

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E MECÂNICA

Christian Barros de Andrade

Aplicação de métodos da manutenção centrada em confiabilidade para determinação do ponto ótimo de manutenção preventiva em um equipamento de uma indústria frigorífica de médio porte do sudeste de Minas Gerais.

JUIZ DE FORA – MG

2021

Christian Barros de Andrade

Aplicação de métodos da manutenção centrada em confiabilidade para determinação do ponto ótimo de manutenção preventiva em um equipamento de uma indústria frigorífica de médio porte do sudeste de Minas Gerais.

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito para a obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Luiz Henrique Dias Alves

Coorientador: Raphael Fortes Marcomini

JUIZ DE FORA – MG

2021

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

Barros de Andrade, Christian.

Aplicação de métodos da manutenção centrada em confiabilidade para determinação do ponto ótimo de manutenção preventiva em um equipamento de uma indústria frigorífica de médio porte do sudeste de Minas Gerais / Christian Barros de Andrade. -- 2021.

77 p. : il.

Orientador: Luiz Henrique Dias Alves

Coorientador: Raphael Fortes Marcomini

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia, 2021.

1. Manutenção industrial. 2. manutenção centrada em confiabilidade. 3. Distribuição de probabilidade de Weibull. I. Henrique Dias Alves, Luiz, orient. II. Fortes Marcomini, Raphael, coorient. III. Título.

Christian Barros de Andrade

**Aplicação de métodos da manutenção centrada em confiabilidade para
determinação do ponto ótimo de manutenção preventiva em um equipamento
de uma indústria frigorífica de médio porte do sudeste de Minas Gerais.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Faculdade de Engenharia da Universidade Federal
de Juiz de Fora, como requisito para a obtenção do
título de Engenheiro Mecânico.

Aprovado em 15, de março de 2021

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Luiz Henrique Dias Alves
Universidade Federal de Juiz de Fora



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



Eng. Vinicius de Souza Dias
Mercedes-Benz Juiz de Fora

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Marcos e Miria, e ao meu irmão, Patrick, por sempre estarem ao meu lado apoiando minhas escolhas e compreendendo os motivos pelos quais eu pudesse estar ausente durante minha graduação.

A minha namorada, Maize, pelo amor, companheirismo e apoio incondicional em mais esta etapa de minha carreira.

Ao corpo docente da Faculdade de Engenharia, em especial ao professor Raphael Fortes Marcomini e ao professor Luiz Henrique Dias Alves pela excelente orientação e apoio.

RESUMO

Tendo em vista sua abordagem sistemática, as atividades da Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) são reconhecidas como uma forma eficaz de conduzir as atividades de manutenção. Ela possibilita que a empresa atinja sua excelência operacional, tornando-a mais competitiva uma vez que os reflexos de uma MCC bem aplicada impactam diretamente nos custos operacionais da linha de produção, reduzindo custos associados a defeitos, reparos, substituições, acidentes além de propiciar maiores índices de disponibilidade dos ativos da planta.

Este trabalho discorre sobre os resultados da aplicação de conceitos e ferramentas da manutenção centrada na confiabilidade em um equipamento crítico de um setor de grande demanda da manutenção em uma indústria frigorífica de bovinos e suínos de médio porte do sudeste de Minas Gerais. Para isso foram levantados dados de parada do equipamento, que possibilitaram, utilizando o método de distribuição de probabilidade de Weibull, a determinação da distribuição cumulativa de falhas, confiabilidade e disponibilidade do equipamento em relação ao seu tempo de operação. Além disso, foram determinados os custos de manutenção preventiva e corretiva do equipamento, que possibilitaram a determinação do tempo de operação ótimo do equipamento para uma intervenção preventiva da equipe de manutenção.

Palavras-Chave: Manutenção, confiabilidade, disponibilidade, Weibull

ABSTRACT

The Reliability Centered Maintenance (RCM) activities are recognized as an effective way to conduct maintenance activities. It enables the company to achieve its operational excellence, making it more competitive since the reflexes of a well-applied RCM directly impact the operational costs of the production line, reducing costs associated with defects, repairs, replacements, accidents in addition to providing greater availability indexes of plant assets.

This paper discusses the results of the application of concepts and tools of maintenance centered on reliability in a critical equipment of a sector with high demand for maintenance in a medium-sized beef and pork slaughterhouse in southeastern Minas Gerais. For this purpose, equipment shutdown data were collected, which made it possible, using the Weibull probability distribution method, to determine the cumulative distribution of failures, reliability and availability of the equipment in relation to its operating time. In addition, the costs of preventive and corrective maintenance of the equipment were determined, which made it possible to determine the optimum operating time of the equipment for a preventive intervention by the maintenance team.

Keywords: maintenance, reliability, availability, Weibull

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Participação da pecuária no PIB brasileiro	14
Figura 2: Consumo de carne per capita no brasil.....	14
Figura 3 - Comparação entre saúde humana e de uma máquina	18
Figura 4: Evolução da manutenção	20
Figura 5: Tipos de manutenção	26
Figura 6: Indicadores de desempenho	27
Figura 7: Curva característica da vida de equipamentos	30
Figura 8: Influência do parâmetro de forma na Curva de distribuição de probabilidade de Weibull.....	34
Figura 9: Influência do parâmetro de escala na curva de distribuição de probabilidade de Weibull.....	35
Figura 10: FEMEA chicote elétrico	39
Figura 11: Sugestão de escala para ocorrência de falha	41
Figura 12: Escala de detecção	42
Figura 13: Trecho de uma árvore de falha.....	43
Figura 14: Principais eventos utilizados em árvores de falha	44
Figura 15: Operadores lógicos.....	44
Figura 16: Planilha de apoio a implantação da MCC	50
Figura 17: Diagrama de verificação de atividade recomendada.....	51
Figura 18: Gráfico que representa a relação percentual de demanda de solicitação de manutenção por setor.	56
Figura 19: Transportador aéreo de carcaça (Nória Bovinos)	58
Figura 20: Dados Regressão Linear	61
Figura 21: Ajuste a curva pela regressão linear	63
Figura 22: Gráfico F(t) e R(t) X tempo	64
Figura 23: Gráfico da relação entre os custos de manutenção	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Faixa referencial para OEE	32
Tabela 2: Escala dos efeitos de falha	40
Tabela 3: Relação de solicitações de manutenção corretiva por setor	55
Tabela 4: Relação de solicitações de manutenção corretiva por equipamento do setor de abate	56
Tabela 5: MTTF e MTTR	59
Tabela 6: MTTF em ordem crescente	60
Tabela 7: Median Rank	60
Tabela 8: Resultados de cálculos preliminares.....	61
Tabela 9: Probabilidade de Falha $F(t)$ e Confiabilidade $R(t)$	64
Tabela 10: Tempo médio para reparo (MTTR)	66
Tabela 11: Custos das manutenções preventivas e corretivas por tempo de funcionamento do equipamento	68

LISTA DE ABREVEATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS.

ABRAMAN: Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos

AR: Atividades Realizadas

AP: Atividades Programas

FMEA: Análise do Modo e Efeito de Falha (*Failure Mode and Effect Analysis*)

FTA: Árvore de Análise de Falhas (*Failure Tree Analysis*)

MAPA: Ministério da Agricultura, Agropecuária e Abastecimento

MCC: Manutenção Centrada na Confiabilidade (*Reliability Centered Maintenance - RCM*)

MTTF: Tempo Médio até a Falha (*Mean Time To Failure*)

NBR: Norma Brasileira Regulamentadora

OEE: Eficiência Operacional Máxima (*Overall Equipment Effectiveness*)

OS: Ordem de serviço

PIB: Produto Interno Bruto

RBM: Manutenção Baseada no Risco (*Risk Based Maintenance*)

SMC: Solicitação de manutenção corretiva

TPM: Manutenção Produtiva Total (*Total Productive Maintenance*)

β : Beta. Parâmetro de Forma

η : Eta. Parâmetro de Escala

λ : Lambda. Taxa de Falha

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABELAS.....	9
LISTA DE ABREVEATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS.	10
1. INTRODUÇÃO	13
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	13
1.1 MOTIVAÇÃO.....	13
1.2 OBJETIVOS	15
1.2.1 Objetivo Principal	15
1.2.2 Objetivos Específicos	15
1.3 METODOLOGIA	15
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 INTRODUÇÃO À MANUTENÇÃO	17
2.2 HISTÓRICO DA MANUTENÇÃO	18
2.3 TIPOS DE MANUTENÇÃO	20
2.3.1 Manutenção Corretiva	20
2.3.1.1 Manutenção Corretiva Não Planejada.....	21
2.3.1.2 Manutenção Corretiva Planejada.....	22
2.3.2 Manutenção Preventiva	22
2.3.2.1 Manutenção preventiva programada ou sistemática	23
2.3.2.2 Manutenção preventiva de rotina.....	23
2.3.3 Manutenção Preditiva	23
2.3.4 Manutenção Detectiva	25
2.3.5 Engenharia de Manutenção	25
2.4 INDICADORES DE MANUTENÇÃO.....	26
2.4.1 Confiabilidade.....	28
2.4.2 Disponibilidade Operacional	29
2.4.3 Taxa de Falhas.....	29
2.4.4 Tempo Médio Entre Falhas (TMEF)	30
2.4.5 Tempo médio para Reparo (TMPR)	31
2.4.6 Eficiência Operacional Máxima ou Overall Equipment Effectiveness (OEE).....	31
2.4.7 Backlog.....	33
2.5 MODELOS DE DISTRIBUIÇÃO DE TEMPOS ATÉ A FALHA	33
2.5.1 Distribuição de Weibull	33
2.5.1.1 Função Densidade de Probabilidade (fdp).....	35
2.5.1.2 Função Distribuição Acumulada de Weibull de 2 parâmetros até o tempo t	36
2.5.1.3 Confiabilidade.....	36

2.5.1.4	Taxa de Falhas.....	37
2.6	ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHA OU <i>FAILURE MODE AND EFFECTS</i> ANALYSIS – FMEA	38
2.7	ANÁLISE DE ÁRVORE DE FALHA – FTA	43
2.7.1	<i>Cálculo de probabilidades</i>	45
2.8	GESTÃO DA MANUTENÇÃO	46
2.8.1	<i>Manutenção Centrada na Confiabilidade - MCC</i>	47
2.8.1.1	Questões Básicas da MCC	48
2.8.1.2	Passos para implantação da MCC.....	51
3	ESTUDO DE CASO	52
3.1	INDÚSTRIA FRIGORÍFICA DE BOVINOS E SUÍNOS	52
3.2	DEFINIÇÃO DO EQUIPAMENTO	52
3.2.1	<i>Primeira Fase: Levantamento da Real situação da Indústria em relação a manutenção</i>	52
3.2.1.1	Definição do Setor mais Crítico	54
3.2.1.2	Definição do equipamento mais crítico	56
3.2.2	<i>Segunda fase: Levantamento de histórico de manutenção do equipamento escolhido</i>	59
4	RESULTADOS E ANÁLISES	59
4.1	DETERMINAÇÃO DOS FATORES DE FORMA (β) E DE ESCALA (η)	59
4.2	PROBABILIDADE DE FALHA F(T) E CONFIABILIDADE DO EQUIPAMENTO R(T).....	63
4.3	ANÁLISE DE CUSTOS DE MANUTENÇÃO DO EQUIPAMENTO	65
4.3.1	<i>Custo médio por manutenção</i>	65
4.3.2	<i>Definição do ponto ótimo de manutenção</i>	66
5	CONCLUSÃO	69
	REFERÊNCIAS	71
	APÊNDICE A: FORMULÁRIO DE SOLICITAÇÃO DE MANUTENÇÃO CORRETIVA (SMC)	73
	APÊNDICE B: ORDEM DE SERVIÇO DE MANUTENÇÃO (OS)	74
	APÊNDICE C: CUSTOS DAS MANUTENÇÕES PREVENTIVAS E CORRETIVAS POR TEMPO DE FUNCIONAMENTO DO EQUIPAMENTO	75

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A manutenção, a cada dia, é vista como função estratégica das organizações sendo responsável pela disponibilidade dos ativos. Sendo assim, este setor tem importância primordial nos resultados de uma empresa. Esses resultados serão diretamente proporcionais ao grau de eficácia da gestão da manutenção. Segundo dados estatísticos da ABRAMAN (2003), o Brasil tem custo de manutenção por faturamento bruto de aproximadamente 4,3% do PIB (Produto Interno Bruno) contra a média mundial de 4,1%;

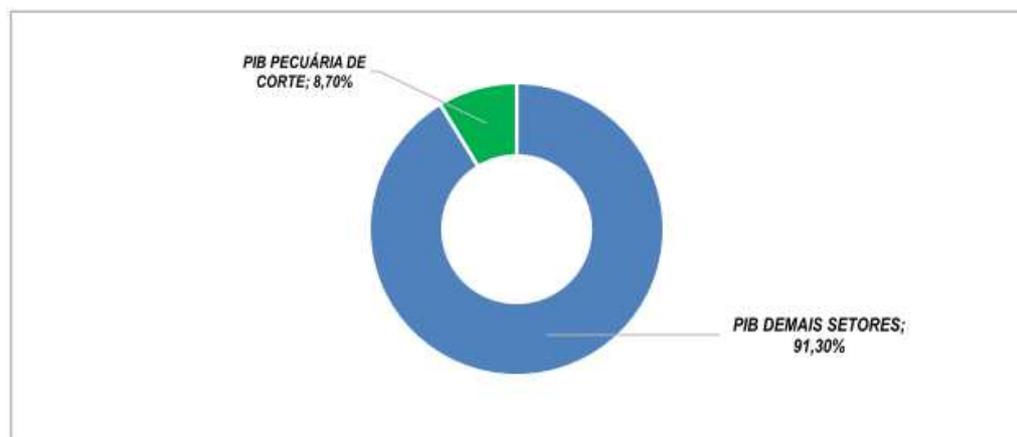
A manutenção centrada na confiabilidade tem sua notoriedade a partir da implementação mais expressiva da automatização das indústrias, concomitante com a mudança no modo de sistema produtivo de grandes quantidades de estoque para o *“just in time”*. Para este modo de produção seja aplicado é primordial que os ativos produtivos estejam com índices de disponibilidade e confiabilidade altos de acordo com as diretrizes produtivas da indústria.

1.1 MOTIVAÇÃO

A cadeia agroindustrial da carne bovina no Brasil é muito diversificada, gerando emprego e renda, não só na produção, na industrialização e no comércio, mas também em outros elos da cadeia produtiva, incluindo-se o plantio de grão, o armazenamento, o transporte e uma série de serviços anexos ao segmento.

Segundo o IBGE(2019), o Brasil encerrou o ano de 2018 registrando crescimento no Produto Interno Bruto (PIB) que atingiu R\$ 6,83 trilhões. No mesmo período, o PIB da pecuária somou R\$ 597,22 bilhões, garantindo 8,7% na participação total do PIB brasileiro. A figura 1, abaixo representa a participação do PIB da pecuária de corte no PIB brasileiro em 2018.

