



UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA

ADILSON TADEU LIMA TALMA

**UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DA MANUTENÇÃO CENTRADA NA
CONFIABILIDADE APLICADA NO SETOR DA FUNDIÇÃO DE UMA
INDÚSTRIA METALÚRGICA DE GRANDE PORTE DO SUDESTE DE MINAS
GERAIS**

JUIZ DE FORA

2021



UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA

ADILSON TADEU LIMA TALMA

**UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DA MANUTENÇÃO CENTRADA NA
CONFIABILIDADE APLICADA NO SETOR DA FUNDIÇÃO DE UMA
INDÚSTRIA METALÚRGICA DE GRANDE PORTE DO SUDESTE DE MINAS
GERAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Departamento de Engenharia de Produção e
Mecânica da Universidade Federal de Juiz de
Fora, para a obtenção do título Engenheiro
Mecânico.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Henrique Dias Alves

JUIZ DE FORA

2021

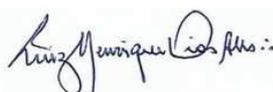
ADILSON TADEU LIMA TALMA

**UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DA MANUTENÇÃO CENTRADA NA
CONFIABILIDADE APLICADA NO SETOR DA FUNDIÇÃO DE UMA
INDÚSTRIA METALÚRGICA DE GRANDE PORTE DO SUDESTE DE MINAS
GERAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado
a Universidade Federal de Juiz De Fora, como
parte das exigências para obtenção do título de
Engenheiro Mecânico.

JUIZ DE FORA, 15 de Março de 2021

BANCA EXAMINADORA



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



Prof. Dr. Carlos Renato Pagotto
Universidade Federal de Juiz de Fora



Prof. Dr. Marcos Martins Borges
Universidade Federal de Juiz de Fora

FICHA CATALOGRÁFICA

Talma, Adilson Tadeu Lima.

Utilização de técnicas da manutenção centrada na confiabilidade aplicada no setor da fundição de uma indústria metalúrgica de grande porte do sudeste de Minas Gerais / Adilson Tadeu Lima Talma. -- 2021.

75 f.

Orientador: Luiz Henrique Dias Alves
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia, 2021.

1. Manutenção. 2. Confiabilidade. 3. FMEA. 4. Fundição. 5. Lingoteira. I. Alves, Luiz Henrique Dias, orient. II. Título.

AGRADECIMENTOS

Sou grato a Deus que me deu forças todas as vezes na qual eu o recorri. Foram longos os anos dos quais passou pela minha cabeça que não era possível chegar ao fim dessa jornada, mas com muito esforço e dedicação Deus me ajudou a estar até onde estou, sendo a 1ª pessoa da minha família a alcançar o título de graduação em uma instituição federal.

Aos meus pais, Adilson e Madalena, pois mesmo com muitas dificuldades financeiras não sobrou amor e dedicação para proporcionar o melhor para os seus filhos, hoje todos graduados. Não tive cobranças para trabalhar e ajudar nas despesas familiares, pelo contrário, me recordo de inúmeras vezes em que meus pais juntaram moedas para custear transporte ou alimentação, para não deixar de estar estudando. Agradeço também as minhas irmãs, Andréia e Andressa, que me apoiaram nos momentos difíceis da graduação e me deram apoio até mesmo financeiro para concluir essa etapa da minha vida. E ao meu vô, Licínio, no qual contribuiu com estímulos e ânimos.

A minha noiva e futura esposa, Rosiléia, que entrou em minha vida na reta final da graduação, mas teve participação imprescindível. O seu amor manifestado em conversas e atitudes, proporcionou estímulos nas inúmeras vezes que foi necessário me ausentar para que pudesse focar na obtenção desse título.

Aos meus amigos e familiares, que presenciaram todas as preocupações nesse período e com amor me estimularam a não desanimar dos meus sonhos. A minha tia Irani, merece meu agradecimento em especial, infelizmente não está entre nós, mas me deu apoio genuíno, para que o meu sucesso fosse alcançado nessa etapa.

A Universidade Federal de Juiz de Fora, que proporcionou ensino de qualidade e auxílios socioeconômicos, dos quais foram suficientes e necessários. Em especial aos professores da Faculdade de Engenharia, que foram fundamentais ao longo desses anos, além do professor Luiz Henrique Alves que aceitou o desafio, e cumpriu seu papel orientando com dedicação e incentivo.

RESUMO

Muitas alterações vêm ocorrendo ao longo das últimas décadas no que tange a manutenção industrial. Assim o engenheiro ganha destaque por ser o responsável pela implementação de ferramentas analíticas que proporcionem tomadas de decisão seguras para alcançar melhorias nos processos de manutenção dos equipamentos. Com a competitividade cada vez mais agressiva, são exigidos altíssimos níveis de disponibilidade e confiabilidade, para que as metas sejam atingidas. Em contrapartida, dificilmente as ferramentas tradicionais trazem resultado significativo, sendo necessário envolvimento de todas as camadas de uma empresa para que as mudanças cheguem até aos executantes. Nesse contexto o objetivo do estudo foi aplicar técnicas de manutenção centrada na confiabilidade no setor de fundição de uma indústria metalúrgica de grande porte do sudeste de Minas Gerais, de forma a alcançar melhorias na disponibilidade e confiabilidade de equipamento. Inicialmente foi realizado uma pesquisa bibliográfica acerca do assunto em questão, e posteriormente aplicou-se a metodologia Manutenção Centrada na Confiabilidade, afim de proporcionar maior competitividade e produtividade para a empresa. Mediante ao objetivo desse trabalho, conclui-se que este foi alcançado com êxito. Assim, foi possível proporcionar a aplicação de uma metodologia mundialmente conhecida em um setor extremamente crítico da metalúrgica, proporcionando melhores condições de trabalho e, uma nova visão mais ampla sobre o planejamento de manutenção. Por fim, o estudo promoveu maior desempenho aos equipamentos, de modo a proporcionarem maior confiabilidade, na qual estes foram projetados, proporcionando redução de custo com manutenções corretivas.

Palavras-chave: Manutenção; Confiabilidade; FMEA; Fundição; Lingoteira

ABSTRACT

Many changes have been occurring over the last few decades with regard to industrial maintenance. Thus, the engineer stands out for being responsible for implementing analytical tools that provide safe decision making to achieve improvements in equipment maintenance processes. With increasingly aggressive competitiveness, extremely high levels of availability and reliability are required in order to achieve the goals. In contrast, traditional tools are unlikely to bring significant results, requiring the involvement of all layers of a company so that the changes reach the executors. In this context, the objective of the study was to apply techniques of centered maintenance and reliability in the sector and foundry of a large metallurgical industry in the southeast of Minas Gerais, in order to achieve improvements in the availability and reliability of equipment. Initially, a bibliographic research was carried out on the subject in question, and later the Reliability Centered Maintenance methodology was applied, in order to provide greater competitiveness and productivity for the company. Based on the objective of this work, it is concluded that this was successfully achieved. So, it was possible to provide the application of a worldwide known methodology in an extremely critical sector of metallurgy, providing better working conditions and a new, broader view on maintenance planning. Finally, the study promoted greater equipment performance, in order to provide greater reliability, in which they were designed, providing cost reduction with corrective maintenance.

Keywords: Maintenance; Reliability; FMEA; Foundry; Ingot Mold

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tipos de Manutenção.....	22
Figura 2 - Manutenção Corretiva Não Planejada.....	23
Figura 3 - Resultados x Tipo de Manutenção.....	27
Figura 4 - Curva Característica da Vida de Equipamentos (Curva da Banheira).....	30
Figura 5 - Organograma Industrial.....	36
Figura 6 - Iceberg representando causas invisíveis gerando uma falha visível.....	39
Figura 7 - Os 9 pilares de sustentação do desenvolvimento do TPM.....	40
Figura 8 - Fluxograma da estratégia da aplicação do RCM no estudo de caso.....	50
Figura 9 - Fluxograma produtivo da empresa.....	54
Figura 10 - Levantamento de Falhas Lingoteira 1 em 2018.....	56
Figura 11 - Levantamento de Falhas Lingoteira 1 em 2019.....	56
Figura 12 - Levantamento de Falhas Lingoteira 1 em 2020.....	57
Figura 13 - Levantamento de Falhas Lingoteira 2 em 2018.....	57
Figura 14 - Levantamento de Falhas Lingoteira 2 em 2019.....	57
Figura 15 - Levantamento de Falhas Lingoteira 2 em 2020.....	58
Figura 16 - Consolidado de Falhas da Lingoteira 1.....	58
Figura 17 - Consolidado de Falhas da Lingoteira 2.....	58
Figura 18 - Consolidado de Falhas da Lingoteira 1 e 2.....	59
Figura 19 - Fluxograma de Fundição.....	59
Figura 20 - Consolidado da Disponibilidade Lingoteira 1 e 2.....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Evolução da Manutenção.....	21
Tabela 2 - Classificação do OEE e o Reflexo da Competitividade	33
Tabela 3 - Desenvolvimento da Manutenção.....	37
Tabela 4 - Grandes perdas da manutenção.....	39
Tabela 5 - 12 etapas da implementação do TPM.....	41
Tabela 6 - Componentes do RPN.....	49
Tabela 7 - Categoria de Riscos.....	62
Tabela 8 - Criticidade dos riscos.....	62
Tabela 9 - Consolidado das ações de manutenção	62
Tabela 10 - Componentes e classificação dos consolidados	64

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	12
1.2 JUSTIFICATIVA.....	13
1.3 ESCOPO DO TRABALHO	14
1.4 ELABORAÇÃO DOS OBJETIVOS.....	14
1.5 DEFINIÇÃO DE METODOLOGIA	15
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	16
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 HISTORICO	17
2.2 EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO	18
2.3 TIPOS DE MANUTENÇÃO	22
2.3.1 A Manutenção Corretiva	22
2.3.2 Manutenção Preventiva	24
2.3.4 Manutenção Preditiva	25
2.3.5 Manutenção Detectiva	26
2.4 ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO	26
2.5 INDICADORES DE MANUTENÇÃO	28
2.5.1 Engenharia De Confiabilidade	28
2.5.2 Disponibilidade	29
2.5.3 Taxa de Falhas	29
2.5.4 Tempo Médio entre Falhas	31
2.5.5 Tempo Médio para Reparo	31
2.5.6 Eficiência operacional máxima ou <i>Overall Equipment Effectiveness (Oee)</i>	32
2.5.7 Backlog	33
2.5.7 Distribuição De <i>Weibull</i>	34
2.5.8 PCM (Planejamento e Controle da Manutenção)	35
2.5.9 Qualidade da Manutenção	36

2.6	GESTÃO DE MANUTENÇÃO	38
2.6.1	TPM (Total Productive Maintenance) ou Manutenção Produtiva Total	38
2.7	RCM (RELIABILITY-CENTERED MAINTENANCE) OU MCC (MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE)	42
2.7.1	Questões básica do RCM	43
2.7.2	Implementação	45
2.7.3	Análises de Modos e Efeitos de Falhas (FMEA)	48
3.	ESTUDO DE CASO	50
3.1	DETERMINAÇÃO DA ESTRATÉGIA DE DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA	50
3.2	EMPRESA E SETOR DE ESTUDO	52
3.3	EQUIPAMENTO DE ESTUDO	54
3.4	ANÁLISE ATUAL DO EQUIPAMENTO	54
3.5	LEVANTAMENTO DO HISTORICO DE FALHAS	55
3.6	DEFINIÇÃO DOS ITENS CRITICOS	56
3.7	ANALISAR OS MODOS DE FALHAS RECORRENTES	59
3.7.1	Elaboração do FMEA	60
3.7.2	Classificação das Falhas	60
3.8	DEFINIÇÃO DAS ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO	61
4.	RESULTADOS	64
4.1	ANÁLISE DOS RESULTADOS ALCANÇADOS	64
5.	CONCLUSÃO	66
6.	REFÊRENCIAS BIBLIOGRAFICAS	67
	ANEXO I - CLASSIFICAÇÃO DAS FALHAS	69
	ANEXO II - PLANO DE ELABORAÇÃO DOS FMEA	71
	ANEXO A - TERMO DE AUTENTICIDADE	74
	ANEXO B - ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO	75

1. INTRODUÇÃO

A manutenção industrial ao longo dos últimos anos vem ganhando maior relevância, em relação aos processos e equipamentos e sua confiabilidade em cumprir as funções das quais foram projetados. Esta confiabilidade acarreta diretamente na redução de custos e aumento do rendimento, proporcionando maior lucratividade, pois qualquer tempo parado não planejado pode acarretar em perda de milhões de dinheiro dependendo do setor industrial.

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Muitas alterações vêm ocorrendo ao longo das últimas décadas na manutenção, dentre as quais destaca-se: aumento da quantidade e da diversidade dos tipos de equipamentos; complexidade nos projetos; novas técnicas de manutenção; novos enfoques de gestão da manutenção bem como suas responsabilidades; além da importância que deve ser dada a manutenção como uma ação estratégica dos resultados e aumento da competitividade perante o mercado.

Para que as ações dentro das empresas tenham uma rápida resposta é necessário a conscientização do quanto uma falha no equipamento pode afetar a segurança, meio ambiente e os custos da empresa. A qualidade que é cobrada em um mercado tão competitivo pode ser afetada devido ao não cumprimento da entrega de resultados esperados (KARDEC E NASCIF, 2009).

Profissionais como, gerentes e engenheiros estão adotando novas formas de pensar e agir para que as mudanças cheguem até os executantes, e realmente ocorram as mudanças que o mercado exige. Isto torna evidente as limitações que ainda existem nos sistemas de manutenção, independentemente, do quanto computadorizados os sistemas possam ser (MOUBRAY, 1997).

A MCC (Manutenção Centrada na Confiabilidade) é uma metodologia originada pela indústria aeronáutica americana na década de 60. Com a eficiência do método, anos depois aplicou-se este nas usinas nucleares,

refinarias de petróleo, dentre outras indústrias (RAUSAND, 1998). Esse método consiste em garantir através de uma manutenção, que um equipamento cumpra com as suas funções das quais ele foi criado por um período de tempo previsto na sua concepção, sob condições de utilização até que esse tempo chegue ao fim (MOUBRAY. 1997).

A ABRAMAN (Associação Brasileira de Manutenção) publicou em 2013 como ferramenta de melhoria continua, uma crescente utilização da MCC nas indústrias brasileiras desde 1997. Este método vem agregando aos equipamentos inúmeros benefícios para as organizações, tendo em vista uma melhor gestão dos seus ativos.

