DF, 27 de março de 2019.

FICHA CATALOGRÁFICA

DOS SANTOS., Mariane Cristina.

Desenvolvimento de um Plano de Manutenção Preventiva e Preditiva para a Melhoria da Confiabilidade de um Processo Industrial Automatizado. [Distrito Federal] 2019.

_____ (ENM/FT/UnB, Mestre, Sistemas Mecatrônicos, 2019).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Mecânica.

1. Manutenção Centrada na Confiabilidade

3. Disponibilidade

I. ENM/ FT/ UnB

2. Manutenção Industrial

4. Termografia Infravermelha

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

DOS SANTOS., Mariane Cristina. (2019). Desenvolvimento de um Plano de Manutenção Preventiva e Preditiva para a Melhoria da Confiabilidade de um Processo Industrial Automatizado. Dissertação de Mestrado em Sistemas Mecatrônicos, _____ Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, _____.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Mariane Cristina dos Santos.

TÍTULO: Desenvolvimento de um Plano de Manutenção Preventiva e Preditiva para a Melhoria da Confiabilidade de um Processo Industrial Automatizado.

GRAU: Mestre

ANO: 2019.

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Mariane Cristina dos Santos

Dedico este trabalho a minha mãe, que já se foi, mas continua sendo minha maior força e inspiração na vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me dar saúde, fé, perseverança e permitir a realização deste sonho.

Agradeço aos professores do curso de Pós-Graduação em Sistemas Mecatrônicos da UnB, em especial ao meu orientador, o professor Antônio Piratelli Filho, por inúmeras sugestões, incentivos e principalmente pela sabedoria em me conduzir.

Ao professor Edson Paulo da Silva, que admiro muito. Pelo seu precioso auxílio, sempre muito prestativo e compreensivo.

À Amanda pela motivação, companheirismo e compreensão, meu agradecimento.

À Lara pelo incentivo, apoio e contribuição sempre que precisei permanecer em Brasília.

Aos meus irmãos meu eterno agradecimento, pelos valores que me foram dados e por proporcionar o alicerce para a formação do meu caráter.

À Empresa do ramo de eucalipto imunizado, por ter aberto as portas para que essa pesquisa fosse realizada, permitindo um ambiente favorável à implantação de novas ferramentas e metodologias.

E a todos que, direto ou indiretamente, apoiaram o desenvolvimento deste trabalho e cumprimento do meu propósito acadêmico.

RESUMO

DESENVOLVIMENTO DE UM PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA E PREDITIVA PARA A MELHORIA DA CONFIABILIDADE DE UM PROCESSO INDUSTRIAL AUTOMATIZADO.

A economia globalizada provocou um acréscimo na demanda por produtos e sistemas de melhor desempenho a custos competitivos. Simultaneamente, surgiu a necessidade de redução na probabilidade de falhas em produtos, sejam elas falhas que simplesmente aumentam os custos relacionados aos produtos ou falhas que possam provocar riscos à segurança pública. Buscar maneiras de prognosticar o tempo de vida útil dos equipamentos e em quais condições eles precisam operar para que esse tempo seja mais bem aproveitado, é indispensável, garantindo assim a disponibilidade e confiabilidade da planta industrial. O objetivo principal desta pesquisa foi apresentar e discutir a aplicabilidade de um plano de Manutenção centrada na confiabilidade a uma empresa situada na cidade de João Pinheiro – MG. Para auxiliar no processo de resolução de problemas do dia a dia do meio industrial, essa pesquisa avaliou os aspectos associados à manutenção mecânica, onde a empresa analisada controle suas atividades de modo que sua produção seja planejada e adaptada a partir da real situação de seus equipamentos. Uma pesquisa bibliográfica foi elaborada empregando a literatura disponível sobre o tema, baseada na análise comparativa experimental. Foi realizado um diagnóstico conciso através de observação *in loco* com um formulário, acompanhando as atividades diárias e através das informações fornecidas pela equipe de manutenção. As medidas corretivas adotadas para solução dos problemas levantados foram sendo implantadas ao longo de um período de nove meses. Cada alteração de procedimento ou técnica implementada foi discutida antecipadamente com toda a equipe de manutenção em reuniões, de modo a obter o comprometimento das pessoas e dar transparência ao processo. Foram implantadas requisições de serviço para documentar os trabalhos de manutenção e estabelecidos indicadores e relatórios específicos para o gerenciamento do setor. O Plano de Manutenção Preventiva foi instituído com recursos internos e para a implantação da Manutenção Preditiva foi utilizada a técnica da termografia infravermelha. Neste trabalho, após os procedimentos realizados, foi possível verificar a validade do programa de manutenção. Com a redução das paradas por manutenções corretivas, houve uma melhoria na confiabilidade dos equipamentos de produção no processo automatizado.

Palavras-chave: Manutenção centrada na confiabilidade. Manutenção industrial. Disponibilidade. Termografia infravermelha.

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF A PREVENTIVE AND PREDICTIVE MAINTENANCE PLAN TO IMPROVE THE RELIABILITY OF AN AUTOMATED INDUSTRIAL PROCESS.

The globalized economy has led to an increase in demand for better performance products and systems at competitive costs. At the same time, there is a need to reduce the likelihood of product failures, whether they are failures that simply increase the related product costs or may induce risks to public safety. Finding ways to predict the useful life of the equipment and under which conditions they need to be operated in order to make better use of this failure time is indispensable. Therefore, the availability and reliability of the industrial plant will be guaranteed. The main objective of this research was to present and discuss the applicability of a maintenance plan by focusing on the reliability of a company located in the city of João Pinheiro - MG. To assist in the day to day problem solving process of the industrial environment, this research evaluated the aspects associated with mechanical maintenance. By using the mechanical maintenance, the analyzed company controls its activities so that its production is planned and adapted from the real situation of its equipment. A literature review was elaborated using the available academic publications related to the subject, based on the experimental comparative analysis. A concise diagnosis was made in situ by using a form, following the daily activities and also by using the information provided by the maintenance team. The corrective measures adopted to solve the problems were implemented over a period of nine months. Each procedure or technical change implemented was discussed in advance with the entire maintenance team during meetings, in order to obtain the commitment of the people and to give transparency to the process. Service requests were implemented to document maintenance work and specific indicators and reports were established for the management of the sector. The Preventive Maintenance Plan was set up with internal resources and the infrared thermography was used for the implementation of the Predictive Maintenance. In this work the realized procedures allowed to verify the validity of the maintenance program, with the reduction of the corrective maintenance time. It was shown that there was an improvement in the reliability of the production equipment in the automated process.

Keywords: Maintenance focused on reliability. Industrial maintenance. Availability. Infrared thermography.

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAMAN	Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos
CCA	Arseniato de cobre cromatado
CDF	<i>Cumulative distribution function</i>
CMMS	Software especialista em gestão de manutenção
D	Disponibilidade
DF	Disponibilidade física
FAA	<i>Federal Aviation Authority</i>
FDA	Função distribuição acumulada
FDP	Função densidade de probabilidade
FMECA	<i>Failure mode, effect and criticality analysis</i>
GWh	Gigawatt-hora
K-S	Kolmogorov-Smirnov
MCC	Manutenção Centrada em Confiabilidade
MEV	Método da máxima verossimilhança
MP	Manutenção preventiva
MTBF	<i>Mean time between failures</i>
MTTF	<i>Mean time to failure</i>
MTTR	<i>Mean time to repair</i>
Mw	Megawatt
MWT	Tempo médio de espera
NBR	Norma Brasileira
OS	Ordem de serviço
P0	Nível de prioridade – Pequenos Ajustes
P1	Nível de prioridade – Emergência
P2	Nível de prioridade – Urgência
P3	Nível de prioridade – Trabalhos Programados
P4	Nível de prioridade – Trabalhos Programados
PT	Permissão de trabalho
RCM	Reliability Centered Maintenance

RSM	Requisição de Serviço de Manutenção
TPM	Manutenção produtiva total
VEVs	Variadores eletrônicos de velocidade

LISTA DE SÍMBOLOS

$E(T)$	Média do modelo Weibull
$f(t)$	Densidade de probabilidade
$h(t)$	Função taxa de risco
η	Vida característica
n	Probabilidade de ocorrência de falhas por unidade de tempo
$R(t)$	Função confiabilidade
t	Tempo transcorrido
t_0	Vida mínima
X_t	Tempo até a falha do projeto
λ	Taxa de falhas
$Z(t)$	Taxa de defeitos

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Curva da banheira	32
Figura 2.2	Curva da banheira e ciclo de vida de equipamentos	34
Figura 2.3	Simulação de um sistema em série	42
Figura 2.4	Simulação de um sistema em paralelo	42
Figura 2.5	Simulação de um sistema série-paralelo	43
Figura 2.6	Exemplo de sistema complexo	43
Figura 2.7	Diagrama de decisão referente ao tipo de atividade de manutenção	49
Figura 3.1	O cenário inicial do setor de manutenção	59
Figura 3.2	As modificações introduzidas no setor de manutenção	60
Figura 3.3	Parque industrial da Empresa do ramo de eucalipto imunizado	61
Figura 3.4	Processo de imunização do eucalipto	63
Figura 3.5	Autoclave utilizada na Empresa do ramo de eucalipto imunizado ..	63
Figura 3.6	Escala IRON	68
Figura 3.7	Espectro eletromagnético - Câmera Fluke	68
Figura 3.8	Termografia em painéis elétricos, subestação, máquinas e equipamentos	69
Figura 3.9	Inspeção termográfica	70
Figura 3.10	Câmera FLIR I7	71
Figura 3.11	Exemplo de relatório Flir	72
Figura 3.12	Apresentação do ambiente de trabalho do programa ProConf na tela principal, com janela de entrada de dados ativada	74
Figura 3.13	Formulário para coleta de dados	75
Figura 3.14	Motores responsáveis pelo processo automatizado	78
Figura 3.15	Motor elétrico responsável pelo vácuo inicial e final da imunização do eucalipto	79
Figura 3.16	Medição termográfica	80
Figura 3.17	Máquinas carregadeiras marca New Holland	81
Figura 3.18	Máquina carregadeira com implemento florestal	81
Figura 4.1	Formulário Requisição do Serviço de Manutenção	86
Figura 4.2	Manual preventivo – Motores elétricos	88
Figura 4.3	Manual Preventivo – Máquina carregadeira com implemento florestal.....	89

Figura 4.4	Análise termográfica fase inicial de funcionamento de motor elétrico.....	90
Figura 4.5	Análise termográfica fase final de funcionamento de motor elétrico	91
Figura 4.6	Frequência de Falha antes da implementação do plano de manutenção	94
Figura 4.7	Frequência de Falha após a implementação do plano de manutenção	94
Figura 4.8	Taxa de falha antes da implementação do plano de manutenção .	95
Figura 4.9	Taxa de falha após a implementação do plano de manutenção	95
Figura 4.10	Confiabilidade antes da implementação do plano de manutenção ..	96
Figura 4.11	Confiabilidade após a implementação do plano de manutenção ...	96
Figura 4.12	Confiabilidade acumulada de falha antes da implementação do plano de manutenção	97
Figura 4.13	Confiabilidade acumulada de falha após a implementação do plano de manutenção	97
Figura 4.14	Aproximação de uma distribuição de Weibull antes da implementação do plano de manutenção.....	98
Figura 4.15	Aproximação de uma distribuição de Weibull após a implementação do plano de manutenção	98
Figura 4.16	Modelo e ajuste da distribuição antes da implementação do plano de manutenção	99
Figura 4.17	Modelo e ajuste da distribuição após a implementação do plano de manutenção	99
Figura 4.18	Teste de aderência antes da implementação do plano de manutenção	101
Figura 4.19	Teste de aderência após a implementação do plano de manutenção	101

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1	Informações da placa de identificação do motor WEG	79
Tabela 3.2	Informações do motor da máquina Michigan 55c	82
Tabela 4.1	Tempo até as falhas antes do plano de manutenção implantado ..	92
Tabela 4.2	Tempo até as falhas após o plano de manutenção implantado	93
Tabela 4.3	Resultados numéricos obtidos	102

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Contexto de Motivação	17
1.2	Descrição do Problema	18
1.3	Objetivos geral e específicos	19
1.4	Metodologia	20
1.5	Estrutura da Dissertação	21
CAPÍTULO 2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1	Confiabilidade e Manutenção	24
2.1.1	<i>Conceito de Confiabilidade</i>	25
2.1.2	<i>Conceito de Disponibilidade</i>	25
2.1.3	<i>Manutenabilidade ou Mantenabilidade</i>	27
2.1.4	<i>Indicadores de Desempenho da Manutenção</i>	27
2.1.4.1	Principais indicadores da manutenção	28
2.1.5	<i>O perfil da falha ao longo da vida de um equipamento</i>	32
2.1.6	<i>Distribuições de probabilidade mais utilizadas</i>	35
2.1.7	<i>Confiabilidade de Sistemas</i>	40
2.1.7.1	Sistemas em série	41
2.1.7.2	Sistemas em paralelo	42
2.1.7.3	Sistemas mistos	43
2.1.7.4	Sistemas complexos	43
2.2	Manutenção Industrial	44
2.2.1	<i>Manutenção centrada na confiabilidade</i>	48
2.2.2	<i>Organização da manutenção</i>	50
2.2.3	<i>Manutenção não planejada</i>	53
2.2.4	<i>Manutenção planejada</i>	54
2.2.4.1	Manutenção preventiva	54
2.2.4.2	Manutenção preditiva	55
CAPÍTULO 3	MATERIAIS E MÉTODOS	59

3.1	Descrição da empresa	60
3.2	Técnicas e ferramentas aplicadas	64
3.2.1	<i>Termografia Infravermelha</i>	64
3.2.2	<i>PROCONF: software orientado à análise de confiabilidade</i> ...	73
3.3	O Cenário Inicial do Setor de Manutenção	75
3.3.1	<i>Os Problemas Encontrados no Setor de Manutenção</i>	76
3.3.1.1	Falta de documentação dos serviços de manutenção	76
3.3.1.2	Planejamento deficiente dos trabalhos de manutenção	77
3.3.1.3	Inexistência de uma estratégia de manutenção preventiva e carência de um programa de manutenção preditiva	77
3.3.1.4	Ausência de indicadores de desempenho da manutenção	78
3.4	Diagnóstico da confiabilidade atual	78
CAPÍTULO 4 RESULTADOS		83
4.1	As Modificações Introduzidas no Setor de Manutenção	83
4.1.1	<i>A Implantação da Requisição de Serviço de Manutenção</i>	83
4.1.2	<i>Evolução dos Indicadores de Desempenho</i>	87
4.1.3	<i>Desenvolvimento do Plano de Manutenção Preventiva</i>	88
4.1.4	<i>Manutenção Preditiva - Análise Termográfica nos motores</i> ...	89
4.2	Análise da Confiabilidade	91
4.3	Resumo dos Resultados das Ações Desenvolvidas no Setor de Manutenção	102
CAPÍTULO 5 CONCLUSÃO		103
5.1	Considerações Finais	103
5.2	Sugestões de trabalhos futuros	104
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		106

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

1.1 Contexto de Motivação

O setor de manutenção tende a cada vez mais, ser considerado estratégico para os resultados da empresa. Através da gestão da manutenção é possível antecipar e evitar falhas que certamente causariam a interrupção do equipamento provocando certo prejuízo para a empresa. Por meio da gestão da manutenção, a empresa se prepara para uma interrupção do equipamento em uma situação mais apropriada, pois tudo que é planejado é mais barato, mais seguro e mais rápido. Desse modo, a manutenção, como ferramenta estratégica das organizações é responsável pela disponibilidade de seus equipamentos, tendo uma importância crucial no resultado das empresas, e com a gestão da manutenção implantada na empresa, os resultados serão melhores e mais satisfatórios (BARROS, 2018).

A manutenção centrada na confiabilidade (MCC), ou Reliability Centered Maintenance (RCM), é um método que pode contribuir para o aumento da confiabilidade e da disponibilidade de equipamentos. Métodos de apoio quantitativos são considerados importante base de apoio ao definir a estratégia de manutenção. (SELLITTO, 2007 *apud* SANTOS e SELLITTO, 2016).

Silva (2018), afirma que a manutenção centrada em confiabilidade (MCC) tem como objetivo principal aumentar a disponibilidade das máquinas e otimizar a produção. Sendo assim, possibilita reduzir as paradas emergenciais e paradas para manutenção corretivas, melhorar a distribuição da mão de obra, bem como reduzir também a taxa de serviços aguardando programação, e evidenciar a ampliação da vida útil dos equipamentos, uma vez que cada componente do sistema recebe a manutenção necessária para cumprir a sua função.

Para Vaccaro (1997) a análise de confiabilidade é como um conjunto de ferramentas, cujo objetivo seja analisar o impacto de melhorias no projeto de produtos e componentes em seu desempenho, manutenibilidade e segurança nas linhas de produção, de modo que não ocorram falhas prematuras.

Nesse sentido, Silveira (2015) reforça que realizadas as escolhas certas na gestão da manutenção, é possível melhorar o desempenho do equipamento, alcançando ao mesmo tempo uma redução dos custos de manutenção e um aumento de sua confiabilidade operacional. Entretanto, se houverem más escolhas, outros problemas serão criados, enquanto aqueles já existentes tenderão a piorar.

Recentemente, há a necessidade de eliminar custos e aumentar a produtividade nas empresas, devido à grande concorrência existente. Diante dessa necessidade, a manutenção se tornou essencial ao cumprimento destas duas metas, pois, é com ela que se repara a máquina com as melhores tecnologias, técnicas e métodos disponíveis, bem como é também a manutenção que disponibiliza máquinas confiáveis e capazes de produzir sem imprevistos, agregando lucros maiores para a organização (LOTTERMANN, 2014).

Independentemente do tipo de processo industrial, urge tomar medidas visando o bom funcionamento dos equipamentos, a fim de reduzir possíveis falhas e paralisação indesejada na produção. Assis *et al.* (2015) consideram que essas paradas indesejadas na produção são percebidas como ponto negativo para as finanças da empresa, por implicar em perda de produção e a manutenção é uma das formas utilizadas para solucionar esses problemas.

1.2 Descrição do Problema

Hoje em dia, a maioria das linhas de produção atuam 24 horas por dia e 7 dias por semana. Assim, as falhas imprevistas em equipamentos são cada vez menos toleradas, a fim de não comprometerem a alta produtividade demandada.

Situação que corrobora a necessidade de um plano adequado de manutenção preventiva e preditiva ocorre na indústria onde foi desenvolvido este trabalho. Uma indústria do ramo de eucalipto imunizado, sendo produzidos diariamente cerca de 170 m³ de madeira, possuindo diversas aplicações nos segmentos do agronegócio, construção civil e mobiliário urbano.

A indisponibilidade inesperada de algum equipamento pode ocasionar paradas não programadas na produção. Além dos prejuízos com a interrupção da produção, esses transtornos conduzem a altos custos com manutenção corretiva não planejada, prejudicando abundantemente o resultado global da empresa.

Há sempre medidas que podem ser implementadas a fim de aumentar a confiabilidade dos sistemas. Vários são os pontos que podem ser melhorados até atingir o máximo de eficiência, quer do processo, do produto, dos equipamentos, da operação e até da eficiência humana. Buscar maneiras de prognosticar o tempo de vida útil dos equipamentos e em quais condições eles precisam operar para que esse tempo seja mais bem aproveitado é indispensável, garantindo assim a disponibilidade e confiabilidade da planta industrial.

A implementação de métodos de manutenção preventiva e preditiva é necessária para que a parada não programada em equipamentos de uma linha de produção seja cada vez menos frequente, ou seja, os equipamentos só deverão parar caso exista um planejamento para se fazer a manutenção.

1.3 Objetivos geral e específicos

Este trabalho tem como objetivo geral conceber e implementar um plano de manutenção centrada na confiabilidade (MCC) em uma empresa que apresenta um processo de produção automatizado, priorizando a maximização da disponibilidade dos equipamentos de produção.

A área de manutenção dos equipamentos de produção deve passar por um processo interno de reestruturação, alterando a forma de atuação dos equipamentos. Desta forma, devem ser avaliadas as atividades e as responsabilidades dos envolvidos com essas atividades. Evidenciando o aspecto da confiabilidade, elaborando e fornecendo propostas para a melhoria da sinergia operacional, valorizando o colaborador e o alcance de resultados positivos para as áreas envolvidas e para a organização.

Objetivos específicos:

- Analisar as atividades de manutenção e de produção no que diz respeito a confiabilidade;
- Melhorar a sinergia operacional;
- Avaliar a confiabilidade do sistema após a implementação do plano de manutenção.

1.4 Metodologia

O trabalho de pesquisa iniciou-se pela execução de um diagnóstico dos principais problemas que afetam o desempenho do setor de manutenção da Empresa do ramo de eucalipto imunizado. Um diagnóstico foi realizado pela observação *in loco*, acompanhando as atividades diárias e através das informações fornecidas pela equipe de manutenção.

A observação *in loco* acontece através da subjetivação do pesquisador, é onde ele expressa uma análise subjetiva do que está sendo observado, sendo que, pode ocorrer de sua opinião prevalecer em determinada situação. Marconi e Lakatos (2004) entendem que esta é uma técnica de coleta de dados utilizada para conseguir informações utilizando dos sentidos na obtenção de determinados aspectos da realidade.

Em resumo, o estudo do setor de manutenção da Empresa do ramo de eucalipto imunizado revelou os seguintes problemas principais:

- Falta de documentação dos serviços de manutenção;
- Planejamento deficiente dos trabalhos de manutenção;
- Inexistência de uma estratégia de manutenção preventiva e carência de um programa de manutenção preditiva;
- Ausência de indicadores de desempenho da manutenção.

Foi necessário compreender a estruturação do setor de manutenção, examinar em profundidade as rotinas e controles existentes, analisar os recursos materiais disponíveis e conhecer as pessoas. Revisar os conceitos de Engenharia

de confiabilidade aplicados à manutenção, discutir a importância da manutenção preventiva e preditiva e identificar elementos que deveriam estar presentes em um modelo de gestão da manutenção.

1.5 Estrutura da Dissertação

O capítulo 2 apresenta o referencial teórico, se inicia com o estado da arte, aborda sobre a confiabilidade, disponibilidade, indicadores de desempenho na manutenção, o perfil da falha ao longo da vida de um equipamento e a descrição das distribuições de probabilidade mais utilizadas. Apresenta os modelos de Manutenção industrial e manutenção centrada na confiabilidade.

No capítulo 3 foram apresentadas informações sobre a empresa em estudo, a descrição das etapas do trabalho, os materiais utilizados e os métodos específicos necessários à execução da pesquisa.

O capítulo 4 se refere a aplicabilidade do plano de manutenção e seus resultados. Foi demonstrado as modificações introduzidas no setor de manutenção, como a implantação da requisição de serviço de manutenção, a criação do plano de manutenção preventiva e a análise termográfica na manutenção preditiva. Finalizando o capítulo com a utilização do software ProConf na validação da confiabilidade para um equipamento após o plano de manutenção implementado.

Já o capítulo 5 foi reservado à conclusão e sugestões de trabalhos futuros. E posteriormente, segue a lista de referências bibliográficas utilizadas no presente estudo.

CAPÍTULO 2: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Suryono e Rosyidi (2018) fizeram um estudo com a finalidade de determinar as tarefas de manutenção a serem adotadas em um equipamento automatizado que funciona dezesseis horas por dia, por cinco dias na semana. Os autores utilizaram a manutenção centrada na confiabilidade como uma ferramenta de análise para determinar o componente crítico e encontrar as melhores frequências de inspeção para maximizar a confiabilidade do equipamento.

No estudo de Fabrício *et al.* (2016) concluíram que falhas em equipamentos elétricos utilizados em linhas de produção, quase sempre ocasionam interrupção do processo produtivo, conseqüentemente com impacto econômico e operacional, quer seja pelo tempo despendido na manutenção, ou pela redução do volume produzido.

Assis *et al.* (2015) relatam que entre as manutenções, existe a mais adequada para cada equipamento, o que irá variar conforme a criticidade da máquina para produção industrial, os custos envolvidos na manutenção, bem como o espaço físico da indústria (caso seja necessário grandes estoques). Definir o tipo de manutenção que proporcione melhor custo benefício não é tarefa simples, mas definir a criticidade das máquinas é crucial para uma manutenção correta, desse modo, convém criar quadros de prioridades dos equipamentos correlacionando o tempo entre falhas que os mesmos possuem.

Mengue e Sellitto (2013) definiram a estratégia de manutenção mais adequada para uma bomba centrífuga instalada em uma planta petrolífera, baseada na modelagem de cálculos de confiabilidade e na definição da posição no ciclo de vida da curva da banheira do equipamento. Afirmam ainda que o método contribuiu a fim de verificar que a estratégia de manutenção preditiva, utilizada no equipamento pela empresa, não era adequada. A modelagem da confiabilidade apontou que o equipamento estava na fase de mortalidade infantil, sugerindo uma estratégia de manutenção corretiva, objetivando, eliminar as reais causas de possíveis defeitos de fabricação ou de projeto do equipamento.

Em uma pesquisa-ação sobre a implantação da metodologia da MCC em uma linha de produção de misturas negras de uma fábrica de pneumáticos, no Sudeste brasileiro, Duarte *et al.* (2013) concluíram que a aplicação efetiva e disciplinar desta metodologia propiciou a realização e mapeamento processual de fabricação que identificou 1015 modos de falhas e análise de 937 tarefas de manutenção com uma taxa global de melhoria do plano de manutenção existente em 57,2% e assim, alcançando resultados sustentáveis em um cenário organizacional que exige taxas consistentes e contínuas de disponibilidade fabril e custos reduzidos de produção.

Germano (2018) estudou no período de 14 meses os efeitos gerados pela implantação da manutenção preventiva sobre a produtividade de uma envasadora gravimétrica automática B108. O autor observou uma produtividade acima de 50%, sendo que os indicadores apresentaram uma melhora ao longo do tempo, dessa forma a disponibilidade da máquina obteve médias acima de 95% em todos os meses, a taxa de falha apresentou uma redução de 75,06% e aumentou a confiabilidade em 46,72%, indicando uma melhora do cenário da máquina quanto ao histórico de falhas.

Komninakis *et al.* (2018) perceberam que o registro dos dados de paradas de máquinas no banco de dados da empresa pesquisada era precário no detalhamento sobre informações acerca do tipo de falha ocasionada (modos de falhas). Isso pode ser observado pelo fato de o campo para o registro ser de texto livre, não havendo padronização na descrição da causa da parada. Houve também a falta de dados detalhados sobre os manutenedores (profissionais responsáveis pelas manutenções realizadas anteriormente), dificultando assim um entendimento mais minucioso das falhas de origem, o que inviabilizou o estudo mais aprofundado sobre quais fatores influenciaram para que a Máquina de Embalagem 1 apresentasse os piores indicadores, comparados aos indicadores da Máquina de Embalagem 6.

Outros autores como Mengue e Sellitto (2013) e Cerveira e Sellitto (2015), salientam para a importância da quantidade e qualidade do registro dos dados das atividades de manutenção afim de se desenvolver modelos que melhor sintetizem o sistema estudado.

Conforme Ceccato *et al.* (2017), a utilização da termografia em painéis elétricos para fins preditivos no meio industrial apresenta excelentes resultados com a identificação precoce de falhas e degradações de elementos em painéis e quadros elétricos.

Vendo os resultados satisfatórios e os lucros obtidos, as organizações vêm buscando incessantemente novas ferramentas de gerenciamento e organização, que as direcionem para uma maior competitividade através da qualidade, confiabilidade e produtividade. Uma dessas bases de organização na manutenção é o poder de planejamentos das atividades, a busca do “zero defeito” e o tempo de máquina parada igual a zero. Isso é possível usando métodos de inspeção termográfica e outros tipos de análises (OLINDA, 2018).

2.1 Confiabilidade e Manutenção

As organizações precisam assumir a função da manutenção como a atividade que visa a disponibilidade da função dos seus equipamentos. Dessa maneira não comprometem seu processo de produção e a segurança dos envolvidos, assim como a preservação do meio ambiente, mantendo a confiabilidade, segurança e custos adequados. Para obter um processo produtivo com mais estabilidade e fluidez (BARROS, 2018).