Figura 1: Participação da pecuária no PIB brasileiro



Fonte: IBGE (2019), Programa Territórios sustentáveis (2019)

Em, 2018, segundo dados do Ministério da Agricultura, Agropecuária e Abastecimento (MAPA,2019), foi registrado um crescimento de 6,9% no número de abates, chegando a 44,23 milhões de cabeças. Desse total, 20,1% foram exportadas e 79,6% foram destinadas ao mercado interno, responsável por um consumo per capita, já próximo de 30 kg.

A figura 2, abaixo representa o consumo per capita de carne bovina, suína e de frango.

Figura 2: Consumo de carne per capita no brasil

ANOS	Bovina	Δ%	Acum.	Suína	Δ%	Acum.	Frango	Δ%	Acum.
2010	26,05	-1,70	-1,70	14,10	2,92	2,92	44,90	16,71	16,71
2011	24,53	-5,83	-7,44	14,90	5,67	8,76	47,38	5,52	23,16
2012	24,71	0,73	-6,76	14,90	0,00	8,76	45,00	-5,02	16,97
2013	26,25	6,23	-0,95	14,50	-2,68	5,84	41,80	-7,11	8,66
2014	26,46	0,80	-0,15	14,70	1,38	7,30	42,78	2,34	11,20
2015	25,61	-3,21	-3,36	15,10	2,72	10,22	43,25	1,10	12,43
2016	25,66	0,20	-3,17	14,40	-4,64	5,11	41,10	-4,97	6,84
2017	26,47	3,16	-0,12	14,70	2,08	7,30	42,07	2,36	9,36
2018	28,70	8,42	8,30	15,10	2,72	10,22	42,90	1,97	11,52
2019	29,78	3,76	12,38	15,40	1,99	12,41	42,97	0,16	11,70

Fonte: MAPA (2019)

Diante da expressiva participação do setor frigorífico na cadeia produtiva da pecuária brasileira, bem como valores médios de consumo considerável de carne pelo brasileiro e tomando como base que segundo a ABRAMAM (2003) os custos produtivos relacionados a manutenção equivalem a 4,3%do PIB nacional, o estudo

de técnicas de manutenção que viabilizem a redução de custos nesta atividade é primordial não só para otimização operacional da indústria mas também para redução de custos ao consumidor final, ampliando o acesso do brasileiro a proteínas de qualidade, tão importantes na composição da base alimentar do indivíduo.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 *Objetivo Principal*

Este trabalho tem como principal diretriz definir o ponto ótimo para atuação da manutenção de um transportador aéreo de carcaça (Nória Bovinos) último equipamento da linha de produção do setor de abate de uma indústria frigorífica de bovinos e suínos do sudeste de Minas gerais.

1.2.2 *Objetivos Específicos*

Para se obter o objetivo principal deste trabalho foram necessários definir objetivos secundários que são:

- Levantamento de dados de parada do equipamento;
- Determinação das curvas de confiabilidade e de probabilidade de falha com base no modelo de distribuição de probabilidade de Weibull;
- Determinação do custo médio de manutenção corretiva e preventiva para o equipamento;

1.3 METODOLOGIA

Esta pesquisa é de natureza aplicada, pois seus resultados poderão embasar tomadas de decisão sobre a manutenção do equipamento em estudo. Ademais, é uma pesquisa descritiva, pois é embasada na vivência do autor na

indústria em estudo além de ser exploratória, pois servirá como base para implementação de planos de manutenção.

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

Seu desenvolvimento se dará conforme os tópicos a seguir:

- Coleta e gerenciamento de dados;
- Aplicação do método de distribuição de probabilidade de Weibull, utilizando o Software Microsoft Excel;
- Determinação de custos;
- Definição do ponto ótimo de manutenção para o equipamento em estudo.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O capítulo 1 apresenta as considerações iniciais e a metodologia do trabalho. No capítulo 2 discorre-se sobre o referencial teórico. O capítulo 3 apresenta a parte referente a materiais e métodos. No capítulo 4 foi apresentado os resultados obtidos. No capítulo 5 há as conclusões e recomendações do autor.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são apresentados todos os conceitos e definições que servirão como base teórica para o correto entendimento, bem como elaboração do trabalho. Além disso, discorre-se neste tópico sobre o contexto da manutenção na realidade da indústria brasileira, sua evolução ao longo do tempo, definição sobre os tipos de manutenção, salientando suas vantagens e desvantagens. Ademais, será bem descrita, tendo em vista o foco do trabalho, a Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) que é o principal pilar de desenvolvimento da obra.

2.1 INTRODUÇÃO À MANUTENÇÃO

Segundo a norma NBR 5462, manutenção é o conjunto combinado de ações multidisciplinares (técnicas e administrativas) com o objetivo de manter ou recolocar um ativo (maquinas e equipamentos) em condição para que seu estado possa desempenhar a função que lhe foi requerida. Para MOCHY (1994) esta prática caracteriza-se por escolher os meios de prevenir, corrigir ou renovar o estado de um componente baseando-se na utilização do equipamento e de sua criticidade econômica a fim de otimizar o custo operacional do equipamento bem como da rede de produção que este a compõe. Tudo isso para que uma máquina ou equipamento opere dentro de uma disponibilidade estrategicamente determinada, com seu pleno potencial de uso.

As inúmeras práticas de gerenciamento da manutenção têm como principal finalidade garantir que um ativo desempenhe com segurança a função pela qual foi projetada. Para RODRIGUES (2000), os bens de produção são projetados para que a ocorrência de falhas seja a menor possível. Partindo deste princípio, a baixa ocorrência de falhas necessariamente implica em robustez de equipamentos o que gera custos de aquisição mais altos. Sendo assim, percebe-se a preferência estratégica por ativos menos robustos que por sua vez, necessitam de políticas de gerenciamento de manutenção mais ativas.

A tendência observada é de que a área de manutenção nas empresas passa a ser considerada estratégica para os resultados dos negócios das mesmas, pois por meio da manutenção sistemática é possível antecipar e evitar falhas que poderiam ocasionar paradas imprevistas dos equipamentos produtivos. Da mesma forma, é possível detectar uma situação onde haja expectativa de falha e programar-se para uma intervenção em oportunidade mais apropriada sem prejudicar os compromissos produtivos assumidos.

Equipamentos de interesse da manutenção industrial são conjuntos de partes que formam sistemas reparáveis. Segundo Ascher e Feingold (1984) *apud* Lindqvist, Elvebark e Heggland (2003), um sistema reparável pode ser plenamente restaurado após uma perda de desempenho em uma das suas funções. Segundo os autores, a restauração pode ocorrer por qualquer método que não seja a troca total do sistema, podendo se dar por trocas parciais ou por reparos em

partes. Após a intervenção, a operação do sistema é retomada em um nível de desempenho tal como se a falha não houvesse ocorrido.

MONCHY (1987), faz um link entre a saúde humana e a de uma máquina, comparando inclusive as fases de seus respectivos ciclos de vida.

Figura 3 - Comparação entre saúde humana e de uma máquina

SAÚDE HUMANA		SAÚDE DA MÁQUINA	
Conhecimento do homem	Nascimento	Entrada em operação	Conhecimento tecnológico
Conhecimento das doenças			Conhecimento dos modos de falha
Carnê de saúde	Longevidade	Durabilidade	Histórico
Dossiê médico			Dossiê da máquina
Diagnóstico, exame, visita médica	Boa saúde	Confiabilidade	Diagnóstico, perícia, inspeção
Conhecimento dos tratamentos			Conhecimento das ações curativas
Tratamento curativo	Morte	Sucata	Retirada do estado de pane, reparo
Operação			Renovação, modernização, troca
MEDICINA			MANUTENÇÃO INDUSTRIAL

Fonte: (MONCHY, 1987)

2.2 HISTÓRICO DA MANUTENÇÃO

O termo manutenção tem sua notoriedade mais expressiva a partir de 1930, principalmente no meio militar, sendo seu objetivo o de manter unidades de combate e de apoio a elas em um nível de operação aceitável, tendo em vista o uso intensivo desses tipos de equipamentos bélicos.

Embora a utilização de ativos confiáveis fosse considerada de suma importância, os conceitos relacionados a confiabilidade e manutenibilidade não eram considerados como uma ciência. Ademais, esses tópicos não foram considerados objetos de estudos até meados do século XX. Até o início dos anos cinquenta, a Manutenção Industrial situava-se em fase de desenvolvimento, limitando a indústria em um ambiente meramente reativo, ou seja, as atividades de manutenção até este período limitava-se em reparação de avarias ou substituição de componentes severamente danificados. Para este período, pode-se denominá-lo como a primeira fase da Evolução da Manutenção – Reparar a Avaria.

A partir dos anos cinquenta, com a ascensão dos métodos de produção em massa, houve o reconhecimento de que procedimentos de manutenção de equipamentos da linha de fábrica como uma ação autônoma e específica era estrategicamente necessária uma vez que avarias e paradas não programadas na linha de produção, devido a falhas nos ativos fabris, geravam grande impacto sobre o custo final dos produtos. Outrossim, com a ascensão da aviação comercial e o rápido desenvolvimento da indústria aeronáutica houve a necessidade do desenvolvimento de métodos de manutenção preventivos tendo em vista o desejo de aumentar a segurança de pessoas e bens. Sendo assim, surge então a Engenharia de Manutenção visando criar processos científicos de manutenção preventiva tendo como foco a disponibilidade de máquinas e equipamentos e, conseqüentemente, segurança de operadores e usuários. Para este período, pode-se denominá-lo como a segunda fase da Evolução da Manutenção – Evitar a Avaria.

Na década de sessenta, a globalização dos mercados e aumento da competitividade entre as empresas obrigou que os processos fabris fossem cada vez mais produtivos e otimizados, sendo que, em muitos casos estas entidades de produção recorressem a dois ou três turnos de trabalho. Diante disso, a disponibilidade plena dos equipamentos torna-se estrategicamente fundamental e o tempo disponível para reparações em máquinas e equipamentos tornou-se cada vez menor, devido a esta demanda de uso. Devido a operações de produção contínuas, os gestores fabris foram obrigados a definir estratégias para garantir que a linha de produção trabalhe dentro de um determinado padrão de eficiência. A manutenção passou a seguir um padrão mais orientado para seu controle e suas intervenções.

Para este período, pode-se denomina-lo como a terceira fase da Evolução da Manutenção – Antever a Avaria.

Na década de setenta, substitui-se a ideia de manutenção como fonte de custos de uma empresa e passa-se a considerar a manutenção como setor estratégico de uma organização. Na Europa, surgiu um conceito mais amplo que engloba práticas de gestão, finanças e engenharia visando reduzir ao mínimo os custos do ciclo de vida dos ativos. Esta abordagem multidisciplinar denomina-se Gestão de Manutenção e tem como foco de trabalho a evolução do conceito de conservação do equipamento para manutenção, permitindo a escolha estratégica dos melhores meios para prevenir, corrigir ou renovar um ativo, seguindo diretrizes econômicas, visando otimizar o custo de vida do equipamento.

A Figura 4, abaixo, sintetiza a evolução da manutenção ao longo dos anos:

Figura 4: Evolução da manutenção



Fonte: Reliability Centerd Maintenance

2.3 TIPOS DE MANUTENÇÃO

2.3.1 *Manutenção Corretiva*

Analisando a evolução da manutenção, percebe-se, em um primeiro momento, o conceito de manutenção corretiva. Este tipo de manutenção caracteriza-se pela abordagem técnica em máquinas e equipamentos após a ocorrência de uma falha, sendo seu objetivo principal o de recolocar o item avariado em condições de executar sua função de projeto. Apesar de ser o tipo de abordagem mais antigo, a manutenção corretiva ainda é a mais utilizada, independentemente do grau de

amadurecimento da gestão de manutenção de uma instituição, bem como o setor ao qual ela está inserida.

Corrigir uma falha após sua ocorrência, geralmente acarreta em custos elevados, uma vez que a falha inesperada de um ativo produtivo pode ocasionar paradas não programadas na linha de produção, podendo, inclusive, gerar impactos negativos na qualidade dos produtos. Ademais, a falta de conhecimento sobre a confiabilidade de equipamentos exige que as empresas operem com elevado número de peças de reposição em estoque o que também contribui o aumento dos custos com manutenção. Ademais, uma parada não planejada, na maioria das vezes, tem um período de duração elevado, pois a ausência de conhecimento sobre o item avariado atrasa o tempo de respostas das equipes de manutenção. A manutenção corretiva, normalmente é subdividida em duas categorias:

2.3.1.1 Manutenção Corretiva Não Planejada

Caracteriza-se pela correção da falha ou avaria, bem como ao ajuste do desempenho do equipamento de acordo com as especificações do projeto após a falha funcional, sem acompanhamento ou planejamento estratégico. Esse tipo de abordagem gera custos elevados e baixa confiabilidade na linha produtiva, tendo em vista a grande ociosidade gerada na linha de produção e as possíveis sequelas secundárias no equipamento como um todo (OTANI & MACHADO, 2008).

Não se pode deixar de levar em consideração que este tipo de abordagem pode ter sido designada de forma consciente pelos gestores. Entretanto, é válido ressaltar que quando uma instituição utiliza, na maior parte de suas interações de manutenção, esta abordagem, sua equipe de manutenção torna-se extremamente reativa, sendo comandada pelo estado físico dos equipamentos o que torna estas empresas menos competitivas aos padrões globais de mercado, pois estará operando com custos elevados e menor desempenho do que seu real potencial (AIVES, 2011).

2.3.1.2 Manutenção Corretiva Planejada

Este tipo de manutenção diferencia-se da anterior por ser uma decisão gerencial. Ela também se caracteriza pela correção de uma falha funcional ou de uma falha em potencial que minimize o desempenho de um ativo. Entretanto, a manutenção corretiva planejada já é baseada na modificação de parâmetros e critérios detectados pela observação do funcionamento do componente (KARDEC & NASCIF, 2009). Tendo em vista o próprio nome, o simples fato de ser um procedimento planejado acarreta em um custo de abordagem menor do que uma manutenção não planejada.

2.3.2 *Manutenção Preventiva*

Esse tipo de manutenção caracteriza-se por evitar a ocorrência da falha funcional de um ativo, bem como a queda de seu desempenho. O foco de trabalho dessa categoria são intervenções em intervalos de tempo ou ciclos pré-definidos, cumprindo com um plano de manutenção previamente definido e planejado.

Segundo XENOS (1998), a aplicação deste tipo de manutenção ocasiona na diminuição na frequência de falhas, diminuindo, também, as paradas compulsórias da produção. Sendo assim, diante do aumento da disponibilidade dos ativos produtivos e do domínio das paradas dos equipamentos, o custo total da manutenção preventiva acaba sendo mais barato que os da manutenção corretiva. Somando-se a isto, KARDEC E NASCIF (2009) expõe que a manutenção preventiva permite um satisfatório gerenciamento de atividades, nivelamento de recursos, previsibilidade de gastos, além de uma boa gestão de estoque.

Um fator a ser observado, quanto se estuda os impactos da manutenção preventiva em um ativo produtivo é o número de retiradas deste equipamento para a execução de abordagens de manutenção. KARDEC E NASCIF (2009) observam que deve-se considerar este fator, bem como todos os outros supracitados para que o uso dessa política seja adequado à realidade dos equipamentos, sistemas ou plantas, uma vez que os fabricantes fornecem dados para adoção de planos de manutenção de acordo com uma certa realidade que, em muitos casos, não condiz

com a realidade do ambiente em que o equipamento está operando. Sendo assim, os gestores e equipes de manutenção devem estabelecer planos de manutenção preventiva de acordo com o perfil de uso, ou seja, a realidade de sua empresa.