1.2 JUSTIFICATIVA

Dentro do âmbito da manutenção mecânica existem muitos desafios dos quais precisam ser resolvidos de forma definitiva. Quando ocorrem falhas nos equipamentos os profissionais precisam escolher de forma concisa quais técnicas irão utilizar para que possam realmente fazer uma escolha assertiva e resolver os problemas.

Hoje em dia, as empresas têm resolvido muito dos problemas com equipamentos de forma temporária utilizando recursos simples, baratos e rápidos afim de promover a funcionalidade dos processos, entretanto tais medidas nem sempre são eficientes. Com o tempo e uso dos equipamentos tais problemas se tornam frequentes, promovendo falhas no sistema, atraso nos processos e desgaste maior do equipamento, o que torna os custos maiores.

Esta pesquisa justifica-se pela necessidade de abordar a implantação da MCC na redução de falhas na indústria metalúrgica de zinco de grande porte em Juiz de Fora no estado de Minas Gerais. Embora a literatura apresente materiais relacionados aos conceitos técnicos e etapas de implantação da MCC, grande parte destina-se a sistemas e equipamentos que não possuem uma política de manutenção definida. De modo a obter resultados mais eficientes e estratégicos nos equipamentos críticos, de modo a obter resultados que proporcione maior confiabilidade aos equipamentos.

1.3 ESCOPO DO TRABALHO

Dentre outras práticas adotadas pelas empresas de grande porte, como forma de garantir a sua competitividade e a conseqüente perpetuação no mercado, está a prática da metodologia MCC que é usada para determinar os requisitos de manutenção de qualquer item físico no seu contexto operacional. Assim, o presente trabalho tem como escopo a aplicação e validação deste método no setor de fundição.

A competitividade aliada a qualidade que é requerida pelos que consomem o que é produzido, não permite que as falhas sejam permanentes. Com isso surge a importância de ter processos cada vez mais confiáveis dos quais exige um planejamento a ser seguido para que um equipamento funcione até chegar a sua vida útil, considerando que será necessário sempre ocorrer intervenções de forma preventiva para anteceder que os problemas não esperados aconteçam, causando prejuízos.

Nesse contexto, foi utilizado a metodologia Manutenção Centrada na Confiabilidade em um setor extremamente crítico de uma indústria do setor metalúrgico de Juiz de Fora, com o objetivo de identificar quais são os equipamentos e quais são os verdadeiros problemas raízes, que proporcionam atividades corretivas, além de viabilizar uma estratégia de manutenções nos equipamentos.

1.4 ELABORAÇÃO DOS OBJETIVOS

O objetivo principal desse trabalho é a utilização das técnicas da metodologia Manutenção Centrada na Confiabilidade no setor da Fundição de uma indústria metalúrgica de grande porte do sudeste de Minas Gerais.

Com a aplicação da MCC, é esperado que seja proporcionado melhores condições de funcionamento no setor estudado.

Utilizando a ferramenta FMEA e RPN, será possível identificar e priorizar, respectivamente, cada modo de falhas, se atentando para todas as

interferências entre os equipamentos. Além de definir os itens críticos que apresentam maior frequência de falha.

Através das classificações de cada modo de falha, será possível definir as estratégias de manutenção que melhor se adequam a cada componente, sendo atividades preditivas, preventivas ou corretivas.

Com a utilização dessas técnicas, será alcançado resultados que proporcionará informações concretas para que sejam implementadas no equipamento para melhorar a disponibilidade do processo e a confiabilidade de todos os componentes.

1.5 DEFINIÇÃO DE METODOLOGIA

Primeiramente realizou-se uma revisão bibliográfica sobre a manutenção industrial afim de subsidiar o assunto, apresentando os conceitos, métodos e ferramentas das quais podem ser utilizadas mediante aos problemas que podem surgir no setor estudado.

Foi definido algumas prerrogativas importantes para o desenvolvimento do estudo, afim de auxiliar no decorrer do trabalho, são elas: natureza da pesquisa, objetivos, abordagem e métodos.

Quanto a natureza foi classificada como pesquisa aplicada, pois seu objetivo é proporcionar conhecimentos para aplicação prática na solução problemas específicos (GERHARDT; SILVEIRA, 2009). Quanto aos objetivos foi considerado caráter descritivo por descrever certo fenômeno (TRIVIÑOS, 1987 citado por GERHARDT; SILVEIRA, 2009).

A pesquisa tem uma abordagem quantitativa pois amostras grandes constitui o retrato real do problema estudado. E o método adotado foi o estudo de caso, pois visa compreender com profundidade o como e o porquê de uma determinada ação (FONSECA, 2002).

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho foi dividido em cinco capítulos, sendo eles: Introdução, Referencial Teórico, Estudo de Caso, Resultados e Conclusões.

No capítulo de Introdução foi apresentado as considerações iniciais, as justificativas, escopo do trabalho, elaboração dos objetivos, definição da metodologia e a estrutura do trabalho.

No capítulo de Revisão Bibliográfica apresentou-se os conceitos básicos sobre a manutenção para formar um embasamento teórico para que ocorra o desenvolvimento do trabalho, dentre eles temos: histórico e evolução da manutenção, os tipos de manutenção, indicadores de manutenção, PCM (Planejamento e Controle da Manutenção), qualidade da manutenção e as metodologias de gestão da manutenção, bem como a MCC que foi a metodologia utilizada nesse trabalho.

No capítulo Estudo de Caso demonstrou-se a aplicação da técnica em estudo em uma indústria metalúrgica de zinco de grande porte do sudeste de Minas Gerais. Foi descrita uma breve explanação sobre a empresa, bem como todo o processo que resulta o produto final principal que é o zinco, abordou-se o setor no qual está inserido o equipamento de estudo. Posteriormente aplicou-se as ferramentas de manutenção centrada na confiabilidade.

No capítulo Resultados apresentou-se resultados obtidos mediante a aplicação da metodologia MCC bem como as possíveis ações necessárias para alcançar disponibilidade dos equipamento e melhoria da confiabilidade, conforme descrito nos objetivos pré-definidos no início do trabalho.

No capítulo Conclusões foi apresentado as conclusões obtidas no acerca da aplicação do método, através de uma análise crítica, além de propor novos trabalhos que objetivam o avanço da pesquisa dentro da empresa.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo tem como demonstrar os principais conceitos e definições de modo a contextualizar o tema relacionado a manutenção centrada na confiabilidade. Traz também em síntese o histórico industrial do qual originou a necessidade da existência da manutenção, bem como a evolução ao longo dos últimos anos e a inserção dessa nova gestão no âmbito nacional. Ainda assim, foi apresentado as principais ferramentas que auxiliam a manutenção e a abordagem estratégica da MCC.

2.1 HISTORICO

O termo manutenção é definido pela NBR 5462 como a “combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida”.

Já Kardec e Nascif (2009) considera como objetivo de “garantir a confiabilidade e a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações de modo a atender um processo de produção ou de serviço, com segurança, com preservação do meio ambiente e custos adequados”.

E para Mounchy (1987), “o termo manutenção tem sua origem no vocabulário militar, cujo sentido era manter nas unidades de combate, o efetivo e o material num nível constante”.

Mediante as diversas formas de definições é suficiente sintetizar que a manutenção é a conservação e reparo de determinados ativos atrelados sempre a atividades técnicas e administrativas, que proporcionam a disponibilidade de equipamentos e processos dos quais eles foram originados.

A manutenção está inserida em pequenas atividades de reparo, além de conservação de objetos e ferramentas de trabalho, sendo que esses serviços podem ser observados desde os primórdios das civilizações, através de atitudes mesmo que não atrelada ao assunto que é conhecido hoje. No entanto, no século XVI com as primeiras máquinas têxteis e a vapor, que a manutenção emerge devido à necessidade de pessoas que operassem e concertassem. Mas apenas

com a Revolução Industrial do século XVIII, na qual ocorreu a produção de bens e serviços, que a manutenção recebeu um melhor destaque se tornando parte integrante do processo (WIREBSK, 2007).

Após a manutenção assumir o seu papel de importância dentro dos grandes ambientes fabris, o grande desafio se originou em escolher quando e qual tipo de intervenção deverá ser realizada em um determinado equipamento. Pois apesar de inúmeras matérias para atestar a confiabilidade de produtos, na perspectiva da literatura de manutenção o tema ainda é escasso (MENDES; RIBEIRO, 2014).

Mediante a muitas informações e uma nova forma de lidar com os seus ativos, houve a necessidade de manter a produtividade e qualidade nos processos relacionados, e para isso existe a necessidade de todos os segmentos de planejamento, suprimentos, transporte e execução, estejam extremamente alinhados para cumprir com as demandas que surge nas áreas industriais.

2.2 EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO

A manutenção e todas as ferramentas existentes hoje que auxiliam a todos não podem ser referência para os primórdios da utilização desse conceito. Houveram muitos avanços que se decorreram ao longo dos anos que proporcionaram um crescimento nas técnicas utilizadas que trazem resultados financeiros para as grandes empresas.

Para Kardec e Nascif (2009), nos últimos 30 anos a manutenção passou por grandes mudanças, em consequências de fatores como o aumento do número e diversidade dos itens que precisam ser mantidos, projetos mais complexos, novas técnicas de manutenção, novos enfoques sobre a organização da manutenção e suas responsabilidades, além da importância da manutenção como função estratégica para melhoria dos resultados do negócio e aumento da competitividade das organizações. Ainda explicam que para eles a evolução pode ser dividida em quatro gerações.

A primeira geração envolve período que antecedeu a Segunda Guerra Mundial, nesse momento a indústria era pouco mecanizada sendo os equipamentos simples e sendo na maioria, superdimensionados. Aliado a

circunstância econômica da época a produtividade não era considerada uma prioridade, por consequência não era exigido que os processos tivessem uma manutenção sistematizada, com isso eram apenas realizados serviços de limpeza, lubrificação e reparo após a quebra, com isso percebe que a manutenção, era fundamentalmente, corretiva e não planejada. Nessa época existia o conceito que as falhas nos equipamentos ocorriam porque ao longo dos anos havia o desgaste vindo a sofrer falhas e quebras. E profissional ainda era visto como um executante de operação que pudesse realizar reparos caso fosse necessário (KARDEC e NASCIF, 2009).

Ainda de acordo com Kardec e Nascif (2009), a segunda geração ocorreu entre os anos de 50 e 70 do século passado, nesse período que se configura como pós Segunda Guerra Mundial. As pressões sofridas proporcionaram um forte aumento na mecanização e da complexidade das instalações industriais, em contrapartida houve uma diminuição de mão de obra. Nesse momento surgiu a necessidade de alcançar uma maior disponibilidade e confiabilidade, objetivando uma maior produtividade que a indústria naquele momento estava demandando. Esse conceito estava vinculado na ideia de que as falhas dos equipamentos poderiam e deveriam ser evitadas, o que resultou no conceito de manutenção preventiva das quais iniciou na década de 60 com intervenções nos equipamentos em intervalos fixos.

O custo da manutenção elevou em relação aos custos operacionais proporcionando um aumento dos sistemas de planejamento e controle da manutenção, além da busca para aumentar a vida útil dos itens físicos (KARDEC e NASCIF, 2009).

A terceira geração inicia após a década de 70, período no qual houve uma aceleração do processo de mudanças nas indústrias. Neste período foi criado o conceito *just in time*, que significava ter o estoque necessário que seria consumido, proporcionava paralizações na produção, das quais eram utilizadas para intervenções das quais geravam um elevado custo, que chegou até os produtos causando um elevado rigor na qualidade dos produtos finais, além de sensibilizar que falhas não programadas poderiam causar consequências na segurança e no meio ambiente. Tais exigências caso não fossem atendidas eram

impedidas de funcionar. Mas nesse período também houve avanços como a utilização da manutenção preditiva e desenvolvimento de softwares que permitiram um melhor acompanhamento do planejamento e do controle da manutenção. Com isso, os conceitos como disponibilidade e confiabilidade, se tornam fatores essenciais para que os objetivos daquele período fossem alcançados.

Na década de 90 surge o processo de Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC ou RCM em inglês) como uma ferramenta de auxílio. Contudo, a falta de interação entre as áreas de engenharia, manutenção e operação, impedia que os resultados fossem melhores, em consequência, as taxas de falhas eram elevadas (KARDEC e NASCIF, 2009).

A quarta geração foi marcada pela consolidação das atividades de Engenharia de Manutenção que tiveram como base a Disponibilidade, Confiabilidade e Manutenibilidade, as três maiores justificativas de sua existência.

A análise de falha ganhou grande destaque sendo considerada uma metodologia consagrada capaz de melhorar a performance dos equipamentos e da empresa. Com o objetivo de intervir o mínimo possível no funcionamento das plantas, as práticas da manutenção preditiva e monitoramento de condições de equipamentos ganham maior relevância. Em contrapartida acontece uma desaceleração da utilização de manutenção preventiva para evitar impactos negativos na produção, além da abominação de manutenções corretivas que passam a ser vista como indicador de ineficácia na manutenção.

A interação entre todas as partes para que o resultado final seja alcançado, é um fator que se destaca nessa época através do envolvimento das áreas de engenharia, manutenção e operação, para alcançar qualidade. E um fator de extrema importância que ganha destaque é o aprimoramento da contratação ou da terceirização, através de contratos a longo prazo, proporcionando parcerias confiáveis que resultam em maior disponibilidade e confiabilidade, nos serviços entregues.

A tabela 1, resume os fatores que se destacaram nas quatro gerações de manutenção:

Tabela 1- Evolução da Manutenção

EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO				
Ano	Primeira Evolução	Segunda Evolução	Terceira Evolução	Quarta Evolução
	Antes das décadas de 50	Entre as décadas de 50 e 70	Entre as décadas de 70 e 90	Após a década de 90 até os dias atuais
Aumento das expectativas em relação à manutenção	- Conserto após falha.	- Disponibilidade crescente - Maior vida útil do equipamento	- Maior confiabilidade - Maior disponibilidade - Melhor relação custo-benefício - Preservação do Meio Ambiente	- Maior confiabilidade - Maior disponibilidade - Preservação do meio ambiente - Segurança - Influir nos resultados do negócio - Gerenciar os ativos
Visão quanto a falha do equipamento	- Todos os equipamentos se desgastam com a idade e, por isso, falham	- Todos os equipamentos se comportam de acordo com a curva da banheira	- Existência de 6 padrões de falhas	- Reduzir drasticamente falhas prematuras
Mudança das técnicas de manutenção	- Habilidades voltadas para o reparo	- Planejamento manual da manutenção - Computadores grandes e lentos - Manutenção Preventiva (por tempo)	- Monitoramento da Condição - Manutenção Preditiva - Análise de custo - Computadores pequenos e rápidos - Softwares potentes - Grupos de trabalho multidisciplinares - Projetos voltados para a confiabilidade	- Aumento da Manutenção Preditiva e Monitoramento da Condição - Minimização nas Manutenções Preventiva e Corretiva não Planejada - Análise de Falhas - Técnicas de confiabilidade - Manutenibilidade - Engenharia de Manutenção - Projetos voltados para confiabilidade, manutenibilidade e Custo do Ciclo de Vida.