Komninakis *et al.* (2018) consideram a análise de confiabilidade de equipamentos como parte fundamental à definição e seleção de estratégias de manutenção mais adequadas.

Fogliatto e Ribeiro (2009) citam que com a necessidade de reduzir os custos e aumentar a produtividade, uma estratégia que tem sido usada pelas indústrias é aumentar a confiabilidade e a manutenibilidade de equipamentos, bem como a disponibilidade, sem aumentar gastos em manutenção.

2.1.1 Conceito de Confiabilidade

Balbinot e Brusamarello (2013) definem confiabilidade como parâmetro que quantifica o período de tempo em que o instrumento fica livre de falhas em função de diferentes fatores especificados.

A confiabilidade mede a habilidade de desempenho do sistema produtivo, a capacidade deste meio se manter com qualidade no decorrer do tempo (SLACK *et al.*, 2006). Pode ser definida como a probabilidade que uma máquina ou um componente de máquina desempenha sua função pretendida sem falha para a vida de projeto proposta. É uma medida quantitativa do sucesso de sobrevivência que se baseia praticamente, em funções de distribuição verificadas por dados experimentais (SOUZA, 2011; COLLINS, 2015).

Fogliatto e Ribeiro (2009) afirmam que a confiabilidade é a probabilidade de um equipamento ou sistema de produção operar nas condições de projeto, sem ocorrência de falha por um determinado tempo.

2.1.2 Conceito de Disponibilidade

Disponibilidade é percebida como a capacidade de um item, diante da manutenção apropriada desempenhar sua função em um determinado instante de tempo ou em um período de tempo predeterminado. Fogliatto e Ribeiro (2009) citam que o conceito de disponibilidade varia de acordo com a capacidade de reparo de uma unidade.

Dentre algumas medidas utilizadas da dependabilidade, uma das mais importantes é a disponibilidade, que é a mais usada em sistemas que mesmo em curtos períodos de operação incorreta são inaceitáveis ou em sistemas em que o reparo é impossível. Reforça que a disponibilidade não pode ser confundida com confiabilidade, pois um sistema pode ser altamente disponível mesmo apresentando períodos de inoperabilidade, desde que esses períodos sejam curtos e não comprometam a qualidade do serviço (NUNES, 2006).

Para Fogliato e Ribeiro (2009) a disponibilidade é a relação entre o tempo em que o equipamento ou sistema está disponível e o tempo total previsto para operação. Sendo que uma baixa disponibilidade de equipamentos críticos pode provocar atrasos em entregas, insatisfação de clientes e aumento de custos operacionais.

Raposo (2018) entende que a disponibilidade é a probabilidade de um equipamento em se encontrar operacional no instante t , sabendo que no instante $t = 0$ ele se encontra operacional. A Disponibilidade operacional dada pela equação 2.1:

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MWT + MTTR} \quad (2.1)$$

A disponibilidade de um equipamento ou sistema é diretamente proporcional à sua qualidade temporal, ou seja, a vida útil do sistema (KOMNINAKIS *et al.* 2018).

Essa disponibilidade pode ser aumentada por estratégias de aumento do MTBF (*Mean time between failures*/tempo médio entre falhas), redução do MTTR (*Mean time to repair*/tempo médio para reparo) ou ambas, simultaneamente (SELLITTO, *apud* SELLITTO e BRUSIUS JR, 2017). Essa ligação é representada pela equação 2.2:

$$Av(t) = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (2.2)$$

Souza e Brito (2017) citam que o indicador Disponibilidade física (DF) mede o tempo em que o ativo físico esteve disponível dentro das horas calendário do período estudado. Sua unidade de medida é a percentagem (%) e quanto maior melhor. Indicada na equação 2.3:

$$DF = \left\{ \frac{\text{Horas calendário} - \sum \text{Horas de manutenção}}{\text{Horas calendário}} \right\} \times 100 \quad (2.3)$$

2.1.3 Manutabilidade ou Manutenibilidade

A manutabilidade é tida como capacidade de um item ser mantido ou recolocado em condições de executar suas funções requeridas mediante condições preestabelecidas de uso, desde que submetido à manutenção sob condições predeterminadas e usando recursos e procedimentos padrão (FOGLIATTO e RIBEIRO, 2009).

Conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1994), na Norma Brasileira – NBR 5462, a manutabilidade ou manutenibilidade pode ser definida como sendo a facilidade de um item ser mantido ou recolocado no estado de prontidão a executar suas funções requeridas, em condições de uso específicas, desde que a manutenção seja executada sob condições determinadas e mediante os procedimentos e meios prescritos.

2.1.4 Indicadores de Desempenho da Manutenção

Souza e Brito (2017) definem indicadores como medidas ou dados numéricos estabelecidos sobre processos que se deseja controlar; sendo assim, são a base para a tomada de decisões, sendo dados concretos que revelam o que de fato acontece em determinado processo, eliminando a percepção, a intuição e a subjetividade.

A cada dois anos, a Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos (ABRAMAN, 2017) divulga o Documento Nacional, que é um medidor da situação da manutenção no País, o qual resulta de uma ampla pesquisa realizada entre empresas representantes dos principais setores da economia de todo o país. Os dados e as informações do Documento são ferramentas de apoio às decisões gerenciais, servindo também de subsídios para trabalhos, palestras e

artigos publicados no Brasil e no exterior. É uma pesquisa importante, pois permite uma visão sobre como se encontra a Manutenção no país e suas tendências.

Gerenciar indicadores é ter a percepção de quais indicadores são necessários para alcançar uma correta visão sistêmica do que se mede, ou seja, o quanto o indicador definido representa para a gestão do que pretende controlar. É preciso ter clareza, para um processo decisório, não se pode analisar um ou outro indicador de forma individualizada. Sendo necessário fazer análise correlacionando indicadores, inclusive de outras áreas de interface (SOUZA e BRITO, 2017).

2.1.4.1 Principais indicadores da manutenção

Xavier (2013) ressalta que grande parte das empresas que adquire programa de gerenciamento da manutenção (CMMS) não o utilizam na sua totalidade. Em média, é possível afirmar que dos recursos do software, à disposição da manutenção, somente 60% são utilizados. Outra constatação, ainda pior, é que muitas empresas não possuem histórico de manutenção ou quando possuem estes não são confiáveis. Segue abaixo os principais indicadores da manutenção utilizados em Indústrias de pequeno, médio e grande porte:

➤ Custo de manutenção

Santos *et al.* (2007) citam que o maior desafio para o planejamento da manutenção na atualidade é saber a definição de quando e qual tipo de intervenção deve ser feita em dado equipamento. Existem vastas publicações sobre confiabilidade de produtos sob o ponto de vista dos fabricantes, já no tocante a discussão da aplicação da confiabilidade em itens em operação, sob a perspectiva da manutenção, a literatura ainda é escassa.

Os custos de manutenção correspondem à parte principal dos custos operacionais totais de todas as plantas industriais de manufatura e de produção.

Dependendo da indústria específica, os custos de manutenção podem representar entre 15% a 30% do custo dos bens produzidos (ALMEIDA, 2000).

Souza (2011) cita que ainda hoje, a maioria dos programas de manutenção preventiva nas indústrias se baseia em intervenções periódicas em intervalos de tempo fixos. Nos momentos de intervenção são feitos ensaios e verificações para identificar e corrigir falhas e defeitos, se encontrados. Mas nem sempre a intervenção é necessária e, além disso, é comum que as periodicidades adotadas não levem em conta as plenas possibilidades operativas dos equipamentos, havendo mais paradas para manutenção do que seria necessário.

A função custo é representada pelo valor médio com manutenção por unidade de tempo, e é composta por uma parte determinística relacionada aos custos com MP periódica e outra aleatória relacionada aos custos dos reparos mínimos (SANTOS *et al.*, 2007).

➤ Taxa de falhas

Conforme Pereira (2009), visando aumentar os índices de confiabilidade e disponibilidade, os mantenedores implantam técnicas preventivas periódicas baseadas em frequências determinadas. Estes planos constituem na substituição ou reforma de componentes ou subsistemas dos equipamentos. Desse modo, em sua maioria, operam com uma determinada vida útil e seu desgaste pode acelerar com o passar do tempo.

Porém, estudos estatísticos contrariam a natureza das falhas e demonstram que as características construtivas e aplicação influenciam bastante (PEREIRA, 2009).

➤ Tempo médio entre falhas - MTBF

O MTBF é uma sigla que nos países de língua inglesa significa é o tempo médio medido entre cada falha (*Mean Time Between Failures*), isto é, a média $E(T)$ do modelo Weibull. Ou seja, é a média $E(T)$ do modelo Weibull, apresentada por um determinado equipamento (unidade ou conjunto), dentro de um

determinado período de tempo. Representa, em termos médios, o tempo esperado de funcionamento antes da próxima falha (KOMNINAKIS *et al.* 2018).

Conforme Branco Filho (2006a), MTBF é a média aritmética dos tempos de funcionamento de máquinas, contados desde a colocação do equipamento em funcionamento ou quando novo, ou após a correção da falha, até a próxima falha. Apontam como tempo de funcionamento todos os tempos do equipamento funcionando, não importando o motivo de funcionamento. É calculado apenas para itens que podem ser reparados e não se aplica a itens descartáveis. Assim, o equipamento com vários itens é reparado e se calcula nele o MTBF, pois os itens individuais podem ser descartados, mas o equipamento não.

Barbosa (2008) afirma que o indicador que representa o tempo médio entre a ocorrência de uma falha e a próxima, representa também o tempo de funcionamento do equipamento diante das necessidades de produção até a próxima falha. Este índice irá indicar qual o tempo médio que a máquina ou equipamento a ser utilizado permanece em funcionamento entre as falhas. Analiticamente o índice pode ser calculado como:

$$MTBF = MTTF + MTTR \quad (2.4)$$

Branco Filho (2006a) cita também que normalmente, as manutenções preventivas não são computadas para o indicador MTBF, mas se apesar de parados para manutenção preventiva, o risco de falha existir, então o tempo de manutenção preventiva deve ser computado. Cita como exemplo, o caso de uma mangueira que deve ser trocada a cada 2000 horas de instalada, pois está cheia de material que provoca a falha, com a máquina funcionando, ou não.

Logo, para calcular o MTBF é necessário primeiro calcular o tempo médio até a falha (*Mean time to failure* - MTTF) e o tempo médio de reparo (*Mean time to repair* - MTTR).

➤ Tempo médio até a falha - MTTF

Conforme Siqueira (2005), o MTTF define o intervalo entre a contaminação e sua evolução para uma indisponibilidade.

O tempo médio até a falha indica como sugere o próprio nome, o tempo médio de operação de um item (peças, componentes ou máquinas), ou seja, é a média aritmética dos tempos desde a entrada em funcionamento até a falha, de componentes ou máquinas não reparáveis (BRANCO FILHO, 2006a). Pode ser calculado pelo somatório dos tempos coletados na pesquisa e dividindo-o pelo número total de amostras:

$$MTTF = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N} \quad (2.5)$$

Onde, t_i = Tempos de operação coletados e N = Tamanho da amostra.

➤ Tempo médio de reparo - MTTR

O indicador MTTR, Equação 2.6, mede o tempo médio em que o ativo físico voltou a ficar disponível após uma manutenção não programada dentro do período estudado. Sua unidade de medida é "Horas" e quanto menor melhor (SOUZA e BRITO, 2017).

$$MTTR = \frac{\sum \text{Horas de manutenções não programadas}}{\sum \text{N}^\circ \text{ de intervenções não programadas}} \quad (2.6)$$

O índice MTTR aponta a média dos tempos que a equipe de manutenção leva para repor o equipamento em condições de operar desde a falha até o reparo ser dado como concluído e o equipamento ser aceito como em condições de operar. Em um primeiro instante, apenas os reparos são considerados como um conjunto, e, logo, em seguida, o reparo como um conjunto de medidas de manutenção preventivas e corretivas (BRANCO FILHO, 2006a).

Para Fogliatto e Ribeiro (2011) o cálculo do MTTR pode ser realizado de maneira análoga ao MTTF, porém no lugar do tempo de operação é utilizado o tempo necessário para reparo. O valor pode ser muito menor do que o encontrado no MTTF, logo, é possível haver uma aproximação do MTBF igual ao MTTF.

2.1.5 O perfil da falha ao longo da vida de um equipamento

A probabilidade de falha durante a vida operacional de um equipamento também está relacionada com os custos de manutenção. A taxa de falha normalmente é referida como apresentando o comportamento mostrado na figura (Figura 2.1), conhecida como 'Curva da banheira' (SOUZA, 2011).

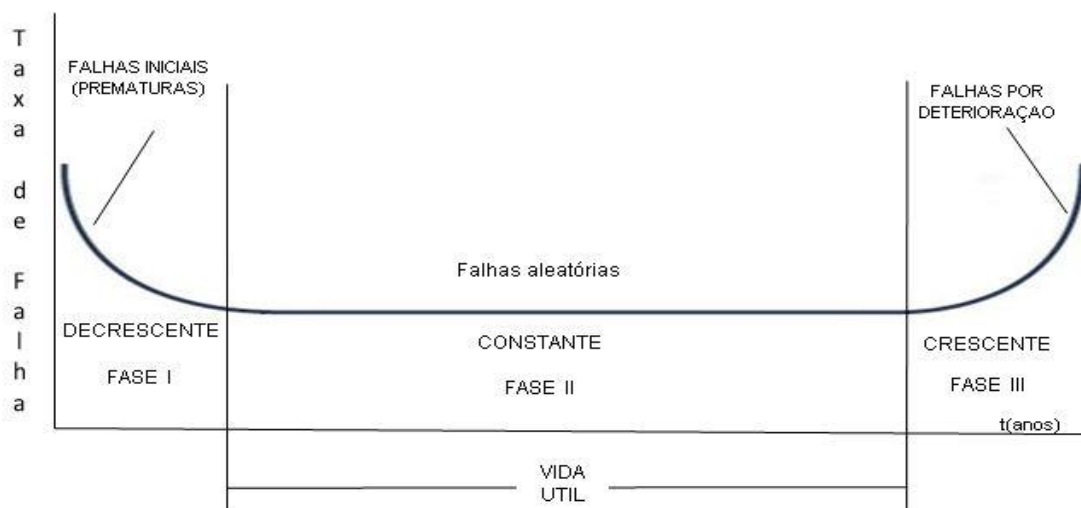


Figura 2.1: Curva da banheira.

Fonte: SOUZA, 2011, p. 233.

A Curva da banheira é composta por três fases distintas que completa o ciclo de vida do equipamento, ao terminar a fase III se pode optar pela troca ou reforma do equipamento. A opção pela reforma faz com que a nova curva da banheira tenha um tempo total de ciclo menor e o período da fase II com uma probabilidade de falha maior (SOUZA, 2011).

Na fase I, a probabilidade de falha no início da vida do equipamento é decrescente, o mesmo acontece com os custos diretos de manutenção. É conhecida como período de mortalidade infantil, isso ocorre com equipamentos

que precisam de um período de amaciamento ou ajustamento (TARRENTO e JOAQUIM JUNIOR, 2010).

As principais causas das falhas são defeitos e ajustes de projeto, defeito de fabricação, ajustes as instalações, desconhecimento da interação do equipamento com a instalação (SOUZA, 2011).

Sellitto (2005) alerta que se a empresa optar pela escolha da estratégia de MP para equipamentos que se encontram na fase de mortalidade infantil da curva da banheira pode implicar na perpetuidade do equipamento nesta fase, por ocorrer a troca dos componentes que não apresentam falha de origem.

Já na fase II, após um determinado período de funcionamento, a taxa de falhas do equipamento é determinada por uma constante. As ocorrências de falhas são raras devido às ações da MP – essa fase é conhecida como período de vida operacional útil (TARRENTO e JOAQUIM JUNIOR, 2010).

Souza (2011) afirma que devido ao fator de ser este o mais longo e matematicamente o mais acessível, a teoria da confiabilidade é mais profundamente aplicável. As principais causas das falhas neste período são os erros de operação falhas ou falta de inspeção e má distribuição da MP.

E finalmente, a fase III se encontra a etapa de desgaste. Ocorre uma taxa de falhas crescente em função do tempo, bem como os custos históricos de manutenção também. É conhecida como período de envelhecimento (TARRENTO e JOAQUIM JUNIOR, 2010).

As causas principais das falhas neste período estão relacionadas diretamente com a degeneração dos componentes, os desgastes naturais e possíveis erros de manutenção ou diagnósticos (SOUZA, 2011).

Pereira (2009), afirma que matematicamente, é indicado para o valor 'n' a probabilidade de ocorrência de falhas por unidade de tempo, supondo que o equipamento ainda esteja operando. A letra grega Lambda 'λ' representa a taxa de falhas ou por Z(t) (Equação 2.7). Logo,

$$\lambda = Z(t) = \frac{1}{MTBF} * 100\% \quad (2.7)$$

A Figura 2.2 sintetiza estas informações em um formato genérico da função $h(t)$ ao longo do ciclo de vida, a curva da banheira (*bath-tube curve*). A curva da banheira é uma construção abstrata que demonstra a expectativa de falha de um item ao longo do tempo, dado que ainda não falhou até este tempo – é o valor esperado da taxa de falha ao longo de todo o tempo de observação (LAFRAIA, 2001).



Figura 2.2: Curva da banheira e ciclo de vida de equipamentos.

Fonte: LAFRAIA, 2001.

Conforme Elsayed (1996) *apud* Sellitto (2005), a confiabilidade $R(t)$ é a probabilidade que um produto ou serviço opere adequadamente e sem falhas sob as condições de projeto, por um tempo especificado, a vida de projeto. A função confiabilidade varia entre 0 e 1 e pode ser usada como uma medida parcial do sucesso de um projeto industrial.

Se o tempo até a falha do projeto X_t é uma variável aleatória, a função confiabilidade $R(t)$ é dada pela equação 2.8. Se $f(t)$ é a densidade de probabilidade de X_t , sua $R(t)$ é dada pela equação 2.9. (ELSAYED, 1996 *apud* SELLITTO, 2005).

$$R(t) = \text{Probabilidade } (X_t > t) \quad (2.8)$$

$$R(t) = 1 - \int_0^t f(\zeta) d\zeta \quad (2.9)$$

2.1.6 Distribuições de probabilidade mais utilizadas

Matos e Zotti (2010) descreve a distribuição estatística por FDP (função densidade de probabilidade). Tanto a definição FDP como todas as outras funções mais comumente utilizadas na análise de confiabilidade, permitem a análise de dados de vida, tais como, função confiabilidade, função taxa de falha, função vida média e função vida mediana, sendo que todas estas podem ser diretamente determinadas a partir das definições de FDP ou $f(t)$.

A distribuição exponencial refere ao tempo até a falha de sistemas sem memória, em que o passar do tempo não altera a probabilidade de falha. Já a distribuição Gamma descreve o tempo até a falha de sistemas que operam com componentes em paralelo para a mesma função. A distribuição de Weibull refere ao tempo até a falha de sistemas que operam em série. A distribuição lognormal descreve o tempo até a falha para sistemas em que a falha tem origem da multiplicação do efeito de infinitos fatores. E ainda a distribuição normal que trata do tempo até a falha para sistemas cuja falha origina da soma do efeito de infinitos fatores (DODSON e NOLAN, 2002; HAHN e SHAPIRO, 1967 *apud* SANTOS e SELLITTO, 2016).

De acordo com Mengue e Sellitto (2013), as distribuições normal e lognormal são úteis para a análise de manutenibilidade. A normal tem melhor ajuste a casos em que o reparo é composto por atividades em série, como em desmontagem e remontagem de máquinas.

Fogiatto e Ribeiro (2009) citam que a distribuição lognormal é utilizada para componentes que apresentam desgaste, tais como peças metálicas sujeitas a falha por corrosão, fadiga ou trincas. Já Mengue e Sellitto (2013) trazem que essa distribuição se ajusta melhor a atividades cognitivas, tal como em reparos que exijam pesquisa de defeito.

A distribuição Gamma é uma distribuição contínua, um segmento advindo da distribuição exponencial, sendo que a distribuição Gamma descreve sistemas que possuem componentes que operam em paralelo, sendo que para o sistema falhar todos os componentes devem falhar (FOGLIATTO e RIBEIRO, 2009).

A Distribuição de Weibull é uma expressão semi-empírica desenvolvida por Ernest Hjalmar Walodi Weibull (1887-1979), físico sueco, que em 1939 apresentou o modelo de planejamento estatístico sobre fadiga de material, possibilitando a representação de forma gráfica simplificada, as falhas típicas de partida como a mortalidade infantil, falhas aleatórias e falhas devido ao desgaste (OZAWA, 2017).

➤ Descrição dos parâmetros da Distribuição de Weibull

- Parâmetro de Posição - Tempo de Vida Mínima

Vida mínima ou confiabilidade Intrínseca ou parâmetro de posição (γ) é o tempo ou número de ciclos de operação a partir do qual o equipamento passa a apresentar falhas, ou seja, é o intervalo de tempo ou número de ciclos que o equipamento não apresenta falhas (CRUZ, 2013).

Pereira (2009) salienta que em muitos casos típicos de desgaste, transcorre um intervalo de tempo ' t_0 ' significativo até que ocorra a primeira falha. A taxa de falha em uma determinada 'idade' do componente só é diferente de 'zero' e crescente após o tempo ' t_0 ', de modo que o fator tempo nas expressões de Weibull aparece sempre sob a forma $(t - t_0)$.

- Parâmetro de Escala - Vida Característica

Vida característica ou parâmetro de escala ' α ' significa que o intervalo de tempo entre ' γ ' e ' t ' no qual ocorrem 63,2% das falhas, restando, portanto, 36,8% de itens sem falhar (PEREIRA, 2009; CRUZ, 2013).

- Parâmetro de Forma

Parâmetro de forma ou fator de forma ' β ' indica a forma da curva e a característica das falhas, $\beta < 1$ usado para aplicação da distribuição no estudo da mortalidade infantil, $\beta = 1$ usado para casos em que a falha é aleatória (função exponencial negativa) e $\beta > 1$ usado para falhas por desgaste (CRUZ, 2013).

Pereira (2009) afirma que as modalidades de tempo transcorrido até a falha e da taxa de falha $Z(t)$ são influenciadas pelo fator de forma β . Um padrão de falha, típico de 'partida', conduz a um valor significativamente menor do que um,

ao passo que um padrão de falhas por desgaste, por sua vez, conduz a valores de β mais elevados, muito embora para valores de fator de forma inferior a três, por exemplo, já existia uma tendência a um comportamento das falhas.

➤ A Distribuição de Weibull

Para utilização no dia a dia, o método de Weibull é de grande aceitação e após 1975 se tornou o método oficial para avaliação de performance e precisão de confiabilidade da Força Aérea Americana (BRANCO FILHO, 2006a).

Barbosa (2016) cita a distribuição de Weibull como uma FDP contínua e unimodal, podendo ser usada com dois ou três parâmetros, com aplicações a diversas populações e fenômeno.

O método de Weibull fornece cerca de 95% de acerto para uma amostra pequena de apenas quatro dados de falha, se for utilizado o Método das Pequenas Amostras, desenvolvido para esta finalidade. (BRANCO FILHO, 2006a).

Branco Filho (2006a) fornece a fórmula de confiabilidade por Weibull, segue Equação 2.10:

$$P(t) = \exp \left[-((t - t_o)/\eta)^\beta \right] \quad (2.10)$$

Onde t é o tempo transcorrido, β é o fator de forma, η é a vida característica, e t_o corresponde à vida mínima.

Branco Filho (2006a) cita que a fórmula mencionada é bastante simples, pois pode ser calculada com qualquer calculadora científica, e o único problema é encontrar os parâmetros básicos de sua fábrica ou máquina, o que pode ser feito com o uso dos dados coletados e processados em programas próprios ou com o uso de papel de Weibull, próprio para este fim.

A função de densidade de probabilidade da distribuição de Weibull pode ser triparamétrica (Equação 2.11), quando $f(t) \geq 0$, $t \geq 0$ ou $\gamma \cdot \beta > 0$, $\eta > 0$, $-\infty < \gamma <$

∞ , ou biparamétrica (Equação 2.12) quando $\gamma=0$, ou monoparamétrica (Equação 2.13), quando o parâmetro de forma assume o valor $\beta = 1$. (LOPES, 2001 *apud* CRUZ, 2013).

$$f(t) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^\beta} \quad (2.11)$$

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

$$f(t) = \frac{c}{\alpha} \left(\frac{t}{\alpha}\right)^{c-1} e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^c} \quad (2.13)$$

Conforme Edimu, Gaunt e Herman (2011) *apud* Fernandes (2013), bem como Rocha (2015), a função distribuição acumulada de falha (FDA) ou função distribuição (CDF – *cumulative distribution function*) é a função que devolve a probabilidade de uma variável aleatória ser inferior ou igual à variável independente de uma função (Equação 2.14).

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta\right] \quad (2.14)$$

Onde α é o parâmetro de escala, e β é o parâmetro de forma.

A função verossimilhança demonstra quão provável a amostra observada é uma função dos valores dos parâmetros possíveis. Maximizar a verossimilhança fornece os valores dos parâmetros para os quais a amostra observada é mais provável de ter sido gerada – ou seja, os valores dos parâmetros que mais aproximadamente concordam com os dados observados (DEVORE, 2006).

Um dos métodos difundidos para estimar os parâmetros populacionais é o método da máxima verossimilhança (MEV), que para a distribuição de Weibull é obtida por meio de um método numérico (STOFFEL e QUINTAS, 2014).

O MEV é um método estabelecido de estimação de parâmetros de modelos estatísticos, é utilizado por estatísticos teóricos e práticos de todas as áreas. O uso generalizado do método se deve às propriedades probabilísticas das estimativas produzidas por ele. O método consiste em calcular os parâmetros de um modelo utilizando as estimativas que tornam máximo o valor da função de verossimilhança (BATISTA, 2009).

Conforme Fritsch e Ribeiro (1998) para o modelo de Weibull, o sistema verifica os dados de falha fornecidos ajustando uma distribuição de Weibull, conforme a seguinte função FDP:

$$f(t) = \frac{\gamma}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\gamma-1} e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\gamma} \quad (2.15)$$

Onde, θ é o parâmetro de escala, e γ é o parâmetro de forma.

O sistema fornece para γ e θ : estimativas de verossimilhança máxima, variância e covariância, estimativas não tendenciosas e intervalo de confiança (FRITSCH e RIBEIRO, 1998).

O teste analítico de Kolmogorov-Smirnov (K-S) é uma ferramenta com base estatística que permite verificar a aderência a certos modelos, desse modo efetua a comparação entre a distribuição de frequência acumulada dos valores de certa amostra com as probabilidades da distribuição normal teórica (MARTINS e DOMINGUES, 2014).

Fernandes (2011) afirma que o teste de ajuste de K-S consiste em encontrar a distância máxima entre a função distribuição acumulada esperada e a observada, e para tanto, é preciso obter uma distância máxima entre as duas. Em seguida, confronta os resultados com um valor teórico. Sendo assim, através do teste K-S é possível afirmar que a distribuição testada se ajusta à amostra, com o nível de confiança requerido.

2.1.7 Confiabilidade de Sistemas

De acordo com Scapin (2007) um sistema é um arranjo ordenado de componentes que interagem entre si e com os componentes externos, outros sistemas e fatores, como operadores, por exemplo, visando à execução de suas funções. Por conseguinte, um sistema é formado de subsistemas, conjuntos e componentes que executam funções conforme a sua missão.

Brostel e Souza (2005) salientam que na confiabilidade de sistemas, há duas categorias específicas, sendo a confiabilidade de projetos e a confiabilidade operacional. Na primeira opção inclui o estudo de itens, como a análise de confiabilidade, verificação de projetos e análises dos testes de confiabilidade. Já a confiabilidade operacional trata da análise de falhas, registros de operação, ações preventivas/corretivas entre outras.