Segundo Marçal (2004) a manutenção preventiva pode ser classificada como:

2.3.2.1 Manutenção preventiva programada ou sistemática

É quando as atividades de manutenção são realizadas de forma periódica, através de intervalos pré-estabelecidos, dias de operação, horas de operação e outros, desprezando as condições dos componentes envolvidos.

2.3.2.2 Manutenção preventiva de rotina

São atividades de manutenção preventivas feitas com intervalos curtos pré-determinados, tendo como foco atividades bem definidas e de curta duração de execução, na maioria das vezes sendo embasadas de forma sensorial, sem causar a indisponibilidade da instalação ou equipamentos. Geralmente São conhecidas como inspeções e verificações sistemáticas apoiadas pelo uso de *checklist* ou demais controles.

2.3.3 Manutenção Preditiva

O termo associado à preditiva é o de “predizer”. Com isso define-se a principal diretriz da manutenção preditiva que é a de prever (predizer) as falhas nos equipamentos ou sistemas através de acompanhamento de inúmeros parâmetros, aumentando a disponibilidade do equipamento em operações contínuas pelo maior tempo possível. Esse tipo de manutenção caracteriza-se pela previsibilidade da deterioração do equipamento, prevenindo falhas por meio do monitoramento dos parâmetros principais, com o equipamento em funcionamento.

A intervenção, ao contrário da manutenção preventiva, só é decidida quando os parâmetros que estão sendo monitorados indicam a real necessidade. Quando o estágio de degradação atinge um limite pré-estabelecido, a intervenção é planejada, o que permite melhor preparação e gestão de recursos para que a abordagem seja tomada de forma mais eficaz, além de preparar os gestores de produção para uma eventual retirada do ativo de operação.

Para NASCIF (2002), a manutenção preditiva consiste na abordagem tendo como base a alteração de parâmetros de condição ou desempenho do ativo, cujo acompanhamento é caracterizado por uma inspeção sistemática das condições operacionais.

Quando é necessária a intervenção da equipe de manutenção no equipamento, está sendo realizada uma manutenção corretiva planejada. Esse conjunto de atividades de monitoramento sistemáticas também é conhecida como manutenção sob condição ou manutenção com base no estado do equipamento (*Condition Based Maintenance*).

O item 2.8.9 da página 7 da NBR 5462 define Manutenção Preditiva como o tipo de intervenção que permite garantir um qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando meios de supervisão centralizados ou de amostragem, para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva.

Esse tipo de manutenção tem como objetivo o de prever a situação do equipamento e encontrar falhas em estágio inicial, quando ainda não são prejudiciais ao equipamento ou processo de produção. Uma vez que a falha foi identificada em estágio inicial, pode-se planejar e programar ações para eliminar o problema. Dessa forma, os custos e o tempo despendidos através da manutenção preditiva são infinitamente menores do que quando tratamos o equipamento com manutenção corretiva ou preditiva.

É importante salientar que os custos de implantação da manutenção preditiva são mais altos, tendo em vista a necessidade de equipamentos de análise mais sofisticados para coletas de dados tais como temperatura, vibração, análise físico-química de óleos, ultra-som e termográfica, que permitem diagnósticos mais precisos.

2.3.4 Manutenção Detectiva

A manutenção detectiva tem sua notoriedade a partir da década de 90. KARDEC E NASCIF (2009) a definem como a busca pela detecção de falhas potenciais, ocultas a percepção de operadores e agentes da manutenção, atuando em sistemas de proteção, comando e controle. Portanto, consiste na inspeção das funções acultas, em intervalos regulares, para ver se ocorreu alguma falha e recondiçioná-las em caso positivo.

É primordial para garantir a confiabilidade e deve ser interpretado por pessoal treinado. Comparando com a manutenção preditiva, em que é necessário o diagnóstico a partir de parâmetros, na manutenção detectiva, o diagnóstico é definido após o processamento das informações colhidas na planta.

Esse sistema de detecção apresenta uma tendência crescente em virtude da maior automação das plantas industriais e da informatização da instrumentação (sistemas digitais de controle distribuídos –SDCD).

2.3.5 Engenharia de Manutenção

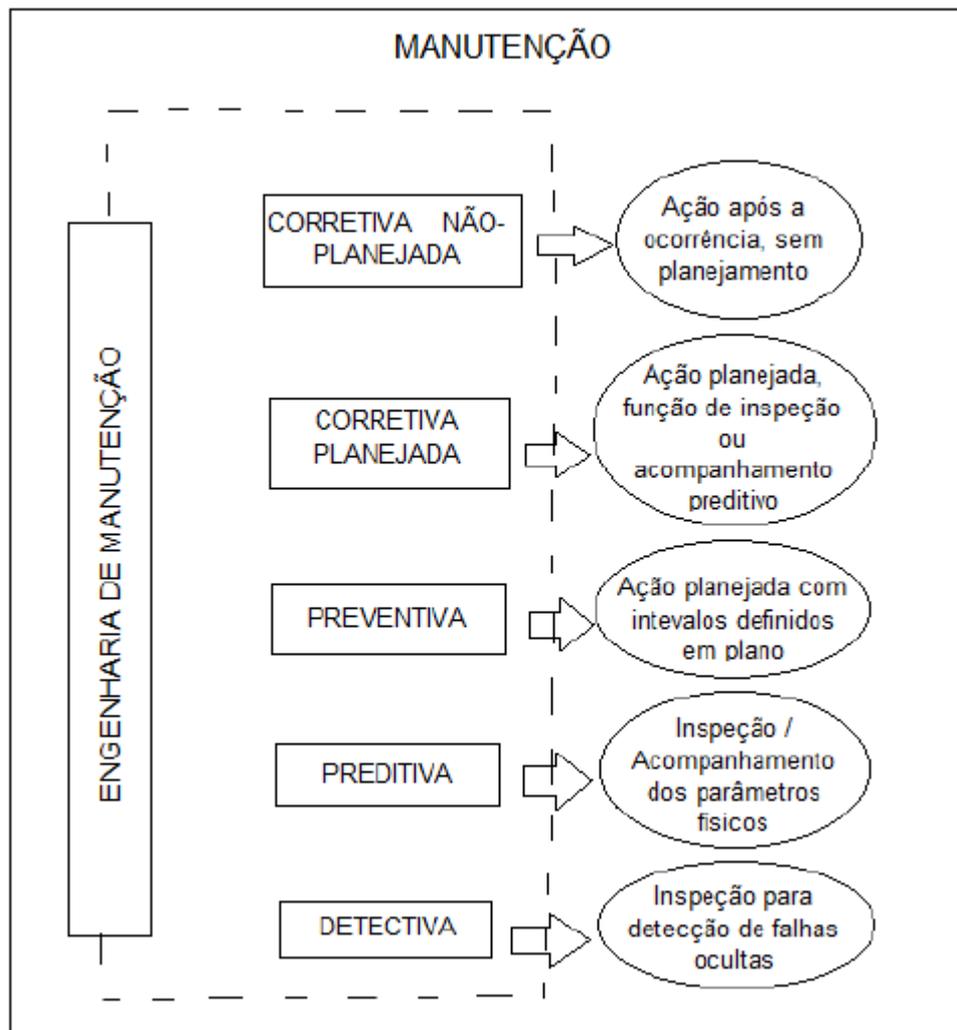
O termo engenharia de manutenção é relacionado a uma mudança gerencial e cultural, buscando a melhoria contínua e otimização das atividades relacionadas a manutenção. Uma instituição que pratica esse tipo de engenharia está constantemente adquirindo e gerindo dados sobre a manutenção de forma estratégica visando a melhoria dos processos. Instituições com esta mentalidade passam a enxergar a manutenção com instrumento de resultados operacionais e não apenas como fonte de custos.

Para KARDEC E NASCIF (2009), a engenharia de manutenção é a classificação de um trabalho que visa a proposta de melhorias embasadas em dados que o sistema de manutenção preditiva gera e armazena. Sendo assim, tem como foco o aumento da confiabilidade, disponibilidade, manutenibilidade e segurança, eliminando problemas crônicos, utilizando de tecnologia de gestão de dados e ativos para a tomada de decisões. Soma-se a isso, a melhoria da capacitação de colaboradores, melhor gerência de estoque, acompanhamento de indicadores,

elaboração de planos de manutenção, suporte à execução, análise de falhas e gestão de documentação.

A figura 5 resume os tipos de manutenção bem como caracteriza em forma de diagrama a engenharia de manutenção.

Figura 5: Tipos de manutenção



Fonte: KARDEC E NASCIF (2009)

2.4 INDICADORES DE MANUTENÇÃO

Indicadores de manutenção ou indicadores de desempenho são dados ou medidas calculados para garantir que os resultados atendam a demanda de

desempenho do planejamento produtivo, servindo como elementos primordiais para o gerenciamento das funções da manutenção. Estes índices são estabelecidos sobre processos que se deseja controlar, permitindo o acompanhamento e qualificação dos processos e tomadas de decisão.

Para VIANA (2006) os indicadores de manutenção devem demonstrar aspectos importantes nos processos da planta, não só focados nos desafios da manutenção mas também acompanhando sua rotina.

A ABRAMAN, Associação Brasileira de Manutenção, relata no documento “A situação da Manutenção no Brasil”, 2009, os indicadores principais utilizados pelas organizações brasileiras, salientando a importância de indicadores de disponibilidade operacional, custos e tempo de falhas.

É válido ressaltar que se deve ter muito cuidado ao comparar indicadores de confiabilidade entre equipamentos situados em indústrias diferentes, pois é notório que diferentes perfis de uso, bem como ambientes os quais estes equipamentos operam têm influência nestes índices.

A Figura 6, abaixo, representa os principais indicadores de desempenho utilizados na indústria brasileira.

Figura 6: Indicadores de desempenho

Principais Indicadores de Desempenho Utilizados (Grau de Importância - GI)									GI 2009
Tipos	1995	1997	1999	2001	2003	2005	2007	2009	
Custos	26,21	26,49	26,32	25,91	21,45	21,96	20,33	18,98	2
Frequência de Falhas	17,54	12,20	14,24	16,22	11,66	12,17	9,75	9,81	6
Satisfação do Cliente	13,91	11,01	11,76	11,86	8,62	8,11	8,93	9,38	7
Disponibilidade Operacional	25,20	24,70	22,60	23,24	19,58	19,81	18,51	20,68	1
Retrabalho	9,07	5,65	8,36	8,96	6,06	6,68	3,97	5,33	8
Backlog	8,07	6,55	8,98	10,41	9,32	6,92	11,57	10,02	5
Não Utilizam	-	2,09	2,79	1,22	1,63	0,72	0,33	1,07	9
TMPF (MTTF)	-	-	-	-	11,89	11,69	14,21	12,79	3
TMPR (MTTR)	-	-	-	-	9,56	11,46	11,74	11,94	4
Outros Indicadores	-	11,31	4,95	2,18	0,23	0,48	0,66	0,00	10

Fonte: ABRAMAN: “A situação da manutenção no Brasil” (2009)

Os tópicos, a seguir, discorrem sobre os principais indicadores documentados em literatura.

2.4.1 Confiabilidade

Este indicador mostra a probabilidade de um equipamento operar em plenas condições de uso durante um determinado período de tempo. Tendo em vista ser uma probabilidade é medida entre 0 e 1, ou seja, 0% a 100% e pode ser calculada da seguinte forma:

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

$$F(t) = \int_0^t f(t)dt \quad (2)$$

Onde:

$R(t)$: Confiabilidade do equipamento em um intervalo de tempo t

$F(t)$ = função probabilidade de falha

$f(t)$ = função densidade de probabilidade

Em um conjunto de n equipamentos a confiabilidade é calculada de acordo com a configuração do sistema, a saber:

- Sistema em série:

$$R_{série} = \prod_1^n R(n) \quad (3)$$

- Sistema em paralelo:

$$R_{paralelo} = \left[1 - \prod_1^n (1 - R(n)) \right] \quad (4)$$

-

2.4.2 Disponibilidade Operacional

Para KARDEC (2009) a disponibilidade operacional de um ativo produtivo é a medida da capacidade do equipamento estar em condições de executar suas funções de projeto em um determinado instante ou intervalo de tempo.

Pode-se calcular através da expressão:

$$\text{Disponibilidade operacional (\%)} = \frac{TMEM}{TMEM + TMP} \cdot 100 \quad (5)$$

Onde:

TMEM: tempo médio entre manutenções ou MTBM – *Mean Time Between Maintenance*.

TMP: tempo médio de paralisações ou MDT – *Mean Time Down*. Este dado inclui o somatório do tempo gasto durante o reparo, o tempo de espera, atrasos, deslocamentos e outros fatores que contribuam para o período de indisponibilidade do ativo.

2.4.3 Taxa de Falhas

Define-se este indicador pelo número de falhas de um ativo por unidade de tempo. Geralmente é expresso na ordem de 10^6 horas.

Pode-se calcular através da expressão:

$$\lambda = \frac{\text{número de falhas}}{\text{número de horas de operação}} \quad (6)$$

Onde:

λ : taxa de falhas

A figura 7, abaixo, representa de forma qualitativa, o gráfico que esboça a variação deste indicador em função da vida útil do ativo, ou seja, a curva característica da vida de equipamentos, também denominada curva da banheira.

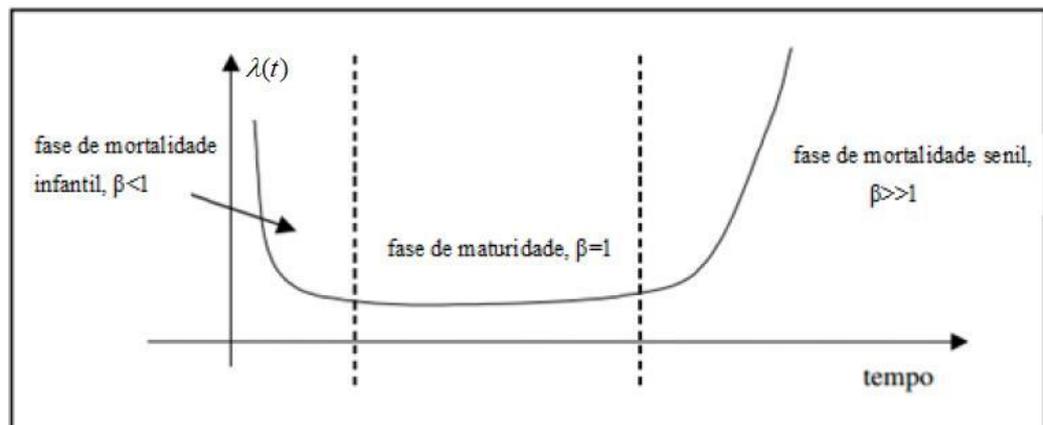
Observa-se, analisando o gráfico três fases durante a vida útil bem definidas:

Fase 1: Observa-se acentuado número de falhas de forma decrescente ao longo do primeiro período de funcionamento, geralmente decorrentes de erros de projeto, defeitos de fabricação e problemas durante a instalação. Esta fase denomina-se como Mortalidade infantil.