Adaptado Evolução da Manutenção – Fonte: Kardec e Nascif, 2009

2.3 TIPOS DE MANUTENÇÃO

Os tipos de manutenção são caracterizados pela maneira como é feita a intervenção nos equipamentos, sistemas e instalações, sendo que essas diversas abordagens podem ser agindo antecipadamente ou podem ser posteriormente a ocorrência. E desta forma é possível distinguir os tipos de manutenção, e visão de muitos autores, pode ser dividido da seguinte forma: corretivas, preventiva, preditiva, detectiva e engenharia de manutenção.

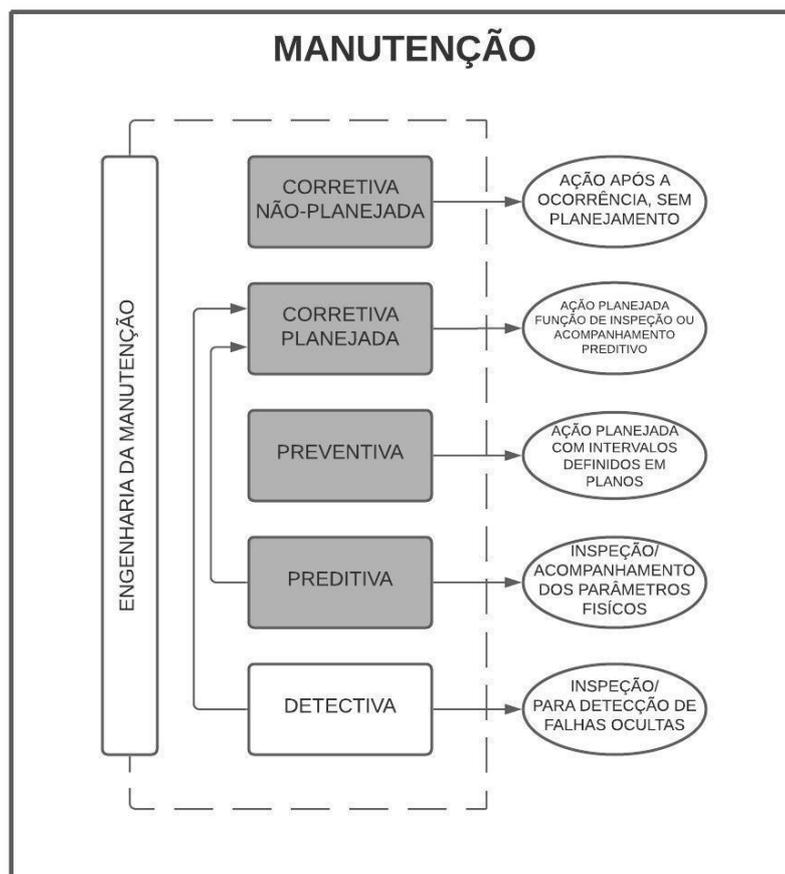


Figura 1 - Tipos de Manutenção
Fonte: Kardec e Nascif (2009)

2.3.1 A Manutenção Corretiva

A manutenção corretiva foi a primeira forma de intervenção que ocorreu, conforme destacado na Evolução da Manutenção. Assim que os equipamentos foram introduzidos nos processos, começou a ocorrer falhas não programadas

das quais eram necessárias a ação humana imediata para reparar e recolocar os equipamentos em funcionamento.

É possível definir manutenção corretiva como a atuação para correção da falha ou do desempenho menor do que o esperado. Por meio dessa definição fica entendido que a manutenção corretiva, não é, necessariamente, a manutenção de emergência. Com isso, é possível especificar duas classes: não planejada e planejada.

Segundo Kardec e Nascif (2009) a manutenção corretiva não planejada é a correção da falha de maneira aleatória, ou seja, a atuação ocorre por meio de um fato já ocorrido, com isso essa quebra inesperada que ocorre não permite um planejamento da execução da atividade. Infelizmente, essa manutenção é praticada mais do que se deveria. Além da sua ocorrência causar altos custos, pois a quebra inesperada acarreta em perdas de produção, perda de qualidade do produto e elevados custos indiretos de manutenção, e ainda podem ter consequências inesperadas para os equipamentos, pois a extensão dos danos pode ser ainda maior.

Quando uma empresa tem a maior parte de sua manutenção corretiva na classe não planejada, seu departamento de manutenção é comandado pelos equipamentos e o desempenho empresarial da Organização perde muita competitividade (KARDEC e NASCIF, 2009).

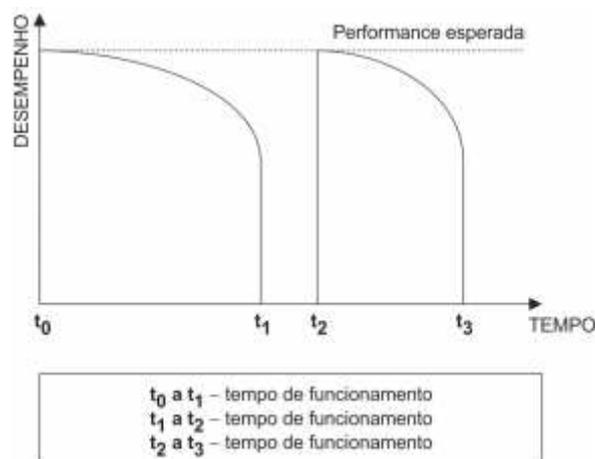


Figura 2- Manutenção Corretiva Não Planejada

Fonte: Kardec e Nascif (2009)

Já a manutenção corretiva planejada é a correção do desempenho menor do que o esperado ou correção da falha por decisão gerencial. As modificações nos parâmetros de condição observados em um equipamento, através da manutenção preditiva, permitem que sejam gerados insumos, dos quais é decidido por meio de uma decisão gerencial a intervenção no processo para que possa ser executado o que é necessário. Por se tratar de manutenção planejada a atividade é mais barata, mais rápida e mais segura do que um trabalho não planejado. Caso a decisão gerencial seja manter o equipamento funcionando, uma ação poderá ser planejada para ser executada assim que ocorrer a falha (KARDEC E NASCIF, 2009).

Gerencias que priorizam o funcionamento dos equipamentos até falharem, tem como resultados em suas plantas maior custo de manutenção e menor disponibilidade. Ainda segundo Kardec e Nascif (2009), o custo de uma manutenção corretiva não programada é no mínimo o dobro da manutenção corretiva planejada.

2.3.2 Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva é considerada como a atuação realizada de forma reduzir ou evitar a falha ou a queda no desempenho, obedecendo a um plano previamente elaborado, baseado em intervalo de tempo (KARDEC e NASCIF, 2009). Com isso, pode ser entendido que este tipo de manutenção é inverso a manutenção corretiva pois tem como objetivo atuar nos equipamentos antes que ocorra as falhas.

Essa manutenção proporciona uma melhor eficácia em relação as demais, pois permite que se tenha um conhecimento prévio das ações, das quais trazem como resultado uma boa condição de gerenciamento das atividades além de identificar uma previsibilidade de consumo de materiais e sobressalentes, e por outro lado, a manutenção não necessariamente precisa acontecer aonde o equipamento está localizado, tendo a possibilidade de ser retirado para que possa ocorrer a execução dos serviços programados.

Ainda segundo Kardec e Nascif (2009) esta manutenção será mais conveniente quanto maior for a sua simplicidade na reposição; quanto mais altos forem os custos de falhas; quanto mais as falhas prejudicarem a produção e quanto maiores forem as implicações das falhas na segurança pessoal e operacional. Em contrapartida existem pontos negativos nessa manutenção que são a introdução de defeitos não existentes no equipamento, devido a, falhas humanas; falhas de sobressalente; contaminação no sistema de óleo; danos durante partidas e paradas e falhas nos procedimentos de manutenção.

2.3.4 Manutenção Preditiva

A manutenção preditiva é definida pela atuação realizada com base na modificação de parâmetros de condição ou desempenho, cujo acompanhamento obedece a uma sistemática. Com isso, através de técnicas preditivas é feito o monitoramento da condição e a ação de correção, quando necessária, é realizada através de uma manutenção corretiva planejada (KARDEC e NASCIF, 2009).

Segundo Otani e Machado (2008), o acompanhamento resultante dessa manutenção visa definir o instante correto da intervenção, com o máximo de aproveitamento do ativo. Adotando medidas de controle das variáveis e a interpretação adequada, permite a real identificação das condições de operação do equipamento e de seus equipamentos visando a maximização do tempo de operação e evitando reparos antecipados, para que a operação seja mais duradoura, segura e econômica, além da minimização das perdas de produção pela disponibilidade operacional e a redução de custos de manutenção.

Kardec e Nascif (2009) ainda explica qual é o momento correto de realizar a manutenção:

Quando o grau de degradação se aproxima ou atinge o limite previamente estabelecido, é tomada a decisão de intervenção. Normalmente esse tipo de acompanhamento permite a preparação prévia do serviço, além de outras decisões e alternativas relacionadas com a produção. De forma mais direta, podemos dizer que a Manutenção Preditiva prediz as condições dos equipamentos, e quando a intervenção é decidida, o que se faz na realidade, é uma manutenção corretiva planejada (KARDEC E NASCIF, 2009 p.45).

O que torna relevante a utilização da política de Manutenção Preditiva, são: aspectos relacionados com a segurança pessoal e operacional; redução de custos pelo acompanhamento constante, evitando intervenções desnecessárias. Destacando uma manutenção com custo baixo para acompanhamento operacional, tendo em vista que o progresso na área proporcional redução de preços nos instrumentos de controle. Já a instalação de sistemas de monitoramento contínuo online apresenta custo inicial relativamente elevado, estima-se que seja 1% do valor do equipamento, mas que bem gerenciado apresenta uma relação de custo/benefício de 1/5 (KARDEC e NASCIF, 2009).

2.3.5 Manutenção Detectiva

A manutenção detectiva começou a ser mencionada na década de 90 e foi definida por Kardec & Nascif (2009) como a atuação efetuada em sistemas de proteção, comando e controle, que busca detectar falhas ocultas ou não perceptíveis ao pessoal de operação e manutenção. As identificações dessas falhas ocultas são importantes para garantir a confiabilidade dos equipamentos. A importância desse tipo de manutenção não diverge das demais e anda junto com a manutenção preventiva, destacando que se a confiabilidade do sistema não é alta, teremos um problema de disponibilidade a ele associado, traduzido por excessivo número de paradas, não cumprimento da campanha programada e outros. Com isso, é essencial que ocorra verificações nos sistemas de controle, sem tira-los de operação, sendo capazes de detectar falhas ocultas, e corrigir elas, mantendo todo o sistema operando.

2.4 ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO

A engenharia de manutenção é uma forma de gestão que objetiva consolidação de uma mudança cultural na busca de alcançar a melhoria contínua das atividades de manutenção além de consolidar a rotina. A mudança de atividades preventivas para preditivas, foi a 1ª quebra de paradigma, e a 2ª quebra foi quando houve a modificação de preditiva para engenharia de manutenção.

Conforme Kardec & Nascif (2009), a engenharia de manutenção significa perseguir benchmarks, ou seja, buscar o aprendizado com empresas que são líderes de mercado para que novas técnicas que estão sendo utilizadas, possam ser aplicadas as atividades de manutenção para que possa ser obtido a excelência. E a engenharia de manutenção tem como suas principais atribuições, aumentar a confiabilidade e disponibilidade, melhorar a manutenibilidade, aumentar a segurança, fazer análises de falhas, elaborar planos de manutenção, além de acompanhar os indicadores. É possível identificar a evolução da melhoria contínua à medida que melhores técnicas vão sendo introduzidas.

A importância da engenharia de manutenção tem origem na obtenção e atualização da estrutura de dados e informações sobre manutenção de seus equipamentos e máquinas, que irão proporcionar análises e estudos para que a atividade de melhoria continua possa ser implementada.

A figura 3 ilustra as principais diferenças entre os tipos de manutenção e como a engenharia de manutenção se enquadra nesse cenário.

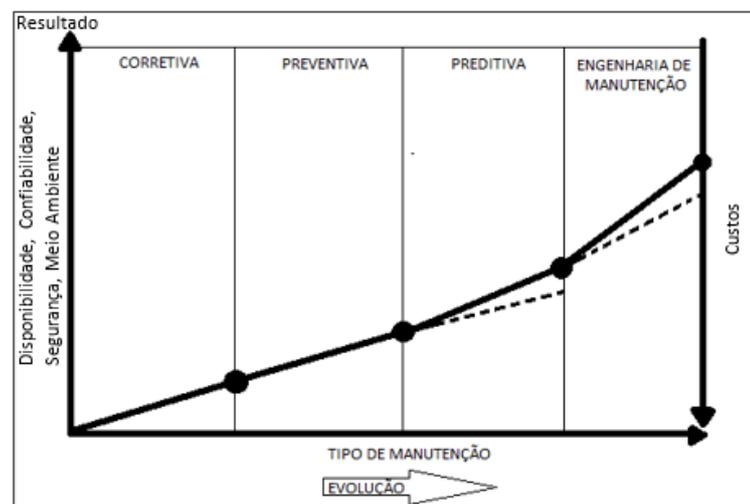


Figura 3 - Resultados x Tipo de Manutenção
 Fonte: Adaptado de Kardec e Nascif, (2009)

2.5 INDICADORES DE MANUTENÇÃO

Para que as indústrias alcancem a produtividade aliada a qualidade exigida pelo mercado, é necessário um controle dos equipamentos para que tenham confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade.

Os indicadores de manutenção são utilizados como formas de controlar os processos, e com isso é possível realizar acompanhamento e quantificação dos procedimentos, resultando em dados importantes para tomada de decisões.

Viana (2006) afirma que os indicadores de manutenção devem retratar aspectos importantes no processo da planta mediante a realidade de cada empresa. Ele ainda afirma que o PCM deve avaliar a melhor forma de monitoramento do seu processo, para que possa agregar valor sem destinar recursos desnecessários.

Mediante aos diversos tipos de índices, nos tópicos a seguir serão apresentados os principais indicadores de manutenção.