O principal objetivo da engenharia de confiabilidade é a melhoria da confiabilidade do sistema (TAVAKKOLI-MOGHADDAM *et al.*, 2008).

Confiabilidade é uma questão estratégica em diversas indústrias e em setores onde a segurança está em risco, sendo de suma importância maximizar seus níveis. Avanços em confiabilidade, ainda que pequenos numericamente, representam ganhos expressivos em diversas indústrias, como a naval e a aeronáutica (SCHMIDT, 2017).

Fogliatto e Ribeiro (2011) afirmam que a confiabilidade de um equipamento ou sistema é definida na fase de projeto, podendo ser gerenciada pela manutenção. As funções mais utilizadas para análise da confiabilidade são a função densidade de falhas $f(t)$, função acumulada de falhas $F(t)$ e função confiabilidade $R(t)$.

Tarrento e Joaquim Junior (2010) ressaltam que todo sistema, devido à interdependência de seus componentes, é suscetível a falhas, portanto, a aplicação da técnica adequada de manutenção é decisiva para o aumento da disponibilidade dos equipamentos. Em síntese, a gestão eficaz da manutenção industrial contribui para a melhoria da disponibilidade de equipamentos.

Em análises de confiabilidade, Almeida e Carvalho (2016) afirmam que é de suma importância uma base de dados consistente e confiável que retrate a realidade da organização. A empresa deve investir na padronização e treinamentos dos empregados para registrar corretamente os eventos de manutenção no sistema.

Mendes e Sellitto (2013) consideram que o estudo de confiabilidade é um ciclo que começa desde as fases de pesquisa, projeto e fabricação, e consolida durante a utilização dos produtos pelos clientes. Conforme Guzzon (2009), a análise de confiabilidade engloba desde o início do projeto até as fases de desenvolvimento e operação. Objetiva reduzir a probabilidade de falhas a que o sistema ou equipamento está sujeito, ou mesmo minimizar o efeito negativo das mesmas, utilizando de dados quantitativos oferecidos pelo processo.

Alguns componentes são mais importantes que outros para a confiabilidade do sistema, e o conhecimento dessa importância é útil para alocar inspeções, recursos e estratégias de manutenção dos componentes. A medida de importância também pode ser usada para identificar componentes que deveriam ser modificados ou substituídos por componentes com melhor qualidade, tornando a análise de confiabilidade mais racional e eficiente (HE *et al.*, 2018 *apud* RODRIGUES, 2018).

2.1.7.1 Sistemas em série

Para Cassula *et al.* (2003), sistemas em série é o modelo mais difundido para a avaliação da confiabilidade de Sistemas. O sistema é composto por 'n' componentes independentes, os quais devem estar todos em estado operacional simultaneamente para que se obtenha a condição operacional. O sistema falha se algum de seus componentes falharem. Por este motivo também é conhecido na literatura como 'Modelo em Cadeia' ou 'Modelo de Primeira Falha' (*First-Fail Model*).

Para Silva (2008) os sistemas de blocos de confiabilidade arranjados em série demonstram sistemas em que a indisponibilidade ou falha de um bloco

provoca a indisponibilidade ou falha de todo o sistema em série, conforme Figura 2.3:

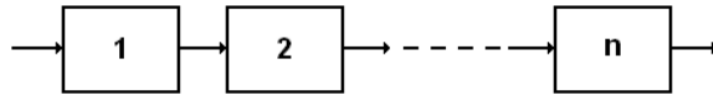


Figura 2.3: Simulação de um sistema em série.
Fonte: SILVA, 2008.

2.1.7.2 Sistemas em paralelo

Arranjo de blocos de confiabilidade em paralelo representa os sistemas onde a indisponibilidade ou falha de um bloco não necessariamente provoca a indisponibilidade ou falha de todo o sistema (SILVA, 2008). A figura 2.4 ilustra um diagrama de blocos em paralelo.

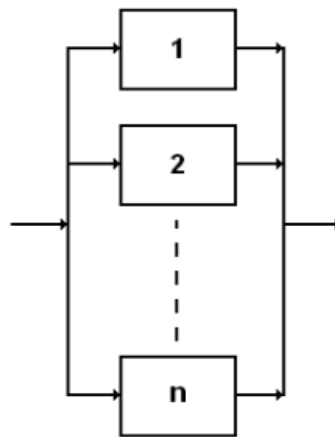


Figura 2.4: Simulação de um sistema em paralelo.
Fonte: SILVA, 2008.

Sistemas em série-paralelo são constituídos por 'm' subsistemas em série, onde cada subsistema 'j' é formado por um conjunto de 'nj' componentes redundantes (SCHMIDT, 2017).

2.1.7.3 Sistemas mistos

Muitos sistemas são constituídos de uma combinação de subsistemas em série e subsistemas em paralelo. São eles os sistemas Paralelo-Série e Série-Paralelo. Os sistemas Paralelo-Série são aqueles onde há 'n' caminhos em paralelo, cada um deles com 'n' unidades em série (RIBEIRO *et al.*, 2009). A Figura 2.5 apresenta um esboço deste tipo de sistema.

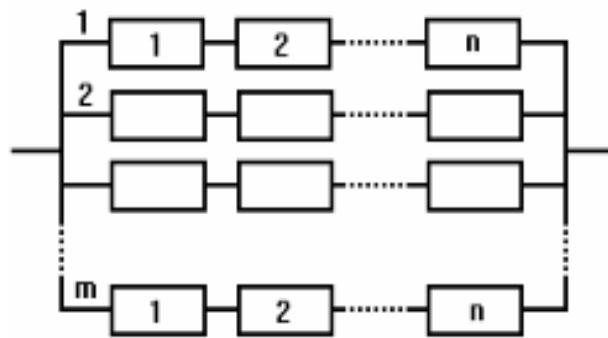


Figura 2.5: Simulação de um sistema série-paralelo.
Fonte: SILVA, 2008.

2.1.7.4 Sistemas complexos

Os sistemas complexos são aqueles que não constituem uma combinação dos arranjos em série e paralelo. Portanto, se trata de uma configuração mais complexa (RIBEIRO *et al.*, 2009). A Figura 2.6 apresenta um exemplo de sistema complexo.

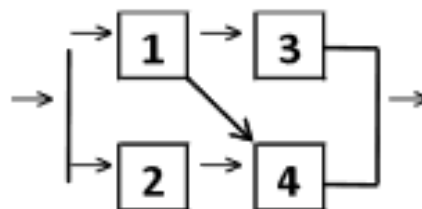


Figura 2.6: Exemplo de sistema complexo.
Fonte: RIBEIRO *et al.*, 2009.

Para Vaccaro (1997), sistemas complexos, são sistemas em que o arranjo dos componentes não pode ser descrito como uma mera combinação de

subsistemas em série e subsistemas em paralelo. São mais difíceis de serem analisados e, em certas ocasiões, tendem a requerer análises muito particulares para a obtenção de estimativas de confiabilidade.

2.2 Manutenção Industrial

A cada dia, a competitividade está mais acirrada, exigindo extremo controle dos centros de custos operacionais para a sustentação dos negócios. É fundamental que a manutenção industrial tenha uma função estratégica e uma base de indicadores funcionando adequadamente. Dentre as demandas na agenda de empresas de qualquer segmento, muito se discute sobre as experiências cruzando a gestão da manutenção industrial com aspectos de implantação de qualidade e produtividade, e a busca do aumento da disponibilidade e da confiabilidade (RUDRIGUES e CAMPOS, 2017).

A mecanização dos processos produtivos trouxe consigo a necessidade da criação de programas de gestão da manutenção, que monitorassem os equipamentos industriais evitando desgaste, quebras e mau funcionamento das máquinas. De modo a tornar equipamentos e instalações disponíveis o maior tempo possível para operação. Esta disponibilidade se fez possível graças a planos de manutenção centrada na confiabilidade. A manutenção é o conjunto de todas as ações técnicas, administrativas e de gestão utilizadas no ciclo de vida de uma máquina ou componente (CABRAL, 2006).

Andrade *et al.* (2013) são sucintos ao afirmar que as atividades da manutenção são como ferramenta de eficiência energética. Para Strocker (2003) *apud* Andrade *et al.* (2013), o custo real de um equipamento é determinado como o total dos investimentos iniciais acrescidos dos custos operacionais, que incluem os custos de energia e de manutenção.

Pereira e Neves (2000) entendem a manutenção como o conjunto de cuidados técnicos indispensáveis ao funcionamento regular e permanente de máquinas, equipamentos, ferramentas e instalações. Esses cuidados envolvem a conservação, adequação, restauração, substituição e a prevenção.

Conforme Garcia e Cavalcante (2017), a função da manutenção perpassa pelos objetivos organizacionais, pois o resultado final de um produto precisa em grande parte, da utilização de algum tipo de equipamento. Dessa forma, ressaltam que a finalidade primordial das manutenções é garantir que determinada linha de produção alcance a produção almejada.

Quem almeja alcançar os objetivos, necessita buscar a manutenção diária em serviços de rotina e de reparos periódicos programados. A manutenção ideal de um equipamento é a que permite alta disponibilidade para a produção durante todo o tempo em que ela estiver em serviço e a um custo adequado. (PEREIRA e NEVES, 2000).

A manutenção adequada de um motor elétrico e da máquina por ele acionada pode representar significativa economia de energia elétrica. É muito comum, em uma empresa, máquinas serem acionadas por motores elétricos em condições precárias de funcionamento a pretexto de não se prejudicar a produção ou por simples descaso. A manutenção ou o reparo da máquina é, geralmente, feito somente quando a produção permite, ou as condições de funcionamento se tornam tão precárias que impedem a sua operação. Tal procedimento, além de poder danificar a máquina, reduz sua vida útil e, geralmente, provoca grandes desperdícios de energia (MOSKO *et al.*, 2010).

De acordo com a ABNT (1994) em sua norma NBR 5462, sugerem a manutenção como a combinação de todos os atos técnicos e administrativos, contendo as de supervisão, designadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa realizar uma função requerida. Tem como missão garantir a disponibilidade do desempenho das instalações e equipamentos de modo a atender a um programa de serviço ou de produção com preservação do meio ambiente, credibilidade e custos apropriados.

Os motores elétricos são equipamentos destinados a transformar energia elétrica em energia mecânica, que podem ser alimentados com corrente contínua ou alternada (síncronos ou assíncronos) e seu funcionamento consiste no princípio da indução eletromagnética. (ALVES, 2016).

Conforme Alves (2016), o tipo de motor síncrono é caracterizado por funcionar com velocidade fixa (constante). Não possuem escorregamento e

possuem seus campos independentes um do outro. Estão associados quase que totalmente para aplicações de grande potência, principalmente em função de seus altos custos de fabricação quando destinado a tamanhos menores, ou ainda em situações nas quais se necessite de velocidade invariável.

Já o motor de indução assíncrono tem a sua velocidade aproximadamente constante variando ligeiramente em função do tipo de carga mecânica aplicada no seu eixo, logo são descritos como motores de velocidade variável. Seus campos são independentes (ALVES, 2016).

O motor de indução ou motor assíncrono é utilizado em mais de 99% dos acionamentos industriais. De toda a energia elétrica produzida, mais da metade é consumida por motores elétricos (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2006).

É o motor de uso mais difundido nos ambientes industriais principalmente por seu baixo custo, simplicidade e robustez, sendo estes dois últimos aspectos decisivos uma vez que tornam a manutenção das máquinas menos onerosa. Sua velocidade pode ser controlada e/ou adaptada a determinadas situações ou tipos de cargas fazendo uso de um dispositivo denominado de inversor de frequência (ALVES, 2016).

Motores elétricos à energia alternada é o mais utilizado, uma vez que o seu custo é mais reduzido. Os motores síncronos funcionam a uma velocidade fixa não importando a carga aplicada, os motores assíncronos ou de indução funcionam normalmente a uma velocidade constante que varia com a carga aplicada ao eixo (SANTOS, 2017).

Yamachita (2013) também corrobora que um dos grandes problemas encontrados é que, na busca por uma confiabilidade alta, os responsáveis pela manutenção instalam o motor superdimensionado. Assim, é desejável realizar uma análise dos motores para verificar se estão sendo utilizados de acordo com a carga que está acoplada no eixo.

O que acontece frequentemente é que estes motores não se encontram devidamente dimensionados para a função que desempenham. Para aumentar a eficiência dos sistemas acionados por motores elétricos, têm sido aplicadas

algumas tecnologias que permitem a otimização do trabalho do motor (MAQUEIJO *et al.*, 2010).

Outro ponto de desperdício apontado por Yamachita (2013) é que os motores deterioram ao longo do tempo de operação, desse modo a análise para troca é necessária. Para determinar se a troca é realmente viável, é preciso determinar as perdas e o rendimento do motor. Essa não é uma simples tarefa, visto que na maioria dos casos essa avaliação só pode ser realizada com a parada da linha de produção que muitas vezes não é possível fazer devido à política da empresa.

Os motores de alto rendimento, pela aplicação de variadores eletrônicos de velocidade (VEVs) e o melhoramento dos sistemas de transmissão mecânica. Destas tecnologias se destaca a utilização dos VEVs, com vários estudos apontando como a medida de maior potencial na poupança direta de energia. Face ao sobre dimensionamento, será benéfico para o desempenho global do motor se a velocidade se ajustar às cargas ou necessidades requeridas. Surge assim como a opção mais rentável na otimização dos motores de indução (MAQUEIJO *et al.*, 2010).

A aplicação de um variador eletrônico de velocidade pode gerar economias até 50% de energia, numa média de 22,5%. Além da questão da redução dos consumos, os VEVs trazem outras vantagens como o aumento da duração do motor, redução dos picos de potência durante o arranque, a possibilidade de ser instalado nos mais diversos sistemas que utilizem motores, etc. (MAQUEIJO *et al.*, 2010).

As técnicas de manutenção fazem parte do processo de gestão de manutenção, portanto é necessário conhecê-las bem para aplicá-las de forma eficaz. Um fator importante a ser observado é a capacitação dos mantenedores, pois conforme a técnica se faz necessário determinar o nível de qualificação exigida. Sendo assim, Pereira (2009) considera que o engenheiro de manutenção é fundamental para a implantação com base em análise e definições. Tem como objetivo o aumento da confiabilidade e disponibilidade, porém, sem deixar de lado o controle dos gastos departamentais; devendo adotar critérios rígidos de implantação.

2.2.1 Manutenção centrada na confiabilidade

Conforme Hopkinson *et al.* (2016), primeiramente, a MCC foi desenvolvida no setor de aviação comercial na década de 1960, a fim de minimizar problemas com a introdução dos jatos wide body. Mais precisamente, surgiu da necessidade de certificação da linha de aeronaves Boeing 747 (Jumbo) pela FAA (Federal Aviation Authority) nos Estados Unidos. Siqueira (2005) cita que este avião foi o marco da introdução de níveis de automação nunca antes vistos na aviação comercial, com a triplicação do número de assentos em relação à maior aeronave existente, o Boeing 707.

Como o custo de manutenção começou a aumentar acentuadamente, a indústria da aviação na época passou a se preocupar com o fato de ser financeiramente incontestável usar técnicas convencionais de manutenção para manter as aeronaves maiores e mais complexas. Como as técnicas convencionais de manutenção se baseavam em intervalos, isto contribuiu ainda mais para o aumento do custo de manutenção em relação ao outro custo operacional (HOPKINSON *et al.*, 2016).

Souza (2011) considera que MCC é uma metodologia que determina as ações de manutenção dos equipamentos, conjuntos e instrumentos baseados em critérios de confiabilidade intrínsecos das funções do equipamento e de seus periféricos na análise das falhas e seus efeitos. Com o objetivo de otimizar os custos e a eficiência da manutenção que levam a um alto nível de segurança no processo, dos profissionais, do meio ambiente e das instalações.

Dentre as tecnologias contemporâneas de manutenção, a MCC vem expandindo sua aplicação a praticamente todos os ramos da atividade humana, onde houver necessidade de manter o funcionamento de ativos físicos ou processos (SIQUEIRA, 2005).

Conforme Fonseca *et al.* (2016), a MCC é um método usado para o planejamento da manutenção industrial, no intuito de racionalizar e sistematizar a definição de tarefas de manutenção, garantindo a confiabilidade e a segurança operacional a um menor custo.

O diagrama demonstrado na Figura 2.7 pode ser utilizado para definir a atividade de manutenção adequada a cada item e seu respectivo modo de falha. Fogliatto e Ribeiro (2011) afirmam que o programa de MCC prioriza as atividades proativas e desse modo, a primeira questão a ser verificada é a possibilidade de antecipar falhas e, em caso positivo, segue para atividades preditivas ou preventivas.

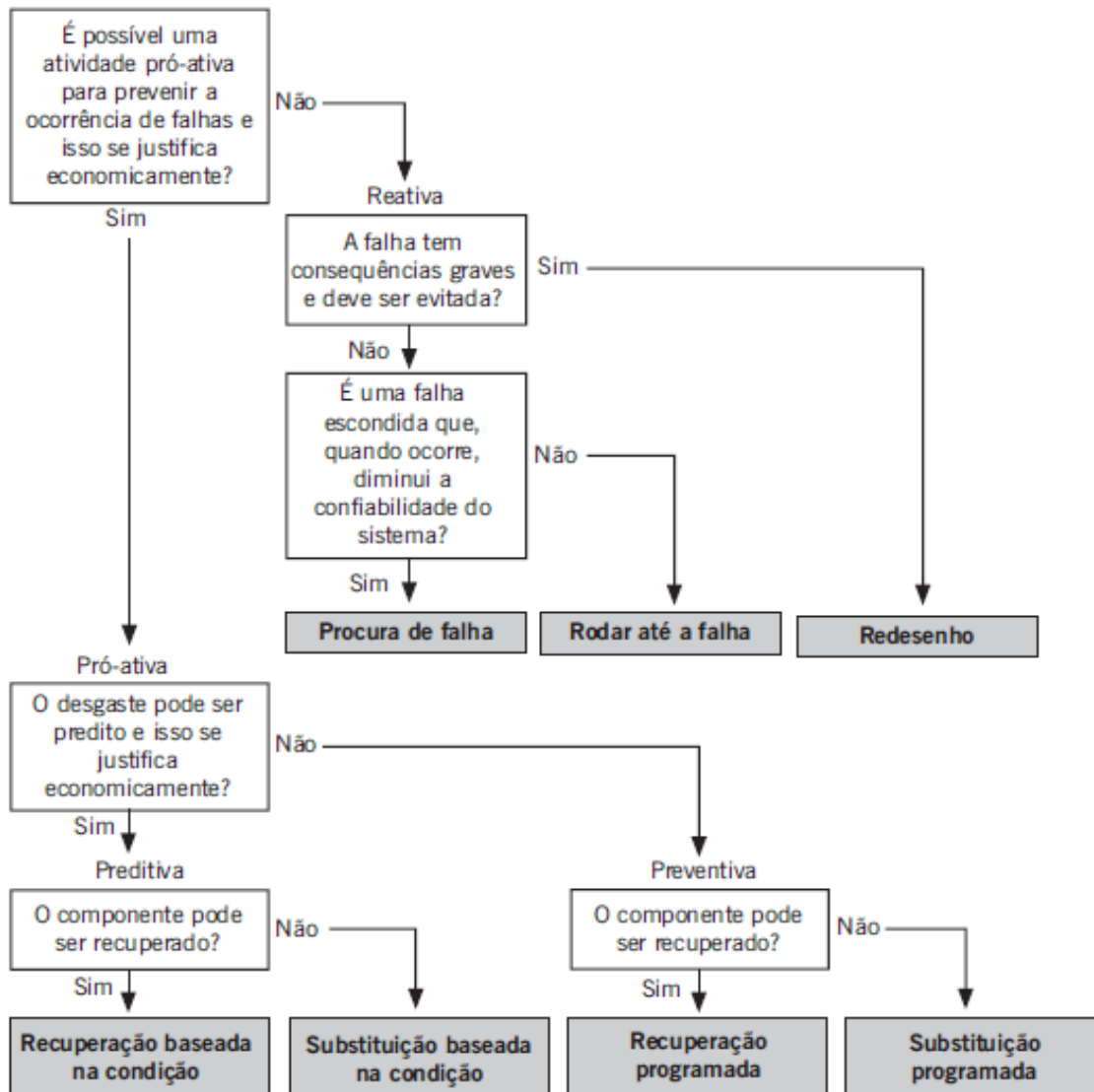


Figura 2.7: Diagrama de decisão referente ao tipo de atividade de manutenção recomendada.

Fonte: FOGLIATTO e RIBEIRO, 2011, p. 230.

A MCC estima quando a falha do equipamento pode ocorrer e assegura que a manutenção seja realizada antes. O uso da abordagem MCC geralmente

resulta em ativos mais confiáveis, com reduzidas taxas de falha de equipamentos em seus sistemas mecânicos (HOPKINSON *et al.*, 2016).

A MCC visa à criação de programas de manutenção que minimizem as consequências de falhas em equipamentos. Seus fundamentos incluem a identificação de modos de falhas funcionais, a hierarquização destas falhas, consideradas as consequências para o sistema, e a seleção de tarefas preventivas eficazes e eficientes. Para tanto, são empregadas ferramentas da Engenharia de Confiabilidade tais como diagramas de decisão e Análise de modos, efeitos e criticidade de falhas (FMECA – *Failure mode, effect and criticality analysis*). Estão inclusas também técnicas de condução de grupos de trabalho, como '*brainstorming*' e discussões dirigidas (SOUZA, 2011).

Na visão de Mendes e Ribeiro (2011), o tipo de manutenção escolhido deve estar relacionado com o tipo de distribuição das falhas do sistema.

Conforme Sellitto (2005), a classificação da abordagem de manutenção exige o uso de distribuições de probabilidade aplicadas à confiabilidade. Mendes e Ribeiro (2011) justificam que essa classificação é necessária para análise prévia das falhas e identificação da distribuição probabilística que melhor ajustar aos dados de tempos até a falha. Através da determinação dos parâmetros das distribuições de probabilidade, é possível estabelecer se o componente está em fase de falhas prematuras, maturidade ou desgaste. O tipo de manutenção adequado depende da fase em que o componente se encontra.

2.2.2 Organização da manutenção

A gestão da manutenção ganha destaque no meio industrial face à sua importância na obtenção dos resultados corporativos planejados. Cada vez mais, são percebidas mudanças culturais relativas às práticas e à organização da função manutenção. Hoje, é função essencial da manutenção, manter o processo produtivo operando, sem interrupções não planejadas, garantindo a máxima eficiência operacional e desse modo, contribuir diretamente para o aumento da produtividade, com conseqüente melhoria da competitividade (SOUZA, 2011).

A competição econômica acirrada em que vivemos, em diversos segmentos, leva à busca da qualidade total em serviços, produtos, gerenciamento ambiental e segurança, passando a ser a meta de todas as empresas. Para tanto, se faz necessário estabelecer um rigoroso cronograma de fabricação de processamento, de disponibilidade de geração, entre outras. E se não houver um bom programa de manutenção, os prejuízos serão inevitáveis, uma vez que máquinas e equipamentos com defeitos ou quebradas provocam a redução ou interrupção da produção, atrasos nas entregas, danos financeiros, aumento dos custos, indisponibilidade da planta para sua função, insatisfação dos clientes e perda de mercado (BRANCO FILHO, 2006b).

Conterato (2017) considera que um planejamento de manutenção é feito por intermédio da identificação das características principais dos equipamentos e após isso é elaborado o cronograma de manutenções e verificações.

O setor de manutenção é estratégico para os resultados da organização, através da gestão da manutenção é possível antecipar e evitar falhas, que poderia causar a interrupção do equipamento, ocasionando prejuízo à organização. Por outro lado, através da gestão da manutenção, há a preparação para uma interrupção do equipamento em uma situação mais apropriada, pois o que é planejado é mais barato, mais seguro e mais rápido (BARROS, 2018).

Para Souza (2011) a coleta das informações das falhas e subsequentes análises deverão determinar a causa principal ou causa raiz que originou o problema e, se baseando nas conclusões, estabelecer ações corretivas e preventivas a fim de evitar que essas falhas venham a se repetir.

Para Alves (2007) a vantagem alcançada com a observação, como técnica de coleta de dados, se traduz na possibilidade de coletar dados diretamente, descobrir aspectos novos do problema.

Assim, a forma mais adotada na investigação das falhas dos componentes dos equipamentos pode compreender diversas fases que serão cumpridas pela equipe responsável, as quais – coleta de dados e investigações, entrevistas (pessoal da operação, manutenção, engenharia, dentre outros), registros fotográficos ou similares, análise do histórico do equipamento, avaliação das políticas de manutenção praticadas, avaliação dos padrões operacionais

praticados, avaliar o nível de treinamento de todo pessoal envolvido, consulta a banco de dados de casos parecidos ou similares, condução de testes de laboratórios, uso de simulações, formulação das conclusões, e por fim, o relatório final (SOUZA, 2011).

O formulário, conforme Marconi e Lakatos (2011) é um instrumento essencial à investigação social, cujo sistema de coleta de dados consiste em obter informações diretamente do entrevistado/observado, é preenchido pelo próprio investigador, à medida que faz as observações ou recebe as respostas.

➤ Requisições de serviço e Ordens de serviço

A fim de garantir a criação de um histórico confiável, todos os trabalhos deverão ser executados com um registro prévio, isso facilita o planejamento e o estabelecimento de uma sequência de prioridade. Assim, Souza (2011) cita que nenhum trabalho pode ser executado sem que haja um registro antes durante ou depois a execução; todos os tempos empregados durante a execução do trabalho como horário de início e término, horário de parada do equipamento e retorno serão registrados. Bem como os trabalhos devem ser executados de acordo com um padrão ou o planejamento, em alguns casos é necessário seguir algum procedimento padronizado de empresa ou alguma PT (permissão de trabalho) exigida nos trabalhos em altura, locais confinados, produtos perigosos, cargas, etc.

No intuito de medir a real eficiência do departamento de manutenção, ou seja, o serviço aplicado nos modelos de manutenção adotados pela empresa, foi implementado um indicador de Retrabalho por Manutenção, o qual é referente ao percentual de retrabalhos da equipe de manutenção em relação às OS's (ordens de serviços) executadas por um período de tempo (BRANCO, 2006 *apud* GONÇALVES JUNIOR, 2016).

A OS é o documento que representa a comunicação técnica de uma ocorrência da operação para a manutenção, transmite para a área de intervenção técnica a necessidade de realização de um trabalho fornecendo as instruções necessárias para a identificação da causa e sua execução (SOUZA, 2011).

2.2.3 Manutenção não planejada

Há dois tipos de manutenção: a planejada e a não planejada. Li e Gao (2010), bem como Ahuja e Khamba (2008) citam que a manutenção produtiva total (TPM) é considerada base das estratégias de manutenção e objetiva a máxima disponibilidade operacional a um custo ótimo. Já a manutenção não planejada é classificada em duas categorias: a corretiva e a de ocasião. A manutenção corretiva tem o objetivo de localizar e reparar defeitos em equipamentos que operam em regime de trabalho contínuo. A manutenção de ocasião consiste em fazer consertos quando a máquina se encontra parada (WEBER *et al.*, 2008).

➤ **Manutenção corretiva**

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1994) a NBR-5462 se refere à manutenção corretiva como a manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida.

Pereira (2009) considera a manutenção corretiva amplamente conhecida no ramo industrial, sendo a forma mais comum para reparo de um equipamento com problema. Tem como principal característica o conserto com início logo após a ocorrência da falha, independente da disponibilidade de mão de obra e material necessários ao conserto.

Hopkinson *et al.* (2016) se uma indústria decide operar com uma política de manutenção corretiva, significa que o equipamento pode operar até a falha e só é reparado ou substituído quando falhar. A manutenção corretiva é geralmente reconhecida como uma abordagem ineficiente para a manutenção de equipamentos, levando a custos excessivos em termos de financiamento e tempo. Em muitas indústrias, desde a indústria aeroespacial à produção de petróleo, é utilizado um sistema de MCC, a fim de minimizar essas perdas.