Fase 2: Representa a vida útil do ativo em si, a taxa de falhas tem comportamento constante e apresenta-se nos menores níveis do ciclo de vida do ativo. Essas falhas tem como causa fatores de uso, tais como fadiga e corrosão. Esta fase denomina-se como Maturidade.

Fase 3: Observa-se aumento significativo do número de falhas, por motivos de desgaste devido ao uso prolongado do ativo. Esta fase denomina-se como Mortalidade senil.

Figura 7: Curva característica da vida de equipamentos



Fonte: SELLITTO (2005 apud WUTTKE, 2008)

2.4.4 Tempo Médio Entre Falhas (TMEF)

É o inverso do indicador Taxa de Falhas. É medido pela soma dos valores de tempo observados sem a ocorrência de falhas e o número de observações de falhas. Sendo assim, pode ser calculado através da expressão:

$$TMEF = \frac{1}{\lambda} \quad (7)$$

Onde:

λ : Taxa de falhas

2.4.5 Tempo médio para Reparo (TMPR)

Este indicador mostra o grau de performance da equipe de manutenção. Alguns fatores interferem no TMPR tais como nível de capacitação dos mantenedores, grau de complexidade de manutenção do ativo, configuração de montagem, ambiente que o ativo está inserido, entre outros. É medido com o inverso da taxa de reparos:

$$TMPR = \frac{1}{\mu} \quad (8)$$

$$\mu = \frac{\text{Número de reparos efetuados}}{\text{tempo total de reparo da unidade}} \quad (9)$$

onde,

μ : taxa de reparo

2.4.6 Eficiência Operacional Máxima ou Overall Equipment Effectiveness (OEE)

Este indicador abrange uma medida de disponibilidade, qualidade e performance, mostrando as principais perdas relacionadas ao ativo e de forma quantitativa, mensura a eficácia do mesmo na geração de valor do produto obtido. O

OEE foi desenvolvido pelo *Japan Institute of Plant Maintenance* cerceados pelos conceitos da Manutenção Produtiva Total ou *Total Productive maintenance* – TPM. Este indicador pode ser determinado através da expressão:

$$OEE = D \times P \times Q \quad (10)$$

Onde,

D: Disponibilidade, que representa as perdas por quebras, falhas ou por eventuais ajustes de configuração para alteração do modelo a ser fabricado.

P: Performance, que representa os impactos devido a queda de performance do ativo, bem como sua ociosidade e pequenas paradas.

Q: Qualidade, que representa os impactos devido a produção de peças ou produtos danificados e por queda de rendimento.

A tabela 1, abaixo, representa os valores referenciados para o OEE, salientado a classificação do processo realizado pelo ativo a ser analisando, bem como a classificação quanto a competitividade para níveis globais.

Tabela 1: Faixa referencial para OEE

Faixa	Classificação do processo produtivo	Competitividade
< 65%	Inaceitável	Baixíssima
65% a 75%	Irregular	Baixa
75% a 85%	Bom	Alta
85% a 95%	Muito bom	Classe mundial
> 95%	Excelência operacional	Classe mundial

Fonte: ALVES 2011 Adaptado pelo próprio autor

2.4.7 Backlog

Este indicador mostra a efetividade no cumprimento das atividades de manutenção, relacionando o número de atividades programadas realizadas e o número de atividades programadas não realizadas. Pode ser definido através da expressão:

$$\text{Backlog}(\%) = \frac{AP - AR}{AP + AR} \times 100 \quad (11)$$

Onde,

AP: Atividades Programadas

AR: Atividades Realizadas

2.5 MODELOS DE DISTRIBUIÇÃO DE TEMPOS ATÉ A FALHA

Segundo FOGLIATTO (2009), o conceito mais difundido de confiabilidade de um componente ou sistema é dado em termos da probabilidade de sobrevivência até um tempo t de interesse. A modelagem dos tempos de falha da unidade possibilita a determinação desta probabilidade.

[...] "Conhecendo-se a distribuição de probabilidade que melhor se ajusta a esses tempos, é possível estimar a probabilidade de sobrevivência da unidade para qualquer tempo t , bem como outras medidas de confiabilidade, como o seu tempo médio até falha e função de risco. A modelagem dos tempos até falha é, portanto, central em estudos de confiabilidade." [...], FOGLIATTO (2009)

2.5.1 Distribuição de Weibull

O modelo de distribuição de probabilidade de Weibull é muito bem aceito quando trata-se de confiabilidade. No cotidiano de uma equipe de gestão de manutenção nota-se um grande número de dados armazenados em sistemas computadorizados de gerenciamento de manutenção, que, apesar de permitirem o entendimento sobre a falha, nem sempre são eficazes para definir os parâmetros de

confiabilidade e disponibilidade de ativos produtivos. E é exatamente neste contexto que esse tipo de modelo tem sua notoriedade, que é a de definir como a falha em um ativo se comporta de forma estatística, permitindo que a equipe trabalhe de forma proativa aumentando os índices de confiabilidade e disponibilidade.

A distribuição de Weibull, cuja primeira menção data-se de 1951, é muito relevante e utilizada pois possibilita obter análises precisas e previsões de falhas com poucos dados disponíveis. Esse tipo de distribuição apresenta bastante flexibilidade, permitindo utilizá-lo em várias fases de vida do ativo, que conseqüentemente possuem padrões de falhas diferentes.

O parâmetros da distribuição são:

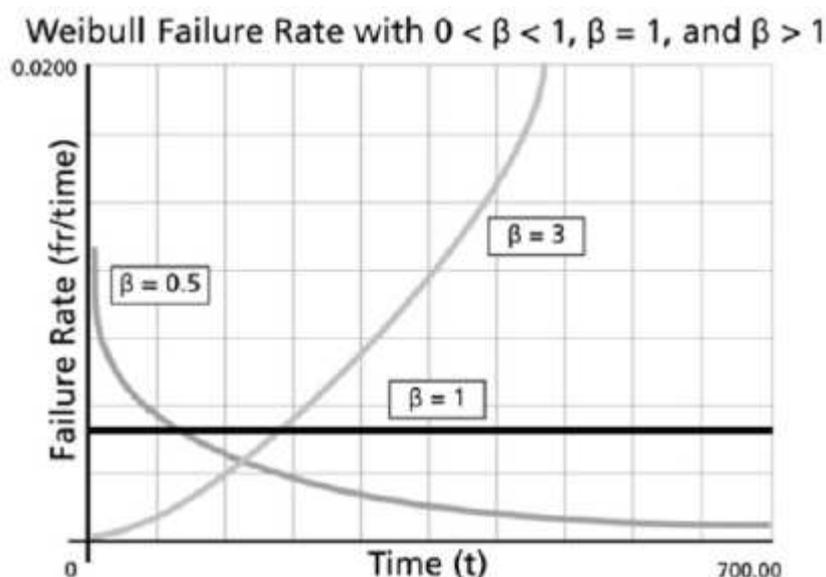
β : Parâmetro de forma

η : Parâmetro de Escala

t_0 : Parâmetro de localização

A figura 8, abaixo, evidencia a influência do parâmetro de forma (β) na curva de distribuição de probabilidade de Weibull.

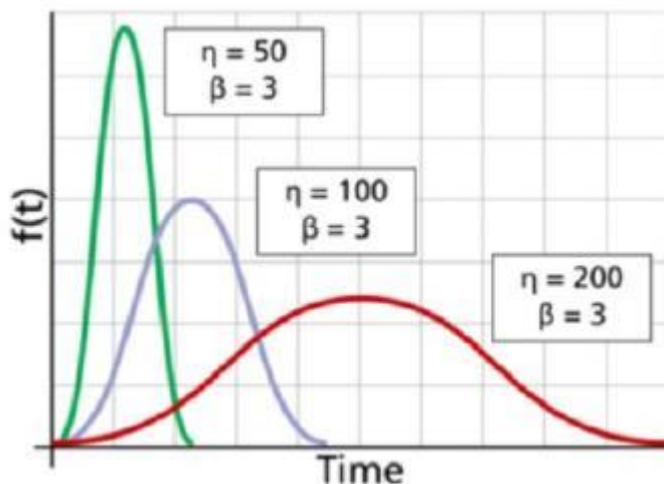
Figura 8: Influência do parâmetro de forma na Curva de distribuição de probabilidade de Weibull



Fonte: (ALVES, 2011)

A figura 9, abaixo, mostra a influência do parâmetro de escala (η) na curva de distribuição de probabilidade de Weibull:

Figura 9: Influência do parâmetro de escala na curva de distribuição de probabilidade de Weibull



Fonte: Adaptado de Life data analysis reference – ReliaSoft)

2.5.1.1 Função Densidade de Probabilidade (fdp)

Abaixo é evidenciada a equação de distribuição de probabilidade com ase em 3 parâmetros. Se o tempo em idade do componente estudado se inicia em zero, tem-se o parâmetro de localização igual a zero. Este mesmo fator de localização será positivo (> 0) se a distribuição começa a direita da origem ou negativo (< 0) se a distribuição começa a esquerda da origem.

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t-t_0}{\eta} \right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-t_0}{\eta} \right)^\beta} \quad (12)$$

Entretanto, a distribuição de Weibull de 2 parâmetros é a mais utilizada para se obter dados de falha no tempo. Abaixo segue a expressão que a compõe:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta} \right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t}{\eta} \right)^\beta} \quad (13)$$

2.5.1.2 Função Distribuição Acumulada de Weibull de 2 parâmetros até o tempo t

Caracteriza-se por demonstrar a soma das falhas até um tempo t e é dada através da expressão:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta} \right)^\beta} \quad (14)$$

Onde:

$F(t)$: Função acumulada de falhas

e : Base dos logaritmos naturais

t : tempo de ocorrência da falha

β : Parâmetro de forma

η : Vida característica ou parâmetro de escala

2.5.1.3 Confiabilidade

Foi exposto, no item 2.4.1 que a confiabilidade pode ser definida através da equação (1):

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

Onde:

F(t) : Função acumulada de falhas (determinada no ítem anterior)

Substituindo a equação (14), na equação (1), obtém-se a equação da confiabilidade com base em 2 parâmetros:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (15)$$

2.5.1.4 Taxa de Falhas

Se acordo com o tópico 2.4.3, a taxa de falhas é descrita pela equação (6):

$$\lambda = \frac{\text{número de falhas}}{\text{número de horas de operação}} \quad (16)$$

Ou seja,

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (17)$$

Onde

f(t): função densidade de probabilidade

R(t): confiabilidade

Substituindo na equação (17), acima, as equações (13) e (15), obtém-se a expressão para a taxa de falhas (equação (18)), cerceada pelos parâmetros e funções de Weibull.

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t}{\eta} \right)^{\beta-1} \quad (18)$$

2.6 ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHA OU *FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS* – FMEA

Para FOGLIATTO (2009), a FMEA é uma atividade de manutenção centrada em confiabilidade cujos objetivos consistem em identificar as falhas potenciais em produtos, processos ou sistemas, reconhecendo ações que possam evitar ou mitigar a probabilidade da falha acontecer, documentando todos os estudos a fim de criar uma base de dados que servirá para embasar revisões de projeto e desenvolvimento de novos ativos produtivos.

FOGLIATTO (2009) ainda expõe que a aplicação da FMEA é multidisciplinar. O estudo em si deve ser feito por uma equipe que contenha engenheiros, operadores, técnicos de manutenção entre outros profissionais que compõe o ciclo produtivo, liderados por profissional previamente definido como responsável pela implantação da técnica.

Originalmente, os estudos de FMEA têm características cíclicas corroborando com a ideia de melhoria contínua de produtos e processos das instituições. Além disso, um fator importante para o sucesso de políticas de gestão de manutenção que adotem a FMEA é a localização temporal dos estudos, priorizando, sempre que possível, análises antes do evento em detrimento das análises após a ocorrência da falha.

Entre as vantagens do FMEA algumas se destacam, tais como:

- Contribui na avaliação objetiva das atividades de manutenção;
- Aumenta a percepção de toda a equipe técnica em relação aos aspectos mais relevantes da qualidade ou confiabilidade de um item;

- Ordena, de acordo com o grau de criticidade da falha, os itens ou ações mais relevantes, visando tomada de ações;
- Fornece um formato aberto de análise, que permite rastrear as recomendações e ações associadas com a redução de risco;
- Constrói um referencial que servirá como base na tomada de decisão sobre alterações de projeto ou desenvolvimento de novos ativos produtivos.

A figura 10, abaixo, representa de forma exemplificativa um FMEA para o Chicote elétrico de um veículo automotor:

Figura 10: FMEA chicote elétrico

(2)	(3)	(4)	(5)	(7)	(8)	(9)	(9)	10	(11)	(12)
Item / Função	Modo potencial de falha	Efeito	S	Causa	O	Controles de prevenção	Controles de detecção	D	R	Ação recomendada
Chicote do alternador	Circuito interrompido	Sistema de iluminação não opera	8	Rompimento de fios durante a montagem (por falha de projeto)	5	Treinamento	Teste de funcionabilidade	3	120	Ampliar o uso de tubos corrugados para proteção de cantos metálicos
Levar energia do motor de partida para o alternador e caixa de fusíveis	Curto-circuito	Pane nos instrumentos do painel	8	Exposição de fios desencapados às partes metálicas da carroceria	5	Treinamento	Teste de funcionabilidade	4	160	Ampliar o uso de tubos corrugados para proteção de cantos metálicos
	Circuito desconectado	Sistema de iluminação não opera	8	Falha no uso da trava de segurança	2		Teste de funcionabilidade	2	32	
			8	Oxidação de terminais	4	Desenvolvimento de fornecedores	7	224	Desenvolver dispositivo para proteger terminais de umidade e pó	
	Circuito com conexão incorreta	Sistema de iluminação opera errado	8	Identificação inadequada de fios e conectores	6		Teste de funcionabilidade	5	240	Aprimorar a bancada de testes de chicote
			8	Erro no manual de montagem	2	Revisão de procedimentos	3	48		
	Circuito queimado	Sistema de iluminação não opera	10	Aquecimento demasiado dos fios por percurso incorreto	3	Revisão de projeto	3	90		
10			Aquecimento demasiado dos fios por falta de proteção	1		7	70			

Fonte: Fonte: “Confiabilidade e Manutenção Industrial” FOGLIATTO (2009)

Abaixo, discorre-se sobre cada elemento da tabela:

- **Item/Função:** Desdobra-se o item em análise em todos os seus componentes, tais como subsistema; conjunto; componente e função. Sendo assim, pode-se exigir mais de uma colula.

- **Modos potenciais de falha:** Nesta coluna, iniciam-se os trabalhos propriamente ditos, reunindo um grupo multidisciplinar de trabalho, pois é constituída com base na experiência da equipe. O modo potencial de falha é definido como a maneira que o item pode falhar em cumprir com seus requisitos de projeto.
- **Efeitos potenciais de falha:** São definidos como as consequências dos modos de falha, conforme seriam percebidos por operadores, técnicos de manutenção, clientes internos e externos entre outros. Os efeitos devem ser estabelecidos que esta sendo analisado.