2.5.1 Engenharia de Confiabilidade

A confiabilidade, conforme a NBR 5462/1994, é a capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo, podendo ser considerado uma medida de desempenho de confiabilidade. Essa unidade de medida desse indicador é em porcentagem, variando de 0 a 1 (ou de 0% a 100%), na qual pode ser calculada da seguinte forma:

$$R(t) = 1 - F(t) \text{ e}$$

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

Onde:

R(t): confiabilidade do equipamento num tempo t

F(t): função probabilidade de falha

f(t): função densidade de probabilidade

Para um conjunto de n equipamentos a confiabilidade é calculada de acordo com a configuração do sistema, podendo ser em série ou em paralelo, conforme os cálculos abaixo:

$$\text{Série: } R_{\text{série}} = \prod_{i=1}^n R(n)$$

$$\text{Paralelo: } R_{\text{paralelo}} = \left[1 - \prod_{i=1}^n (1 - R(n)) \right]$$

2.5.2 Disponibilidade

Conforme a NBR 5462/1994, a disponibilidade pode ser caracterizada como um estado no qual um item desempenha uma função requerida, desde que os recursos externos necessários sejam promovidos.

Kardec & Nascif (2009), destaca que deve ser levado em conta confiabilidade, manutenibilidade e suporte de manutenção, para que os resultados possam ser alcançados, tendo em vista que a disponibilidade pode ser utilizada como uma medida de desempenho. E pode ser calculada da seguinte forma:

$$\text{Disponibilidade (\%)} = \frac{TMEF}{TMEF + TMPR}$$

Onde:

TMEF = Tempo Médio Entre Falhas (em inglês MTBF – Mean Time Between Failures). Tempo decorrido entre as falhas que acontecem ao longo do processo.

TMPR = Tempo médio para reparos (em inglês MTTR – Mean Time to Repair). Tempo total de indisponibilidade, que começa quando o ocorre a falha até o momento que volta a funcionar.

2.5.3 Taxa de Falhas

Taxa de falhas pode ser definida como o número de falhas por unidade de tempo. Sendo que esse tempo usualmente é expresso em unidades de falha por milhão de horas (10^6).

Kardec e Nascif (2009) definem Taxa de Falhas (λ) como:

$$\lambda = \frac{\text{Número de falhas}}{\text{Número de horas de operação}}$$

É possível encontrar uma curva característica típica da vida de um produto, equipamento ou sistema. Resultando na curva de taxa de falhas (número de falhas por unidade de tempo) em função do tempo de vida, conforme pode ser identificado na figura 4.

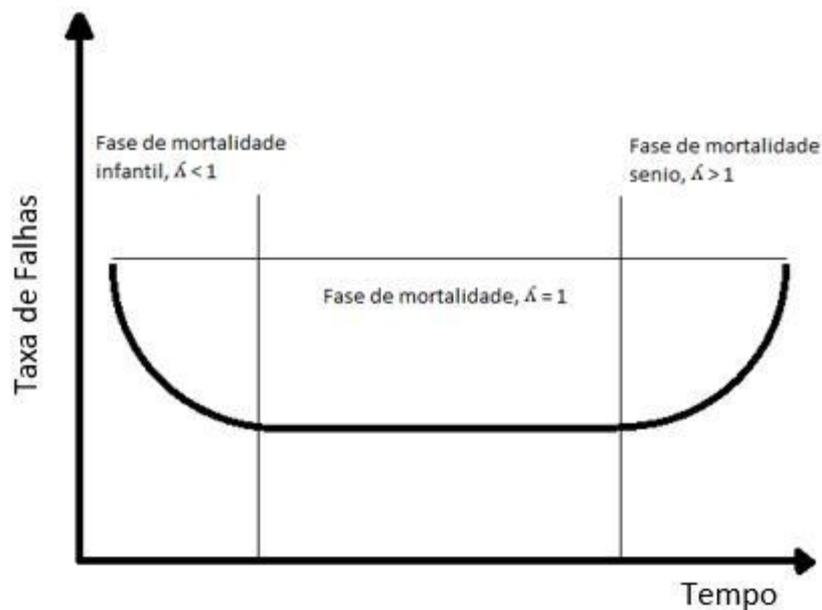


Figura 4 - Curva Característica da Vida de Equipamentos (Curva da Banheira)
Fonte: adaptado de Sellitto (2005)

A curva característica é também conhecida como curva da banheira devido ao seu formato, sendo que ela é válida para uma série de componentes elétricos, mecânicos e sistemas, por meio de estudos estatísticos. E possuem três períodos distintos, são eles:

- Mortalidade Infantil – Grande número de falhas causadas por defeitos de fabricação, deficiências de projeto ou problemas de instalação.
- Vida Útil – As falhas ocorrem devido a fatores menos controláveis, como fadiga ou corrosão acelerando as interações dos materiais com o meio.
- Envelhecimento ou Degradação – Falhas que ocorrem devido ao desgaste natural à medida que o tempo passa.

Outra forma de calcular a taxa de falhas é considerar o número de unidades testadas multiplicado pelo número total de horas de teste, na qual os fabricantes utilizam em seus componentes, dos quais seguem os cálculos abaixo:

$$\lambda' = \frac{\text{Número de falhas}}{\text{Unidades testadas} \times \text{Número de horas de testes}}$$

2.5.4 Tempo Médio entre falhas

O tempo médio entre falhas, no inglês MTBF (*Mean Time Between Failures*), é definido como a soma das horas disponíveis do equipamento para a operação, pelo número de intervenções corretivas nesse equipamento em um dado período, conforme afirma Viana (2006).

É calculado da seguinte forma:

$$TMEF = \frac{\text{Número de horas de operação}}{\text{Número de falhas}}$$

E pode ser também calculado como o inverso da taxa de falhas:

$$TMEF = \frac{1}{\lambda}$$

É importante destacar que esse indicador serve para observar o comportamento dos equipamentos mediante as ações de manutenção. Se o valor do TMEF for aumentando com o passar do tempo, significa que o número de intervenções corretivas vem diminuindo, e conseqüentemente, o total de horas disponíveis para a operação está aumentando, impactando positivamente no processo.

2.5.5 Tempo médio para reparo

O tempo médio para reparo, no inglês MTTR (*Mean Time To Repair*), é definido como a divisão entre a soma das horas de indisponibilidade para a

operação devido a manutenção pelo número de intervenções corretivas em um determinado período (VIANA, 2006).

A taxa de reparos pode ser representada da seguinte forma:

$$\mu = \frac{\text{Número de reparos efetuados}}{\text{Tempo total de reparo da unidade}}$$

Além de ser medido como o inverso da taxa de reparos:

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

É interessante observar que a medida que o TMPR diminui com o passar do tempo, melhor se torna as manutenções nos equipamentos, pois os reparos corretivos demonstram ser cada vez menos impactantes na produção.

2.5.6 Eficiência operacional máxima ou *Overall Equipment Effectiveness* (Oee)

Foi através da TPM que a *Japan Institute of Plant Maintenance*, desenvolveu o indicador OEE, que representa as principais perdas relacionadas a um equipamento que quantifica sua efetividade. Assim, o OEE se tornou uma medida que relaciona disponibilidade, performance e qualidade, afim de alcançar a eficácia nos processos.

Com isso, tem-se:

$$OEE = \text{Disponibilidade} \times \text{Performance} \times \text{Qualidade}$$

Sendo suas definições:

- Disponibilidade – Mede as perdas geradas pelos equipamentos e nos processos que ocasionam a não produção e a indisponibilidade.
- Performance – Mede os prováveis indícios que estão causando uma diminuição na performance.
- Qualidade – Mede as perdas geradas pela falta de qualidade das quais podem se originar durante os processos.

Através dos cálculos é possível encontrar as classes do OEE além de identificar o impacto causado na competitividade. Segue estes, como demonstrado no tabela abaixo:

Tabela 2 - Classificação do OEE e o Reflexo da Competitividade

CLASSES DO OEE		
INDICE	CLASSIFICAÇÃO	COMPETITIVIDADE
OEE < 65%	Inaceitável	Baixíssima
65% < OEE < 75%	Regular	Baixa
75% < OEE < 85%	Bom	Alta
85% < OEE < 95%	Muito Bom	Classe Mundial
OEE > 95%	Excelência Operacional	Classe Mundial

Fonte: Adaptado Alves (2016)

2.5.7 Backlog

Viana (2016) afirma que o *backlog* é o tempo necessário que uma equipe de manutenção deve trabalhar para concluir todos os serviços pendentes, com toda a sua força de trabalho, sem a inserção de novas pendências durante a execução dos serviços.

Este indicador consiste na relação entre a demanda de serviços e a capacidade de realizar, ou seja, é a soma de todas as HH (homem-hora) previstas para fazer todas as atividades inacabadas dividida pela capacidade de HH da equipe de executantes. O *backlog* é usualmente medido em dias mas pode ser medida também em meses.

Com isso, é possível equacionar o *backlog* da seguinte forma:

$$Backlog = \frac{\sum HH \text{ em carteira}}{\sum HH \text{ em instalado}}$$

Segue as definições:

- HH em carteira – É o somatório do quantitativo de hora-homem de todas as atividades pendentes.
- HH em instalado – É o somatório do quantitativo de hora-homem de toda a equipe em um dia ou em mês.

Mediante a escolha HH em instalado é possível encontrar o *backlog* em dias ou meses.

2.5.7 Distribuição De *Weibull*

Segundo Fogliato (2011), existem na literatura muitas formas de distribuição como a Distribuição Exponencial, *Lognormal* e Gama para estimativa de falhas, mas a *Weibull* é considerada uma das distribuições mais importantes na modelagem de confiabilidade devido a sua flexibilidade e capacidade de representação de amostras de tempos até a falha com comportamentos distintos. Considerando uma análise de amostras de falha de tamanho pequeno, supor dados seguindo a distribuição de *Weibull* costuma ser um ponto de partida na análise. As representações de confiabilidade da *Weibull*, para $\beta > 0$, $\eta > 0$ e $t \geq 0$, podem ser descritas pelas seguintes equações:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t^{\beta-1}}{\eta} \right) e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \text{ (Densidade de Probabilidade)}$$

$$r(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \text{ (Confiabilidade)}$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{r(t)} = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta} \right)^{\beta-1} \text{ (Taxa de Falas)}$$

Onde:

β = parâmetro de forma

η = parâmetro de escala

t = tempo até a falha

O valor de η está relacionado ao valor da abscissa, conforme o valor de η cresce é possível identificar que a curva da densidade de probabilidade aumenta. Este comportamento demonstra que existe maior dispersão da função $f(t)$ a medida que os valores de η aumentam. Isso significa que o parâmetro influencia diretamente no tempo de vida do equipamento.

Já o valor de β está relacionado a geometria da curva. A medida que o valor de $\beta \leq 1$, significa que menor serão os valores de confiabilidade que poderão ser alcançados, contudo a curva tende a uma forma próxima a linear.

Se o valor de $\beta > 1$, significa que por mais tempo a confiabilidade se manterá mais próxima do máximo, porém sofrerá queda mais extrema em dado tempo.

2.5.8 PCM (Planejamento Controle da Manutenção)

Para que a manutenção ocorra de forma efetiva e alcance seus objetivos, o planejamento tem o objetivo de suprir as carências para que o trabalho aconteça como previsto. Contudo, Mounchy (1987) destaca as obrigações para que a manutenção ocorra conforme foi planejada, são elas: cronologia do desenvolvimento das atividades; suprir e otimizar os recursos necessários; cumprir com o início das atividades e controlar o andamento e término, considerando todos os desvios entre o previsto e o realizado.

Mounchy (1987), ainda afirma que se o planejamento for ineficaz, um serviço submete-se aos acontecimentos ao invés de domina-los além de destacar que a polivalência das equipes é um excelente facilitador para o cumprimento das atividades, tendo em vista que planejar mão de obra para desempenhar uma atividade comum é mais fácil que uma atividade especializada.

O PCM dentro das organizações tem como objetivo otimizar o desempenho das atividades proporcionando estabilidade e eficiência nos processos. Com isso, é necessário planejar e controlar os recursos, tempo e custos, para que as atividades ocorram sem desperdícios de recursos ou períodos de paradas excessivos originados por problemas que não foram mapeados no planejamento.

Segundo Viana (2006), a Produção engloba a Manutenção e a Operação, sendo que ambas ocupam um mesmo nível hierárquico dentro da organização produtiva. Essa tendência pode ser comprovada por meio de uma

pesquisa realizada pela ABRAMAN em 1999, a qual demonstrou que 69,56% das empresas pesquisadas reportavam a manutenção para a Diretoria e Superintendência, e que veio regredindo nos últimos anos chegando a 44,30% em 2013. Isso mostra que a manutenção ao longo dos anos ocupa um nível gerencial assim como o setor operacional.

Viana (2006) ainda afirma que o PCM é o órgão de suporte a manutenção, sendo ligado diretamente na gerência do departamento, no qual pode ser visualizado no organograma da figura 5.

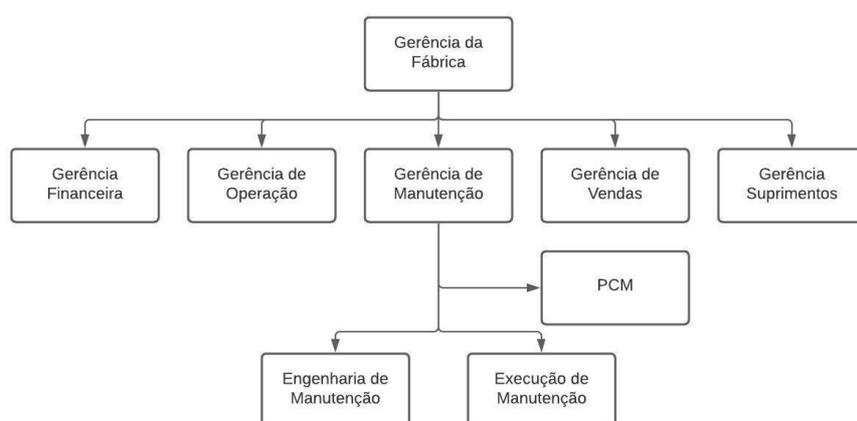


Figura 5 - Organograma Industrial

Fonte: Adaptado Viana (2006)

2.5.9 Qualidade da Manutenção

A Qualidade Total ou *Total Quality Management (TQM)* é considerada como o processo de gerenciamento que se originou na indústria da japonesa na década de 50 e se tornou popular no Ocidente no início da década de 80, sendo que hoje é parte integrante do processo de gerenciamento em todos os ramos de atividade por ser considerada uma ferramenta eficaz para se obter a satisfação dos clientes e alcançar a competitividade empresarial, conforme afirmam Kardec e Nascif (2009).