2.2.4 Manutenção planejada

A manutenção planejada é agrupada em quatro categorias: preventiva, preditiva, TPM e terotecnologia (WEBER *et al.*, 2008).

Já para Al-Shayea (2007), a manutenção planejada se divide em diferentes tipos de acordo com a natureza das suas atividades: manutenção preditiva, manutenção preventiva, manutenção de melhoramento e manutenção corretiva.

2.2.4.1 Manutenção preventiva

É a manutenção efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falhas ou a degradação do funcionamento do item (ABNT, 1994).

Já para Pinto e Xavier (2004), é a atuação realizada de forma a reduzir ou evitar a falha ou queda no desempenho, de acordo com um plano previamente elaborado, baseado em intervalos definidos de tempo.

A fim de evitar um colapso na instalação industrial, é necessário, obrigatoriamente, definir um programa de manutenção com métodos preventivos visando à obtenção de produtos ou serviços nas quantidades previamente estabelecidas e com qualidade. Também é preciso incluir no programa, as ferramentas a serem utilizadas e a previsão da vida útil de cada elemento das máquinas. Todos os aspectos citados mostram a importância que se deve dar à manutenção (PEREIRA e NEVES, 2000).

A manutenção preventiva tem como objetivo identificar o início de degradação de uma máquina para que ela funcione de modo seguro e eficiente, reduzindo a probabilidade de quebra ou degradação do funcionamento de um equipamento além de reduzir ao mínimo os fatores que contribuem para as avarias e minimizar as consequências da quebra (ALMEIDA, 2000).

A manutenção preventiva está subdividida em cinco tipos: manutenção de rotina (sistemática), manutenção em operação, manutenção de oportunidade, manutenção de janela e manutenção preventiva de paragem (AL-SHAYEA, 2007).

Segundo Branco Filho (2005) todo o trabalho de manutenção realizado em máquinas que estejam em falha ou, toda manutenção efetuada em uma máquina, equipamento, sistema operacional, unidade ou item para correção de anomalias, classificadas como falhas, panes, quebras para corrigir falhas funcionais.

2.2.4.2 Manutenção preditiva

É a natureza da atividade industrial que define a melhor forma de manutenção proativa a ser adotada. Para conhecer as causas invisíveis da falha de um equipamento, a manutenção preditiva se apresenta como uma forma eficaz de manutenção (ABREU *et al.*, 2012).

Conforme a NBR-5462 é a manutenção preditiva que permite garantir a qualidade do serviço desejado, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando meios de supervisão centralizados ou amostragem para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva (ABNT, 1994).

Na visão de Fortes *et al.* (2011), agir com manutenção preditiva é atuar com técnicas específicas, sobre parâmetros de condição e desempenho, com a finalidade de permitir o maior tempo possível de operação do equipamento, antes que falhe, proporcionando aumento de produção e de faturamento.

A manutenção preditiva tem como atributo fundamental o monitoramento de parâmetros que caracterizam a condição de funcionamento dos equipamentos, os procedimentos empregados abrangem técnicas e métodos de acompanhamento e análise desses parâmetros. Na visão de Moussa (2011) a manutenção preditiva é atualmente, um pilar essencial de uma organização em que se deseja que a manutenção reduza os custos, aumente a confiabilidade e disponibilidade das instalações.

Uma das técnicas utilizadas na manutenção preditiva é a termografia infravermelha, um método eficiente, preciso e seguro de avaliação de componentes elétricos e instalações, sendo a técnica que distende a visão humana por meio do espectro infravermelho, a obtenção e análise das

informações térmicas realizadas a partir de dispositivos de obtenção de imagens são alcançadas sem contato físico (ENGELÉTRICA, 2011).

Para Nogueira e Reis (2010), atualmente, para que as empresas continuem competitivas no mercado de trabalho, elas precisam fazer com que suas máquinas e processos produtivos mantenham a eficiência e confiabilidade satisfatória, aumentando sua produção, garantindo a qualidade e o custo do produto. Assim, é de suma importância que desenvolvam métodos de produção e manutenção de equipamentos, através da melhoria contínua. Os métodos de inspeções preditivos como análise de vibração, inspeção termográfica, ultrassom, análises químicas, e outras, se tornam ferramentas essenciais à atuação da manutenção e aumento na confiabilidade de processos produtivos.

A termografia está fundamentada para a manutenção preventiva e preditiva em segmentos diversos, como indústrias químicas, metalúrgicas e siderúrgicas entre outras. Cada vez mais, com o desenvolvimento da tecnologia, as técnicas preditivas serão utilizadas para a manutenção de equipamentos e processos produtivos industriais, também muito empregada como uma ferramenta eficaz de identificar um desperdício energético sob a forma de calor, permitindo o planejamento de ações que contribuam com o aumento da eficiência destes processos e equipamentos (MENSURATEC, 2012).

Conforme Al-Shayea (2007), a principal diferença entre manutenção preventiva e preditiva é que a manutenção preditiva utiliza a monitorização da condição do equipamento para definir as questões de manutenção necessárias, já a manutenção preventiva se baseia no tempo e depende de estatísticas de vida média.

A manutenção preditiva de um equipamento ou sistema exige monitoramento constante das condições de pressão e temperatura, principalmente por se tratar de processos industriais, em que a qualidade final do produto e sua uniformidade dependem de um controle rígido dessas condições, que admitem apenas diminutas variações. Da mesma forma, determinadas máquinas ou equipamentos industriais devem ser monitorados de forma permanente, estabelecendo um sistema. Podendo em alguns casos, promover

automaticamente a parada da máquina ou interrupção do sistema antes que a situação se agrave (ALDERIGHI, 1989).

A manutenção preditiva utiliza principalmente métodos não intrusivos, técnicas de teste, inspeção visual e dados de desempenho para avaliar a condição dos equipamentos, bem como modificar as tarefas de manutenção arbitrariamente programadas. A análise contínua dos equipamentos e os dados de monitoramento das condições permitem o planejamento e o agendamento de manutenção ou reparos evitando possíveis falhas catastróficas e funcionais (NASA, 2008 *apud* BERGAMASCHI *et al.*, 2018).

Lafraia (2001) cita que a manutenção preditiva é aquela executada antes de ocorrer a falha, face o conhecimento das condições operacionais, determinadas pelo monitoramento contínuo. Seu objetivo principal é determinar o momento mais adequado à necessidade da intervenção mantenedora, permitindo, entre outros aspectos, precaver desmontagens desnecessárias para inspeção e utilizar os componentes ao máximo em sua vida.

Para Al-Shayea (2007) a manutenção preditiva é subdividida em dois tipos: manutenção preditiva baseada na estatística e manutenção preditiva baseada na condição. A manutenção preditiva baseada na estatística é fundamentada em modelos estatísticos para prever falhas. Os modelos são desenvolvidos com base em tabelas estatísticas relacionadas com falhas do equipamento e paragens.

A manutenção preditiva baseada na condição consiste na monitorização contínua periódica, da condição do equipamento para detectar sinais de falha. A manutenção preditiva baseada na condição utiliza medições e métodos de processamento de sinais para diagnosticar a condição do equipamento durante operação, tais como medição de ruído, medição de vibrações, medição de pressão, temperatura e outros que podem ser utilizados para identificar problemas antes de ocorrer à falha do equipamento (CABRAL, 2006).

Bandeira *et al.* (2010) citam que este tipo de manutenção indica as condições reais de funcionamento das máquinas com base em dados que informam o seu desgaste ou processo de degradação, e assim prediz o tempo de vida útil dos componentes das máquinas e equipamentos e as condições para que esse tempo de vida seja bem aproveitado. Na Europa, a manutenção

preditiva é conhecida pelo nome de manutenção condicional e nos Estados Unidos recebe o nome de preditiva ou previsional.

Na manutenção preditiva são registrados e analisados, em tempo real, vários fenômenos, tais como - vibrações das máquinas, emissão acústica, pressão, temperatura, desempenho e aceleração (BANDEIRA *et al.*, 2010).

De acordo com Moussa (2011) as técnicas de manutenção preditiva existentes são inúmeras, sendo que as mais importantes são: vibrações, análise de óleos - é uma ferramenta essencial na manutenção preditiva de equipamentos dinâmicos; termografia, ultrassons - detecção dos ultrassons gerados por diversas formas de falha; análise de motores elétricos – são os tipos de acionamento mais utilizados, o controle de sua condição é essencial para assegurar a disponibilidade das instalações; análise de máquinas alternativas, e detecção de fugas. Pereira (2009) cita duas técnicas principais de manutenção preditiva – a termografia e a análise de vibração. O foco deste estudo na manutenção preditiva é a termografia.

Já a aplicação de análise de vibração, no diagnóstico de defeitos em sistemas rotativos, é uma técnica aplicada há décadas, porém, pouco empregada na prática, e quando mal empregada, não traz os resultados esperados. Denominada também 'monitoramento pela condição' quando sensores instalados em subsistemas do equipamento acompanham a evolução do desgaste (vida útil) dos elementos girantes, como eixos e rolamentos (PEREIRA, 2009).

Ainda de acordo com Pereira (2009), a manutenção preditiva indica as condições reais de operação das máquinas com base em dados que informam o seu desgaste ou processo de aceleração de degradação, e assim determinar o tempo ideal para executar intervenções.

CAPÍTULO 3: MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho de pesquisa iniciou-se pela execução de um diagnóstico dos principais problemas que afetam o desempenho do setor de manutenção da Empresa Metra. Um diagnóstico foi realizado pela observação *in loco*, acompanhando as atividades diárias e através das informações fornecidas pela equipe de manutenção.

A seguir (Figura 3.1), o diagnóstico conciso dos problemas no setor de manutenção.

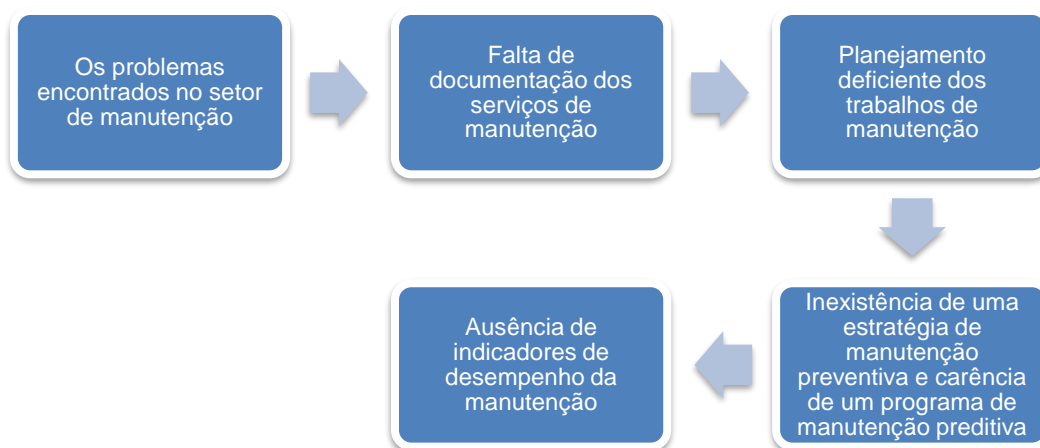


Figura 3.1: O cenário inicial do setor de manutenção.

Foi necessário compreender a estruturação do setor de manutenção, examinar em profundidade as rotinas e controles existentes, analisar os recursos materiais disponíveis e conhecer as pessoas. Revisar os conceitos de Engenharia de confiabilidade aplicados à manutenção, discutir a importância da manutenção preventiva e preditiva e identificar elementos que deveriam estar presentes em um modelo de gestão da manutenção. Na Figura 3.2, segue as etapas dos resultados do estudo de caso e suas modificações.

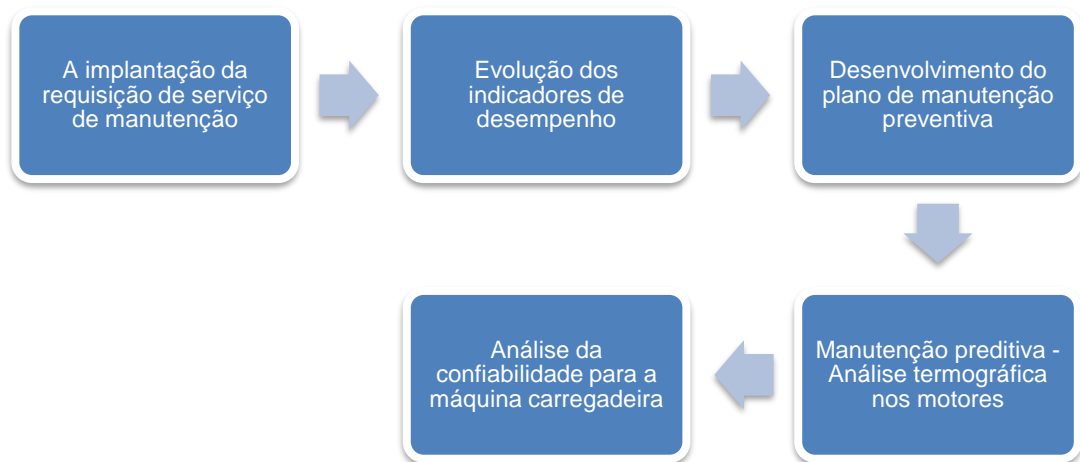


Figura 3.2: As modificações introduzidas no setor de manutenção.

O desenvolvimento do trabalho foi baseado no estudo de caso envolvendo equipamentos da planta industrial da Empresa do ramo de eucalipto imunizado. Foram escolhidos para amostra neste estudo um motor elétrico da marca WEG e uma máquina carregadeira com implemento florestal da marca MICHIGAN e modelo 55C.

3.1 Descrição da empresa

A empresa analisada neste trabalho está instalada na cidade de João Pinheiro – MG, sendo uma indústria do ramo de eucalipto imunizado, possuindo diversas aplicações nos segmentos do agronegócio, construção civil e mobiliário urbano.

São produzidos diariamente cerca de 170 m³ de madeira em um regime de trabalho normal, onde o horário de funcionamento da planta da empresa é de 5 dias na semana e 8 horas por dia. Contando com 4 responsáveis pela manutenção e 75 colaboradores envolvidos na preparação da madeira para a imunização. Além do setor comercial/ administrativo, que conta com mais 15 integrantes.

A organização vem desenvolvendo suas atividades desde 1998. Entretanto, somente em 2016 fizeram um investimento na aquisição de um parque industrial com mais de 190.000 m² (Figura 3.3).

Nesta figura, no canto inferior direito pode ser constatada a entrada e saída de veículos. A primeira entrada à esquerda dá acesso ao Setor comercial, onde o cliente faz a compra do eucalipto. No pátio central e lateral direita é armazenada a madeira imunizada, pronta para venda, ficando visíveis na foto os caminhões para carregamento do material. Ao fundo, há um estoque de madeira que ainda será imunizada, esta é comprada de florestas vizinhas e será comercializada após sua imunização. No centro da foto, marcada com uma seta está a autoclave, a mesma fica em um barracão coberto, onde também ficam os motores e todos os equipamentos automatizados responsáveis pelo funcionamento da indústria.



Figura 3.3: Parque industrial da Empresa do ramo de eucalipto imunizado.

➤ Descrição dos Processos

O procedimento de imunização da madeira é realizado em autoclave com processo automatizado, a vácuo e alta pressão, criando uma barreira química de sais hidrossolúveis na celulose. Os produtos utilizados no processo recebem a formulação CCA (Arseniato de Cobre Cromatado), tornando-a resistente a insetos, fungos e outros agentes físicos biológicos.

A preparação do eucalipto para a imunização começa com a sua limpeza externa, efetuando a retirada de resíduos como cascas e possíveis galhos. Após esse procedimento o eucalipto é introduzido na autoclave para dar início ao tratamento. O motor responsável pelo vácuo inicial é acionado para a retirada da maior parte do ar existente nas células da madeira. Ainda sob o vácuo, a solução imunizante à base de CCA é transferida para a autoclave. Outro motor, agora o responsável pela pressão, é acionado e a solução é injetada na madeira até a saturação. Em seguida, a pressão é aliviada e a solução excedente é transferida de volta ao tanque. Para finalizar, é executado um rápido vácuo final para a retirada do excesso de produto na superfície da madeira; logo a mesma é retirada da autoclave e colocada em um lugar específico para venda, que na Empresa do ramo de eucalipto imunizado é denominado Box.

Para exemplificar melhor o processo realizado, segue um informativo, mostrado na Figura 3.4. O tempo de duração total para a imunização do eucalipto é em média uma hora e meia, desde a entrada da madeira na autoclave (Figura 3.5), até sua retirada.

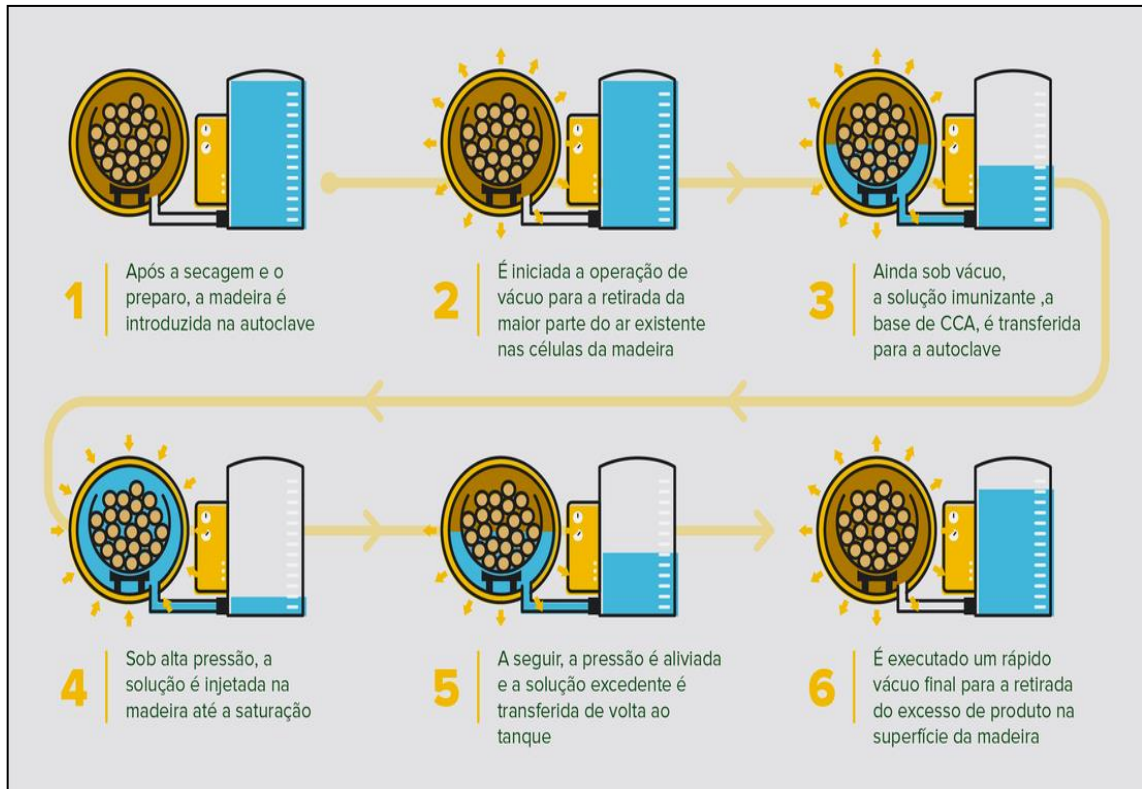


Figura 3.4: Processo de imunização do eucalipto.
 Fonte: MADEC, 2018.



Figura 3.5: Autoclave utilizada na Empresa do ramo de eucalipto imunizado.

3.2 Técnicas e ferramentas aplicadas

A eficiência pode ser melhor percebida ao adotar e colocar em prática um plano de manutenção dos equipamentos utilizados na indústria. Juntamente com o plano de manutenção há ferramentas que, quando aplicadas asseguram a confiabilidade dos métodos.

Na manutenção preditiva, através da utilização da câmera termográfica (termovisor), é possível perceber se ocorrem perdas ou ganhos de temperatura em motores elétricos, painéis, dentre outros equipamentos industriais. Para análises de confiabilidade, o software Proconf, será utilizado na validação da implementação do plano de manutenção preventiva.

3.2.1 Termografia Infravermelha

Nogueira e Reis (2010) consideram a termografia como uma técnica de sensoriamento remoto que utiliza a radiação infravermelha que é emitida pelos corpos, para medição de temperaturas, juntamente com a imagem do local no qual se está realizando a medição.

Veratti (1999) complementa que a inspeção termográfica é uma técnica não destrutiva realizada para medir temperaturas ou observar os padrões de distribuição de calor utilizando sistema infravermelho. O objetivo é obter informações relativas à condição operacional de um componente, equipamento ou processo.

Em inspeção de motores elétricos, a termografia é utilizada em conjunto com outras técnicas na avaliação do estado operacional desses equipamentos. Os aquecimentos detectados com a utilização de sistemas infravermelhos são decorrentes do aumento da resistência elétrica (mau contato ou sobrecarga), atrito (falta de lubrificação) e vibração. Dadas suas características de velocidade, a termografia possibilita a verificação de grande número de equipamentos em curto espaço de tempo (MINELLI e VERATTI, 2000).

O princípio da termografia está baseado na medição da distribuição de temperatura superficial do objeto ensaiado, quando este estiver sujeito a tensões

térmicas (normalmente calor). A medição é realizada pela detecção da radiação térmica ou infravermelha emitida por qualquer corpo, equipamento ou objeto (PEREIRA, 2009).

Poyato (2017) afirma que a aplicação da termografia permite visualizar os padrões de temperatura dos sistemas e instalações elétricas. Assim, é necessário levar em conta que uma causa de falha nos sistemas elétricos passa por um excesso de temperatura provocado por diferentes motivos, os quais: aumento da resistência em pontos de ligação; falhas nos sistemas de refrigeração e/ou correntes de fuga em sistemas isolados.

Um aumento da resistência de contato provém de um aumento da potência dissipada neste contato, o qual implica, em condições normais num aumento de temperatura, originando um “ponto quente” que pode ser detectado, de uma forma precisa, com uma câmara termográfica. Este aumento da resistência de contacto pode originar num fenómeno de oxidação ou corrosão, parafusos que se soltam ou uma pressão insuficiente nos contactos móveis (POYATO, 2017).

No caso de correntes de fuga em sistemas isolados - a redução da resistência de isolamento devido à sujidade ou contaminação pode provocar correntes de fuga e de arco que originam o aquecimento do material e, conseqüentemente a sua degradação (POYATO, 2017).

Segundo Bassi (2012) a termografia permite avaliações qualitativas e quantitativas de carácter bidimensional dos níveis de temperatura em uma superfície, além ser uma técnica considerada não invasiva por dispensar o contato direto como a inserção de termopares ou termômetros.

Alderighi (1989) cita que este método de medir temperatura superficial usa materiais luminescentes. A distribuição da temperatura sobre a superfície é convertida em padrão de brilho (ou cores), que pode ser observado diretamente ou gravado fotograficamente.

A câmara termográfica captura imagens denominadas de termograma e determina a temperatura através da leitura da intensidade da radiação infravermelha emitida por um objeto. Consiste em uma técnica de inspeção não destrutiva e não invasiva que detecta a radiação infravermelha naturalmente

emitida pelos corpos com intensidade proporcional a sua temperatura, tornando possível medir temperaturas sem o contato direto com o objeto (MENSURATEC, 2012).

Para Litwa (2010) a vantagem da medição por termovisão consiste na sua simplicidade. Uma vez que a câmera termográfica é uma ferramenta perfeita para a realização de medições sem contato; entretanto, salienta que a confiabilidade das medidas de temperatura por termovisão depende de fatores essenciais, incluindo o coeficiente de emissividade e ângulo de visão. Um grande ângulo de visão pode resultar em medições de temperatura imprecisas ou incorretas, dado que a câmera deve estar em uma posição ótima em relação ao equipamento observado.

Também a ABNT (2012) confirma que o ensaio termográfico está sujeito a variáveis como: a baixa emissividade dos componentes inspecionados, as variações de corrente de carga, o efeito da convecção natural e forçada, as mudanças nas condições ambientais, entre outros fatores.

A termografia é uma técnica que estende a visão humana através do espectro infravermelho (frequência eletromagnética naturalmente emitida por qualquer corpo ou material com intensidade proporcional à sua temperatura). Essa frequência é percebida por câmeras termográficas que permitem a visualização da distribuição de calor. As imagens produzidas são denominadas termogramas (PEREIRA, 2009).

A detecção termográfica de um componente defeituoso direciona a identificação de uma anomalia térmica no sistema. Na maioria das situações essa anomalia é uma elevação de sua temperatura em função de um aumento anormal de sua resistência ôhmica devido à ocorrência de oxidação, corrosão ou falta de contato. Dessa forma, um componente defeituoso se apresenta como um ponto quente em comparação com o ambiente ou outros componentes similares em bom estado (MINELLI e VERATTI, 2000).

Conforme a ABNT (2012), o ensaio termográfico pode ser realizado em equipamentos mecânicos em operação, como mancais, acoplamentos, redutores, rolamentos, entre outros. Também é possível realizar a inspeção termográfica em equipamentos elétricos em operação, como transformadores, painéis elétricos e

seus componentes, motores, linhas de transmissão e distribuição de energia, banco de baterias e capacitores, equipamentos de manobra, entre outros.

Essa inspeção permite criar um banco de dados com o histórico de temperaturas dos equipamentos inspecionados, para futura avaliação dos reparos realizados e correção das anomalias térmicas previamente detectadas, investigando-as para melhorias no processo produtivo (ABNT, 2012).

Para Nogueira e Reis (2010), um sistema de inspeção termográfica é formado por um conjunto de recursos que permitam a realização de tarefas de análise preditiva nos campos de redes elétricas, equipamentos mecânicos, fornos, redes de vapor, reatores e processos. A base para tais sistemas é dada pelo equipamento empregado - termovisores e radiômetros.

Termovisores são sistemas imageadores dotados de recursos para a análise e medição de distribuições térmicas. São produzidos, normalmente, com sensibilidade nas faixas espectrais de 3 a 5 microns (sistemas industriais) e de 8 a 12 microns (sistemas militares e de pesquisa). Já radiômetros avançados são sistemas infravermelhos de construção mais simples e preço mais acessível, uma vez que não formam imagens térmicas (NOGUEIRA e REIS, 2010).

Conforme Silveira (2010), para analisar se o equipamento está aquecido ou não, através do termovisor, fica extremamente fácil a localização de regiões quentes ou frias, por meio da interpretação dos termogramas que fornecem imagens, em faixas de temperatura que podem cobrir de - 40 a 1500 °C. A escala policromática (escala de temperatura) vai do preto (temperatura baixa) ao branco (temperatura mais elevada) permeando suaves variações de tonalidades de cores, que dependem da escala usada. Na termografia é mais comum, a utilização da escala denominada IRON (Figura 3.6), que vai do preto ao branco através de tonalidades de violeta, azul, rosa, vermelho, laranja e amarelo. Contudo, existem outras escalas, que são utilizadas conforme a necessidade (SILVEIRA, 2010).

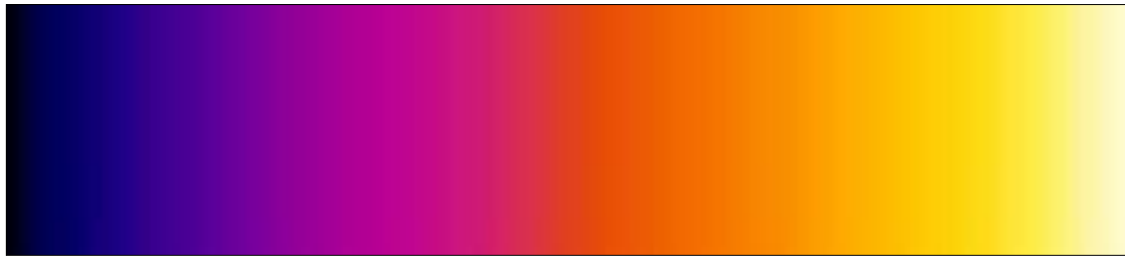


Figura 3.6: Escala IRON.
 Fonte: SILVEIRA, 2010.