Sobre isso, FOGLIATTO (2009) discorre:

[...]Os efeitos devem ser estabelecidos em termos do item específico que está sendo analisado. Conforme mencionado, existe uma relação de hierarquia entre os componentes. Por exemplo, o componente 1 pode quebrar por fratura, o que vai causar afrouxamento no componente 2, resultando em operação intermitente do sistema. A operação intermitente significa uma queda de desempenho e leva à insatisfação do cliente. Se o foco do estudo é o componente 2, então afrouxamento é o modo de falha, e operação intermitente (percebida pelo usuário) é o efeito do modo de falha. Típicos efeitos potenciais de falha são: ruído, aspecto desagradável, vibração, folga, operação intermitente, falta de operação, odor desagradável etc [...]

- **Severidade (S):** A severidade aplica-se exclusivamente ao efeito. Trata-se de uma avaliação qualitativa. A tabela 2, abaixo, representa a sugestão de escala para a avaliação dos efeitos de falha.

Tabela 2: Escala dos efeitos de falha

Severidade do Efeito	Referência	Escala
Muito alta	Quando a falha compromete a segurança da operação ou envolve infração a regulamentos governamentais	9 - 10
Alta	Quando a falha impacta de forma crítica o cronograma produtivo, mas sem comprometer a segurança ou implicar em infração	7 - 8
Moderada	Quando a falha impacta acarreta em queda de rendimento do ativo	5 - 6

Baixa	Quando a falha provoca leve insatisfação	3 - 4
Mínima	Quando a falha afeta minimamente o desempenho do sistema produtivo.	1 - 2

Fonte: Fonte: "Confiabilidade e Manutenção Industrial" FOGLIATTO (2009) – Modifica pelo próprio autor

- **Classificação:** Esta coluna é usada para salientar alguma característica do item que deseja-se um controle especial, tais como crítico para segurança, crítico para qualidade, alterada a função, alterada a condição de uso, entre outras.
- **Causas ou Mecanismos potenciais de falha:** Esta coluna é usada para identificar a raiz do problema. Pode ser entendida como a deficiência no projeto que tem como consequência o modo de falha.
- **Ocorrência (O):** Esta coluna é utilizada na classificação da probabilidade da ocorrência de uma causa ou mecanismo potencial de falha. A figura 11, abaixo, representa a sugestão de escala para a avaliação da ocorrência de falha.

Figura 11: Sugestão de escala para ocorrência de falha

Ocorrência de falha	Taxa de falha	Escala	
Muito alta	Falhas quase inevitáveis	100/1000	10
		50/1000	9
Alta	Falhas ocorrem com frequência	20/1000	8
		10/1000	7
Moderada	Falhas ocasionais	5/1000	6
		2/1000	5
		1/1000	4
Baixa	Falhas raramente ocorrem	0,5/1000	3
		0,1/1000	2
Mínima	Falhas muito improváveis	0,01/1000	1

Fonte: Fonte: "Confiabilidade e Manutenção Industrial" FOGLIATTO (2009)

Para FOGLIATTO (2009), quando é possível obter dados quantitativos tais como os coletados em campo ou resultantes de engenharia numérica e experimental, a fórmula abaixo tem boa aproximação para valores de ocorrência:

$$Ocorrência = \left(\frac{\lambda}{0,000001} \right)^{0,20} \quad (19)$$

Onde,

λ : Taxa de Falha.

- **Controles de prevenção e detecção:** Nesta coluna lista-se as atividades de manutenção proativas que estão planejadas no item
- **Detecção (D):** Refere-se a uma estimativa sobre a capacidade da equipe em detectar o modo de falha. A figura 12, abaixo representa uma sugestão de escala para avaliação da detecção.

Figura 12: Escala de detecção

Possibilidade de detecção		Escala
Muito	O PVP não irá detectar esse modo de falha, ou não existe PVP	10
Remota		
Remota	O PVP provavelmente não irá detectar esse modo de falha	9
		8
Baixa	Há uma baixa probabilidade de o PVP detectar o modo de falha	7
		6
Moderada	O PVP pode detectar o modo de falha	5
		4
Alta	Há uma alta probabilidade de o PVP detectar o modo de falha	3
		2
Muito	É quase certo que o PVP irá detectar esse modo de falha	1
Alta		

Fonte: Fonte: "Confiabilidade e Manutenção Industrial" FOGLIATTO (2009)

- **Risco:** Calculado para priorizar as ações da manutenção. Leva-se em conta para o cálculo a severidade (S), ocorrência (O) e detecção (D). Pode ser calculado através da fórmula:

$$R = S \times O \times D$$

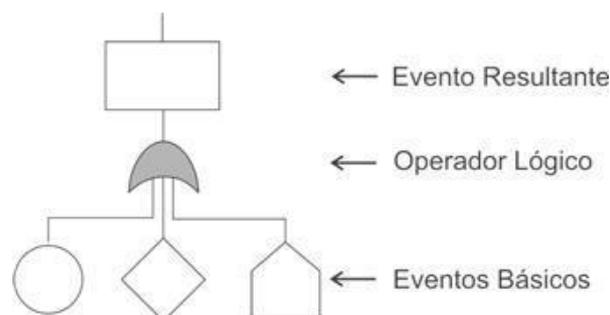
- **Ação recomendada:** As ações devem ser determinadas de maneira que reduzam a severidade do efeito, a probabilidade de ocorrência ou a probabilidade de não detecção do modo de falha.

2.7 Análise de árvore de falha – FTA

Para FOGLIATTO, A FTA é um método sistemático para análise de falhas. Originalmente foi empregado para verificação de projetos de aeronaves, porém, atualmente é aplicada na análise de produtos, revisão de processos e até em atos administrativos. A árvore de falhas ou *failure tree analysis* – FTA é uma técnica lógica que aborda todas as combinações possíveis de falha dos componentes que possam ter levado o sistema a falhar. A análise é iniciada pela falha observada (evento topo ou resultante) continuando pela ramificação das possíveis causas (eventos básicos) interligados à falha pelos nós de dependência E/OU (operadores lógicos).

A Figura 13, a seguir, mostra um exemplo de um trecho da de uma árvore de falha:

Figura 13: Trecho de uma árvore de falha



Fonte: Fonte: “Confiabilidade e Manutenção Industrial” FOGLIATTO (2009)

A figura 14, a seguir, evidencia os principais eventos utilizados em árvores de falhas:

Figura 14: Principais eventos utilizados em árvores de falha

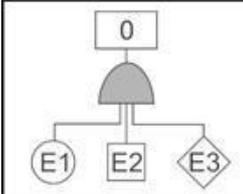
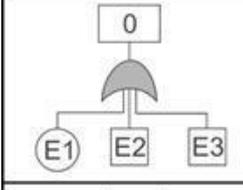
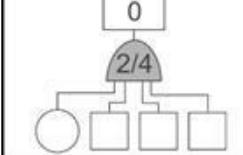
	Retângulo	Evento que resulta da combinação de vários eventos básicos. Pode ser mais desenvolvido
	Círculo	Evento/Falta básica, que não requer maiores desenvolvimentos
	Casa	Um evento básico esperado de ocorrer em condições normais de operação
	Diamante	Como o retângulo, mas não há interesse ou não é possível desenvolvê-lo mais
	Triângulo	Símbolo de transferência

Fonte: Fonte: "Confiabilidade e Manutenção Industrial" FOGLIATTO (2009)

Segundo FOGLIATTO (2009), os eventos com utilização mais comuns são o círculo e o retângulo. O primeiro corresponde a uma causa básica cuja probabilidade de ocorrência deve ser determinada (informada). O segundo corresponde a um evento oriundo de uma combinação de causas básicas (círculos) cuja probabilidade de ocorrência será calculada.

A figura 15, mostra os principais operadores lógicos utilizados em árvores de falha:

Figura 15: Operadores lógicos

	E	Output (o) só ocorre se todos os inputs ocorrerem
	OU	Output (o) ocorre quando ao menos um dos inputs ocorreram
	E r/n	Output (o) só ocorre se r dos n eventos ocorrerem

	E Condicional	Output (o) só ocorre se todos os inputs ocorrerem e a condição for satisfeita
	OU Condicional	Output (o) ocorre se ao menos um dos inputs ocorrerem e a condição for satisfeita
	IF Simples	Output (o) ocorre se o input estiver presente e a condição for satisfeita
	Condição de Permanência	Output (o) ocorre se o input ocorrer e permanecer presente por pelo menos 10 minutos

Fonte: Fonte: “Confiabilidade e Manutenção Industrial” FOGLIATTO (2009)

FOGLIATTO (2009) também expõe que os operadores lógicos mais utilizados são o “E” e o “OU”. O primeiro representa uma condição mais segura, em que a falha só ocorre se todos os componentes falharem, característica de sistemas em paralelo. O segundo (“OU”) representa uma situação um pouco mais cautelosa, tendo em vista que representa um sistema em série, cuja falha ocorre se qualquer componente falha.

2.7.1 Cálculo de probabilidades

Sabendo as probabilidades de ocorrência das causas básicas, a probabilidade de ocorrência dos eventos resultantes pode ser calculada para associações em série (OU) e em paralelo (E) de acordo com as seguintes expressões.

Para sistemas em série (OU):

$$P(O) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P(E_i)) \quad (20)$$

Para sistemas em paralelo (E)

$$P(O) = \prod_{i=1}^n (P(E_i)) \quad (21)$$

Onde:

$P(O)$: Probabilidade de ocorrência do evento resultante

$P(E_i)$: Probabilidade de ocorrência das causas

2.8 GESTÃO DA MANUTENÇÃO

A forma como a manutenção é vista pelas organizações, ao longo do tempo, tem se transformado a medida que os gestores percebem os grandes impactos que as falhas nos ativos produtivos podem ocasionar nos âmbitos da qualidade, segurança e custos operacionais, prejudicando a competitividade das empresas em um mercado altamente globalizado (SELLITO, 2007). Sendo assim, os gestores de manutenção além de técnicos são estrategistas e a limitação dos sistemas de gestão existentes tornam-se mais visíveis MOUBRAY (1996) *apud* SELLITO (2007)

XENOS (1998) afirma que ações relacionadas a manutenção caracterizam-se por procedimentos sistemáticos visando a prevenção e correção de falhas potenciais e funcionais detectadas por operadores, equipe técnicas de manutenção ou softwares e instrumentos de controle. Além disso, expõe que atividades de manutenção compreendem métodos e procedimentos relacionados a manutenção direta bem como atividades gerenciais, que podem ser classificadas como funções de apoio ou funções gerenciais de manutenção.

Uma evolução e mudança de entendimento para os atuais sistemas de gestão de manutenção é a elaboração de uma estratégia padronizada de manutenção, cujos conceitos subjacentes sejam baseados na teoria da confiabilidade e de manutenibilidade SELLITO (2007).

KARDEC E NASCIF (2009), afirmam que a nova designação sobre o setor de manutenção é um significativo desafio gerencial, sendo que a visão sistêmica, não só dos processos produtivos, mas também dos negócios como um todo terão impactos na mudança de paradigmas que levaram a importantes e significativas inovações.

Costa (2013) corrobora com isso, salientando sobre a necessidade de definir e utilizar uma metodologia adequada de gestão do sistema de manutenção não apenas encarando a política de manutenção como sendo uma definição entre uma ou outra abordagem, afim de transformar o setor de manutenção como pilar estratégico para mitigação de custos totais de produção.

2.8.1 Manutenção Centrada na Confiabilidade - MCC

Para FOGLIATTO (2009), a manutenção centrada na confiabilidade caracteriza-se por programa multidisciplinar de engenharia com o objetivo de assegurar que os ativos produtivos de uma planta fabril realizem suas funções de projeto específicas, cumprindo o plano produtivo da fábrica.

Tendo em vista sua abordagem sistemática, as atividades da MCC são reconhecidas como uma forma eficaz de conduzir as atividades de manutenção. Ela possibilita que a empresa atinja sua excelência operacional, tornando-a mais competitiva uma vez que os reflexos de uma MCC bem aplicada impactam diretamente nos custos operacionais da linha de produção, reduzindo custos associados a defeitos, reparos, substituições, acidentes além de propiciar maiores índices de disponibilidade dos ativos da planta.

A MCC baseia-se em alguns pilares importantes, a saber:

- Ambiente de engenharia simultânea: grande interação entre engenheiros, operadores e técnicos de manutenção;
- Foco nas consequências das falhas para o correto direcionamento das atividades de manutenção;
- Abrangência de análises: Múltiplos fatores são considerados nas tomadas de decisão tais como custos, segurança, impactos ambientais e questões operacionais;

- Ênfase em atividades proativas, tais como tarefas preventivas e preditivas;
- Atenção às falhas em potencial (falhas escondidas) que reduzem a confiabilidade do sistema

2.8.1.1 Questões Básicas da MCC

Segundo MOUBRAY (1997) há sete questões primordiais que devem ser abordadas na implantação de políticas de MCC:

- Desempenho esperado para o equipamento;
É a base de trabalho da equipe responsável pela MCC. Todos devem estar cientes de quais são as funções que o equipamento deve cumprir e qual o padrão de funcionamento ele deve exercer durante sua vida útil.
- Modo como os equipamentos podem falhar;
Uma questão essencial é a identificação dos modos de falha de um equipamento, que correspondem as maneiras que um equipamento pode falhas em cumprir suas funções de projeto. Os modos de falhas são eventos passíveis de ocorrer sendo estas falhas historicamente á ocorridas ou aquelas que podem ocorrer no futuro.
- Causa de cada falha funcional;
A precisa identificação das causas da falha funcional e potencial de um equipamento permite que as diretrizes de trabalho sejam focadas na solução das raízes do problema e não nos sintomas que ele apresenta.
- O que acontece quando a falha ocorre;
É importante também reconhecer o que acontece quando a falha ocorre. Neste contexto a MCC aborda sobre o que pode ser observado quando a falha ocorre; O tempo que o equipamento ficará indisponível; Os danos físicos, materiais e ambientais que podem ocorrer; o plano de ação caso a falha aconteça.
- De que forma a falha interessa;

Cada modo de falha gera impactos diferentes para a empresa. Conhecer os impactos dessa falhas é primordial para definir o grau de empenho da equipe em traçar diretrizes de modo que se evite que a falha ocorra e conseqüentemente minimize seus impactos.

- O que pode ser feito para prevenir a falha ou impedir cada falha; Conhecidas as conseqüências da falha e o grau de prioridade desses impactos na realidade da empresa, é necessário definir medidas proativas para mitigar a possibilidade de elas acontecerem.
- O que deve ser feito quando não for possível exercer uma atividade proativa adequada.

Nos casos em que as conseqüências da falha é grave e não é possível realizar atividades preventivas e preditivas para mitigar a falha é preciso mudar alguns tópicos das diretrizes de trabalho a fim de realizar uma procura pela falha o trabalhar no redesenho de subsistemas desses equipamentos.

A figura 16, abaixo, mostra uma planilha de apoio para a implantação de uma política de MCC, englobando não só o conjunto dos modos de falha, mas também os detalhes das atividades de manutenção.