Nos últimos anos a TQM buscou a melhoria contínua nos processos e o zero defeito através da interação entre os diversos segmentos da empresa.

Contudo, houve maior desenvolvimento no conceito e na aplicação da qualidade a partir da década 30 do século passado, conforme é descrito na tabela 3.

Tabela 3 - Desenvolvimento da Manutenção

Ano	Ator	Ação
1924	A. Shewhart	Criação do Controle Estatístico do Processo (CEP) na Bell Laboratories
1924	A. Shewhart	Criação do Ciclo PDCA na Bell Laboratories
1935	British Standard	Norma com critérios para recebimento de material
1946	ASQC	Fundação da Sociedade Americana para Controle da Qualidade
1946	JUSE	Fundação da União Japonesa de Engenheiros e Cientistas
1946/1970	Taiichi Ohno	Sistema Toyota de Produção
1950	Edward Deming	Levou aos japoneses os conceitos de Controle de Qualidade
1951	Armand Feigenbaum V.	Lança o livro Quality Control: Principles, Practice and Administration
1953	Joseph M. Juran	Mostrou aos gerentes japoneses o seu papel no Controle da Qualidade
1957	Kaoro Ishikawa	Lança o livro Controle de Qualidade por Toda a Empresa
1958	Kaoro Ishikawa	Adota o CQT no Japão
1960	Shigeo Shingo	Introduz os conceitos de Poka Yoke e inspeção da Fonte
1961	Armand Feigenbaum V.	Revisa o livro lançado em 1951 e o intitula Total Quality Control
1977	Shigeo Shingo	Lança o livro World Class Manufacturing a partir das técnicas utilizadas pela indústria japonesa
1986	Richard J. Sgonberger	Inicia o livro World Class Manufacturing a partir das técnicas utilizadas pela indústria japonesa
1986	Vicenti Falconi	Inicia a disseminação do CQT no Brasil através da Fundação Christiano Otoni – MG
1987	Motorola	Adota a denominação Seis Sigma para o processo que garante o nível de conformidade em 99,99966%
1987	Governo Federal	Lançamento do Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade (PBQP)
1990	Abraman	Lançamento do Programa Nacional de Qualificação e Certificação de Pessoal na Área de Manutenção (PNQC)

1990	James Womack	Lança o livro <i>A Máquina que Mudou o Mundo</i> e cunha a expressão "Lean Manufacturing" (Fabricação Enxuta) inspirada no modelo Toyota de Produção
1991	FNQ	Criação da Fundação Nacional da Qualidade e do PNQ - Prêmio Nacional da Qualidade
2000	ISO	Revisão da Norma ISSO 9001-2000

Fonte: Adaptado Kardec & Nascif (2009)

2.6 GESTÃO DE MANUTENÇÃO

2.6.1 TPM (*Total Productive Maintenance*) ou Manutenção Produtiva Total

A Manutenção Produtiva Total, é conhecida mundialmente do inglês, como *Total Productive Maintenance* (TPM) sendo sua origem por uma empresa japonesa na década de 70 que utilizou a metodologia como uma ferramenta para melhorar a qualidade e confiabilidade, além de reduzir as paradas e perdas, ocasionando em reduções de custos. No Brasil apareceu em 1986.

Muitos são os objetivos da TPM, contudo destaca-se a qualificação das pessoas e o melhoramento introduzido nos equipamentos. Apesar da metodologia ser implantada, o lema principal é a disseminação em todos os níveis hierárquicos da empresa, a cultura de educar os colaboradores para prevenção e melhoria contínua, garantindo melhor disponibilidade dos maquinários, proporcionando maior produtividade.

Segundo Kardec e Nascif (2009), se as pessoas forem desenvolvidas e treinadas, é possível promover as modificações nas máquinas e equipamentos, na qual se resume o lema: "Melhoria continua no resultado global final".

As grandes perdas, na visão da TPM, estão descritas na tabela 4.

Tabela 4 - Grandes perdas da manutenção

AS 6 GRANDES PERDAS	CAUSA DA PERDA	INFLUÊNCIA
1. Quebras 2. Mudança de Linha	PARALIZAÇÃO	Tempo de Operação
3. Operação em Vazio e Pequenas Paradas 4. Velocidade Reduzida em Relação a Nominal	QUEDA DE VELOCIDADE	Tempo Efetivo de Operação
5. Defeitos de Produção 6. Queda de Rendimento	DEFEITOS	Tempo Efetivo de Produção

Fonte: Adaptada Kardec e Nascif (2009)

Segundo Yamaguchi (2005), um dos conceitos mais importantes da TPM é a Quebra Zero na qual se baseia na ideia de que a quebra é uma falha visível. Sendo que essa falha visível é causada por uma coleção de falhas indivisíveis, semelhantemente ao iceberg, conforme a figura 6.



Figura 6 - Iceberg representando causas invisíveis gerando uma falha visível
Fonte: Yamaguchi (2005)

Mediante aos conceitos afirmados acima, a meta da quebra zero das máquinas e equipamentos, visa que a máquina sempre esteja disponível e em condições, das quais elevem os rendimentos operacionais e diminuição de custos, levando em consideração operadores e mantenedores conscientes de que deverão evitar as falhas invisíveis.

Considerando que na TPM temos 6 grandes perdas do equipamento, são aplicadas 8 atividades que recebem a descrição de “8 pilares que

estabelecem um sistema para se atingir maior eficiência produtiva”, sendo Kardec e Nascif (2009).

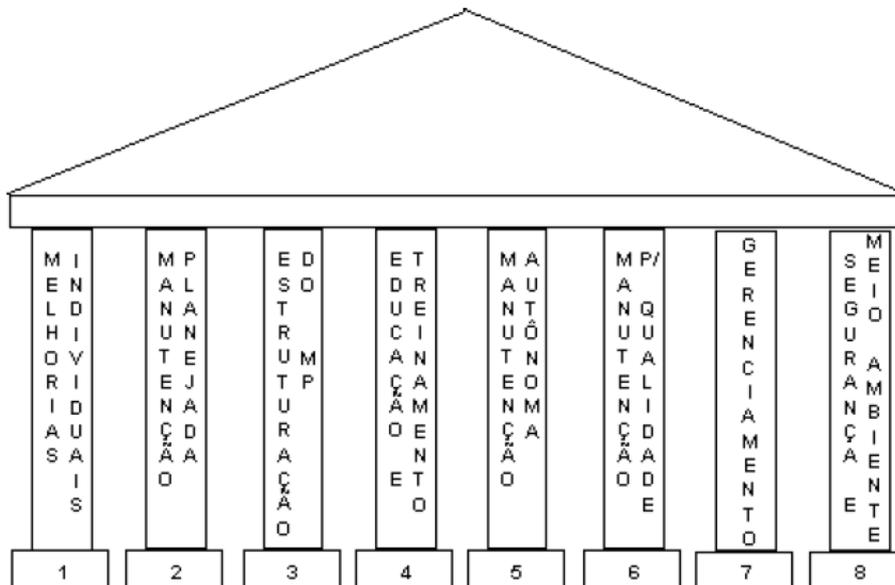


Figura 7- Os 9 pilares de sustentação do desenvolvimento do TPM
Fonte: Yamaguchi (2005).

Esses pilares possuem respectivos objetivos:

1. Melhoria particular para diminuição de problemas e aumento da performance;
2. Construção de estrutura de manutenção autônoma para o operador e equipamento;
3. Criação de uma estrutura de manutenção planejada do departamento de manutenção;
4. Treinamento para melhorar a habilidade do operador e do técnico de manutenção, para aumentar a eficiência;
5. Elaborar uma estrutura de controle inicial do equipamento, para eliminar aonde as falhas são originadas;
6. Manutenção que visa a melhoria da qualidade estabelecendo zero defeitos;
7. Gerenciamento da TPM em áreas administrativas atuando no melhor aproveitamento dos ativos e reduzindo desperdícios;

8. Melhoria da segurança, higiene e meio ambiente, através de equipamentos mais confiáveis, prevenção de erro humano e gestão de processo que não agridam o meio ambiente.

Para que o objetivo da implementação da TPM possa ser alcançado durante todo processo de elaboração, deve obedecer de forma consecutiva as seguintes etapas e ações.

Segue na tabela 5, as etapas a serem seguidas para implementação da TPM.

Tabela 5 - 12 etapas da implementação do TPM

Fase	Nº	Etapa	Ações
	1	Comprometimento da alta administração	Divulgação da TPM em todas as áreas da empresa Divulgação através de jornais internos
	2	Divulgação e treinamento inicial	Seminário interno dirigido a gerentes de níveis superior e intermediário
	3	Definição do Órgão ou Comitê responsável pela implementação	Estruturação e definição das pessoas do Comitê de Implantação
	4	Definição da Política e Metas	Escolha das metas e objetivos a serem alcançados
	5	Elaboração do Plano Diretor de Implementação	Detalhamento do plano de implantação em todos os níveis
Introdução	6	Outras atividades relacionadas com a introdução	Convite a fornecedores, clientes e empresas contratadas
	7	Melhorias em máquinas e equipamentos	Definição de área e/ou equipamentos e estruturação das equipes de trabalho
	8	Estruturação de Manutenção Autônoma	Implementação da Manutenção Autônoma, por etapas, de acordo com programa Auditoria de cada etapa
	9	Estruturação do Setor de manutenção e condução da Manutenção e condução da Manutenção Preditiva	Condução de Manutenção Preditiva Sobressalentes, Ferramentas e Desenho
	10	Desenvolvimento e capacitação de pessoal	Treinamento de pessoal de operação para desenvolvimento de novas habilidade relativas a manutenção

			Treinamento de pessoal de manutenção para análise, diagnóstico, etc. Formação de líderes Educação de todo o pessoal
	11	Estrutura para controle e gestão dos equipamentos numa fase inicial	Gestão do fluxo inicial LCC (Life Cycle Cost)
Consolidação	12	Realização da TPM seu aperfeiçoamento	Candidatura ao Prêmio PM Busca de objetivos mais ambiciosos

Fonte: Adaptado Kardec e Nascif (2009)

Segundo Costa (2013), o foco da metodologia da TPM é capacitar os operadores para que conduzam a manutenção de forma espontânea e trabalhem de forma proativa para a melhoria das condições dos equipamentos, aliado a isto, a capacitação da equipe de manutenção, de forma polivalente. Afim de atuar na busca permanente de economias.

2.7 RCM (RELIABILITY-CENTERED MAINTENANCE) OU MCC (MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE)

A MCC teve origem na indústria aeronáutica americana, contudo hoje os seus conceitos podem ser utilizados em qualquer setor industrial. Isso justifica-se devido a abordagem racional e sistemática, que tem tornado o MCC reconhecido como a forma mais eficiente de tratar as questões de manutenção.

Segundo Fogliato (2011), esta metodologia é considerada um programa que reúne várias técnicas de engenharia para assegurar se os equipamentos de planta fabril continuarão realizando as funções especificadas, permitindo que as empresas alcancem excelência nas atividades de manutenção, ampliando a disponibilidade dos equipamentos e reduzindo custos associados a acidentes, defeitos, reparos e substituições.

Já Mounbray (1996), acredita que a MCC é um processo usado para determinar o que deve ser feito para, assegurar que qualquer ativo físico continue a fazer o que os seus usuários querem que ele faça no seu contexto operacional.

Kardec e Nascif (2009), destacam a MCC como uma metodologia que estuda o equipamento ou sistema em detalhes, além de analisar como ele pode falhar e definir a melhor forma de realizar a manutenção, de modo a prevenir a falha ou minimizar as perdas decorrentes das falhas.

Tendo em vista as considerações afirmadas, temos que a estratégia de MCC tem como maior objetivo determinar quais os serviços de manutenção mais adequados para na importância da função dos ativos físicos em sistemas operacionais e produtivos de uma empresa, visando potencializar a disponibilidade, manutenibilidade e confiabilidade dos processos produtivos, dando suporte as decisões gerenciais a serem tomadas, das quais muitas vezes são necessárias mediante a grandeza das ações a serem realizadas.

2.7.1 Questões básica do RCM

Para Moubray (2000), para saber se um determinado item poderá ter a metodologia MCC aplicada, sete questões primordiais devem ser consideradas, são elas:

- i. Quais são as funções e padrões de desempenho de um ativo no seu contexto presente de operação?
- ii. Quais os modos ele falha do equipamento ao cumprir suas funções?
- iii. Qual a causa de cada falha em cumprir suas funções?
- iv. O que acontece quando ocorre cada falha?
- v. De que forma cada falha importa?
- vi. O que pode ser feito para predizer ou inibir a ocorrência de cada falha?
- vii. Se não for encontrado uma tarefa ação apropriada, o que deve fazer?

De acordo com Fogliatto e Ribeiro (2009), existe uma definição para cada uma das perguntas. A primeira questão aborda a compreensão do que é esperado por um equipamento, as funções que ele deve cumprir e o padrão de desempenho que deve ser mantido durante sua vida útil. Esta definição das

funções e padrões de desempenho dos equipamentos fabris estabelece a base de trabalho do programa MCC.

A segunda questão é a identificação dos modos de falhas, ou seja, como os equipamentos podem falhar ao cumprirem as suas funções. Estes modos são os prováveis eventos que podem ocorrer ou aqueles que já ocorreram no passado ou os poderão ocorrer no futuro em componentes similares.

A terceira questão está vinculada quando as ações preventivas não são direcionadas aos modos de falhas e sim as suas causas, com isso torna importante a identificação das causas de cada falha funcional no equipamento. Pois as causas das falhas devem ser identificadas em suficiente detalhe para assegurar que as ações sejam dirigidas à raiz do problema e não aos sintomas.

A quarta questão é o que acontece quando cada falha ocorre, visto que além de identificar as causas das falhas, é importante reconhecer seus efeitos. Para de isso deve ser abordado: (i) o que pode ser observado quando a falha ocorre, (ii) o tempo que o equipamento irá permanecer parado na eventualidade da ocorrência da falha, (iii) os danos que a falha pode acarretar, incluindo possibilidade de perdas de materiais, humanas ou ambientais e (iv) o que pode ser feito para reparar a falha.