Conforme Santos (2006), as faixas de comprimento de ondas para a fabricação de termovisores, aplicáveis aos sistemas elétricos são de 3 μm a 5 μm e de 8 μm a 14 μm . Na Figura 3.7, dentro do espectro eletromagnético Santos (2006) e Moussa (2011) afirmam que a radiação infravermelha se localiza entre a região de radiação visível e a região de radiação de microondas. Sendo que essas regiões são divididas arbitrariamente, dependendo dos métodos utilizados para produção e detecção da radiação.

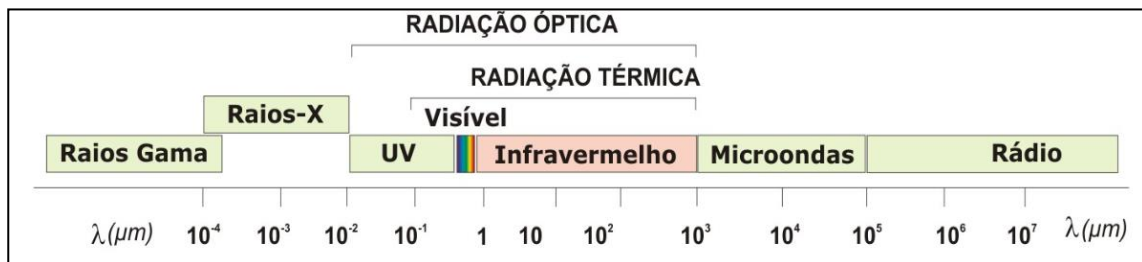


Figura 3.7: Espectro eletromagnético.
 Fonte: SANTOS, 2006, p. 35.

A radiação Infravermelha, assim como as radiações das diferentes regiões do espectro eletromagnético, basicamente obedece às mesmas leis. Propagam-se em linha reta, refletem, refratam, são absorvidas, interferem, apresentam espalhamento de feixe, podem ser enfocadas e viajam, no vácuo, a uma velocidade de aproximadamente 3×10^8 m/s (SANTOS, 2006).

Atualmente, a manutenção preditiva tem se tornado uma das ferramentas que implementam negócios visando aumento da produtividade e redução de perdas econômicas, a termografia infravermelha é um dos pilares desta área (MOUSSA, 2011).

Em um estudo realizado por Epperly *et al.* (1999) sobre a medição por termografia, foi comprovado que o equipamento pode ser uma ferramenta extremamente eficaz ao prevenir falhas de equipamentos através da manutenção preventiva e evitar paradas não programadas na linha de produção. Pois, o termovisor possui facilidade de utilização e não necessita parar a operação da máquina.

A termografia infravermelha através de câmeras é uma técnica para medidas de temperatura chamada não invasiva porque dispensa o contato direto com o meio de interesse, diferentemente de termopares e termômetros. Essa tecnologia consiste em aproveitar a radiação térmica infravermelha das superfícies para fazer medidas de sua temperatura por comparação ao emissor ideal, o corpo negro (BASSI, 2012).

Através da câmera (Figura 3.8) detecta antecipadamente problemas relacionados à temperatura em equipamentos elétricos e mecânicos, é um sensor de temperatura ideal para o monitoramento contínuo de condição e detecção de pontos de calor em painéis elétricos, configurações de processo e fabricação, centros de dados, instalações de transporte público, usinas de geração de energia e instalações de armazenamento (FLIR SYSTEMS, 2016).

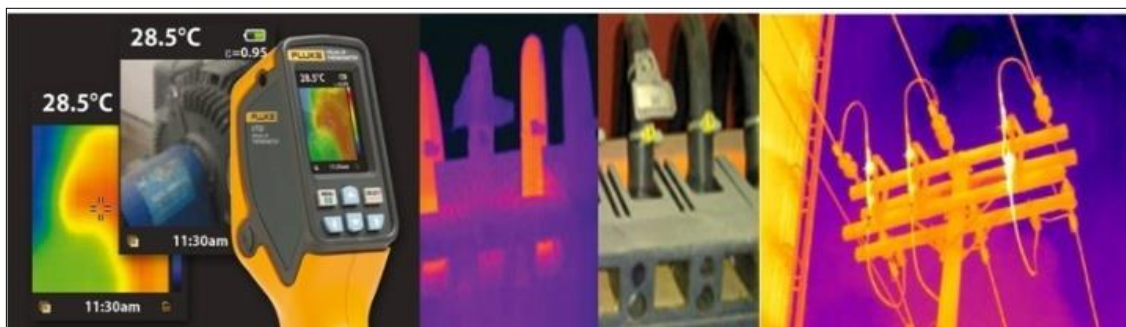


Figura 3.8: Termografia em painéis elétricos, subestação, máquinas e equipamentos – Câmera Fluke.

Fonte: PUGLIESE ENGENHARIA, 2014.

Conforme MGS Tecnologia (2014) a termografia infravermelha (Figura 3.9) é uma ferramenta comum usada para inspecionar, ajudar solucionar questões energéticas e de segurança em instalações industriais. O isolamento eficaz de

circuitos elétricos, vazamentos de vapor ou água, além de problemas elétricos podem ser detectados e resolvidos por meio da termografia.

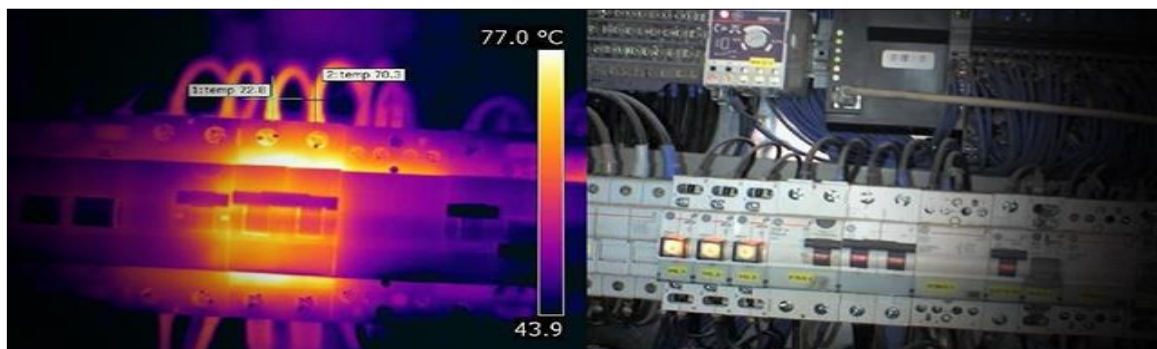


Figura 3.9: Inspeção termográfica.
Fonte: MGS Tecnologia, 2014.

A câmera termográfica é um dos equipamentos mais requisitados, e esse equipamento possibilita efetuar inspeções mantendo a segurança do operário e detectar dispendiosas e imperceptíveis ao olho humano, que poderia resultar em custos desnecessários. Possui múltiplas aplicações, como manutenção elétrica (alta, média e baixa tensão), manutenção mecânica, detecção de falhas e em condutas e fornos (PEREIRA, 2009).

As câmeras termográficas são fáceis de usar, dando um panorama da situação real, permitindo realizar a inspeção com o sistema em funcionamento, localizar o problema e guardar uma imagem para fornecer um histórico completo (MOUSSA, 2011).

Já Kaplan (2007) ressalta que, antes de iniciar uma medição com a câmera termográfica, o operador deverá estar ciente de algumas tarefas, as quais: conhecer o comportamento térmico do equipamento a ser medido, adquirir os conhecimentos necessários para a configuração da câmera, preparar o material para a realização das medições de campo, bem como utilizar os procedimentos operacionais adequados.

➤ Câmera Flir i7

A Flir i7 (Figura 3.10) é uma câmera de imagem térmica menor, mais leve e mais acessível do mercado. É fácil de usar e não requer experiência anterior. Resultando em imagens térmicas de alta qualidade que fornecerão imediatamente as informações térmicas necessárias (FLIR SYSTEMS, 2010).



Figura 3.10: Câmera FLIR I7.
Fonte: FLIR SYSTEMS, 2010

Esta câmera é totalmente automatizada, produz e armazena em cartão miniSD padrão imagens térmicas em formato JPEG radiométrico instantâneas, que transportam todos os dados de temperatura necessários e podem ser armazenados interna ou externamente, enviados e analisados (FLIR SYSTEMS, 2010).

As câmeras de imagem térmica FLIR i-Series suportam uma queda de 2 metros. Esses termovisores são à prova de água e classificação IP43. Possui qualidade de imagem térmica é de 140x140 pixels (FLIR SYSTEMS, 2010).

A alta precisão de $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ou $\pm 2\%$ produz imagens térmicas sensíveis para análise de manutenção de propósito geral. Mede temperaturas até $+ 250^{\circ}\text{C}$ e detecta diferenças de temperatura tão pequenas quanto $0,10^{\circ}\text{C}$ (FLIR SYSTEMS, 2010).

O programa que foi usado para criar a nova página de relatórios (Figura 3.11) é designado FLIR Reporter e se adapta a vários tipos de câmaras de infravermelhos da FLIR Systems.

	THERMOGRAPHY INSPECTION for FLIR Systems AB		Date: 2005-10-10 Sign: _____ Contract: : 1708																												
	Photograph																														
	<table border="1"> <tr><td>Place</td><td colspan="3">Building 1</td></tr> <tr><td>Localization</td><td colspan="3">Right panel, group 2</td></tr> <tr><td>Equipment</td><td colspan="3">Fuse</td></tr> <tr><td>Model / type</td><td colspan="3">BHC L100N 250</td></tr> <tr><td>Phase / ID</td><td colspan="3">Supply for Panel 8</td></tr> <tr><td>Room temperature °C</td><td colspan="3">15</td></tr> <tr><td>Status</td><td colspan="3">Over heated</td></tr> </table>			Place	Building 1			Localization	Right panel, group 2			Equipment	Fuse			Model / type	BHC L100N 250			Phase / ID	Supply for Panel 8			Room temperature °C	15			Status	Over heated		
	Place	Building 1																													
Localization	Right panel, group 2																														
Equipment	Fuse																														
Model / type	BHC L100N 250																														
Phase / ID	Supply for Panel 8																														
Room temperature °C	15																														
Status	Over heated																														
Thermogram																															
	34.3°C  0.3°C	<table border="1"> <tr><td>Temp. Spot 1</td><td>34 °C</td></tr> <tr><td>Temp. Spot 2</td><td>17 °C</td></tr> <tr><td>TEMPERATURE DIFF</td><td>17 °C</td></tr> <tr><td>Phase</td><td>L1</td><td>L2</td><td>L3</td></tr> <tr><td>Load (A)</td><td>45</td><td>47</td><td>47</td></tr> <tr><td>Rated load</td><td colspan="3">250</td></tr> <tr><td>Fault class</td><td colspan="3">2</td></tr> </table>		Temp. Spot 1	34 °C	Temp. Spot 2	17 °C	TEMPERATURE DIFF	17 °C	Phase	L1	L2	L3	Load (A)	45	47	47	Rated load	250			Fault class	2								
	Temp. Spot 1	34 °C																													
Temp. Spot 2	17 °C																														
TEMPERATURE DIFF	17 °C																														
Phase	L1	L2	L3																												
Load (A)	45	47	47																												
Rated load	250																														
Fault class	2																														
Comment																															
<p>Disconnect cable, clean contact surfaces. Check for connectivity between cable shoe and lead. Replace any defective component. Assemble according to directions with correct torque.</p> <p>Note that load is only 18%. Calculated temperature rise at 50% load would be approximately 104°C. $[T_{50} - (T_1 - T_2) * (125/45)^2 * 1.6 * T_2]$</p>																															
Corrected																															
Measure taken: _____ Sign: _____			Date: _____ Sign: _____																												
Side 1																															

Figura 3.11: Exemplo de relatório Flir.
 Fonte: FLIR SYSTEMS, 2010, p. 113.

Atualmente, as inspeções termográficas das instalações elétricas são provavelmente, sem exceção, documentadas através da utilização de um programa de elaboração de relatórios. Estes programas, que divergem de um fabricante para outro, são normalmente adaptados diretamente às câmeras, tornando assim a elaboração de relatórios extremamente rápida e fácil (FLIR SYSTEMS, 2010).

3.2.2 PROCONF: software orientado à análise de confiabilidade

O ProConf é um programa computacional projetado a ajustar as distribuições de tempos de falha em dados de confiabilidade, através da utilização de métodos analíticos e métodos gráficos. É utilizado tanto para amostras completas como para amostras truncadas (com censura), disponibiliza estimativas dos parâmetros da distribuição, bem como seus respectivos intervalos de confiança, com cálculos do MTTF, taxa de risco e confiabilidade para determinado tempo, etc. Uma vez obtido os parâmetros da distribuição, seus respectivos gráficos podem ser plotados para uma melhor visualização do comportamento das funções de confiabilidade, taxa de risco, densidade de probabilidade e densidade acumulada de probabilidade (FRITSCH e RIBEIRO, 1998).

O software ProConf será utilizado para gerar os gráficos e obter os resultados numéricos, bem como informar o nível de significância e apontar qual distribuição não pode ser rejeitada. Também fornece estimativas dos parâmetros da distribuição da função distribuição de probabilidade que melhor modela o conjunto de dados em estudo. A validação é dada se o nível de significância for maior que 5% em ambos os testes de aderência. Além disso, são exibidas as representações das funções de confiabilidade $R(t)$ e de risco ou taxa de falha $h(t)$. (FRITSCH e RIBEIRO, 1998).

Com o intuito de gerenciar a confiabilidade e a disponibilidade de equipamentos, a gestão de manutenção tem a opção de utilizar os métodos qualitativos ou quantitativos. Os métodos qualitativos se referem aos fatores subjetivos nas análises. Já nos métodos quantitativos, as previsões se baseiam

em dados históricos dos quais se procura extrair padrões de comportamento (CORRÊA e CORRÊA, 2010).

Conforme Fogliatto e Ribeiro (2011), o ProConf possui três janelas de funções, as quais: Dados, Análise e Calculadora (Figura 3.12).

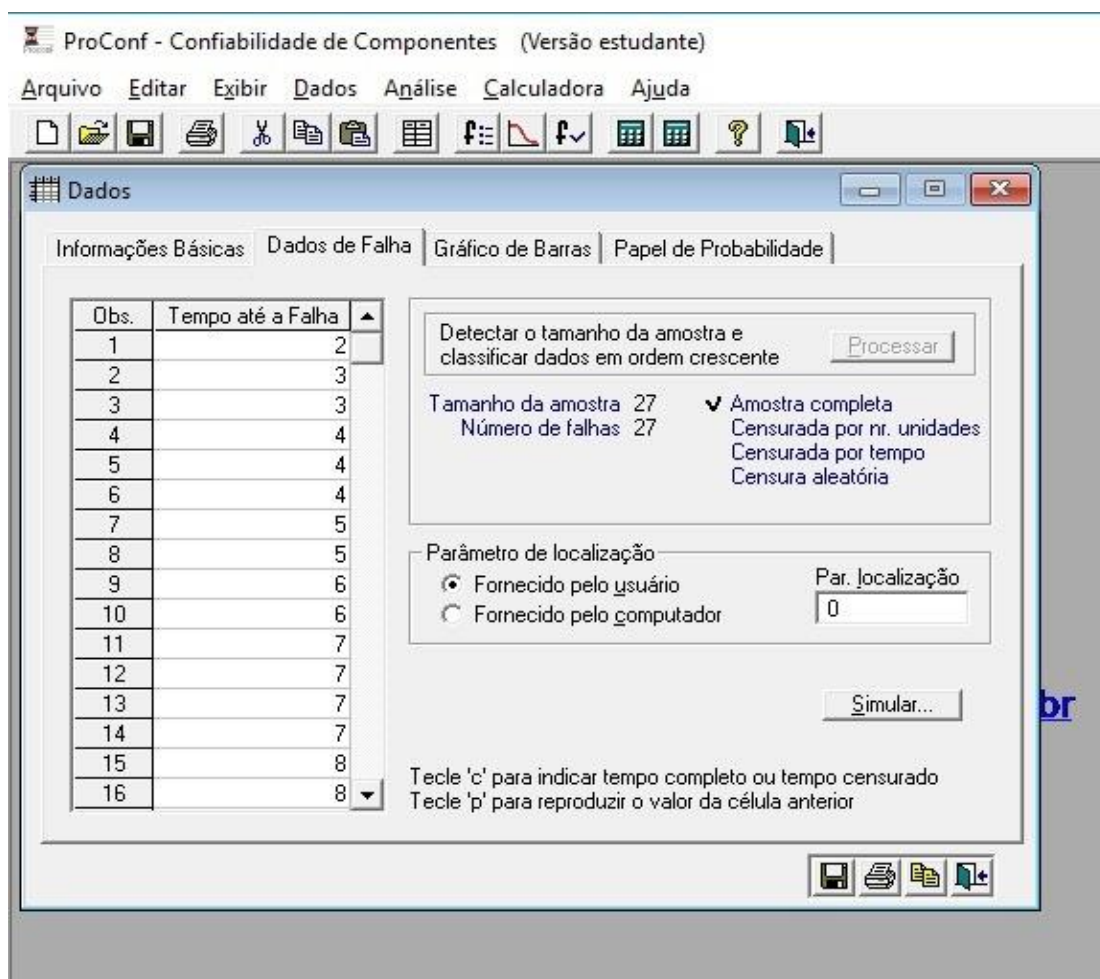


Figura 3.12: Apresentação do ambiente de trabalho do programa ProConf na tela principal, com janela de entrada de dados ativada.

A janela Dados contém quatro planilhas, sendo: Informações básicas (sobre a análise em curso); Dados de tempo até a falha, gráficos de barras (análise de histogramas com opção de frequência, taxa de falha, confiabilidade e densidade acumulada de falha); e papel de probabilidade (exponencial, Weibull, lognormal e normal). A janela Análise contém cinco planilhas: modelos, ajuste/Estatísticas, funções de confiabilidade, gráficos e testes de aderência. Já a janela Calculadora, determina a confiabilidade, com base em uma determinada

distribuição com parâmetros informados, bem como o tempo correspondente a uma determinada confiabilidade e os gráficos correspondentes à distribuição informada (FOGLIATTO e RIBEIRO, 2011).

3.3 O Cenário Inicial do Setor de Manutenção

O estudo de caso foi realizado empregando a técnica da coleta de dados, utilizando um formulário (Figura 3.13) elaborado na observação *in loco*, revelando o diagnóstico conciso dos problemas no setor de manutenção. Uma vez que a administração não dispunha do registro de controle de manutenção. Sendo assim, os dados para elaboração da análise foram coletados por meio de observação na área de trabalho, acompanhando as atividades diárias e através das informações fornecidas pela equipe de manutenção.

FORMULÁRIO

Formulário para coleta de dados por observação in loco:

1) Como é feita a emissão de ordens de serviço?

2) Como vocês irão responsabilizar a equipe pelo trabalho realizado (ou não realizado, se for o caso)?

3) Qual a frequência de manutenção de rotina de cada equipamento/ máquina?

4) Qual a frequência das manutenções preventivas e preditivas?

5) Como é realizado o acompanhamento da efetividade da manutenção? Quais os indicadores?

Figura 3.13: Formulário para coleta de dados.

Após uma análise inicial, de acordo com as respostas do formulário, foi observado que a manutenção dos equipamentos da Empresa do ramo de eucalipto imunizado acontecia de forma completamente corretiva, ou seja, era feito apenas quando a falha no equipamento não permitia a continuidade do processo de produção.

A concentração da produção tornava a disponibilidade dos equipamentos um fator essencial para o atendimento da demanda do mercado e o cumprimento do plano de vendas. As máquinas praticamente não podiam parar, era imprescindível que as manutenções corretivas fossem minimizadas.

3.3.1 Os Problemas Encontrados no Setor de Manutenção

Foi necessário compreender a estruturação do setor de manutenção, examinar em profundidade as rotinas e controles existentes, analisar os recursos materiais disponíveis e conhecer as pessoas.

A equipe de manutenção possuiu um papel importante, expondo suas necessidades e queixas. Os principais problemas ressaltados após o diagnóstico das respostas obtidas através do Formulário para coleta de dados serão apresentados a seguir.

3.3.1.1 Falta de documentação dos serviços de manutenção

As solicitações de trabalhos feitas ao setor de manutenção eram por meio de listas de pendências ou verbais. As instruções passadas pelos responsáveis da manutenção para a equipe também eram puramente verbais. Deste modo, na ausência de registros, não havia histórico dos equipamentos, era difícil controlar o tempo das intervenções de manutenção.

Na maioria das vezes, era necessária uma investigação para identificar o executante ou o solicitante de um determinado serviço, não se documentavam os motivos dos problemas ocorridos e as soluções tomadas. A anotação do que

ocorria de relevante era feito nos livros de ocorrências, entretanto, de forma incompleta.

3.3.1.2 Planejamento deficiente dos trabalhos de manutenção

Por motivo da documentação não ser organizada, o planejamento era ineficiente e a priorização das atividades difícil.

Os responsáveis pela manutenção colocavam os recursos necessários para os trabalhos que iam surgindo de uma forma não estruturada e sempre em cima das necessidades do momento. Estes profissionais possuíam muita experiência e um perfil forte de executores, porém necessitavam ser crescidos em habilidades de gestão.

Os supervisores traziam o costume de requisitar do almoxarifado ou comprar os materiais necessários para executar os trabalhos sempre com uma folga nas quantidades. O imprescindível era realizar o que foi solicitado pela produção o mais breve possível e a avaliação dos gastos envolvidos era secundária.

3.3.1.3 Inexistência de uma estratégia de manutenção preventiva e carência de um programa de manutenção preditiva

Não existia um plano organizado e documentado de manutenção preventiva e preditiva. As quebras no decorrer da produção oscilavam de um período para outro, definindo uma situação onde não há controle, caracteristicamente pela falta de um plano de manutenção.

Com uma previsão realizada perfeitamente, é possível tornar mínimo os custos com as quebras de equipamentos, horas homens trabalhadas, reposição de suas peças, parada da unidade de processo e perda da produtividade, além de assegurar que os mesmos quando reparados permaneçam em plenas condições de uso.

3.3.1.4 Ausência de indicadores de desempenho da manutenção

Não havia indicadores próprios do setor de manutenção, isto é, apontadores que trouxessem informações específicas voltadas para auxiliar e aprimorar o seu gerenciamento.

3.4 Diagnóstico da confiabilidade atual

No processo de imunização do eucalipto o motor hidráulico é responsável por fechar e abrir a porta da autoclave, o motor de pressão é responsável por injetar a solução na madeira e o motor de transferência é responsável por transferir a solução excedente de volta ao tanque (Figura 3.14). Na figura no canto inferior direito pode ser constatado o local onde os motores são dispostos.



Figura 3.14: Motores responsáveis pelo processo automatizado.

Neste estudo será avaliado o motor elétrico responsável pelo vácuo inicial e final do processo (Figura 3.15), sendo o escolhido para essa amostra por ter um tempo de funcionamento superior aos outros motores. As informações técnicas desse equipamento estão na Tabela 3.1.



Figura 3.15: Motor elétrico responsável pelo vácuo inicial e final da imunização do eucalipto.

Tabela 3.1: Informações da placa de identificação do motor WEG.

Motor de indução - Gaiola	Mod. 1~132M	220/ 440 V
KW (HP – cv) 9.2 (12 ½)	RPM 1730	52.0 / 26.0 A

A medição termográfica será realizada para medir a temperatura do motor elétrico da marca WEG, de acordo com as classificações do equipamento é sugerido que a temperatura superficial dos mesmos não ultrapassem a faixa de 115°C. Para medir a temperatura, foi utilizada uma câmera termográfica Flir i7, que fornece dados permitindo acompanhar a integridade metalúrgica dos equipamentos e que é descrita no item 3.2.1.

A câmera é posicionada frente ao motor elétrico a uma distância segura de 1 metro (Figura 3.16), podendo ser conduzida por todo o equipamento, todavia os pontos estratégicos para controle de temperaturas são os locais onde ficam os

rolamentos (dianteiro e traseiro) e a caixa de ligação elétrica (meio). Sendo os locais que sofrem maior aquecimento durante o funcionamento do mesmo.



Figura 3.16: Medição termográfica.

A produção não é interrompida, pois a temperatura é medida com o motor ligado, permitindo localizar o problema e guardar uma série de imagens para fornecer um histórico completo da medição, as mesmas serão realizadas periodicamente (que ocorre de períodos em períodos).

Após a venda do eucalipto, o mesmo é transferido do Box para o caminhão com o uso de máquinas carregadeiras (Figura 3.17).



Figura 3.17: Máquinas carregadeiras marca New Holland.

Uma análise de confiabilidade será utilizada para avaliar a implementação do método de manutenção para a máquina da marca MICHIGAN e modelo 55C (Figura 3.18), por ser a máquina carregadeira que apresentava um número de falhas superior às outras máquinas. Serão coletados os tempos entre as falhas em um período de 3 meses antes da implantação do plano de manutenção e 3 meses após o plano de manutenção ser implantado. Ao ocorrer uma falha na máquina carregadeira, a empresa precisa alugar uma outra máquina para acompanhar a demanda de carregamentos, gerando um alto custo financeiro por problemas imprevistos.



Figura 3.18: Máquina carregadeira com implemento florestal.

As informações técnicas referente ao motor da máquina estão na Tabela 3.2. A revisão no motor é executada de acordo com a quilometragem ou caso apresente algum dos sintomas como superaquecimento do sistema do arrefecimento ou manifeste algum ruído ou vibração anormal.

Tabela 3.2: Informações do motor da máquina Michigan 55c.

Motor Mercedes Benz	Mod OM-352	Sistema elétrico alternado 12 V
CV 117	6 cilindros	35 A

A análise de confiabilidade será feita através de gráficos obtidos pelo software ProConf, sendo eles de frequência e taxa de falhas, confiabilidade, confiabilidade acumulada de falhas e testes de aderência. Por meio da interpretação dos resultados obtidos via processamento de dados será confirmado o modelo de distribuição apropriado para o estudo (Item 2.1.6 descrição das Distribuições de probabilidade mais utilizadas).

Na visão de Fogliatto e Ribeiro (2009) os modelos mais utilizados para descrever funções de confiabilidade são as distribuições de Weibull, Exponencial, Gamma, Lognormal e Normal. Sendo que a variável a ser ajustada é o tempo até a falha do equipamento.

A distribuição de Weibull, amplamente conhecida em virtude de sua simplicidade e flexibilidade em acomodar diferentes formas da função de risco, é talvez o modelo de distribuição mais utilizado em análise de tempos de vida (KOMNINAKIS *et al.* 2018). Portanto, neste trabalho a validade da Distribuição de Weibull será verificada em uma análise de tempo entre falhas antes e após a implementação de um plano de manutenção.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS

4.1 As Modificações Introduzidas no Setor de Manutenção

As modificações implantadas no setor de manutenção da Empresa do ramo de eucalipto imunizado objetivaram solucionar os problemas existentes, segundo o diagnóstico apresentado no capítulo anterior.

Foram buscadas soluções por meio de cursos específicos, pesquisa bibliográfica e o aproveitamento das ideias e da experiência da própria equipe de manutenção. Deste modo, o sistema de gestão da manutenção da empresa foi construído aos poucos, em consequência da pesquisa nas diversas fontes mencionadas e da experimentação.

As alterações avaliadas necessárias para aperfeiçoar o desempenho do setor foram discutidas antecipadamente com os supervisores, e posteriormente apresentadas para toda a equipe de manutenção em reuniões. Os resultados alcançados e as medidas adotadas são apresentados na sequência.

4.1.1 A Implantação da Requisição de Serviço de Manutenção

É necessário documentar as solicitações feitas ao setor de manutenção, tal como o trabalho realizado e para isto foi implantado a Requisição de Serviço de Manutenção (RSM). A sua implantação contou com o assentimento da gerente de produção e levou em torno de três meses até a completa aceitação de todos.