Figura 16: Planilha de apoio a implantação da MCC

Núm.	Campo da planilha	Pessoas em melhores condições para contribuir no preenchimento
1	Sistema	Engenheiros
2	Subsistema	Engenheiros
3	Conjunto	Engenheiros, operadores e técnicos de manutenção
4	Componente	Engenheiros, operadores e técnicos de manutenção
5	Função	Engenheiros
6*	Padrão de desempenho	Operadores, Supervisores e Gerentes de produção
7	Modo de falha	Operadores e Técnicos de Manutenção
8	Efeito: o que é observado	Operadores e Técnicos de Manutenção
9*	Tempo médio de parada	Supervisor de produção
10*	Danos pessoais/materiais/ambientais	Operadores, engenheiros e especialistas
11	Causa da falha	Operadores e técnicos de manutenção
12*	O que pode ser feito para evitar a falha	Operadores e técnicos de manutenção
13*	Classificação da consequência da falha Escondida (potencialmente crítica), Segurança (crítica) Ambiental (crítica) Operacional (crítica) Outra (não-crítica)	Operadores, engenheiros e especialistas
14	Probabilidade de ocorrência	Operadores e técnicos de manutenção
15	Severidade	Operadores, engenheiros e especialistas
16	Probabilidade de detecção	Operadores e técnicos de manutenção
17	Risco	Engenheiros
18*	Tarefa indicada: Preditiva – recuperação baseada na condição Preditiva – substituição baseada na condição Preventiva – recuperação programada Preventiva – substituição programada Reativa – rodar até a falha Reativa – Procura de falha Redesenho	Técnicos de manutenção
19*	Detalhe da tarefa	Técnicos de manutenção
20*	Responsável pela tarefa	Operadores e técnicos de manutenção
21*	Intervalo entre tarefas	Engenheiros e técnicos de manutenção

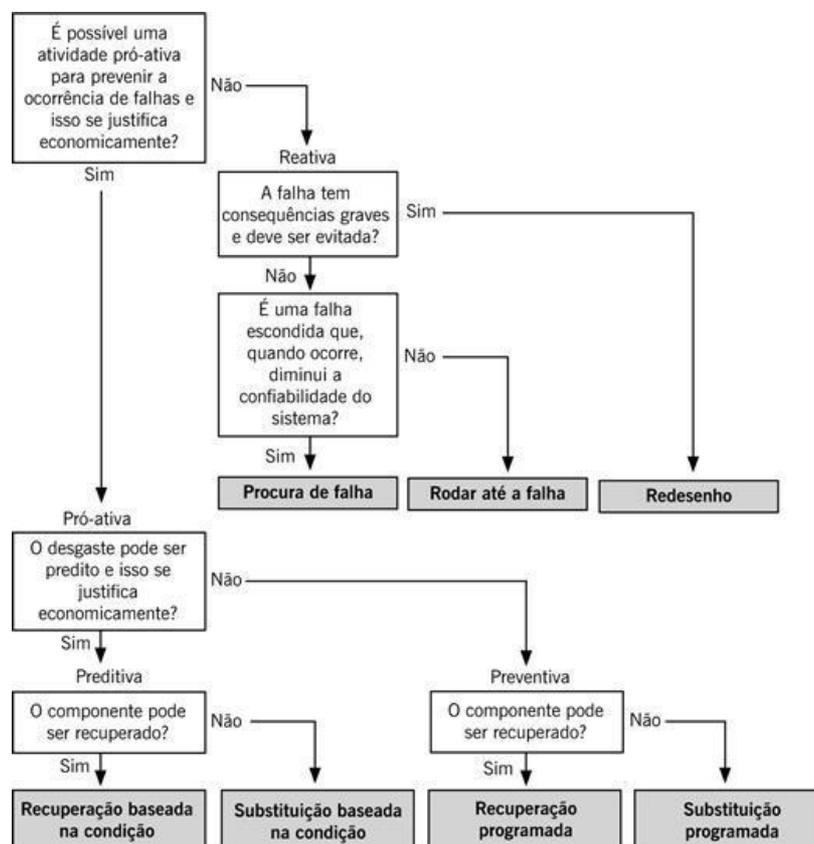
Fonte: “Confiabilidade e Manutenção Industrial” FOGLIATTO (2009)

2.8.1.2 Passos para implantação da MCC

- 1º Passo: Escolha do Comitê e equipes de trabalho;
- 2º Passo: Capacitação em MCC;
- 3º Passo: Estabelecimento dos critérios de confiabilidade;
- 4º Passo: Estabelecimento da Base de dados;
- 5º Passo: Aplicação da FMEA e Classificação dos componentes;
- 6º Passo: Seleção das atividades de manutenção proativas pertinentes;
- 7º Passo: Estabelecimento de metas e indicadores;
- 8º Passo: Revisão da política de MCC

A figura 17, abaixo, representa o diagrama de verificação de atividade recomendada, utilizado para nortear a definição de atividades de manutenção mais eficazes para cada item analisado bem como seu modo de falha.

Figura 17: Diagrama de verificação de atividade recomendada



Fonte: “Confiabilidade e Manutenção Industrial” FOGLIATTO (2009)

3 ESTUDO DE CASO

Este capítulo contém a descrição sobre a indústria frigorífica onde foi realizado o estudo de caso, a situação da manutenção da empresa, bem como as etapas que levaram a definição do equipamento a ser estudado. Além disso, discorre-se detalhadamente sobre o equipamento, fazendo o levantamento de indicadores de manutenção.

3.1 Indústria Frigorífica de Bovinos e Suínos

A indústria em estudo trata-se de um frigorífico de bovinos e suínos de médio porte localizada na Região Sudeste de Minas Gerais com produção média de abate de 360 bovinos e 150 suínos.

3.2 Definição do Equipamento

3.2.1 Primeira Fase: Levantamento da Real situação da Indústria em relação a manutenção

Ao ingressar na empresa, a primeira designação foi acompanhar a equipe técnica de manutenção durante duas semanas com o objetivo conhecer os setores da indústria, a equipe, os supervisores de área, as rotinas de manutenção, os equipamentos envolvidos no processo produtivo, o modo como a manutenção era realizada, os equipamentos de maior criticidade.

De imediato, constatou-se quatro aspectos preocupantes e que direcionaram as primeiras tomas de decisão em relação a manutenção:

Ambiente reativo: A manutenção da empresa era basicamente do tipo corretiva. Grande parte das horas homem dedicadas da equipe eram para intervenções corretivas, sendo a maioria delas ocasionando paradas na produção.

Ausência de documentação de atividades e histórico de manutenção:

Apesar de técnicos mecânicos e eletricitas de grande talento, não havia informações úteis para a tomada de decisões, visando mitigar o grande número de intervenções corretivas.

Ausência de formalização das solicitações de manutenção: Não havia ninguém para centralizar as solicitações de manutenção dos diversos setores. Basicamente, um supervisor de área informava o problema a um técnico de manutenção, que, dentro de suas rotinas, ia abordar o problema.

Neste tópico, é válido ressaltar uma consequência importante que foi a **perda de informações durante a rotina.**

Por exemplo: um mecânico e um eletricitista estavam encaminhando para o setor de abate para a troca de um motor elétrico e no meio do caminho o supervisor do setor da desossa informou a eles que havia um problema de média criticidade em seu setor. Até ai tudo bem, a resposta natural da equipe é de que quando resolvessem o problema inicial (troca do motor elétrico no setor do abate) eles iriam até o outro setor abordar a falha. O perda de informação ocorria, em muitos casos, pois caso a equipe encontrasse dificuldade em solucionar o primeiro problema (acesso ruim ao equipamento, dificuldade na remoção do motor, eventuais problemas secundários detectados na abordagem) isso gerava uma carga de trabalho tão grande que muitas vezes eles simplesmente esqueciam da solicitação do outro setor e a informação era perdida. Sendo assim, uma falhar de média criticidade (que poderia ser uma falha em potencial no setor da desossa) acabada tornando-se uma falha funcional no dia seguinte, o que poderia comprometer o andamento da produção. (Observação do Autor)

Solicitações de manutenção mal feitas: Muitas vezes um supervisor de área enviava alguma auxiliar menos experiente a procura da equipe de manutenção para relatar o problema. O Auxiliar relatava de uma forma que muita das vezes a equipe de manutenção se preparava para uma abordagem e na verdade o problema era outro, ocasionando perda de tempo e consequentemente lucro cessante para empresa.

Diante destes quatro aspectos e já com conhecimento da cadeia produtiva a a proposta inicial de intervenção foi implantar uma política de manutenção corretiva para a empresa. Com isso dois documentos foram criados:

- Formulário de Solicitação de Manutenção Corretiva SMC (Apêndice A);
- Ordem de Serviço de Manutenção OS (Apêndice B);
- Elaboração de uma planilha de manutenção, gerando um banco de dados fundamental para o sucesso da manutenção da empresa.

Com o S.M.C. garantiríamos controle total de solicitações de manutenção, maior clareza do problema a ser abordado, tendo em vista que o formulário era preenchido pelos supervisores de área, hierarquização das falhas tendo em vista uma matriz de criticidade, além de levantamento de alguns indicadores de manutenção.

Mudar a cultura da empresa em relação a solicitação da manutenção pelos supervisores de áreas foi um desafio em especial que através de muita conversa e resiliência foi bem aceito e fez total diferença (Observação do autor).

Já com as O.S., a equipe de manutenção teria clareza da tarefa a ser realizada, evitando perda de tempo, além de poder documentar os motivos da falha, materiais utilizados, quais equipamentos foram abordados, quais ferramentas e EPI's foram utilizados, além do levantamento de mais alguns indicadores de manutenção.

Com a política de manutenção corretiva devidamente implantada, houve notória mudança no perfil da manutenção da empresa. A Equipe tornou-se nitidamente mais motivada, as abordagens da manutenção ficaram mais objetivas, houve mitigação no número de manutenções corretivas, a manutenção passou a dialogar muito bem com o setor de Garantia da Qualidade (Observação do Autor).

3.2.1.1 Definição do Setor mais Crítico

Entende-se por setor mais crítico aquele que em determinado período de documentação de informações sobre a manutenção apresentou maior frequência de solicitação de manutenções. A tabela 3, abaixo, representa a frequência absoluta e relativa em relação as solicitações de manutenção por setor da empresa:

Tabela 3: Relação de solicitações de manutenção corretiva por setor

FREQUENCIA DE SOLICITAÇÃO		
SETOR	F.A.	F.R.
ABATE	135	56%
AREA VERDE	5	2%
BUCHARIA	4	2%
CONGELADO	8	3%
CORTE	14	6%
CURRAL	5	2%
DESOSSA	33	14%
INDÚSTRIA	8	3%
MIÚDOS	14	6%
MOCOTÓ	17	7%
TOTAL	243	100,00%

Fonte: Gerado pelo próprio autor

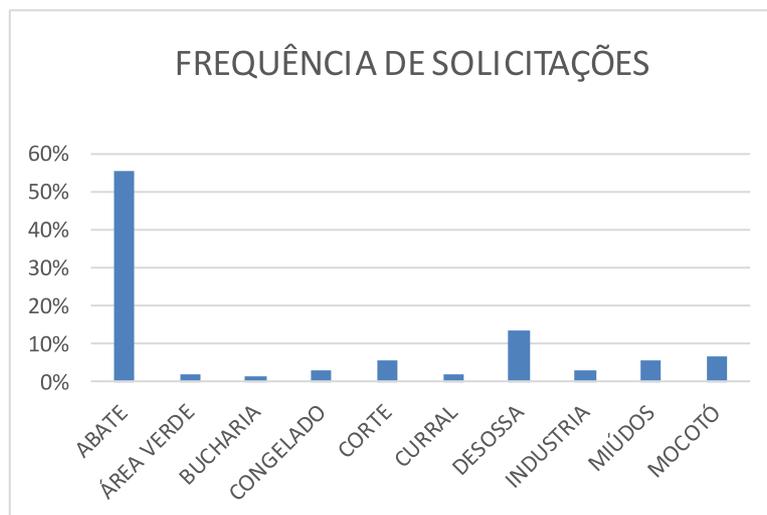
Onde,

F.A.: Frequência Absoluta

F.R.: Frequência Relativa

Analisando a Tabela 3, constata-se que o setor mais crítico da indústria é o abate. A figura 18, abaixo, mostra o gráfico que representa a mesma frequência de solicitação, mas de uma forma a se perceber tamanha a discrepância na demanda de solicitações de manutenção.

Figura 18: Gráfico que representa a relação percentual de demanda de solicitação de manutenção por setor.



Fonte: Gerado pelo próprio autor.

3.2.1.2 Definição do equipamento mais crítico

Constatado que o centro das atenções de trabalho seria o setor de abate, foi realizado um levantamento sobre a solicitação de manutenção corretiva por equipamento do setor. A tabela 4, abaixo, mostra a frequência de solicitações de manutenção do setor de Abate por equipamento:

Tabela 4: Relação de solicitações de manutenção corretiva por equipamento do setor de abate.

ABATE		
EQUIPAMENTO	F.A	F.R
BOMBA VERDE LIMPEZA	2	2%
BOX BOVINOS	10	8%
BOX SUÍNOS	1	1%
COMPRESSOR PISTOLA DE INSENSIBILIZAÇÃO	3	2%
DEPILADEIRA	2	2%
GUILHOTINA	1	1%
GUINCHO CARRETILHA	2	2%
GUINCHO DE EMERGÊNCIA BOVINOS	1	1%
GUINCHO COURO	1	1%

GUINCHO PRIMEIRO PÉ	2	2%
GUINCHO SANGRIA	1	1%
GUINCHO SEGUNDO PÉ	3	2%
GUINCHO SUÍNOS	2	2%
INSENSIBILIZADOR BOVINOS	4	3%
INSENSIBILIZADOR SUÍNOS	4	3%
GUINCHO DE EMERGENCIA BOVINOS	1	1%
MANGUEIRA LIMPEZA	1	1%
MANGUEIRAS LAVAGEM DE CARÇAÇA	4	3%
NÓRIA BOVINOS	10	8%
NÓRIA SUÍNOS SUBIDA	9	7%
RASPADOR DE CARÇAÇA	1	1%
SERRA DE CARÇAÇA	7	6%
SERRA DE CHIFRE	12	10%
SERRA DE PEITO	6	5%
HIDRAULICA ABATE	22	18%
ESTRUTURA ABATE	5	4%
ELÉTRICA ABATE	4	3%
TOTAL	121	100%

Fonte: Gerado pelo próprio autor

Com base na tabela 4, acima, o equipamento escolhido para análise foi a Nória Bovinos. Este equipamento trata-se de um transportador aéreo de carcaça, último equipamento de linha da sala de abate. O correto funcionamento deste equipamento é fundamental, caso contrário a linha de produção do abate é interrompida, atrasando a entrada das carcaças na câmara fria, o que no dia seguinte gera atraso no início da produção no setor de desossa, tendo em vista que as carcaças devem ser resfriadas por no mínimo 18 horas para que atinjam a temperatura ideal para início de manuseio da proteína sem impactar fatores de qualidade do produto.

A figura 19, abaixo, mostra o equipamento.

Figura 19: Transportador aéreo de carcaça (Nória Bovinos)



Fonte: Gerado pelo próprio autor.