A quinta questão relaciona a análise de falhas, pois em uma planta industrial podem existir centenas de modos de falha possíveis de ocorrer, então deve ficar claro de que forma cada falha interessa. Podem ter falha com consequências de efeito mínimo e outras que podem causar prejuízos consideráveis, associados a segurança, produtividade, qualidade ou ao meio ambiente. Essas consequências podem ser classificadas em cinco grupos: (i) consequências escondidas; (ii) consequências para segurança; (iii) consequências ambientais; (iv) consequências operacionais; (v) outras consequências, que não se adequam as opções anteriores mas envolvem apenas o custo direto de reparo.

A sexta questão leva em consideração o que pode ser feito para prevenir ou impedir cada falha, tendo em vista que são conhecidos as consequências e o nível de prioridade das falhas, para resolução desse questionamento será necessário a gestão de falhas e tarefas reativas. As tarefas proativas são

conduzidas anteriormente à ocorrência de falhas, visando impedir que um componente falhe, sendo tarefas que contemplam a manutenção preventiva e preditiva. Já as tarefas reativas são conduzidas quando não é possível empreender uma atividade proativa eficaz, e com isso o equipamento funciona até a ocorrência da falha.

Por fim tem a sétima questão que contempla o que deve ser feito quando não pode ser estabelecida uma atividade proativa pertinente. Quando a consequência da falha é considerada grave e não é possível empreender atividade preventivas ou preditivas, a procura de falhas se torna uma atividade que envolve a verificação periódica de funções escondidas, para determinar se elas não apresentam falhas. O redesenho envolve alterações em componentes, conjuntos ou subsistemas, contudo representa uma situação excepcional e não faz parte da rotina das equipes de trabalho. Com isso, deve ser observado que: (i) o redesenho necessita de competências que usualmente não estão presentes nas equipes de MCC; (ii) o redesenho mobiliza muitas horas de trabalho e, caso empreendido pelas equipes de MCC, poderia paralisar todo o restante do trabalho. Com isso, o redesenho de subsistemas deve ser uma decisão tomada com cautela e deve envolver recursos humanos adicionais qualificados.

2.7.2 Implementação

A implementação da metodologia do RCM deve adotar uma sequência estruturada composta de sete etapas segundo Siqueira (2005), das quais podem ser apresentadas da seguinte forma:

- i. Seleção do Sistema e Coleta de Informações;
- ii. Análise de Modos de Falha e Efeitos;
- iii. Seleção de Funções Significantes;
- iv. Seleção de Atividades Aplicáveis;
- v. Avaliação de Efetividade das Atividades;
- vi. Seleção das Atividades Aplicáveis e Efetivas;
- vii. Definição da Periodicidade das Atividades;

A primeira etapa é a Seleção do Sistema e Coleta de Informações, na qual tem como objetivo a identificação e a documentação do sistema ou processo que está sendo analisado.

A segunda etapa é a análise de modos de falha e efeitos, na qual são identificadas e documentadas todas as funções e seus modos de falha, assim como todas as consequências produzidas por elas, na qual se utiliza a metodologia FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*).

A terceira etapa é a seleção de funções significantes, que utiliza um processo estruturado para análise de cada função identificada na etapa anterior. Afim de determinar se a falha tem efeito considerável mediante aos principais pilares, são eles: segurança, meio ambiente, operação e economia do processo

A quarta etapa é a seleção de atividades aplicáveis, onde é determinado se as tarefas de manutenção preventiva são tecnicamente aplicáveis na prevenção ou correção de cada modo de falha ou amenização de suas consequências.

A quinta etapa é a avaliação de efetividade das atividades, onde se constitui o processo estruturado para determinar se uma tarefa de manutenção preventiva pode ser efetiva para redução, de forma tolerável, levando em consideração as consequências previstas para cada falha.

A sexta etapa é a seleção das atividades aplicáveis e efetivas, na qual utiliza o processo estruturado para determinar a melhor tarefa a ser aplicada no processo.

A sétima e última etapa é a definição da periodicidade das atividades, que é o momento que estabelece se os métodos e critérios para definição da prioridade de execução das atividades selecionadas, assim como o planejamento e a estruturação do processo de implantação da metodologia na empresa.

Apesar de muitas referências considerarem sete etapas para implementação do MCC, Fogliatto (2009) menciona nove etapas, são elas:

- (i) Escolha do comitê e equipes de trabalho;
- (ii) Capacitação em MCC;

- (iii) Estabelecimento dos critérios de confiabilidade;
- (iv) Estabelecimento da base de dados;
- (v) Aplicação da FMEA e classificação dos componentes;
- (vi) Seleção das atividades de Manutenção Preditiva pertinentes;
- (vii) Documentação das atividades de Manutenção Preditiva;
- (viii) Estabelecimento de metas e indicadores; e
- (ix) Revisão do programa de MCC.

A implementação do MCC possui uma continuidade após a conclusão da metodologia aplicada no equipamento ou processo, sendo necessário um acompanhamento de todas as práticas elaboradas que deverão ser realizadas ao longo da periodicidade determinada.

Kardec e Nascif (2009) apontam quais são os quatro principais resultados gerados ao ser implementação do RCM:

- i. Melhoria da compreensão do funcionamento do equipamento ou sistema, proporcionando uma ampliação de conhecimentos aos participantes de especialidades diversas;
- ii. Desenvolvimento do trabalho em grupo, com reflexos altamente positivos na análise, solução de problemas e estabelecimentos de programas de trabalho;
- iii. Definição de como o item pode falhar e das causas básicas de cada falha, desenvolvendo mecanismos de evitar falhas que possam ocorrer espontaneamente ou causadas por atos das pessoas;
- iv. Elaboração dos planos para garantir a operação do item em um nível de performance desejado. Esses planos englobam: Plano de manutenção; Procedimentos operacionais; e lista de modificações ou melhorias, que são necessárias para que o item alcance o patamar de performance desejado.

2.7.3 Análises de Modos e Efeitos de Falhas (FMEA)

A ferramenta que ajuda a identificar e a priorizar potenciais falhas nos equipamentos e processos, é mais conhecida pela sigla em inglês FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*). Essa metodologia hierarquiza as potenciais falhas além de fornecer recomendações de ações com o foco em prevenir que as ocorrências aconteçam de forma corretiva (KARDEC; NASCIF, 2009).

Kardec e Nascif, afirma que existem três níveis de FMEA:

- FMEA no projeto: realizado para banir as causas de falha no decorrer do projeto do equipamento, considerando os aspectos de manutenibilidade até aspectos de segurança.
- FMEA no processo: tem como foco no modo em que o equipamento é condicionado e atuado.
- FMEA no sistema: tem como objetivo analisar as falhas potenciais e gargalos no processo completo.

A classificação das falhas é importante para uma melhor análise dos resultados do FMEA. Para isso é necessário realizar uma priorização pelo índice conhecido como grau de priorização de risco, do inglês *Risk Priority Number* (RPN), constituído das seguintes classificações: Severidade; Ocorrência; e Detecção.

Essa forma de priorização é o produto dos indicadores: severidade (média aritmética que os valores compõem a gravidade da falha), ocorrência (frequência que o modo de falha ocorre) e detecção (facilidade que o modo de falha é detectável). Para o cálculo é utilizado valores na escala de 1 a 10, na qual o valor 10 são para situações com elevadas intensidades e o valor 1 para ocorrências brandas (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2013).

Segue a formula para o cálculo:

$$RPN = \textit{Severidade} \times \textit{Ocorrência} \times \textit{Detecção}$$

Para determinar os pesos de cada uma das classificações, a RPN tem recomendações a serem seguidas conforme as experiências de cada empresa. Conforme a tabela 6.

Tabela 6 - Componentes do RPN

Componente do RPN	Classificação	Peso
Severidade (S)	Muito Baixa	1
	Baixa	2,3
	Moderada	4,5,6
	Alta	7,8
	Muito alta	9,10
Ocorrência (O)	Muito Baixa	1
	Baixa	2,3
	Moderada	4,5,6
	Alta	7,8
	Muito alta	9,10
Detecção (D)	Muito provável	1
	Provável	2,3
	Moderada	4,5,6
	Difícil	7,8
	Muito difícil	9,10
RPN	Baixo	1 a 50
	Médio	50 a 100
	Alto	100 a 200
	Muito Alto	200 a 1000

Fonte: Adaptado Kardec e Nascif (2009)

3. ESTUDO DE CASO

Este capítulo apresentará a utilização das estratégias relacionadas a MCC de um ativo e do processo no qual ele está inserido, e conseqüentemente, proporcionará etapas mais eficientes e rentáveis para a empresa do setor de metalurgia em estudo.

Será apresentado com mais detalhes o setor no qual é o foco de discussão do presente trabalho. Será apresentado de forma detalhada a identificação do equipamento e de seus componentes, além da utilização das ferramentas para alcançar os objetivos propostos no item 1.3.

3.1 DETERMINAÇÃO DA ESTRATÉGIA DE DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA

A determinação da estratégia foi definida por meio da literatura, entretanto houve algumas adaptações mediante ao assunto proposto, tendo como objetivo melhorar os resultados.

Vide o fluxograma abaixo para melhor compreensão das etapas necessárias:

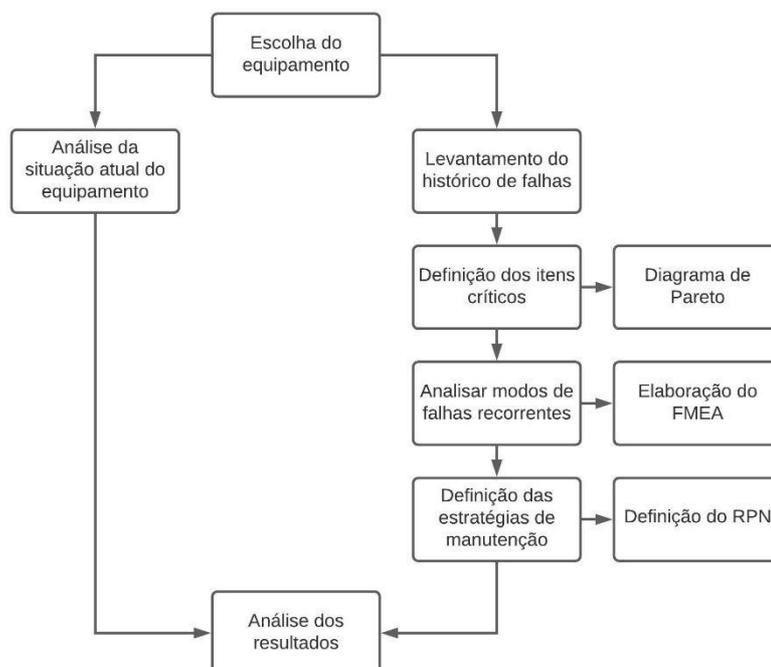


Figura 8 - Fluxograma da estratégia da aplicação do RCM no estudo de caso
 FONTE: O autor

Dos itens abordados acima, segue abaixo de forma resumida cada item:

- **Escolha do equipamento:** foi escolhido o equipamento que finaliza todo processo produtivo desencadeado de uma cadeia de atividades anteriores. Com isso, a falha desse ativo possibilita atraso na entrega do produto final se tornando o gargalo de todo o processo da empresa. Este equipamento envolve conhecimentos de mecânica, elétrica e automação, sendo que abordaremos os mecânicos com maior relevância.
- **Análise da situação atual do equipamento:** atualmente o equipamento desempenha sua função com sistemáticas falhas que precisam ser estudadas para que possa ser alcançado uma melhoria no processo.
- **Levantamento do histórico de falhas:** esse parâmetro é essencial para que venha ser identificado as principais falhas ao longo do tempo. Essas informações foram obtidas por meio do banco de dados interno da empresa das quais são preenchidas por colaboradores visando a identificação do não cumprimento das metas traçadas pelas lideranças.
- **Definição dos itens críticos:** são inúmeras as falhas que causaram a indisponibilidade do equipamento, com isso foi utilizado uma análise quantitativa por meio do **Diagrama de Pareto** para encontrar dentro da amostra, quais itens possuíam as maiores incidências de falhas.
- **Análise dos modos de falhas recorrentes:** para análise mais detalhada dos dados obtidos, foi utilizado a ferramenta **FMEA** para identificação e priorização das principais falhas. Sua utilização foi realizada no processo produtivo no qual está inserido o ativo para uma maior abrangência dos modos de falhas.
- **Definição das estratégias de manutenção:** com a utilização e elaboração da ferramenta FMEA, foi possível definir os valores de **RPN** (*Risk Priority Number*) que é o número de prioridade do risco, para que possa ser identificadas qualquer falha, sendo possível classificar cada uma delas em intervalos de tempos distintos, para posterior classificação de risco. Com isso, é possível determinar a criticidade das falhas e definir as estratégias relacionadas a manutenção para evitar que aconteçam ou mitigar os resultados.

- **Análise dos resultados:** Analisou-se os resultados obtidos utilizando todas as ferramentas descritas nas etapas anteriores e foi realizada uma comparação o que existe atualmente na empresa. Foram identificadas possíveis melhorias que objetiva alcançar resultados satisfatórios.

3.2 EMPRESA E SETOR DE ESTUDO

A metalurgia é a ciência que estuda e gerencia os metais da sua extração até se transformarem nos produtos finais. Nesse contexto podem existir *minas*, que é o local onde ocorre a extração do minério na natureza e as *smelters*, que é o termo que em português significa fundidora, que são as empresas que transformam o minério no estado bruto em materiais para serem utilizados conforme for a sua utilização, mediante a uma sequencias de processos.

O estudo de caso foi desenvolvido em uma empresa multinacional do setor metalúrgico, na filial de Juiz de Fora-MG, fundidora de minério e transformadora do produto principal que é o zinco, além de subprodutos como: H_2SO_4 (Ácido Sulfúrico), SO_2 (dióxido de enxofre), $CuSO_4$ (Sulfato de Cobre), Concentrado de Prata, dentre outros.

As etapas ocorrem com o objetivo de deixar o zinco com pureza de 99,99%. A primeira etapa é o processamento da matéria prima que se origina por meio do concentrado de zinco extraído das minas que é rico em enxofre e do pó de aciarias elétricas que recebem tratamento gerando um material rico em zinco. A mistura desses materiais é transportada ao forno, onde é aquecido a uma temperatura alta objetivando a diminuição da acidez, esse processo é conhecido como Ustulação. O zinco sulfatado é queimado originando o ZnO (óxido de zinco) e por meio de outros processos é originado o, H_2SO_4 (Ácido Sulfúrico) e SO_2 (dióxido de enxofre).