O solicitante deveria preencher os seguintes campos de informações da RSM:

- Descrição e área do equipamento, para permitir sua localização;
- Prioridade da requisição;
- Data e horário da requisição;
- Horário em que o equipamento ou a área, estarão disponíveis para o trabalho da equipe de manutenção;

- Descrição do problema;
- Nome do solicitante e
- Aprovação do supervisor.

A opção da prioridade do serviço admite que se estabeleça uma programação dos trabalhos de manutenção. Os níveis de prioridade estabelecidos são os que seguem:

- Pequenos Ajustes (P0) - são problemas mínimos e de solução imediata, geralmente substituição de peças de simples acesso ou regulagens de máquina. O lançamento destes eventos, mesmo que possa parecer burocracia, é importante, pois possibilita identificar problemas que se repetem com assiduidade e pontos fracos das máquinas, dos quais podem ser eliminados através de melhorias.
- Emergência (P1) - ocorrências de interrupção da produção por quebra do equipamento ou se houver algum risco à segurança das pessoas. A assistência destes acontecimentos deve ser imediata.
- Urgência (P2) - circunstâncias onde é necessário intervir, visto que se observa um defeito que com certeza evoluirá e causará uma possível parada na produção. Há tempo para planejar a parada e desse modo minimizar as perdas. O prazo para atendimento nestes casos depende da gravidade do problema e do acordo entre o setor de manutenção e o setor de produção, todavia é considerado de 1 a 5 dias.
- Trabalhos Programados (P3 e P4) - são intervenções de manutenção preventiva que não apresentam riscos ao processo produtivo, contanto que realizadas dentro do prazo planejado, trabalhos de conservação ou de melhorias. Os serviços classificados como P3 pelo solicitante têm prioridade maior e devem ser atendidos em um tempo de 5 a 20 dias, enquanto que as P4 podem ser atendidas no período de 10 a 45 dias.

O profissional de manutenção que recebe a solicitação deveria preencher as seguintes informações:

- Descrição do defeito localizado;
- Lista dos materiais utilizados no serviço, com sua descrição e quantidade;
- Nome dos responsáveis que atuaram naquela requisição e o tempo que eles levaram para execução do serviço, registrando as datas e horas trabalhadas.

Nos acontecimentos em que a RSM é imediata (P0 e P1), então o serviço é executado e em seguida a RSM com todas as informações é entregue ao setor de manutenção para registro.

Nas demais situações (P2, P3 e P4), a RSM é conduzida primeiro ao setor de manutenção para ser programada, isto é, para serem providenciados os recursos necessários e agendada a melhor oportunidade para o cumprimento da atividade.

A RSM programada ganha um carimbo do setor de manutenção e é entregue ao profissional designado para sua execução, que ao finalizar o trabalho a devolve totalmente preenchida. A RSM (Figura 4.1) é juntamente uma “Requisição de serviço” e uma “Ordem de serviço”.

4.1.2 Evolução dos Indicadores de Desempenho

Um conjunto de indicadores foi estabelecido e estes, passaram a ser definidos e divulgados pelo setor da manutenção, considerando as necessidades do setor e dos clientes internos. Os indicadores empregados foram:

- a) Custo de manutenção por período;
- b) RSM's executadas;
- c) RSM's pendentes;
- d) Realização do plano de manutenção preventiva e preditiva (equipamentos efetivamente inspecionados).

Os custos com manutenção são acompanhados diariamente para não excederem o orçamento. O relatório de custos é publicado não apenas para a equipe de manutenção, mas também para os outros setores. Esse relatório foi desenvolvido para funcionar de forma similar a um extrato bancário, possibilitando o acompanhamento do progresso das despesas de uma forma objetiva e simples. Tal procedimento torna a responsabilidade pela administração do orçamento compartilhada e as prioridades definidas de acordo com os recursos disponíveis.

Diversos indicadores acompanhados pela equipe de manutenção são fornecidos por outras áreas:

- a) Horas extras (Recursos Humanos);
- b) Custo integral de manutenção em relação ao faturamento (Financeiro);
- c) Taxa de periodicidade de acidentes (Segurança);
- d) Acidentes sem afastamento (Segurança);
- e) Acidentes com afastamento (Segurança).

O acompanhamento deste conjunto de indicadores proporciona uma gestão eficaz dos recursos e a definição de prioridades de ação. A exposição dos indicadores de desempenho da manutenção também amplia a credibilidade do setor dentro da empresa.

4.1.3 Desenvolvimento do Plano de Manutenção Preventiva

O plano de manutenção preventiva é fundamental, pois as quebras de equipamentos em produção ocorrem e precisam ser minimizadas. A ideia principal que norteava a execução do plano era que os equipamentos necessitavam de inspeções, preferencialmente no decorrer da operação, com uma frequência adequada para permitir a identificação de defeitos, previamente à ocorrência de uma falha. Uma vez identificado um defeito, uma RSM é realizada para repará-lo no momento adequado.

A equipe de manutenção preventiva é composta por profissionais experientes, sendo eles:

- Um mecânico geral e
- Três mecânicos de ajuste fino de máquinas.

Foi realizado o manual preventivo de todos os equipamentos envolvendo o processo de produção da empresa, de acordo com seus manuais de instalação e operação. Alguns itens da inspeção geral realizados em todos os motores elétricos WEG podem ser verificados no processo de manutenção e são mostrados na Figura 4.2.

Manual Preventivo - Motores Elétricos		
Descrição dos serviços	Periodicidade	Responsável
Conservar o motor limpo de forma que a corrente de ar produzida pelo ventilador possa circular livremente.	Diário	Operador
Examinar o estado dos retentores.	Mensal	Eq. de Manut.
Analisar o estado das ligações e parafusos de sustentação.	Mensal	Eq. de Manut.
Examinar o estado dos rolamentos observando surgimento de vibrações, ruídos, temperatura elevada e condições da graxa.	Semestral	Eq. de Manut.
Ao ser constatada uma alteração nas condições de trabalho normais, verificar o motor, inspecionar as partes fundamentais e trocá-las, se necessário.	Semestral	Operador/ Eq. de Manut.

Figura 4.2: Manual preventivo – Motores elétricos.

Normalmente, os motores com carcaças de volume até 200L são fornecidos sem graxeira. Deste modo, a relubrificação é executada seguindo os itens:

- Desmontar os motores;
- Remover toda a graxa;
- Lavar o rolamento com diesel ou querosene;
- Relubrificar o rolamento.

A ficha de manutenção da máquina Michigan 55C foi dividida de acordo com a quilometragem e em horas, pois a mesma possui horímetro. Para o desenvolvimento do trabalho, foram utilizadas planilhas e consultas em manuais técnicos, segue Figura 4.3.

Manual Preventivo - Máquina carregadeira com implemento florestal				
Diário 200km ou 8h	Semanal 1.000km ou 40h	10.000km ou 200h	25.000km ou 500h	50.000km ou 1.000h
Verificar nível: <ul style="list-style-type: none"> • óleo motor, • óleo hidráulico, • conferir pneus, • óleo torque, • óleo transmissão, • óleo direção hidráulica, • água radiador, • óleo freios. 	<ul style="list-style-type: none"> • Lubrificação, • Limpeza filtro ar, • Óleo caixa, • Conferir aperto correias, • Calibragem pneus, • Regulagem freios. 	<ul style="list-style-type: none"> • Troca óleo do motor, • Troca filtro combustível, • Troca filtro lubrificante. 	<ul style="list-style-type: none"> • Troca conjunto filtro ar, • Troca lona de freio. 	Troca óleo: <ul style="list-style-type: none"> • Transmissão, • Torque, • Hidráulico, • Diferencial. Troca filtros: <ul style="list-style-type: none"> • Transmissão, • Torque, • Hidráulico, • Regulagem de válvulas do motor.

Figura 4.3: Manual Preventivo – Máquina carregadeira com implemento florestal.

4.1.4 Manutenção Preditiva - Análise Termográfica nos motores

O processo de imunização do eucalipto acontece no prazo médio de uma hora e meia, após o término, os motores são desligados para reiniciar um novo

processo. A termografia nos motores é utilizada justamente para acompanhar essa temperatura da superfície, a fim de que elas fiquem sempre em um patamar seguro de operação.

Devido às especificações do equipamento, é recomendado que temperaturas superficiais dos motores não ultrapassem a faixa de 115°C. A Figura 4.4 mostra uma análise termográfica realizada em um motor, no início de seu funcionamento, a temperatura em Sp1 foi de 38,9°C. Onde os valores obtidos estão dentro dos especificados.

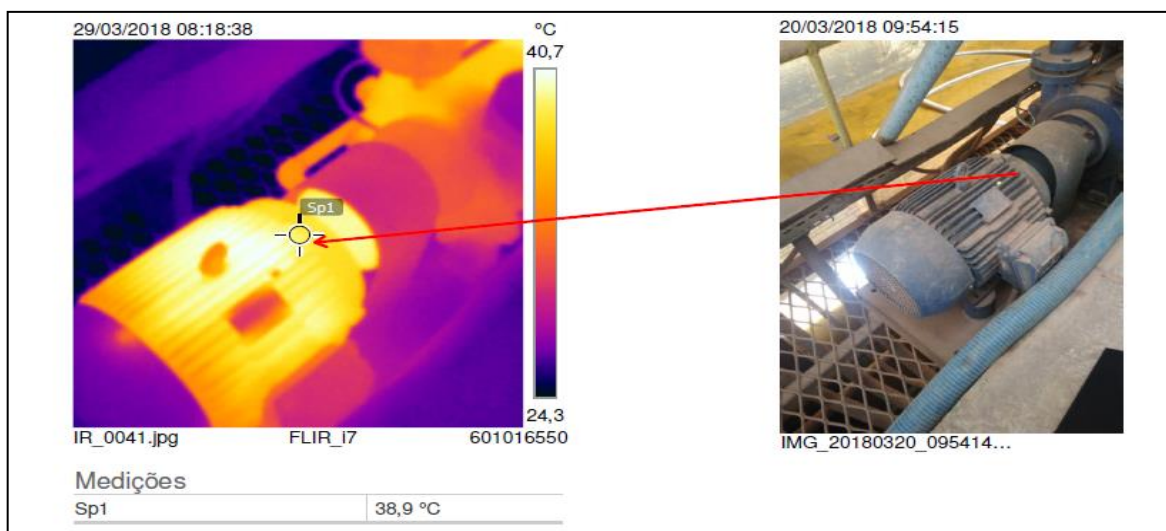


Figura 4.4: Análise termográfica fase inicial de funcionamento de motor elétrico.

Após uma hora e quinze minutos de funcionamento do motor, a temperatura em Sp1 foi de 67,3°C (Figura 4.5). Nestas figuras da análise termográfica pode ser observado uma região amarela onde a temperatura é mais elevada, houve um ganho térmico em relação à primeira imagem, entretanto, os valores estão de acordo com a temperatura permitida para o equipamento.

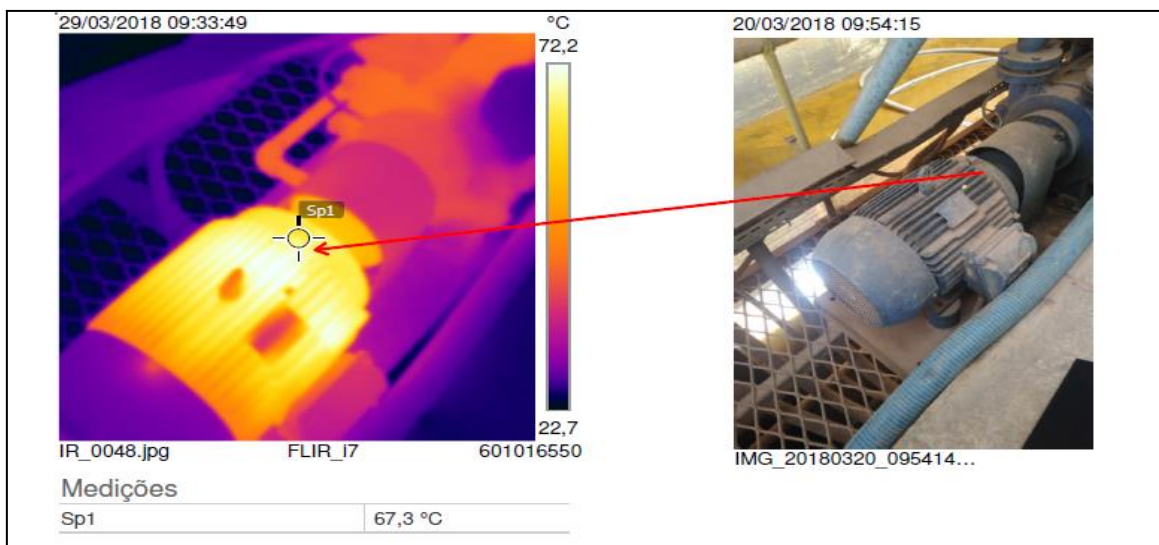


Figura 4.5: Análise termográfica fase final de funcionamento de motor elétrico.

Com a câmera termográfica foi possível identificar zonas problemáticas rapidamente ao inspecionar todo o sistema eletromecânico a partir de uma distância segura, sem interromper a operação.

As análises termográficas nos motores são importantes e mais recorrentes. O acompanhamento da manutenção preditiva é indispensável, a análise termográfica nos motores trouxe vantagens como aumento da vida útil do equipamento e ganho de segurança operacional.

4.2 Análise da Confiabilidade

Foi realizada uma análise de confiabilidade utilizando o software ProConf, para a máquina carregadeira com implemento florestal da marca Michigan. As tabelas 4.1 e 4.2 apresentam os tempos até as falhas e os tempos entre as falhas (descrição dos principais indicadores da manutenção Item 2.1.4.1) antes e após a implantação do plano de manutenção preventiva. Os tempos antes do programa ser implantado foram coletados por meio de informações fornecidas pela equipe de manutenção, sendo que a administração não dispunha do registro de controle de manutenções. Os tempos após o programa ser implantado foram recolhidos através das requisições de serviço de manutenção.

Tabela 4.1: Tempo até as falhas antes do plano de manutenção implantado.

Mês	Tempos até as falhas antes do plano de manutenção implantado (horas)	Tempo entre falhas, antes do plano de manutenção (horas)
1	14	14
	19	5
	32	13
	50	18
	64	14
	70	6
	82	12
	96	14
	100	4
	110	10
2	114	4
	123	9
	130	7
	133	3
	145	12
	152	7
	158	6
	160	2
3	168	8
	180	12
	185	5
	192	7
	195	3
	204	9
	208	4
	215	7
223	8	

Tabela 4.2: Tempo até as falhas após o plano de manutenção implantado.

Mês	Tempos até as falhas após o plano de manutenção implantado (horas)	Tempo entre falhas, após o plano de manutenção (horas)
1	12	12
	20	8
	29	9
	40	11
	52	12
	59	7
	72	13
	83	11
	99	16
	108	9
2	130	22
	142	12
	155	13
	167	12
	180	13
	196	16
	210	14
	223	13
3	240	17
	257	17
	270	13
	292	22
	309	17
	330	21
	348	18
	370	22
	392	22

As horas coletadas são somente dos períodos de funcionamento da máquina, não considerando o tempo para reparo após a ocorrência da falha. Com o objetivo de verificar estatisticamente a variação dos resultados o software ProConf foi utilizado para o estudo dos dados. Resultando nos seguintes gráficos e subsequentes análises.

Ao comparar os resultados, foi constatado que a frequência de falhas variou mais na coleta de dados pós implementação. Enquanto no primeiro gráfico (Figura 4.6) as falhas ocorrem com maior frequência no tempo entre 4 e 7 horas,

obtendo frequência de falhas até o tempo de 18 horas; para o segundo gráfico (Figura 4.7) houve uma maior concentração da distribuição de frequência no intervalo de 12 à 14,5 horas e tempos de falha atingiram patamares de até 22,5 horas.

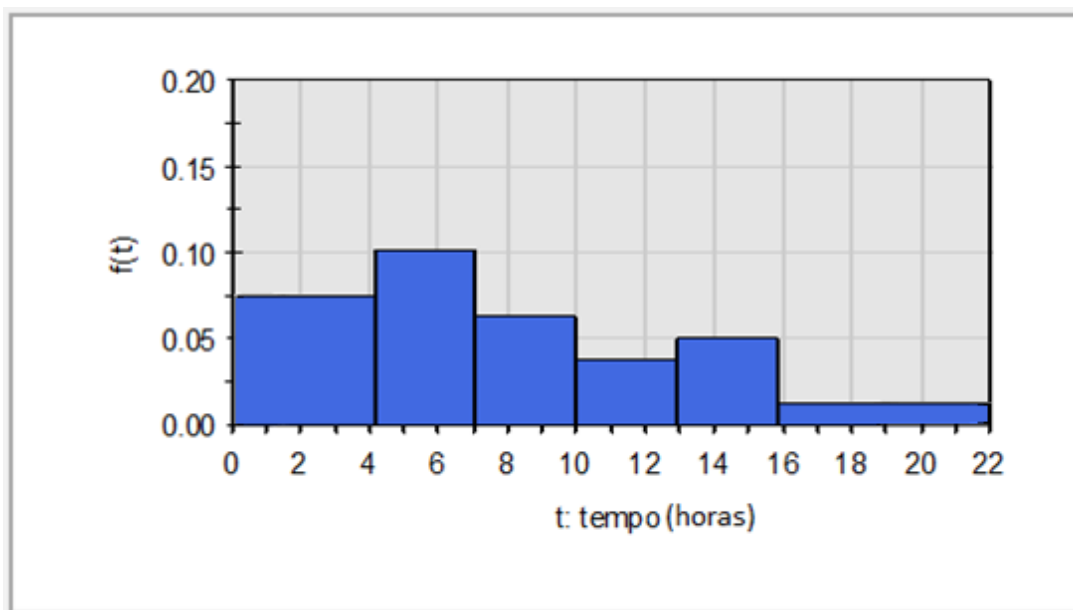


Figura 4.6: Frequência de Falha antes da implementação do plano de manutenção.

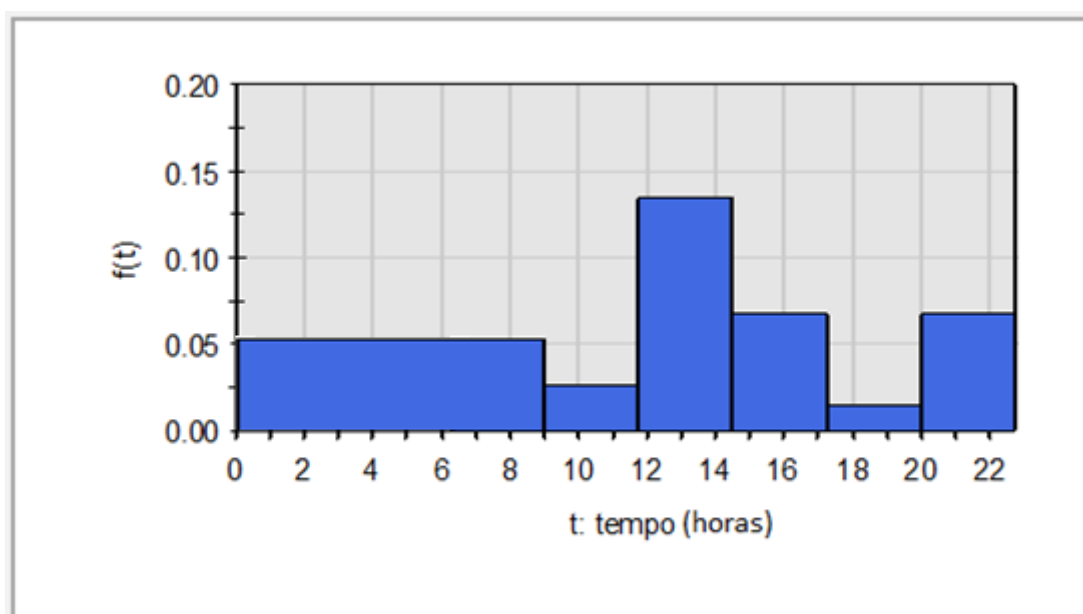


Figura 4.7: Frequência de Falha após a implementação do plano de manutenção.

Semelhante à análise de frequência de falhas, os gráficos de taxa de falha (Figuras 4.9), confiabilidade (Figura 4.11) e confiabilidade acumulada de falha (Figura 4.13) obtiveram um aumento no seu limite de tempo. Em todos estes gráficos os valores alcançados foram superiores aos observados na primeira etapa (Figuras 4.8, 4.10 e 4.12), indicando um prolongamento no tempo de uso antes da falha e uma garantia que o equipamento funcionará por mais tempo ininterruptamente.

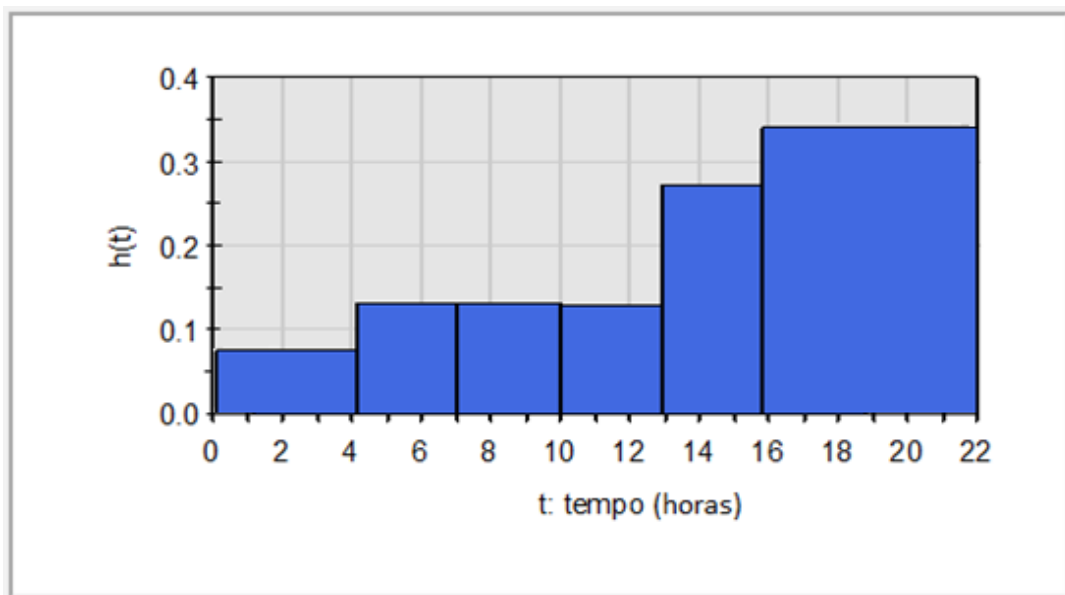


Figura 4.8: Taxa de falha antes da implementação do plano de manutenção.

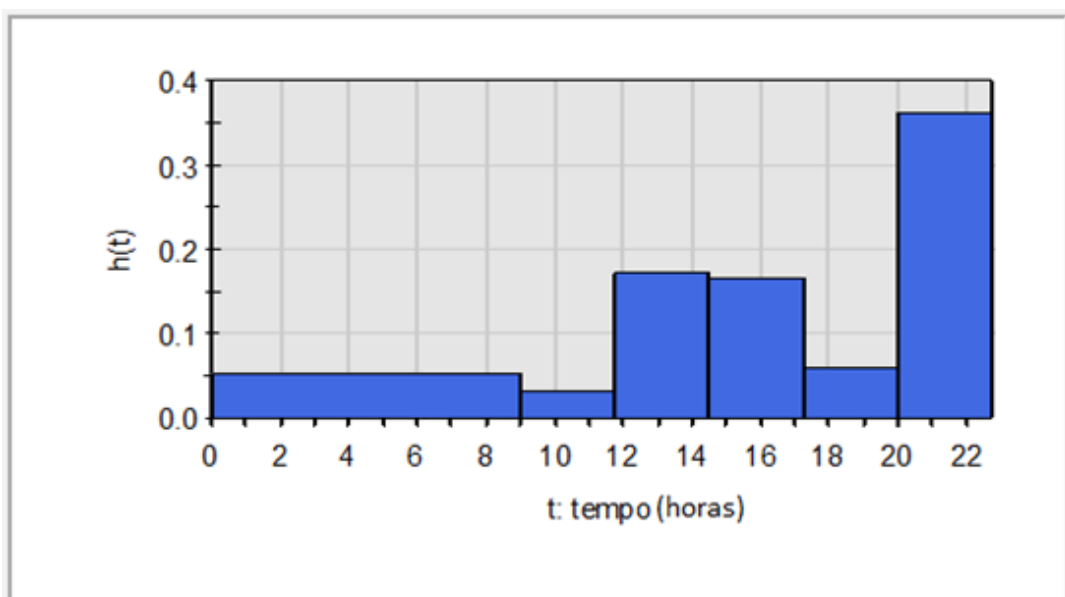


Figura 4.9: Taxa de falha após a implementação do plano de manutenção.

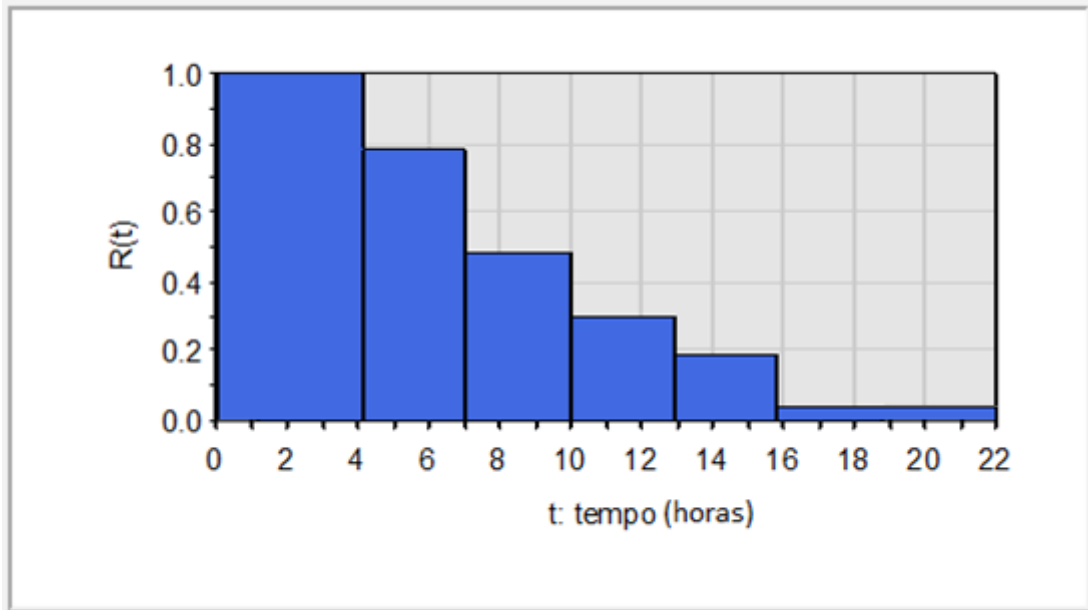


Figura 4.10: Confiabilidade antes da implementação do plano de manutenção.