Basicamente o equipamento é composto pelos seguintes componentes:

- Grupo Moto-Redutor
- Corrente Dupla
- 4 coroas (Tração nas correntes)
- Eixos de ligação entre as correntes

- 4 mancais
- 4 rolamentos
- Eixo motor
- Eixo contra motor

3.2.2 Segunda fase: Levantamento de histórico de manutenção do equipamento escolhido

Definido o equipamento a ser estudado, nesta fase houve o levantamento de dados sobre o equipamento. A tabela 5 abaixo, mostra 10 interações documentadas sobre a falha evidenciando o tempo entre falhas (TTF) e o tempo de reparo (TTR).

Tabela 5: MTTF e MTTR

Data da falha	TTF [horas]	TTR [Horas]
03/04/2020	49,2	0,6
06/04/2020	16,4	0,7
09/04/2020	32,8	0,6
14/04/2020	32,8	0,8
04/05/2020	114,8	0,7
06/05/2020	24,6	0,5
19/05/2020	82	1
27/05/2020	57,4	2
19/06/2020	147,6	1
06/07/2020	98,4	0,7

Fonte: Gerado pelo próprio autor

4 RESULTADOS E ANÁLISES

4.1 DETERMINAÇÃO DOS FATORES DE FORMA (β) E DE ESCALA (η)

Para a obtenção dos valores de fator de forma (β) e fator de escala (η) foi utilizado o conceito de probabilidade Median Rank com a utilização do software Microsoft Excel. Para isso, foi ordenado os valores do tempo médio entre falhas (TTF) em ordem crescente como mostra a tabela 6 abaixo:

Tabela 6: MTTF em ordem crescente

TTF (Ordem Crescente)	Rank
16,4	1
24,6	2
32,8	3
32,8	4
49,2	5
57,4	6
82	7
98,4	8
114,8	9
147,6	10

Fonte: Gerado pelo próprio autor

Segundo ALVES (2011), o Median Rank pode ser calculado através da relação:

$$\text{Median Rank} = \frac{(\text{Rank} - 0,3)}{((\text{Tamanho da amostra}) + 0,4)} \quad (22)$$

A tabela 5, abaixo, mostra a tabela 7, acrescida da coluna do Median Rank:

Tabela 7: Median Rank

TTF (Ordem Crescente)	Rank	Median Rank
16,4	1	0,067307692
24,6	2	0,163461538
32,8	3	0,259615385
32,8	4	0,355769231
49,2	5	0,451923077
57,4	6	0,548076923
82	7	0,644230769
98,4	8	0,740384615
114,8	9	0,836538462
147,6	10	0,932692308

Fonte: Gerado pelo próprio autor

A partir da tabela 7, foram realizados cálculos no próprio software Excel gerando a tabela 8, abaixo. As fórmulas utilizadas para gerar os dados das colunas estão evidenciados na primeira linha de cada coluna.

Tabela 8: Resultados de cálculos preliminares

TTF (Ordem Crescente)	Rank	Median Rank	1/(1- Median Rank)	ln(ln(1/(1-median Rank)))	ln(TTF)
16,4	1	0,067307692	1,072164948	-2,663843085	2,797281335
24,6	2	0,163461538	1,195402299	-1,72326315	3,202746443
32,8	3	0,259615385	1,350649351	-1,202023115	3,490428515
32,8	4	0,355769231	1,552238806	-0,821666515	3,490428515
49,2	5	0,451923077	1,824561404	-0,508595394	3,895893623
57,4	6	0,548076923	2,212765957	-0,230365445	4,050044303
82	7	0,644230769	2,810810811	0,032924962	4,406719247
98,4	8	0,740384615	3,851851852	0,299032932	4,589040804
114,8	9	0,836538462	6,117647059	0,593977217	4,743191484
147,6	10	0,932692308	14,85714286	0,992688929	4,994505912

Fonte: Gerado pelo Próprio Autor

Utilizando a ferramenta “Análise de Dados” do software Microsoft Excel, foi possível determinar os valores de fator de forma (β) e fator de escala (η) (destacados em vermelho), através da regressão linear das colunas 5 e 6 da tabela 8, como mostra a figura 20, abaixo:

Figura 20: Dados Regressão Linear

RESUMO DOS RESULTADOS								
<i>Estadística de regressão</i>								
R múltiplo	0,982279036							
R-Quadrado	0,964872104							
R-quadrado ajustado	0,960481117							
Erro padrão	0,221661505							
Observações	10							
ANOVA								
	gl	SQ	MQ	F	F de significação			
Regressão	1	10,79662833	10,79662833	219,73923	4,2234E-07			
Resíduo	8	0,393070581	0,049133823					
Total	9	11,18969891						
	Coefficientes	Erro padrão	Stat t	valor-P	95% inferiores	% superior	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Interseção	-6,561833953	0,413358566	-15,8744356	2,4817E-07	-7,515040516	-5,60863	-7,515040516	-5,608627389
ln(MTTF)	1,522611706	0,102715354	14,8236038	4,2234E-07	1,285749676	1,75947	1,285749676	1,759473736
Fator de Forma	1,522611706							
Fator de Escala	74,41006116							

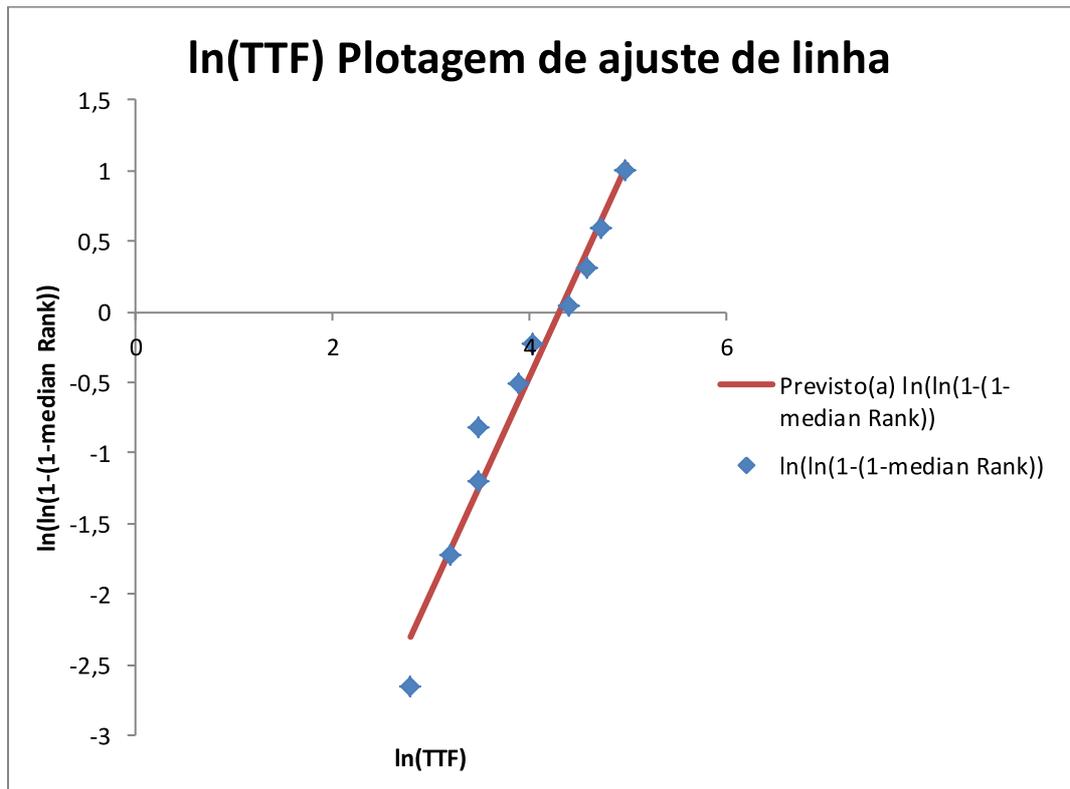
Fonte: Gerado pelo próprio autor

O fator de forma (β) = 1,522611706 indica taxa de falha crescente. Sendo assim, pode-se determinar que o equipamento encontra-se na fase denominada como Mortalidade senil, cujo comportamento da taxa de falha é ilustrado na Figura 7, apresentada o tópico 2.4.3.

O fator de escala (η) é uma medida de escala, ou programação, em relação à distribuição de dados. Ele representa o momento em que o equipamento tem 63,2% de probabilidade de falhar. Observa-se que o fator de escala (η) para o caso em estudo é 74,41. Com isso, é possível determinar que a partir de 74,41 horas de uso, a probabilidade de o equipamento se manter em correto funcionamento sem falhar é de apenas 36,8%

Analisando a Figura 20, percebe-se que o cálculo da regressão linear corrobora com a confiabilidade dos dados. Quanto maior o valor de F melhor será a curva de adequação a reta. Ademais, verifica-se que o valor de F de significação é muito pequeno (na ordem de 10^{-7}), o que indica que obteve-se um cálculo de probabilidade significativamente preciso. Ademais, a medida estatística R-quadrado é de 96,49% o que corrobora com o fato de que o modelo de regressão se ajusta muito bem aos dados coletados. A Figura 21, abaixo representa o ajuste a curva pela regressão linear.

Figura 21: Ajuste a curva pela regressão linear



Fonte: Gerado pelo próprio autor

4.2 PROBABILIDADE DE FALHA $F(t)$ E CONFIABILIDADE DO EQUIPAMENTO $R(t)$

Com os valores de os valores de fator de forma (β) e fator de escala (η) podemos determinar a probabilidade de falha $F(t)$ e confiabilidade $R(t)$, utilizando o método de distribuição de Weibull, apresentadas nos tópicos 2.5.2.2 e 2.5.2.3 respectivamente.

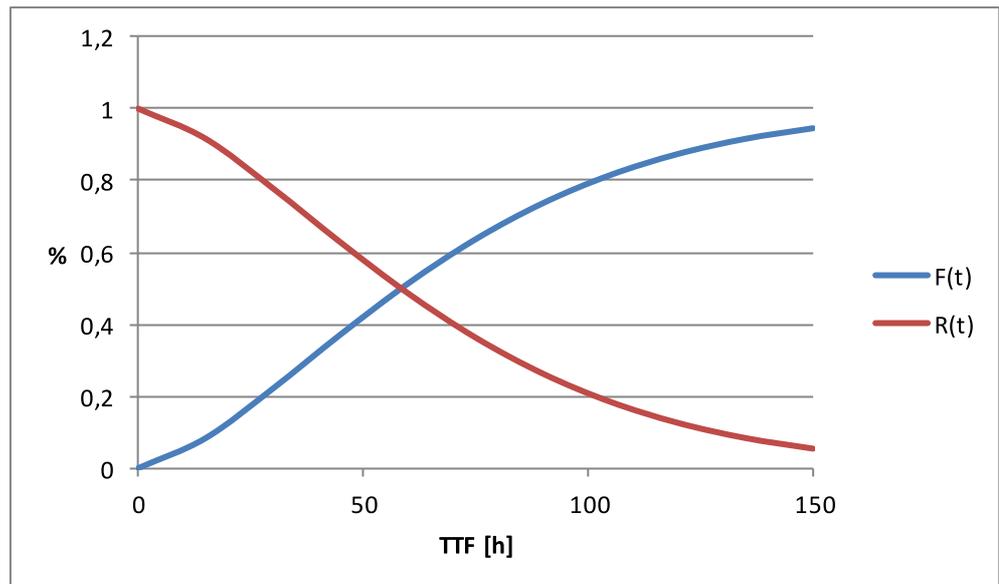
Tabela 9: Probabilidade de Falha F(t) e Confiabilidade R(t)

TTF [h]	F(t)	R(t)
0	0	1
15	0,083588251	0,916411749
30	0,221815854	0,778184146
45	0,371851105	0,628148895
60	0,513516602	0,486483398
75	0,63654383	0,36345617
90	0,737086886	0,262913114
105	0,815359475	0,184640525
120	0,873842534	0,126157466
135	0,915994077	0,084005923
150	0,94540766	0,05459234
165	0,965334417	0,034665583
180	0,978469281	0,021530719
195	0,986908079	0,013091921
210	0,992200279	0,007799721
225	0,995443889	0,004556111

Fonte: Gerado pelo próprio autor

A figura 22, abaixo, representa graficamente os dados contidos na tabela 7:

Figura 22: Gráfico F(t) e R(t) X tempo



Fonte: Gerado pelo próprio autor

Analisando a figura 23, percebe-se um aumento na taxa de falhas em detrimento da confiabilidade do equipamento. Essa tendência é natural para qualquer ativo. O fato mais importante a se observar é a rápida queda na confiabilidade concomitante com o rápido aumento na probabilidade de falhas em poucas horas de operação, o que corrobora com o fato de que o equipamento encontra-se na fase senil (fator de forma $(\beta) > 1$).

4.3 ANÁLISE DE CUSTOS DE MANUTENÇÃO DO EQUIPAMENTO

4.3.1 *Custo médio por manutenção*

Para estimar o custo de manutenção foram considerados os seguintes fatores:

- Custo de mão de obra;
- Custo com encargos trabalhistas;
- Custo com materiais;
- Lucro cessante

Diante destes fatores e munidos da Tabela 10, abaixo que mostra o tempo para reparo do equipamento (TTR) foi possível estimar o custo da manutenção preventiva (CMP) de R\$ 108,14 e o custo da manutenção corretiva (CMC) de R\$ 811,28.

Tabela 10: Tempo médio para reparo (MTTR)

Data da falha	TTR [Horas]
03/04/2020	0,6
06/04/2020	0,7
09/04/2020	0,6
14/04/2020	0,8
04/05/2020	0,7
06/05/2020	0,5
19/05/2020	1
27/05/2020	2
19/06/2020	1
06/07/2020	0,7

Fonte: Gerado pelo próprio autor

4.3.2 Definição do ponto ótimo de manutenção

Para avaliar o custo das manutenções (preventivas e corretivas) em função do período de funcionamento do equipamento e definir o ponto ótimo de manutenção, utilizou-se a Função Distribuição Acumulada de Weibull de 2 parâmetros até o tempo t , apresentada no item 2.5.2.2. O intervalo escolhido foi determinado através dos dados contidos na Tabela 9, que mostram que em um período de 225 horas haverá 100% de probabilidade de falha no equipamento. Diante disso, a avaliação foi baseada com intervalos de 5 horas (Coluna 1).

O custo da manutenção preventiva (coluna 6) foi determinado através da seguinte expressão:

$$CP = \frac{CMP.R(t)}{\int_0^t R(t).dt} \quad (23)$$

Onde:

CP: Custo de manutenção preventiva por hora de uso do equipamento

CMP: Custo médio de manutenção preventiva (item 4.3.1)

R(t): Função Confiabilidade (item 2.5.2.3)

O custo da manutenção corretiva (coluna 7) foi determinado através da seguinte expressão:

$$CC = \frac{CMC.F(t)}{\int_0^T R(t).dt} \quad (24)$$

Onde:

CC: Custo de Manutenção corretiva por hora de uso do equipamento

CMC: Custo médio de manutenção corretiva (item 4.3.1)

F(t): Função Distribuição Acumulada de Weibull de 2 parâmetros até o tempo t, apresentada no (item 2.5.2.2)

O custo total de manutenção (coluna 7) é determinado pela seguinte expressão:

$$CT = CP + CC \quad (25)$$

A Integral de R(t) (coluna 5) foi definida através da regra do trapézio composta (coluna 4).