A Hidrometalurgia é a etapa subsequente, o óxido de zinco que é menos ácido que o minério primário, é levado por meio aquoso até a lixiviação, este processo ocorre há uma velocidade maior devido a redução do pH. Nesse momento ocorre a separação em duas soluções: uma pura do sulfeto de zinco e a uma impura do sulfeto de zinco. Na solução impura é originado outros dois

subprodutos: CuSO_4 (Sulfato de Cobre) e o Concentrado de Prata. Já a solução pura segue para etapa da Eletrolise.

A etapa da Metalurgia compreende a Eletrolise e a Fundição. Na Eletrolise o sulfeto de zinco que é uma solução mais limpa será levado por meio aquoso até cubas onde o líquido será eletrizado para que ocorra a decomposição do zinco em folhas catódicas sólidas. No processo de Fundição as placas de zinco retiradas do catodo são transportadas para os fornos, onde são aquecidas até o seu ponto de fusão para dar origem aos lingotes.

Um processo a parte, mas que caminha de forma paralela, é o setor de Polimetálicos ou GRS (Gestão de Resíduos Sólidos). Esse setor é de reciclagem, processa materiais sucateados e o pó de aciarias elétricas que contém elevado teor de zinco. Nessa etapa todo o material é colocado no Forno Waelz que é responsável por iniciar o processo e ao longo de outros processos subsequentes é originado um elemento com percentual satisfatório de zinco, e é inserido na etapa da Ustulação.

O setor a ser estudado é a Fundição, última etapa no processo produtivo, e é de grande importância pois a não produção do produto final afeta todas as etapas anteriores, podendo ser considerada o gargalo da produção.

Na Fundição 25% do total de zinco fundido na planta é originado da reciclagem de materiais que iriam ser descartados na natureza, que torna a empresa uma importante e grande recicladora de subprodutos. Os produtos gerados no setor estudado, são: Zinco SHG (Special High Grade), e Ligas de Zinco que são vendidos sob os formatos em barras e jumbos, além do Óxido de Zinco no formato de grânulos comercializados em sacarias e bags.

Mediante aos inúmeros formatos que o zinco pode ter, será estudado a forma que mais é fabricada e que, conseqüentemente, impacta mais ao processo caso ocorra problemas, que são o zinco originado em barras ou lingotes.

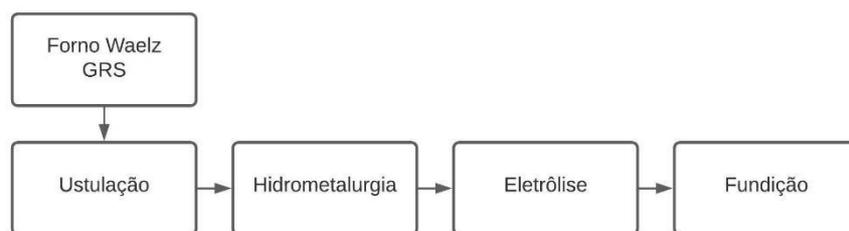


Figura 9 - Fluxograma produtivo da empresa
 FONTE: O autor

3.3 EQUIPAMENTO DE ESTUDO

O equipamento de estudo é a lingoteira que é o componente responsável por receber o zinco ou a liga de zinco no estado líquido e quente, para formar lingotes que após o tempo de cura se solidificam. A sua utilização inicia quando uma bomba transporta o zinco em estado líquido do forno para um canal que escoar o material para os moldes da lingoteira. Esses moldes estão ao longo de uma esteira de corrente que se movimenta à medida que as formas são preenchidas com a mesma quantidade de material. O zinco fundido é resfriado e ao entrar em contato com o interior da forma, alcança o seu tempo de cura. A esteira se move até o local onde um pino extrator empurra o lingote de zinco da forma. Um carro pneumático aproxima e com garras, acionadas por cilindro pneumático, captura o lingote de zinco e transporta para uma mesa onde é formado pallets desses materiais. Após a formação de um pallet, ocorre o transporte através da paleteira até os galpões de armazenamento.

3.4 ANÁLISE DO EQUIPAMENTO

O equipamento é utilizado durante os três turnos de oito horas de trabalho por dia, com intervalos antes e após o turno iniciar, além das refeições. Com o tempo médio de cinco minutos é gerado um pallet de zinco com trinta e seis lingotes de vinte e cinco quilos de zinco, resultando em novecentos quilos cada pallet. Com isso, prejuízos causados pela interrupção não programada no funcionamento proporciona uma perda de *lucro cessante* de altas proporções.

Existem planos de manutenção preventiva para o equipamento em estudo, sendo realizadas pela equipe de execução mediante a periodicidade estabelecida na sua criação, além de todas as informações para que possa ocorrer as intervenções de forma efetiva.

Mediante ao histórico de falhas dos últimos anos foi observado que recorrentes falhas têm impossibilitado o funcionamento do equipamento no qual vêm impactando na confiabilidade e causando prejuízos que impactam diretamente na obtenção do produto final. Assim, faz-se necessário este estudo afim de identificar melhorias que resultarão em maior disponibilidade e confiabilidade ao equipamento.

3.5 LEVANTAMENTO DO HISTORICO DE FALHAS

As informações são de extrema importância em qualquer tipo de aplicação metodológica e no MCC não é diferente, por isso a falta de dados é considerada uma das maiores dificuldades na implementação dessa metodologia. Quanto maior for o banco de dados, melhor e mais confiável será as informações para estruturação e análises.

A empresa possui duas lingoteiras em funcionamento e que trabalham durante os três turnos. Os operadores de cada turno que acompanham o equipamento preenchem um controle diário com todas as intervenções que ocasionam a falta de disponibilidade. Estes dados servem como insumo para o setor de produção e manutenção controlarem o equipamento, e posteriormente, tratar os dados objetivando melhorias.

Esses dados foram obtidos dentro do intervalo de janeiro de 2018 a dezembro de 2020. Com isso, foram contemplados dados de trinta e seis meses, que proporciona maior confiança para as análises realizadas, tendo em vista o banco de dados gerado.

3.6 DEFINIÇÃO DOS ITENS CRITICOS

Através das informações coletadas e tratadas, foi possível associar as intervenções ocasionadas ao que realmente poderia ter sido evitada pelo olhar da manutenção. Além de proporcionar a identificação do tempo médio de reparo e avaliar o histórico de falhas de manutenção. Todas essas informações servem para determinação de etapas subsequentes como a elaboração do FMEA, definição da estratégia e definição da periodicidade.

Para a identificação dos principais itens críticos dentro do contexto do equipamento estudado foi gerado diagramas de pareto com as principais falhas de cada uma das lingoteiras ao longo de cada ano. Com isso, foi possível identificar as falhas recorrentes ao longo do período de tempo observado.

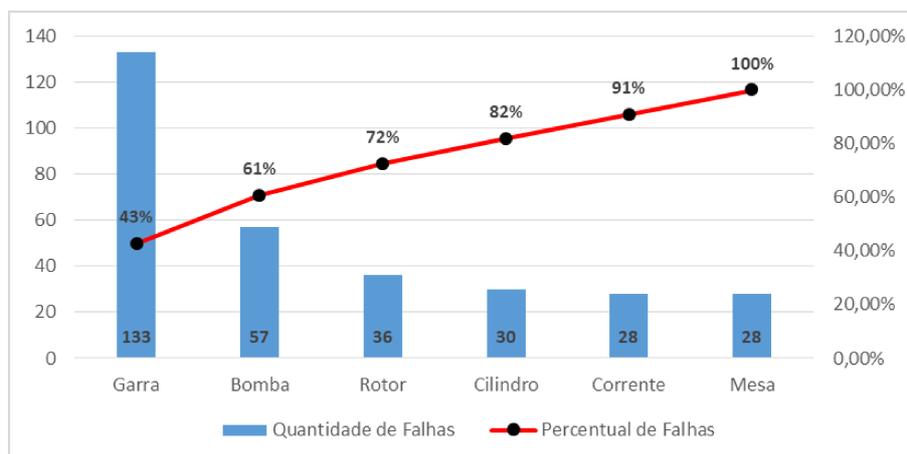


Figura 10 - Levantamento de Falhas Lingoteira 1 em 2018
Fonte: O autor

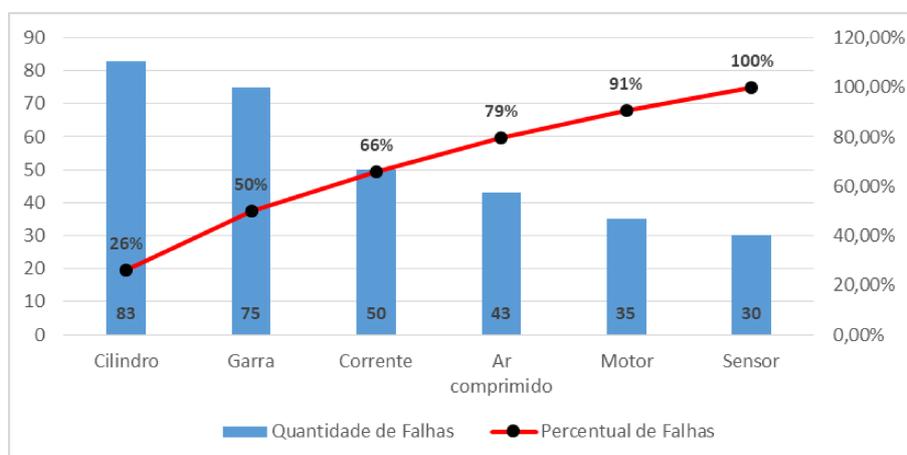


Figura 11 - Levantamento de Falhas Lingoteira 1 em 2019
Fonte: O autor

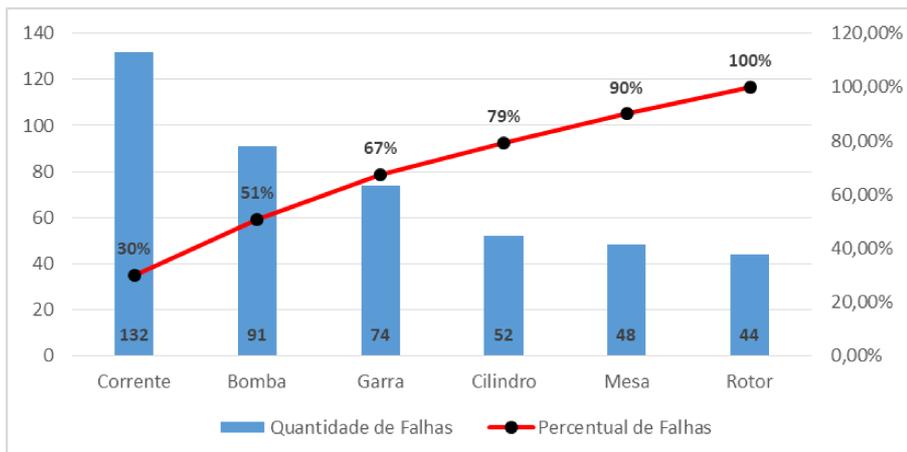


Figura 12 - Levantamento de Falhas Lingoteira 1 em 2020
Fonte: O autor

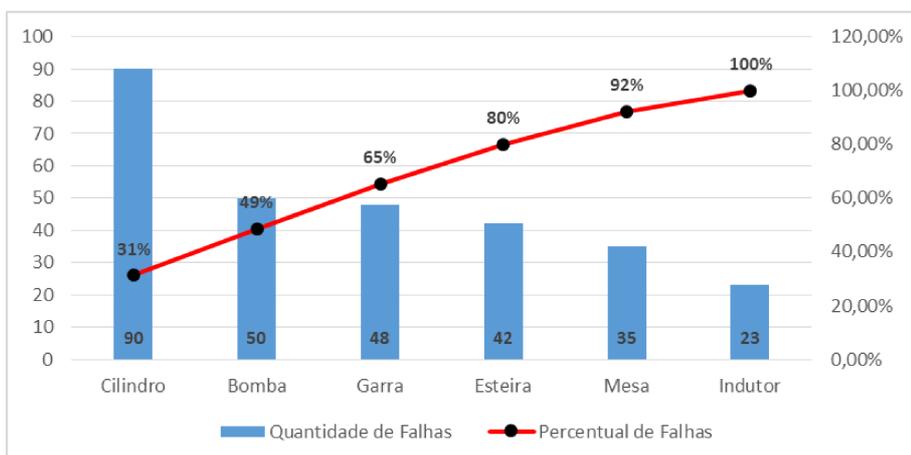


Figura 13 - Levantamento de Falhas Lingoteira 2 em 2018
Fonte: O autor

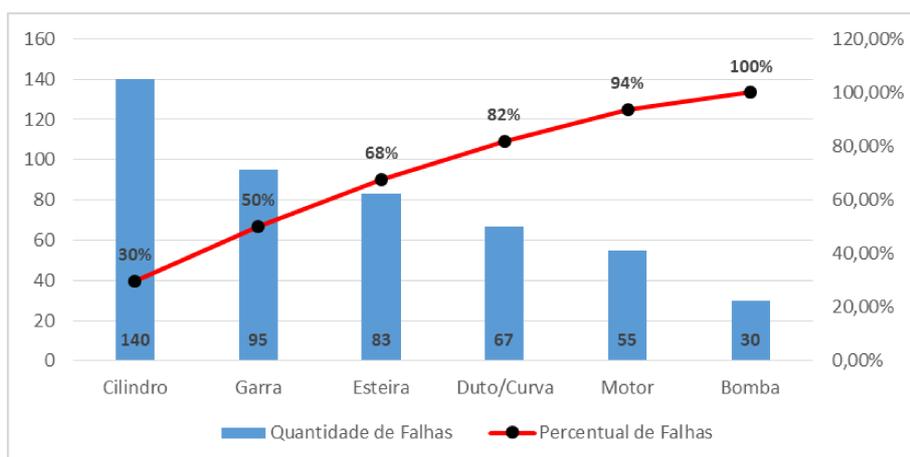


Figura 14 - Levantamento de Falhas Lingoteira 2 em 2019
Fonte: O autor

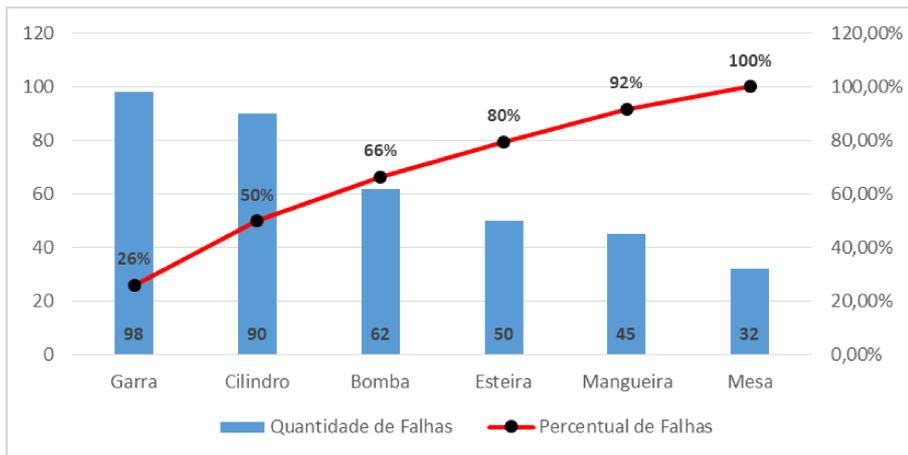


Figura 15 - Levantamento de Falhas Lingoteira 2 em 2020
Fonte: O autor

Mediante aos dados observados nas figuras acima, foi possível identificar os componentes que possuem maior frequência dentre as máquinas e período estudados. Sendo possível encontrar o consolidado dos dados.