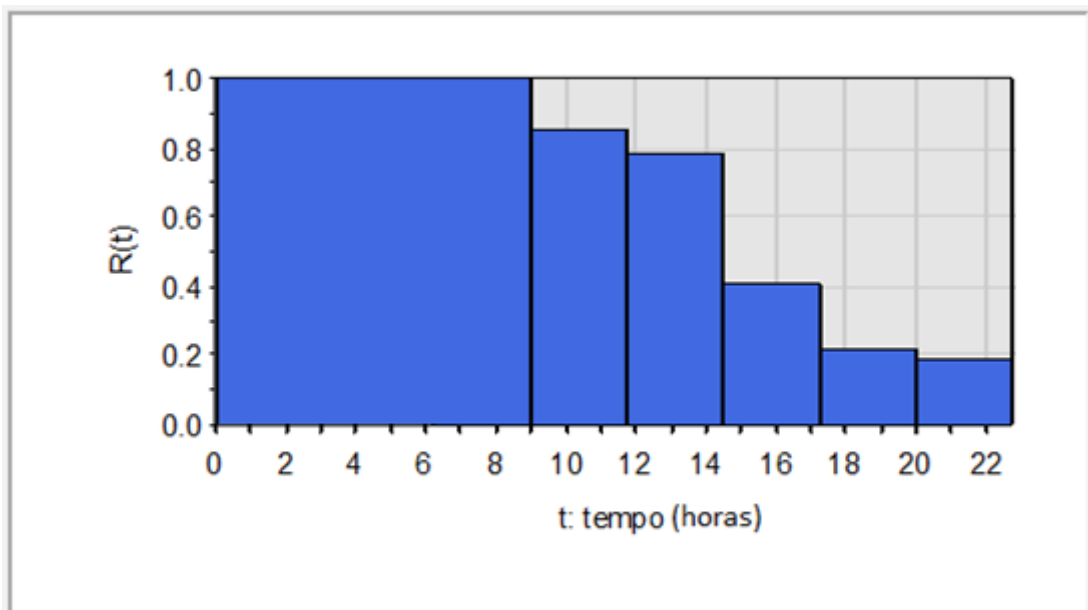


Figura 4.11: Confiabilidade após a implementação do plano de manutenção.

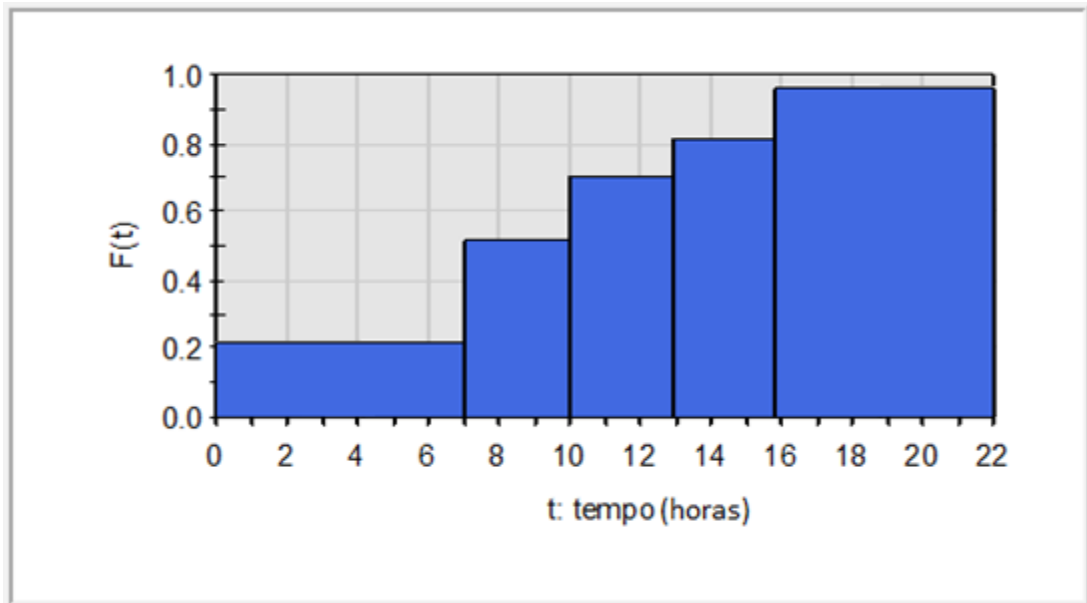


Figura 4.12: Confiabilidade acumulada de falha antes da implementação do plano de manutenção.

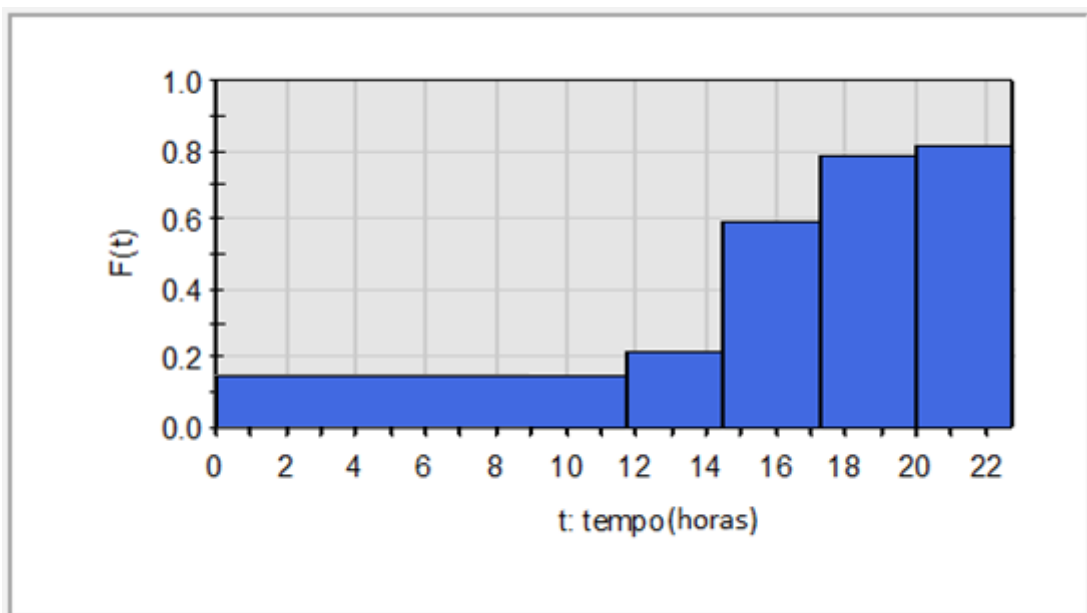


Figura 4.13: Confiabilidade acumulada de falha após a implementação do plano de manutenção.

Nas Figuras 4.14 e 4.15 os dados obtidos foram verificados quanto a distribuição de probabilidade, para determinar os parâmetros de confiabilidade. Nesses dados foi verificado que os pontos lançados em um papel de probabilidade da Distribuição de Weibull, se apresentam ao longo de uma linha

reta, o que significa que não se pode rejeitar a hipótese que seguem a distribuição de Weibull.

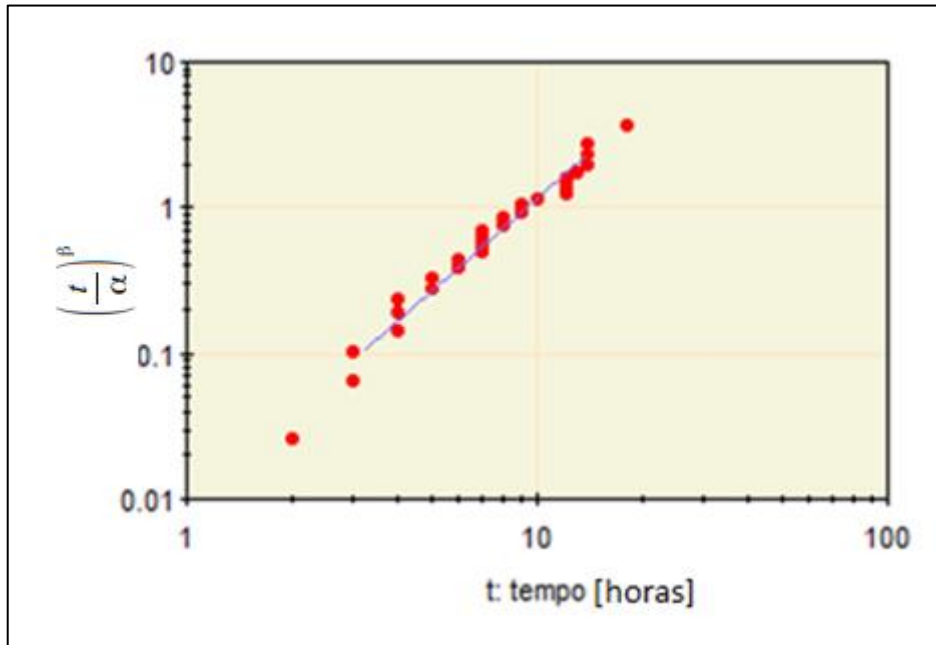


Figura 4.14: Aproximação de uma distribuição de Weibull antes da implementação do plano de manutenção.

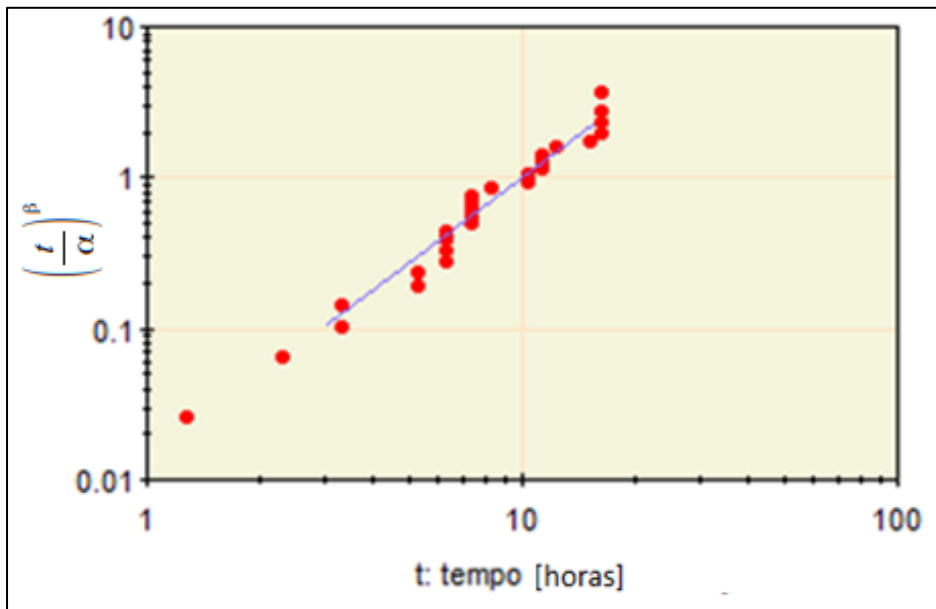


Figura 4.15: Aproximação de uma distribuição de Weibull após a implementação do plano de manutenção.

Na Figura 4.17 após o programa de manutenção implantado pode ser observado que o valor do MTTF aumenta, alterando de 8,20 (Figura 4.16) para 14,44 horas. Esse aumento indica que a repercussão do programa foi positiva no que diz respeito ao tempo de uso do equipamento até a falha ocorrer.

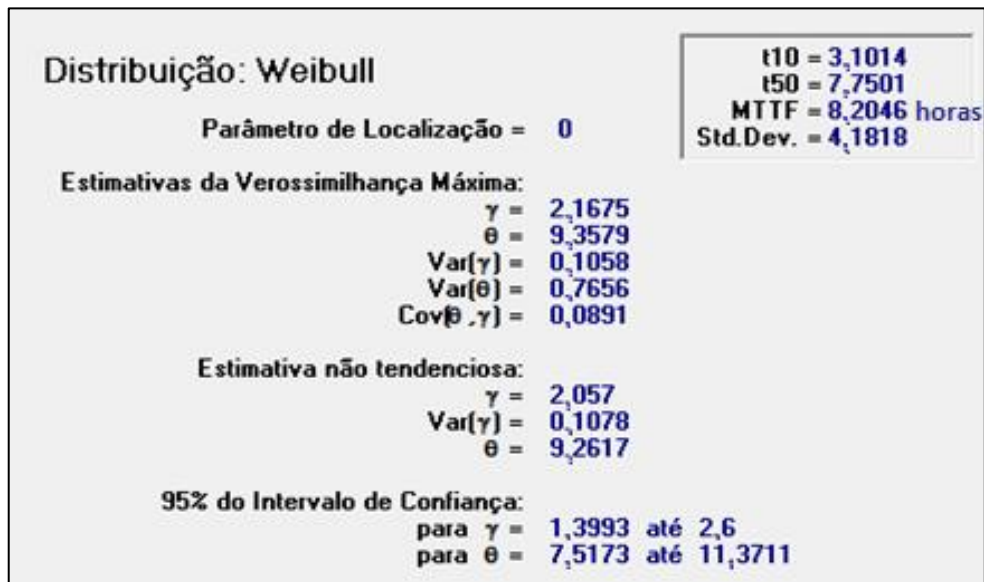


Figura 4.16: Modelo e ajuste da distribuição antes da implementação do plano de manutenção.

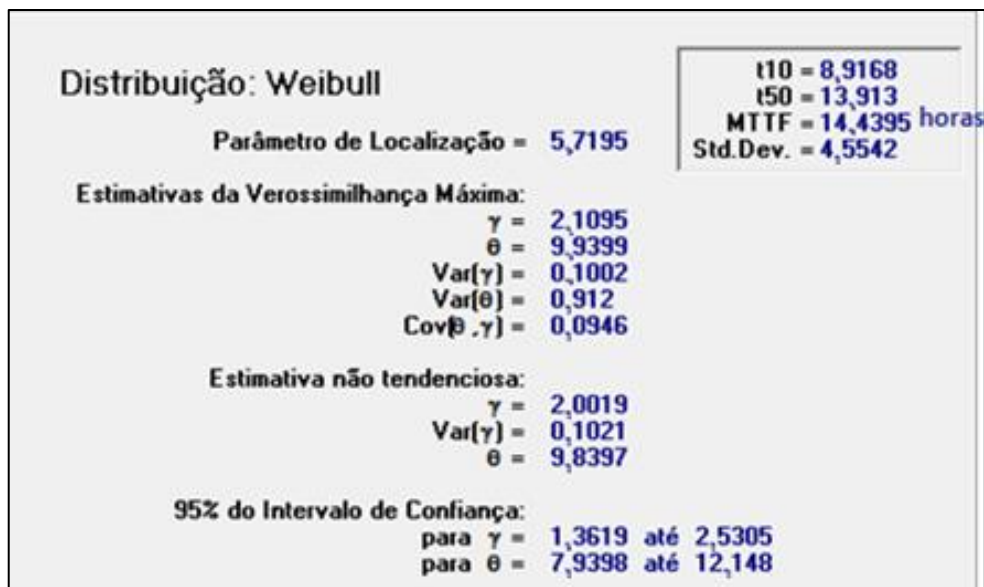


Figura 4.17: Modelo e ajuste da distribuição após a implementação do plano de manutenção.

Os valores do MTTF podem ser vistos como 8,2046 e 14,4395 horas para a coleta antes e depois do programa respectivamente. Analiticamente é possível calcular os valores como demonstrado pela equação (2.5):

$$MTTF = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N} \quad (2.5)$$

Onde, t_i = Tempos de operação coletados e N = Tamanho da amostra.

Antes do programa:

$$MTTF = \frac{223}{27} = 8,2595 \text{ horas}$$

Após o Programa:

$$MTTF = \frac{392}{27} = 14,5185 \text{ horas}$$

Os valores diferem do programa em 0,66% e 0,54% para os valores calculados respectivamente, devido a alguma provável aproximação realizada pelo programa Proconf.

Para o cálculo do MTBF neste caso, considerou-se que o MTTR é igual a zero, já que a coleta de dados visou apenas as horas de funcionamento da máquina. Sendo assim, o MTBF pode ser igualado ao MTTF, com isso utiliza-se dos valores já encontrados como valores do MTBF.

Por fim, é verificado nas Figuras 4.18 e 4.19 que a distribuição de Weibull é adequada para o estudo da confiabilidade da máquina carregadeira com implemento florestal, pois a hipótese de que a população segue um modelo de Weibull não pode ser rejeitada.

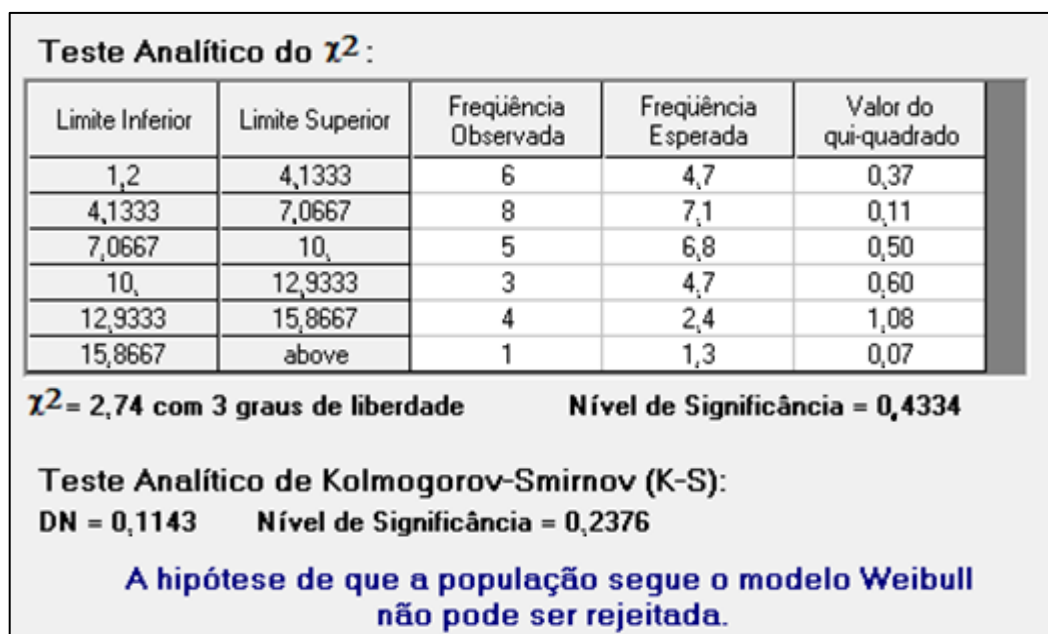


Figura 4.18: Teste de aderência antes da implementação do plano de manutenção.

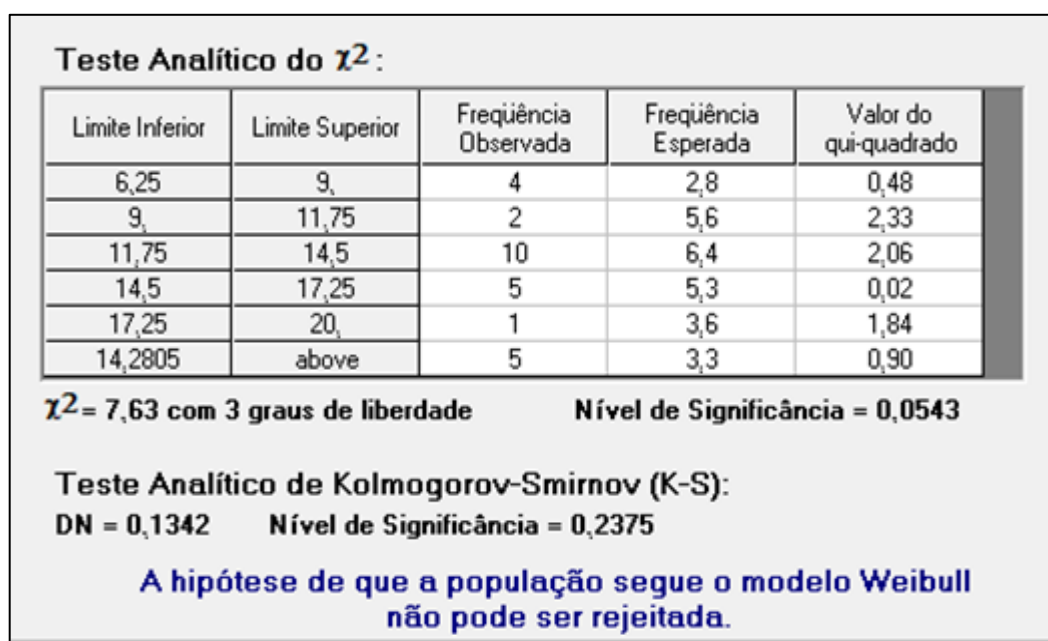


Figura 4.19: Teste de aderência após a implementação do plano de manutenção.

4.3 Resumo dos Resultados das Ações Desenvolvidas no Setor de Manutenção

As várias ações desenvolvidas para responder aos problemas diagnosticados no início do trabalho de pesquisa apresentaram melhorias, conforme mostrado nas seções anteriores. Estes resultados são apresentados de maneira resumida na sequência.

➤ Indicadores Numéricos

Este tópico apresentará os principais indicadores para uma empresa em desenvolvimento organizacional e com processo automatizado, as ações implantadas e os resultados numéricos obtidos (Tabela 4.3).

Tabela 4.3: Resultados numéricos obtidos.

Indicador	Ações	Resultados
Documentação das atividades cumpridas pela manutenção.	✓ Implantação da RSM.	Média de 5 RSM's por semana (realizadas e registradas).
Alcance do plano de manutenção preventiva e preditiva.	✓ Criação do plano de manutenção preventiva e preditiva.	18 equipamentos cobertos pelos planos de manutenção (100% dos equipamentos).
Produtividade da equipe de manutenção.	✓ Todo o conjunto de ações implantadas.	Acréscimo de, em média 6 h de funcionamento da máquina carregadeira, levando a um aumento na produção e venda da madeira.
Menor custo financeiro, referente à locação de máquina carregadeira.	✓ Todo o conjunto de ações implantadas.	Ao ocorrer uma falha na máquina carregadeira, a empresa precisaria alugar outra máquina (até a mesma voltar ao trabalho normal). Valor do aluguel R\$180,00 a hora.

CAPÍTULO 5: CONCLUSÃO

5.1 Considerações Finais

Com a finalidade de conceber e implementar um plano de manutenção centrado na confiabilidade em uma indústria com processo automatizado, avaliou-se os aspectos associados à manutenção mecânica, de modo que a produção possa ser planejada e adaptada a partir da real situação de seus equipamentos.

O trabalho de pesquisa iniciou com uma análise dos problemas encontrados no setor de manutenção de uma Empresa do ramo de eucalipto imunizado. Esta análise foi preparada com base na observação dos fatos e nas informações apresentadas pela própria equipe de manutenção. As medidas corretivas adotadas para solução dos problemas levantados foram implantadas ao longo de um período de nove meses.

O sistema de gestão da manutenção da empresa foi consolidado por etapas. Foram implantadas as requisições de serviço para documentar os trabalhos de manutenção, tendo como benefícios o início do levantamento de dados para criação do histórico dos equipamentos, a redução de reclamações por trabalhos não realizados e os registros dos materiais usados nos serviços. Possibilitou também: definir o momento da parada do equipamento até a chamada do profissional de manutenção, determinar o prazo da intervenção de manutenção e obter o tempo para retomada da produção pela equipe de operação. Dessa forma a metodologia implantada permitiu identificar e combater ineficiências.

A implantação do plano de manutenção preventiva proporcionou uma redução da taxa de falhas da máquina carregadeira com implemento florestal. Houve uma ampliação do tempo em que se pode ter uma maior confiabilidade durante o funcionamento da máquina. Enquanto na avaliação antes do programa implantado a confiabilidade foi de 60% até 7 h, com o programa de manutenção implantado, o mesmo percentual de confiabilidade foi até 14:30 h. Houve também um aumento no tempo médio entre falhas após o programa de

manutenção implantado, conforme indicado pelos tempos entre falhas que foram alterados de 8 para 14 horas, indicando uma melhoria do funcionamento da máquina quanto ao histórico de falhas. Com isso a Empresa do ramo de eucalipto imunizado tem um menor custo financeiro com locação de máquina carregadeira, mais precisamente R\$180,00 a hora, pois na ocorrência de uma falha, a máquina não opera sua função e a empresa necessita alugar outra máquina, uma vez que os carregamentos da madeira vendida não podem ser interrompidos. Portanto, ao funcionar ininterruptamente seis horas a mais, se contabiliza um custo não gasto de R\$1.080,00.

O acompanhamento na Manutenção Preditiva realizado através das análises termográficas nos motores elétricos, permitiu monitorar a temperatura da superfície dos mesmos, a fim de manter em um patamar seguro de operação. A utilização da câmera termográfica permitiu identificar uma variação da temperatura de 28,4°C, após uma hora e quinze minutos de funcionamento do motor responsável pelo vácuo inicial e final do processo de produção da indústria. Ainda que tenha ocorrido um ganho térmico, os valores estão de acordo com a temperatura permitida para o equipamento. O acompanhamento da manutenção preditiva se mostrou essencial por meio da análise termográfica nos motores, proporcionando vantagens como o aumento da vida útil do equipamento e ganho de segurança operacional.

Dessa maneira, foi observado que, com a aplicação e o aprimoramento das técnicas de manutenção preventiva e preditiva, a Empresa do ramo de eucalipto imunizado obteve melhorias no tempo de operação dos equipamentos mecânicos industriais, resultando no aumento da confiabilidade e eficiência do processo produtivo.

5.2 Sugestões de trabalhos futuros

A implementação de um Setor de Planejamento nesta mesma empresa, seria uma proposta de trabalho futuro. Sendo de grande importância a divisão da equipe de manutenção internamente, que executa o planejamento e o controle das atividades, realizando tarefas com qualidade nos serviços e seguindo uma

programação estabelecida, onde a confiabilidade da função dos equipamentos mecânicos seja prioridade para indústria.

Visto que a empresa está em crescimento contínuo, outra sugestão seria o emprego de um software especialista para auxílio no gerenciamento da manutenção. A fim de estabelecer os valores ótimos para o processo de manutenção e planejamento da produção da indústria.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, A. M.; SOARES, I. M.; SOUZA, S. T. O. Termografia em manutenção preditiva: conceitos e aplicabilidades em máquinas e equipamentos industriais. **Bolsista de Valor**, Campos dos Goytacazes, v. 2, n. 1, p. 89-94, 2012. Disponível em:

<<http://www.essentiaeditora.iff.edu.br/index.php/BolsistaDeValor/article/view/2398/1287>>. Acesso em: 09 jun. 2017.

AHUJA, I. P. S.; KHAMBA, J. S. Total productive maintenance: literature review and directions. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 25, n. 7, p. 709-756, 2008. Disponível em: <<http://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/02656710810890908>>. Acesso em: 11 jan. 2017.

ALDERIGHI, A. Medida e controle da temperatura e pressão na manutenção. *In*: NEPOMUCENO, L. X. **Técnicas de manutenção preditiva**. São Paulo: Edgar Blucher, 1989. v. 1. Cap. 10. p. 188-206.

ALMEIDA, M. T. **Manutenção preditiva**: confiabilidade e qualidade. 2000. Disponível em: <<http://www.mtaev.com.br/download/mnt1.pdf>>. Acesso em: 09 jun. 2017.

ALMEIDA, R. B.; CARVALHO, A. L. Análise sistêmica de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade em uma frota de tratores de esteira: projeto piloto aplicado a mineração. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 36, Contribuições da engenharia de produção para melhores práticas de gestão e modernização do Brasil. João Pessoa/PB, Brasil, 03 a 06 de outubro de 2016. **Anais...** Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_226_321_29106.pdf>. Acesso em: 04 abr. 2019.

AL-SHAYEA, A. M. **Maintenance definition**. King Saud University, 2007.

ALVES, D. **Máquinas e comandos elétricos**. 2016. Disponível em: <https://docente.ifrn.edu.br/dennysalves/disciplinas/maquinas_acionamentos_eletricos/apostila_maquinas_comandos_eletricos_versao_1.4>. Acesso em: 09 jun. 2017.

ALVES, M. **Como escrever teses e monografias**: um roteiro passo a passo. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

ANDRADE, J. A. B.; LIMA, G. B. A.; FORTES, M. Z. As atividades da manutenção como ferramenta de eficiência energética. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE MANUTENÇÃO, 28, Salvador/BA, v. 1, set. 2013. **Anais...** Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/275713553_AS_ATIVIDADES_DA_MANUTENCAO_COMO_FERRAMENTA_DE_EFICIENCIA_ENERGETICA>. Acesso em: 10 mar. 2017.