Os valores dependentes da Função Distribuição Acumulada de Weibull de 2 parâmetros até o tempo t (coluna 2) foram definidos através da função “DIST.WEIBULL” do software Microsoft Excel cuja sintaxe é :

“=DIST.WEIBULL(Tempo; Fator de Escala; Fator de Forma; Verdadeiro)”

A Tabela 11, abaixo, contém os resultados de todos os cálculos e informações supracitados. A tabela completa encontra-se no Apêndice C.

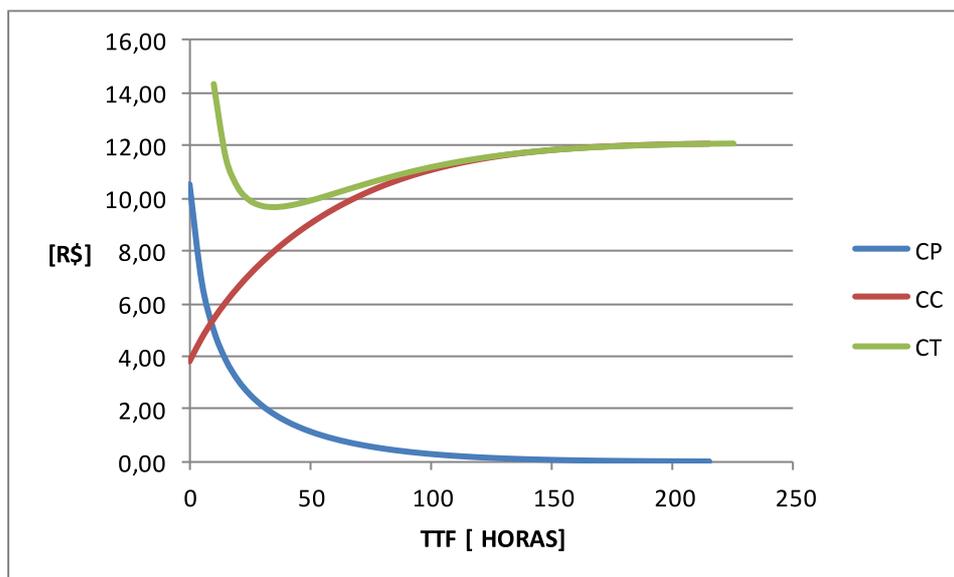
Tabela 11: Custos das manutenções preventivas e corretivas por tempo de funcionamento do equipamento

TTF	F(t)	R(t)	Regra do Trapézio	Integral de R(t)	CP	CC	CT
0	0	1					
5	0,016253173	0,983746827	4,959367067				
10	0,045989648	0,954010352	4,844392948	9,803760014	10,52	3,81	14,33
15	0,083588251	0,916411749	4,676055254	14,47981527	6,84	4,68	11,53
20	0,126518255	0,873481745	4,474733736	18,954549	4,98	5,42	10,40
25	0,173040122	0,826959878	4,251104057	23,20565306	3,85	6,05	9,90
30	0,221815854	0,778184146	4,01286006	27,21851312	3,09	6,61	9,70
35	0,271769492	0,728230508	3,766036636	30,98454976	2,54	7,12	9,66
40	0,322021412	0,677978588	3,515522741	34,5000725	2,13	7,57	9,70
45	0,371851105	0,628148895	3,265318708	37,76539121	1,80	7,99	9,79
50	0,420672736	0,579327264	3,018690397	40,7840816	1,54	8,37	9,90

Fonte: Gerado pelo próprio autor

A figura 23, abaixo, mostra o gráfico contendo a relação entre os custos de manutenção:

Figura 23: Gráfico da relação entre os custos de manutenção



Fonte: Gerado pelo próprio autor

Analisando o gráfico da figura 23 observa-se um ponto de inflexão na curva do custo total de manutenção (CT) este valor mínimo caracteriza o ponto ótimo, ou

seja, o intervalo de operação indicado para que haja manutenção preventiva no equipamento. Analisando a tabela 11, constata-se que este intervalo é de 35 horas de operação (linha destacada em vermelho).

5 CONCLUSÃO

O objetivo central do trabalho foi atingido de forma satisfatória, uma vez que os modelos de regressão e de distribuição de probabilidade se ajustaram muito bem a realizada do equipamento, permitindo a completa análise de sua real situação, gerando resultados de acordo com o esperado tendo em vista a literatura sobre o assunto e a experiência do autor deste trabalho na indústria em estudo.

Constatou-se quantitativamente que apesar de ser um equipamento relativamente novo (aproximadamente 3 anos de uso), o fato do coeficiente de forma (β) = 1,52 indica que a taxa de falhas é crescente (envelhecimento). Isso pode ser explicado devido ao fato de o equipamento estar inserido em um ambiente húmido, que precisa ser higienizado diariamente com produtos químicos como soluções de sais, bases alcalinas, ácidos minerais e orgânicos.

Apesar de o tempo determinado para atividades de manutenção proativa do equipamento ser um valor muito baixo, é possível adequar esse intervalo de tempo a realidade da empresa pelos seguintes fatores. O equipamento trabalha em média 8 horas diárias, totalizando 40 horas semanais. Analisando a tabela 11 percebe-se que há uma variação muito pequena entre os custos totais de 35 e 40 horas. Sendo assim, indicam-se atividades de manutenção preventiva no equipamento no final da semana (sexta feira, após o turno ou sábado).

Diante disso, sugere-se algumas medidas a fim de aumentar a disponibilidade do equipamento, entre elas: Instalação de um inversor de frequência no comando elétrico de partida do equipamento o que permitirá melhor controle da velocidade do equipamento garantindo melhor usabilidade pelo operador além de permitir uma partida mais suave para o equipamento. Substituição eixos transportadores da corrente de aço ABNT 1045 por aço inox martensítico (foi feito ensaio destrutivo nestes componentes e os de aço inox martensítico demonstraram maior resistência a impactos) além de um plano de manutenção preventiva semanal cuja frequência foi determinada no item 4.3.2.

A escolha o software Microsoft Excel, que é amplamente empregado na indústria em geral, permitiu que o trabalho tivesse resultados confiáveis sem a necessidade da aquisição de softwares de manutenção centrada na confiabilidade de custos elevados.

Por fim, sugere-se, como continuidade do trabalho, a análise individual de cada componente do equipamento, definindo seus modos e efeitos de falha, reiniciando a coleta de dados com ênfase em cada componente, o que possibilitará a definição de seus pontos ótimos (menor custo) de manutenção proativa.

REFERÊNCIAS

ABRAMAN - Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos. (27 de fevereiro de 2016). Fonte: <http://www.abraman.org.br/>

Alves, L. H. (2011). Notas de Aula: Gestão da Manutenção. Universidade Federal de Juiz de Fora, (p. 163).

ASM HANDBOOK. (2002). Failure Analysis and Prevention, vol 11.

Bran, R., & Souza, Z. d. (1969). Máquinas de Fluxo: turbinas, bombas e ventiladores. Rio de Janeiro: AO LIVRO TÉCNICO S.A.

Documento Nacional 2013. (18 de fevereiro de 2016). Fonte: ABRAMAN: <http://www.abraman.org.br/Arquivos/403/403.pdf>

Fogliatto, F. S., & José Luis Duarte Ribeiro. (2011). Confiabilidade e Manutenção Industrial. Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO.

Kardec, A., & Júlio Nascif. (2009). Manutenção Função Estratégica. Rio de Janeiro: Qualitymark.

Monchy, F. (1987). A Função Manutenção. São Paulo: DURBAN.

Moubray, J. (1997). Reliability Centered Maintenance.

Neto, L. d., & Tavares, D. M. (2015). Aplicabilidade da MCC em uma Empresa de Mineração. XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção.

Otani, M., & Machado, W. V. (2008). A Proposta de Desenvolvimento de Gestão da Manutenção Industrial na Busca da Excelência ou Classe Mundial. Revista Gestão Industrial, 01-16.

Pereira, M. J. (2011). Engenharia de Manutenção: teoria e prática. Rio de Janeiro: Ciência Moderna. 61

Rosa, E. B. (2006, p. 530). Indicadores de Desempenho e Sistema ABC - O uso de indicadores para uma gestão eficaz do custeio de atividades de manutenção. São Paulo: Universidade de São Paulo.

Sellito, M. A., Borchardt, M., & Araújo, D. R. (23 de outubro de 2002). Manutenção Centrada em Confiabilidade. Aplicando uma Abordagem Quantitativa. XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, p. 8.

Simões, J. A. (2011, p.168). Indicadores de Performance em manutenção industrial. Utilização, valor e disponibilidade de informação. Coimbra: Universidade de Coimbra.

Siqueira, I. P. (2005). Manutenção Centrada na Confiabilidade - Manual de Implementação. Qualitymark.

Xenos, H. G. (1998). Gerenciando a Manutenção Produtiva. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial.

**Apêndice A: Formulário de solicitação de manutenção corretiva
(SMC)**

SOLICITAÇÃO DE MANUTENÇÃO CORRETIVA		Situação:
Nome do solicitante:	Data da solicitação:	Hora da solicitação:
Setor Solicitante:		
Equipamento:		
Descrição do problema (IMPORTANTE):		
Afeta a produção?	<input type="checkbox"/> SIM	<input type="checkbox"/> NÃO
Afeta a qualidade?	<input type="checkbox"/> SIM	<input type="checkbox"/> NÃO
Afeta a segurança?	<input type="checkbox"/> SIM	<input type="checkbox"/> NÃO
Afeta o meio ambiente?	<input type="checkbox"/> SIM	<input type="checkbox"/> NÃO

PARA USO DA MANUTENÇÃO		
Foi gerada ordem de serviço?		
<input type="checkbox"/> SIM	N° _____	
<input type="checkbox"/> NÃO	Motivo:	
Responsável pela triagem:	Data:	Hora:

Apêndice B: Ordem de Serviço de Manutenção (OS)

ORDEM DE SERVIÇO DE MANUTENÇÃO		Nº _____
Setor:	Equipamento:	Código do Equipamento:
Requistante:	Data:	Hora:
Motivo da falha:		
Materiais utilizados (especificar tipo/modelo/tamanho):		
Observações:		
Executado por:		
INÍCIO	Data:	Hora:
FIM	Data:	Hora:

Apêndice C: Custos das manutenções preventivas e corretivas por tempo de funcionamento do equipamento

Tabela 11: Custos das manutenções preventivas e corretivas por tempo de funcionamento do equipamento

TTF	F(t)	R(t)	Regra do Trapézio	Integral de R(t)	CP	CC	CT
0	0	1					
5	0,016253173	0,983746827	4,959367067				
10	0,045989648	0,954010352	4,844392948	9,803760014	10,52	3,81	14,33
15	0,083588251	0,916411749	4,676055254	14,47981527	6,84	4,68	11,53
20	0,126518255	0,873481745	4,474733736	18,954549	4,98	5,42	10,40
25	0,173040122	0,826959878	4,251104057	23,20565306	3,85	6,05	9,90
30	0,221815854	0,778184146	4,01286006	27,21851312	3,09	6,61	9,70
35	0,271769492	0,728230508	3,766036636	30,98454976	2,54	7,12	9,66
40	0,322021412	0,677978588	3,515522741	34,5000725	2,13	7,57	9,70
45	0,371851105	0,628148895	3,265318708	37,76539121	1,80	7,99	9,79
50	0,420672736	0,579327264	3,018690397	40,7840816	1,54	8,37	9,90
55	0,468017034	0,531982966	2,778275574	43,56235718	1,32	8,72	10,04
60	0,513516602	0,486483398	2,546165909	46,10852309	1,14	9,04	10,18
65	0,556893244	0,443106756	2,323975384	48,43249847	0,99	9,33	10,32
70	0,59794661	0,40205339	2,112900365	50,54539884	0,86	9,60	10,46
75	0,63654383	0,36345617	1,9137739	52,45917274	0,75	9,84	10,59
80	0,672609969	0,327390031	1,727115503	54,18628824	0,65	10,07	10,72
85	0,706119229	0,293880771	1,553177005	55,73946524	0,57	10,28	10,85
90	0,737086886	0,262913114	1,391984712	57,13144996	0,50	10,47	10,96
95	0,765561926	0,234438074	1,243377971	58,37482793	0,43	10,64	11,07
100	0,7916204	0,2083796	1,107044185	59,48187211	0,38	10,80	11,18
105	0,815359475	0,184640525	0,982550312	60,46442242	0,33	10,94	11,27
110	0,836892156	0,163107844	0,869370924	61,33379335	0,29	11,07	11,36
115	0,856342681	0,143657319	0,766912909	62,10070626	0,25	11,19	11,44
120	0,873842534	0,126157466	0,674536964	62,77524322	0,22	11,29	11,51
125	0,889527048	0,110472952	0,591576045	63,36681927	0,19	11,39	11,58
130	0,903532563	0,096467437	0,517350972	63,88417024	0,16	11,47	11,64
135	0,915994077	0,084005923	0,451183401	64,33535364	0,14	11,55	11,69
140	0,92704336	0,07295664	0,392406408	64,72776005	0,12	11,62	11,74
145	0,936807477	0,063192523	0,340372908	65,06813296	0,11	11,68	11,79
150	0,94540766	0,05459234	0,294462158	65,36259511	0,09	11,73	11,82
155	0,952958508	0,047041492	0,254084579	65,61667969	0,08	11,78	11,86
160	0,959567446	0,040432554	0,218685113	65,83536481	0,07	11,82	11,89
165	0,965334417	0,034665583	0,187745341	66,02311015	0,06	11,86	11,92
170	0,970351762	0,029648238	0,160784551	66,1838947	0,05	11,89	11,94
175	0,974704259	0,025295741	0,137359947	66,32125465	0,04	11,92	11,96

180	0,978469281	0,021530719	0,11706615	66,4383208	0,04	11,95	11,98
185	0,981717056	0,018282944	0,099534156	66,53785495	0,03	11,97	12,00
190	0,984510997	0,015489003	0,084429868	66,62228482	0,03	11,99	12,01
195	0,986908079	0,013091921	0,071452311	66,69373713	0,02	12,01	12,03
200	0,988959261	0,011040739	0,060331649	66,75406878	0,02	12,02	12,04
205	0,990709918	0,009290082	0,050827052	66,80489583	0,02	12,03	12,05
210	0,992200279	0,007799721	0,042724508	66,84762034	0,01	12,04	12,05
215	0,993465871	0,006534129	0,035834624	66,88345496	0,01	12,05	12,06
220	0,994537946	0,005462054	0,029990457	66,91344542	0,01	12,06	12,07
225	0,995443889	0,004556111	0,025045413	66,93849083	0,01	12,06	12,07

Fonte: Gerada pelo próprio autor

ANEXO A – TERMO DE AUTENTICIDADE



UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA

Termo de Declaração de Autenticidade de Autoria

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

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

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

Juiz de Fora, 16 de março de 2021

Christian Barros de Andrade
NOME LEGÍVEL DO ALUNO (A)

201371041
Matrícula

ASSINATURA

105.743.086-28
CPF

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

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