ASSIS, K. M. BARRETO, R. F., SILVA, M. M. A., SILVA, M. L. S. Princípios da elaboração de um plano de manutenção industrial. *In*: CONGRESSO INTERNACIONAL DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO, 5, Campos de Goytacazes, 09 a 11 de setembro de 2015. **Anais...** Disponível em: <http://www.seer.perspectivasonline.com.br/index.php/exatas_e_engenharia/articloe/viewFile/709/555>. Acesso em: 07 nov. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MANUTENÇÃO E GESTÃO DE ATIVOS – ABRAMAN. **Situação da manutenção no Brasil**: documento nacional. 2017. Disponível em: <<http://www.abraman.org.br/sidebar/documento-nacional>>. Acesso em: 09 ago. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15572**: ensaios não destrutivos – termografia: guia para inspeção de equipamentos elétricos e mecânicos. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR-5462**: confiabilidade e manutenibilidade. nov. 1994. Disponível em: <<http://pt.slideshare.net/eavargas2512/nbr-5462-2>>. Acesso em: 10 set. 2016.

BALBINOT, A.; BRUSAMARELLO, V. J. **Instrumentação e fundamentos de medidas**. 2. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013, v. 1.

BANDEIRA, G.; ABREU, G.; GIANELLI, R.. **Vibração e ruído em manutenção preditiva**. 2010. 22 f. Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia, Campus de Bauru, 2010. Disponível em: <http://wwwp.feb.unesp.br/jcandido/manutencao/Grupo_12.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2017.

BARBOSA, H. P. B.. **Utilização da busca harmônica no ajuste da curva de Weibull em energia eólica**. 2016. 69 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade federal do Ceará, Curso de Pós-Graduação. Fortaleza, 2016. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/15035/1/2015_dis_hpbarbosa.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2018.

BARBOSA, J. P. **Modelagem da Confiabilidade de Equipamentos por Combinações ou Extensões de Distribuições de Weibull**. Vitória 2008. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico, Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica. Disponível em: <http://portais4.ufes.br/posgrad/teses/tese_4902_JO%C3O%20PAULO%20BARBOSA.pdf>. Acesso em: 05 mar. 2019.

BARROS, B. A. **A importância da manutenção industrial como ferramenta estratégica de competitividade**. 2018. Disponível em: <http://www.redentor.inf.br:4444/files/brenoalvimbarros-artigo_16092016111003.pdf>. Acesso em: 09 jul. 2018.

BASSI, A. F. **Análise da perda energética no cilindro em motor diesel através da termografia**. 2012. 123f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia) – Universidade Federal de São João Del Rei, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Programa de Pós-graduação em Engenharia da Energia, São João Del Rei, 2012. Disponível em: <http://www.ufsj.edu.br/portal2-repositorio/File/mestradoenergia/Dissertacoes/2010/Anderson_Bassi.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2016.

BATISTA, J. L. F. **Verossimilhança e Máxima Verossimilhança**. 2009. Disponível em: <<http://cmq.esalq.usp.br/BIE5781/lib/exe/fetch.php?media=leituras:verossim.pdf>>. Acesso em: 05 mar. 2019.

BERGAMASCHI, J. A. D.; THOMAZ, M. R.; SCHMIDT, I. Estudo de caso de utilização da manutenção autônoma em um frigorífico de Chapecó. **Anais Engenharia de Produção**, v. 2, n. 1, 2018. Disponível em: <<https://uceff.edu.br/anais/index.php/engprod/article/view/201/192>>. Acesso em: 09 ago. 2018.

BRANCO FILHO, G. **Dicionário de termos de manutenção, confiabilidade e qualidade**. 4. ed. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2006(b).

BRANCO FILHO, G. **Indicadores e índices de manutenção**. 4. ed. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2006(a).

BRANCO FILHO, G. **Planejamento e controle da manutenção: curso de planejamento e controle de manutenção**. 2005. Disponível em: http://www.fahor.com.br/publicacoes/sief/2011_Bases. Acesso em: 05 nov. 2016.

BROSTEL, R. C.; SOUZA, M. A. A. Determinação da confiabilidade operacional de estações de tratamento de esgotos do Distrito Federal. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23, Campo Grande. **Anais...** 2005. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/65741694-li-determinacao-da-confiabilidade-operacional-de-estacoes-de-tratamento-de-esgotos-do-distrito-federal.html>>. Acesso em: 20 ago. 2018.

CABRAL, J. P. S. **Organização e gestão da manutenção**. 6. ed. Lisboa: Lidel, 2006.

CASSULA, A. M.; SILVA, A. M. L.; MANSO, L. A. F.; BILLINTON, R. Avaliação da confiabilidade em sistemas de distribuição considerando falhas de geração e transmissão. **Revista Controle & Automação**, Campinas, v. 14, n. 3, p. 263-71, jul./set. 2003. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ca/v14n3/a05v14n3.pdf>>. Acesso em: 26 ago. 2018.

CECCATO, A.; PASSARELLI, C. H.; PADILHA, M. F.; KRACHINSKI, S.; CALLEGARI, N. M. Termografia em painéis elétricos. *In*: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE ADMINISTRAÇÃO E NEGÓCIOS-CONLAAN, Ponta Grossa, Paraná, Brasil, 07 a 09 de junho de 2017. **Anais...** Disponível em:

<https://www.conlaan.com.br/2017/artigo_nome/289_08052017_46.pdf>. Acesso em: 26 ago. 2018.

CERVEIRA, D. S.; SELLITTO, M. A. Manutenção centrada em confiabilidade (MCC): análise quantitativa de um forno elétrico a indução. **Revista Produção Online**, v. 15, n. 2, p. 405-432, 2015. Disponível em: <<https://producaoonline.org.br/rpo/article/view/1615>>. Acesso em: 13 fev. 2019.

COLLINS, J. A. **Projeto mecânico de elementos de máquinas**: uma perspectiva de prevenção de falha. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

CONTERATO, G. P. **Manutenção industrial mecânica**: estudo de caso sobre gestão da manutenção. 2017. 61 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento Acadêmico de Mecânica, Curso de Engenharia Mecânica, Campus Pato Branco, 2017. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/8207/1/PB_DAMEC_2017_1_06.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2018.

CORRÊA, H.; CORRÊA, C. **Administração de produção e operações**: manufatura e serviços: uma abordagem estratégica. São Paulo: Atlas, 2010.

CRUZ, W. P. **Análise estatística usando a distribuição de Weibull de ensaios de fadiga axial em juntas soldadas pelo processo Gmaw e Gmaw –CW**. 2013. 57 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia de Materiais. Marabá, 2013. Disponível em: <<https://femat.unifesspa.edu.br/images/TCCs/2013/TCC-WILSON-PIRES-DA-CRUZ-2013.pdf>>. Acesso em: 24 ago. 2018.

DEVORE, J. L. **Probabilidade e estatística**: para engenharia e ciências. 6. Ed. São Paulo Pioneira Thompson Learning, 2006.

DUARTE, A. M. P.; MIRANDA, G. V. A.; FORTES, M. Z. Manutenção centrada em confiabilidade (MCC): pesquisa ação de implantação em uma fábrica de pneumáticos. **Ciência & Engenharia**, v. 22, n. 1, p. 79-85, jan./jun. 2013. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/315936471_Manutencao_centrada_em_confiabilidade_MCC_pesquisa_acao_de_implantacao_em_uma_fabrica_de_pneumaticos>. Acesso em: 13 fev. 2019.

ENGELÉTRICA. **Termografia**. 2011. Disponível em: <<http://www.engeletrica.ind.br/termografia>>. Acesso em: 02 nov. 2016.

EPPERLY, R. A.; HEBERLEIN, G. E.; EADS, L. G., Thermography: a Tool for Reliability and Safety. **IEEE Industry Applications Magazine**, v. 5, n. 1, p. 38-36, jan./fev. 1999. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/740757/>>. Acesso em: 10 jun. 2017.

FABRICIO, M. A.; BEHRENS, F.; BIANCHINI, D. Monitoramento de equipamentos elétricos para manutenção preditiva utilizando IoT. **Brazilian Technology Symposium**, v. 1. 2016. Disponível em:

<<http://www.lcv.fee.unicamp.br/images/BTSym-16/proceedings/pa49-16-edited.pdf>>. Acesso em: 04 abr. 2019.

FERNANDES, F. S. **Testes de ajuste a distribuições estatísticas e métodos para estimação dos parâmetros em análises de fiabilidade**. 2013. 91 f. Trabalho final (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Departamental de Engenharia Mecânica, Lisboa, 2013. Disponível em: <<https://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/3347/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2019.

FLIR SYSTEMS. **Inspecione subestações e linhas de transmissão com termovisores fixos e portáteis FLIR**. 2016. Disponível em: <<http://www.flir.com.br/osetoreletrico/>>. Acesso em: 20 dez. 2016.

FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, J. L. D. **Confiabilidade e manutenção industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, J. L. D. **Confiabilidade e manutenção industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2011.

FONSECA, A. F.; SILVA, R. N.; PEREIRA, K. R. A.; BENEVIDES, M. M. S.; MARINHO, M. M. A. Análise dos planos de manutenção para os equipamentos do sistema de medição de gás numa empresa de ramo petroquímica. *In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*, 36: Contribuições da Engenharia de Produção para Melhores Práticas de Gestão e Modernização do Brasil, 03 a 06 de outubro de 2016, João Pessoa/PB. **Anais...** Disponível em: <http://abepro.org.br/biblioteca/TN_STP_226_321_29836.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2018.

FORTES, M. Z.; ALBUQUERQUE, C. J. M.; SOUZA, M. P. Ações preditivas na manutenção – Termografia: uma visualização de oportunidades de ganhos energéticos. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA*, 4, Juiz de Fora, 2011. **Anais...** Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/270078384_ACOES_PREDITIVAS_NA_MANUTENCAO_TERMOGRAFIA_UMA_VISUALIZACAO_DE_OPORTUNIDADE_DE_GANHOS_ENERGETICOS>. Acesso em: 20 maio 2017.

FRITSCH, C.; RIBEIRO, J. L. D. **PROCONF**: um software orientado para análises de confiabilidade. 1998. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep1998_art234.pdf>. Acesso em: 08 jan. 2019.

GARCIA, B. R. A.; CAVALCANTE, F. J. N. Estudo para implantação de um plano de manutenção preventiva aplicada a uma indústria: um estudo de caso. *In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC'2017*, Belém – PA, 8 a 11 de agosto de 2017. **Anais...** Disponível em: <http://www.confeca.org.br/media/contecc2017/mecanica/17_epidupdmpauiuedc.pdf>. Acesso em: 07 nov. 2018.

GERMANO, A. O. **Efeitos da implantação de manutenções preventivas na produtividade - Indústrias Becker**. 2018. 59 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, 2018. Disponível em: <<https://monografias.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/6588/1/TCC%20Arthur%20Oliveira%20Germano%20.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2019.

GONÇALVES JUNIOR, J. J. M. **Redução de custo na manutenção de ativos no ambiente industrial**. 2016. 70 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá – SP. Guaratinguetá, 2016. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/138311/goncalvesjunior_jjm_me_guara.pdf?sequence=5&isAllowed=y>. Acesso em: 12 jul. 2018.

GUZZON, S. **Proposta de análise quantitativa de confiabilidade a partir de dados qualitativos provenientes da FMEA**. 2009. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2009. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/15884/000693085.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 10 abr. 2019.

HOPKINSON, J, PERERA, N.; KIAZIM, E. Investigating reliability centered maintenance (RCM) for public road mass transportation vehicles. **MATEC WEB OF CONFERENCES**, 81, Lucerne, Switzerland, 6 - 10 July 2016. New York: Curran Associates, 2016. Disponível em: <core.ac.uk/download/pdf/46520459.pdf>. Acesso em: 20 jul.2018.

KAPLAN, H. **Practical applications of infrared thermal sensing and imaging equipment**. 3. ed. SPIE Press, 2007.

KOMNINAKIS, D; PIRATELLI, C. L.; ACHCAR, J. A.. Análise de confiabilidade para formulação de estratégia de manutenção de equipamentos em uma empresa da indústria alimentícia. **Revista Produção Online**, Florianópolis, v. 18, n. 2, p. 560-92, 2018. Disponível em: <<https://producaoonline.org.br/rpo/article/view/2871/1666>>. Acesso em: 15 jun. 2018.

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

LI, D.; GAO, J. Study and application of Reliability-centered Maintenance considering Radical Maintenance. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v. 23, n. 5, p. 622-629, set. 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jlp.2010.06.008>>. Acesso em: 11 jan. 2017.

LITWA, M. Influence of angle of view on temperature measurements using thermovision camera. **IEEE Sensors Journal**, v. 10, n. 10, 1552-4, out. 2010. Disponível em: <ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5482017/>. Acesso em: 09 jun. 2017.

LOTTERMANN, A. A. **Elaboração de um plano de manutenção para máquinas de usinagem de laboratório de estudos da FAHOR**. 2014. 52 f. Trabalho Final de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Faculdade Horizontina, Curso de Engenharia Mecânica, 2014. Disponível em: <http://www.fahor.com.br/publicacoes/TFC/EngMec/2014/Adriano_Antonio_Lottermann.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2016.

MADEC. **O tratamento do eucalipto**. 2018. Disponível em: <<https://madeceucaliptotratado.com.br/tratamento-do-eucalipto/>>. Acesso em: 30 ago. 2018.

MAQUEIJO, V.; FERNANDES, M. C.; MATOS, H. A.; NUNES, C. P. **Medidas de eficiência energética aplicáveis à indústria portuguesa**: um enquadramento tecnológico sucinto. Portugal: Agência para Energia - ADENE, 2010. Disponível em: <<http://efinerg2011.aeportugal.pt/Areas/Projecto/Documentos/Publica%C3%A7%C3%A3oMedidasEfici%C3%AanciaEnerg%C3%A9ticaInd%C3%A8ria-SGCIE.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2017.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Metodologia científica**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2004.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Técnicas de pesquisa**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2011.

MARTINS, G. A.; DOMINGUES, O. **Estatística geral e aplicada**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2014.

MARTINS, P. R. M. **A termografia aplicada à eficiência energética de equipamentos e processos em contexto industrial do tratamento de alumínio**. 2014. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Instituto Superior de Engenharia do Porto, Departamento de Engenharia Mecânica, Porto/Portugal, 2014. Disponível em: <http://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/6321/1/DM_PedroMartins_2014_MEM.pdf>. Acesso em: 09 mar. 2017.

MATOS, P. Z.; ZOTTI, D. M. **Análise de confiabilidade aplicada à indústria para estimações de falhas e provisionamento de custos**. 2010. 59 f. Monografia (Bacharelado em Estatística) – Universidade Federal do Paraná, do Curso de Estatística do Setor de Ciências Exatas, Curitiba, 2010. Disponível em: <http://www.coordest.ufpr.br/wp-content/uploads/2011/11/PauloMatos_DaianneMazarotti.pdf>. Acesso em: 07 fev. 2019.

MENDES, A. A.; RIBEIRO, J. L. D. Um estudo do suporte quantitativo necessário para a operacionalização da MCC. **Produção**, v. 21, n. 4, p. 583-593, out./dez. 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/prod/v21n4/AOP_T6_0002_0306.pdf>. Acesso em: 29 jan. 2019.

MENGUE, D. C.; SELLITTO, M. A. Estratégia de manutenção baseada em funções de confiabilidade para uma bomba centrífuga petrolífera. **Revista Produção Online**, Florianópolis, v. 13, n. 2, p. 759-83, abr./jun. 2013. Disponível em: <<https://www.producaoonline.org.br/rpo/article/viewFile/1341/1032>>. Acesso em: 08 fev. 2019.

MENSURATEC. **O que é termografia?** 2012. Disponível em: <<http://mensuratec.wordpress.com/2012/08/17/o-que-e-termografia-sua-importancia/>> Acesso em: 27 maio 2017.

MGS TECNOLOGIA. **Inspeção termográfica.** 2014. Disponível em: <<http://www.mgstecnologia.com.br/solucoes/inspecao-termografica/>>. Acesso em: 20 dez. 2016.

MINELLI, E.; VERATTI, A. B. **Termografia aplicada ao controle de eficiência energética em usinas nucleares.** 2000. Disponível em: <<http://www.aaende.org.ar/sitio/material/corende01.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2017.

MOSKO, J. M.; PILATTI, L. A.; PEDROSO, B. Eficiência energética na indústria: elaboração e planejamento de programas de conservação de energia. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, Curitiba, v. 2, n. 1, p. 17-23, abr. 2010. Disponível em: <http://pg.utfpr.edu.br/dirppg/ppgep/ebook/2010/PERIODICOS/Revista_de_Engenharia_e_Tecnologia/1.pdf>. Acesso em: 10 maio 2017.

MOUSSA, S. **Instrumentação e ensaios de manutenção preditiva.** São Paulo: Editora do Autor, 2011. (Engineering Tools).

NOGUEIRA, J. C. B.; REIS, V. P. Emprego da termografia na inspeção preditiva. **Bolsista de Valor**, v. 1, p. 29-35, 2010. Disponível em: <<http://www.essentiaeditora.iff.edu.br/index.php/BolsistaDeValor/article/view/1788>>. Acesso em: 25 mar. 2017.

NUNES, T. C. **Redes de chão de fábrica com alto MTBF.** 2006. 70 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação) – Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Engenharia, Curso de Engenharia de Controle e Automação. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/50167979-Redes-de-chao-de-fabrica-com-alto-mtbf-mean-time-between-failures.html>>. Acesso em: 25 mar. 2017.

OLINDA, P. V. S. **Estudo da viabilidade da termografia na detecção de falha por desalinhamento paralelo vertical em acoplamento flexível.** 2018. 120 f. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Campina Grande, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Paraíba, 2018. Disponível em: <<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/bitstream/riufcg/370/1/PAULO%20VICTOR%20DA%20SILVA%20OLINDA%20-%20DISSERTAÇÃO%20%28PPGEM%29%202018.pdf>>. Acesso em: 05 ago. 2018.

OZAWA, M. T. **Aplicação de parâmetros da distribuição de Weibull na análise do potencial energético de um microgerador eólico em cidades do estado do Paraná.** 2017.109 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Eletrônica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento Acadêmico de Eletrônica. Ponta Grossa, 2017. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/8448/1/PG_COELE_2017_2_13.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2018.

PEREIRA, A. L.; NEVES, F. L. **Gestão da manutenção.** Contagem: SENAI-CFP Alvimar Carneiro de Rezende, 2000. Disponível em: <http://www.univasf.edu.br/~castro.silva/disciplinas/MAN/apostila_senai.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2016.

PEREIRA, M. J. **Engenharia de manutenção: teoria e prática.** Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2009.

PINTO, A. K.; XAVIER, J. A. N. **Manutenção: função estratégica.** 2. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2004.

POYATO, R. **Termografia em sistemas de distribuição eléctrica.** 2017. Disponível em: <<http://www.voltimum.pt/artigos/artigos-tecnicos/termografia-em-sistemas-de-distribuicao-electrica>>. Acesso em: 15 jun. 2017.

PUGLIESE ENGENHARIA. **Termografia.** 2014. Disponível em: <<http://puglieseengenharia.com.br/wp-content/uploads/2014/11/Termografia1.jpg>>. Acesso em: 28 dez. 2016.

RAPOSO, H. D. N. **Modelos de otimização do tempo de substituição de autocarros de transporte urbano com indexação à frota de reserva.** 2018. 228 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade de Coimbra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Departamento de Engenharia. Disponível em: <<https://estudogeral.sib.uc.pt/bitstream/10316/79414/1/Modelos%20de%20Optimiza%3%a7%3%a3o%20do%20Tempo%20de%20Substitui%3%a7%3%a3o%20de%20Autocarros%20de%20Transporte%20Urbano%20com%20Indexa%3%a7%3%a3o%20%3%a0%20Frota%20de%20Reserva.pdf>>.

RIBEIRO, J. L. D; COESTER, C. H.; COESTER, M.; DUTRA, C. C. **Uma discussão da confiabilidade de atuadores elétricos atuando em rede.** 2009. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/40201541-Uma-discussao-da-confiabilidade-de-atuadores-eletricos-atuando-em-rede.html>>. Acesso em: 12 ago. 2018.

ROCHA, R. J. **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.** 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/134013/Rodrigo_Rocha_2015-07-13_TCC_Rev-Final.pdf?sequence=1>. Acesso em: 09 mar. 2019.

RODRIGUES, A. S. **Estatística em confiabilidade de sistemas: uma abordagem Bayesiana paramétrica.** 2018. 113 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Matemática e Estatística, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/45/45133/tde-10102018-232055/pt-br.php>>. Acesso em: 02 abr. 2019.

RUDRIGUES, L. Q.; CAMPOS, F. C. Gestão da manutenção industrial: análise de ferramenta computacional via estudo de caso em indústria de autopeça. **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DA PRODUÇÃO**, 7, Ponta Grossa/PR, 06 a 08 de dezembro de 2017. Disponível em: <www.aprepro.org.br/conbrepro/2017/down.php?id=2744&q=1>. Acesso em: 09 jun. 2018.

SANTOS, L. **Termografia infravermelha em subestações de alta tensão desabrigadas.** 2006. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia) – Universidade Federal de Itajubá, Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Energia, Itajubá, 2006. Disponível em: <<http://saturno.unifei.edu.br/bim/0032852.pdf>>. Acesso em: 05 nov. 2016.

SANTOS, M. A. S. Eletricidade: Acionamento de Motores Elétricos. **Brasil Escola.** 2017. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/fisica/eletricidade-acionamento-motores-eletricos.htm>>. Acesso em 26 de junho de 2017.

SANTOS, N. A. dos; SELLITTO, M. A.. Estratégia de manutenção e aumento da disponibilidade de um posto de compressão de gases na indústria petrolífera. **Revista Produção Online**, Florianópolis, v. 16, n. 1, p. 77-103, jan./mar. 2016. Disponível em: <<https://producaoonline.org.br/rpo/article/view/1905/1368>>. Acesso em: 09 jul. 2018.

SANTOS, W. B. dos; COLOSIMO, E. A.; MOTTA, S. B. Tempo ótimo entre manutenções preventivas para sistemas sujeitos a mais de um tipo de evento aleatório. **Revista Gestão e Produção**, v. 14, n. 1, p. 193-202, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/%0D/gp/v14n1/15.pdf>>. Acesso em: 08 ago. 2018.

SCAPIN, C. A. **Análise sistêmica de falhas.** Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços, 2007.

SCHMIDT, L; B. **Estudo da confiabilidade em sistemas série-paralelo com dois modos de falha.** 2017. 141 f. Dissertação (Mestre em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção. Porto Alegre, 2017. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/156483/001016176.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 24 ago. 2018

SELLITTO, M. A. Formulação estratégica da manutenção industrial com base na confiabilidade dos equipamentos. **Produção**, v. 15, n. 1, p. 44-59, jan./abr. 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/prod/v15n1/n1a04.pdf>>. Acesso em: 25 ago. 2018.

SELLITTO, M. A.; BRUSIUS JR, W. Maintenance strategy based on reliability analytical models for three parallel mechanical transformation machines. **IEEE Latin America Transactions**, v. 15, n. 5, p. 988-93, maio 2017. Disponível em: http://www.ewh.ieee.org/reg/9/etrans/ieee/issues/vol15/vol15issue05May2017/15TLA5_30Sellitto.pdf. Acesso em: 17 jun. 2018.

SILVA, E. B. **Manutenção centrada em confiabilidade visando a competitividade em uma indústria moedora de grãos na região dos Campos Gerais**. 2018. 55 f. Trabalho de conclusão de curso (Tecnólogo em Automação Industrial) – Universidade Tecnologia Federal do Paraná, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Ponta Grossa, 2018. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/10212/1/PG_COELE_2018_1_01.pdf. Acesso em: 07 nov. 2018

SILVA, J. L. R. **Avaliação da confiabilidade em sistemas elétricos com base nos parâmetros de qualidade da energia**. 2008. 79 F. Monografia (Especialização em Sistemas de Energia Elétrica) – Universidade Federal de Minas Gerais, 2008. Disponível em: http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUBD-9DLGF6/especializa_o_em_qualidade_da_energia_monografia_jo_o_luis_r_eis_e_silva_mat_2005235762.pdf?sequence=1. Acesso em: 12 ago. 2018.

SILVEIRA, C. B. **Confiabilidade e disponibilidade de máquinas**: um exemplo prático. Sorocaba: Citisystems, 2015.

SILVEIRA, D. **Manutenção preditiva em painéis elétricos com a utilização da termografia**. 2010. Disponível em: <https://pt.scribd.com/doc/101985906/Manutencao-preditiva-em-painéis-eletricos-com-a-utilizacao-da-termografia>. Acesso em: 28 dez. 2016.

SIQUEIRA, I. P. **Manutenção centrada na confiabilidade**: manual de implantação. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.

SLACK, N.; BRANDON-JONES, A.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. São Paulo: Atlas, 2006.

SOUZA, R. F.; BRITO, J. N. B. **Gerenciamento de indicadores de desempenho da manutenção**. 2017. Disponível em: http://www.tecem.com.br/wp-content/uploads/2018/02/Gerenciamento_de_Indicadores_de_Desempenho_da_Manutencao.pdf. Acesso em: 10 ago. 2018.

SOUZA, V. C. **Organização e gerência da manutenção**: planejamento, programação e controle de manutenção. 4. ed. São Paulo: All Print, 2011.

STOFFEL, D.; QUINTAS, J. P. R. Aumento da disponibilidade e da confiabilidade em um módulo desacelerador de produtos. **Revista Gestão Industrial**. Ponta Grossa/PR, v. 10, n. 1, p. 81-104, 2014. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/revistagi/article/download/1582/1823>. Acesso em: 05 mar. 2019.

SURYONO, M. A. E; ROSYIDI, C. N. Reliability Centred Maintenance (RCM): analysis of laser machine in filling lithos at PT X. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 319, n. 1. 2018. Disponível em: <<http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/319/1/012020/pdf>>. Acesso em: 12 ago. 2018.

TARRENTO, G. E.; JOAQUIM JUNIOR, C. F.. Avaliação estratégica da disponibilidade com base em alguns indicadores de manutenção industrial. **Tékhnē e Lógos**, Botucatu, v. 1, n. 2, fev. 2010. Disponível em: <<http://www.fatecbt.edu.br/seer/index.php/tl/article/viewFile/60/21>>. Acesso em: 05 ago. 2018.

TAVAKKOLI-MOGHADDAMA, R.; SAFARI, J; SASSANI, F. Reliability optimization of series-parallel systems with a choice of redundancy strategies using a genetic algorithm. **Reliability Engineering e System Safety**, v. 93, p. 550-6, 2008. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0951832007000579>>. Acesso em: 18 jul. 2018.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **Introdução à eletromecânica e à automação: o motor de indução**. 2006. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/375427/mod_resource/content/1/MOTOR_DE_INDUCAO_PARTE_TEORICA.pdf>. Acesso em 12 maio 2018.

VACCARO, G. L. R.. **Modelagem e análise da confiabilidade de sistemas**. 1997. 205 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia.) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 1997. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/128105/000199240.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 19 ago. 2018.

VERATTI, A. B. **Sistema básico de inspeção termográfica: um novo patamar na relação custo/benefício em termografia**. 1999. Disponível em: <www.tecem.com.br/site/downloads/artigos/SBIT3a.pdf>. Acesso em: 27 maio 2017.

WEBER, A. J.; AMARAL FILHO, D.; ALEXANDRIA JR., J. P.; CUNHA, J. A. P.; ARAUJO, P. **Curso técnico mecânico: manutenção industrial**. Contagem: SENAI-CFP “Alvimar Carneiro de Rezende”, 2008.

XAVIER, J. N. **Indicadores de manutenção**. 2013. Disponível em: <<http://www.dee.ufrn.br/~joao/manut/15%20-%20Cap%EDtulo%2013.pdf>>. Acesso em: 25 ago. 2018.

YAMACHITA, R. A. **Determinação de perdas e rendimento em motores elétricos empregando termografia infravermelha**. 2013. 158 f. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Itajubá, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Itajubá, 2013. Disponível em: <<https://repositorio.unifei.edu.br/xmlui/handle/123456789/736>>. Acesso em: 05 maio 2017.