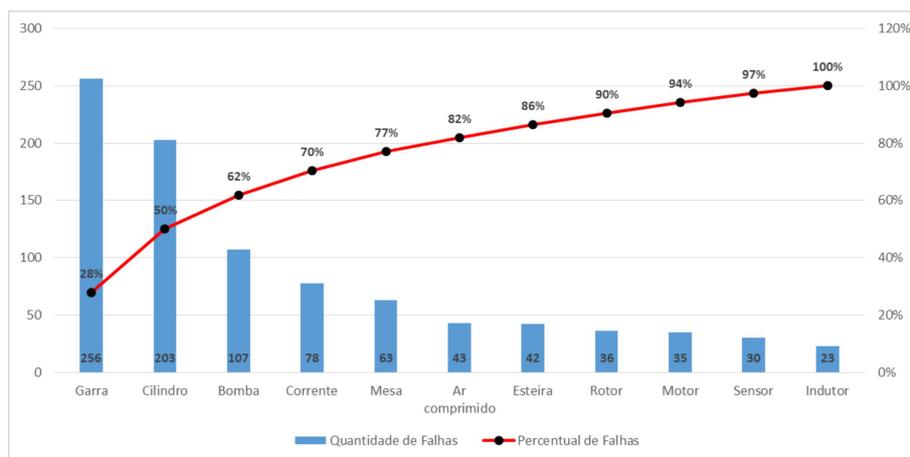


Figura 16 - Consolidado de Falhas da Lingoteira 1
Fonte: O autor

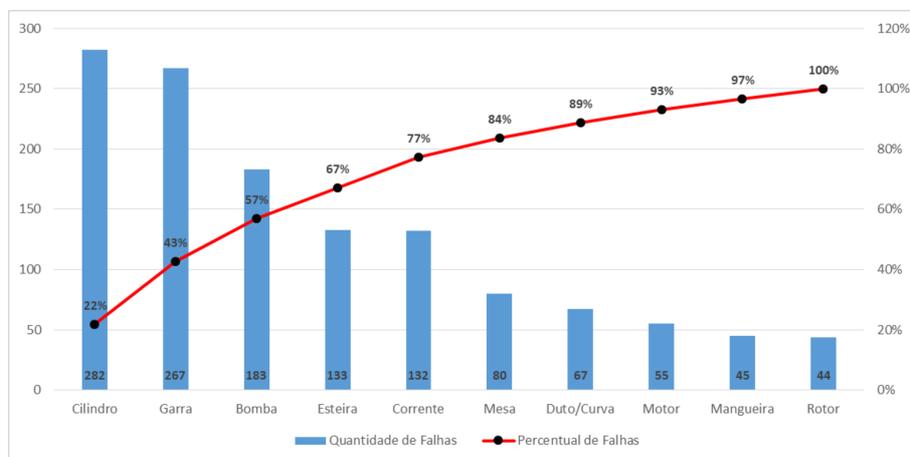


Figura 17 - Consolidado de Falhas da Lingoteira 2
Fonte: O autor

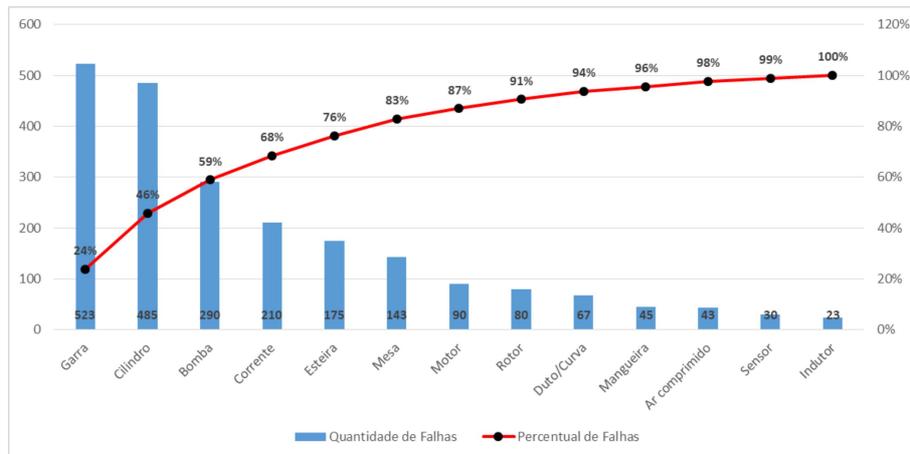


Figura 18 - Consolidado de Falhas da Lingoteira 1 e 2
Fonte: O autor

3.7 ANALISAR OS MODOS DE FALHAS RECORRENTES

Dentre todos componentes observados nos Diagramas de Pareto das Figuras 11 a 16, foi identificado o consolidado das falhas nas duas lingoteiras. Vide fluxograma da figura 19.

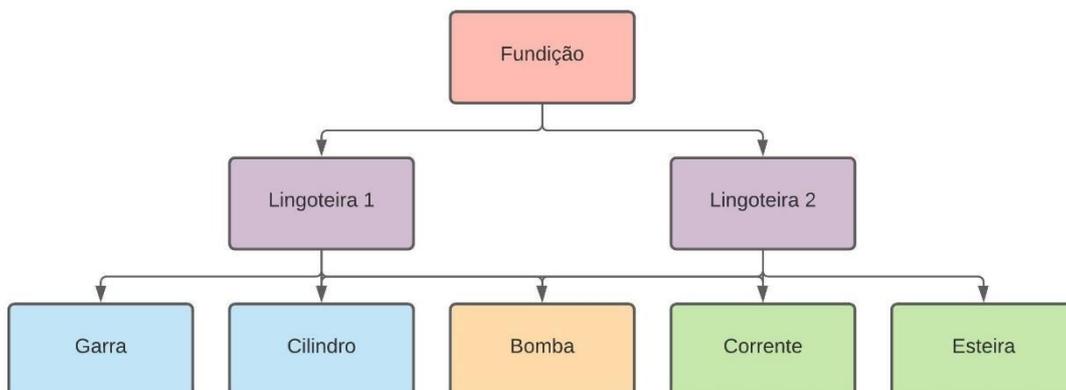


Figura 19 - Fluxograma da Fundição
Fonte: O autor

Os cinco itens correspondem a 75% dos componentes que apresentaram maior quantidade de falhas nos últimos três anos. Estes itens podem ser considerados do tipo crítico. As falhas comunicam entre si quando os componentes possuem alguma correlação, que é o caso desse trabalho.

Portanto, serão considerados dois conjuntos para análise, conjunto garra e cilindro, e o conjunto corrente e esteira.

Devido ao papel que cada item desempenha é de grande importância a análise mais aprofundada para identificação e posterior melhoria da confiabilidade. Para isso foi utilizado o FMEA como ferramenta de confiabilidade para apoio na identificação e priorização de todas as falhas potenciais, utilizando critérios padrões iguais para cada um dos componentes determinados como críticos.

3.7.1 Elaboração do FMEA

A primeira etapa para elaboração do FMEA é descrever o componente acerca de suas funções e falhas funcionais, para posteriormente encontrar os modos de falhas e as causas das falhas, além da definição dos efeitos de falhas geradas. Os resultados obtidos foram validados por uma equipe multidisciplinar para alinhamento e validação de todas as informações do presente trabalho.

Essa etapa foi realizada pelo autor baseado nos dados anteriores, conforme descrito no **ANEXO II**.

3.7.2 Classificação das Falhas

Realizado a parte da descrição das falhas e suas respectivas particularidades conforme já mencionado, será necessário determinar no FMEA os critérios para classificação das falhas e suas notas mediante ao estudo de caso em questão.

Será utilizado como critérios principais para classificação das falhas: severidade, ocorrência e detecção, sendo estes analisados mediante a situação atual que o equipamento se encontra.

Analisando de forma mais aprofundada, dentro do critério de severidade foi identificado setores que são influenciados e que precisam ser abordados, são eles: segurança, meio ambiente, produção, qualidade e custos.

Para obter o cálculo do critério de severidade foi utilizado a formula:

$$Severidade = \frac{Segunrança + Meio Ambiente + Produção + Qualidade + Custo}{5}$$

O critério de ocorrência teve como parâmetro ao banco de dados gerados dos quais foi possível encontrar a frequência que um determinado modo de falha influenciou na operação do equipamento.

Para finalizar, o critério de detecção foi baseado no quanto um modo de falha pode ser detectável mediante a situação que o ativo se encontra

Apesar da literatura abranger as classificações e notas para cada critério abordado nesse trabalho, o autor classificou-se as próprias notas considerando a realidade da empresa atual, de forma a obter um melhor resultado.

As notas dos critérios para podem ser conferidos no **ANEXO I** deste trabalho.

3.8 DEFINIÇÃO DAS ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO

A gestão da manutenção é o fator que mais influencia a concorrência nas indústrias de base tecnológica, das quais possuem processos que geram valor por meio de elevado nível de complexidade. A concepção estratégica da manutenção de equipamentos é a maneira pela qual as empresas podem utilizar a manutenção para obter ou manter benefícios competitivos (SELLITTO, 2007).

O FMEA foi a ferramenta de confiabilidade que permitiu a classificação e a identificação das principais falhas potenciais dentro do processo produtivo que o equipamento estudado está inserido. E após essas etapas é necessário definir quais as estratégias de manutenção que podem ser utilizadas e que funcionem conforme a categoria de risco, das quais serão realizadas atividades de manutenções necessárias, evitando intervenções de máquinas desnecessárias que elevam o custo de manutenção.

O trabalho tem como objetivo fazer uma análise do processo produtivo que atualmente acontece e sugerir ações que podem proporcionar melhorias

nos equipamentos aumentando assim, a sua confiabilidade. Para definição das estratégias foi essencial definir uma escala para os valores RPN que foram encontrados. Definindo com isso uma categoria de riscos para cada efeito de falha, conforme pode ser visto na tabela 7.

Tabela 7 - Categoria de Riscos

RPN MÍNIMO	RPN MÁXIMO	Criticidade
0	100	C
101	200	B
201	1000	A

Fonte: O Autor

Para cada criticidade foram determinados critérios mediante as estratégias que podem ser adotadas. Conforme a tabela 8.

Tabela 8 - Criticidade dos riscos

Criticidade	Nível de Alerta	Estratégia de Manutenção
C	Aceitável	Corretiva e TPM
B	Atenção	Preventiva
A	Inaceitável	Preditiva

Fonte: O autor

Tabela 9 - Consolidado das ações de manutenção

Criticidade	Quantidade	Percentual
A	9	15%
B	36	59%
C	16	26%

Fonte: O autor

A criticidade A foi destinada aos itens que possuem falhas inaceitáveis que precisam ter um acompanhamento mais próximo de seus componentes, podendo ter como estratégias a manutenção preditiva, com objetivo de obter dados confiáveis e auxiliar na tomada de decisão antes que a falha ocorra.

A criticidade B foi classificada para falhas em atenção das quais precisam ter seus componentes substituídos em períodos pré-determinados por meio de estratégias de manutenção preventiva.

E a criticidade C foi classificada para falhas aceitáveis e que podem ser atuadas em manutenções corretivas ou podem ser mitigadas através da TPM.

4. RESULTADOS

Esse capítulo irá demonstrar os resultados alcançados por meio da análise dos dados obtidos na empresa, e apresentar ações que poderão ser implementadas afim de atingir os objetivos propostos neste trabalho. Visando a confiabilidade dos equipamentos e aumento da produtividade.

4.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS ALCANÇADOS

Com os dados alcançados foi possível realizar alguns cálculos importantes para definição de parâmetros necessários para a tomada de decisão. Nas próximas figuras são apresentados os cálculos para MTBF, MTTR e Disponibilidade de cada item crítico.

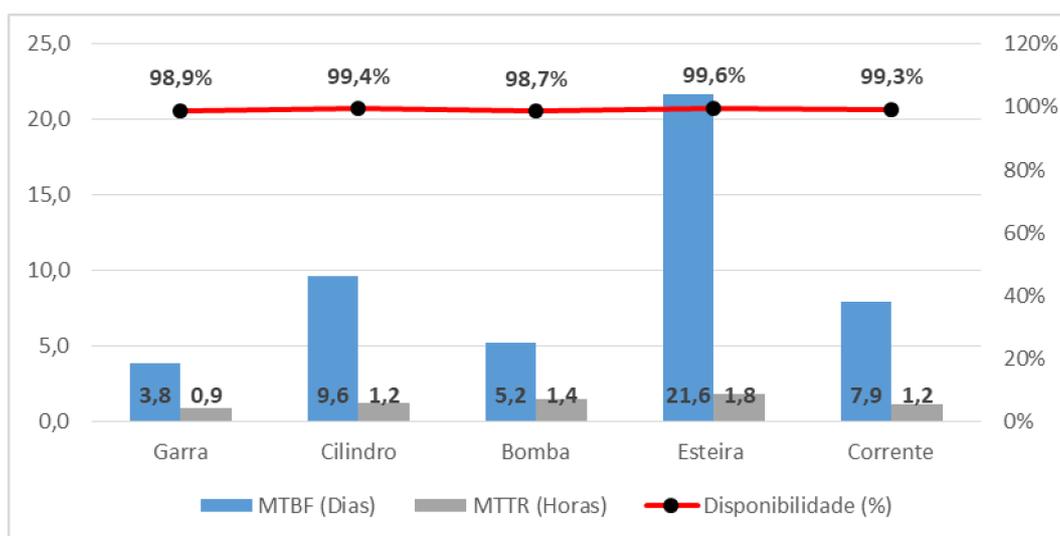


Figura 20 - Consolidado da Disponibilidade Lingoteira 1 e 2
Fonte: O autor

Tabela 10 - Componentes e classificação dos consolidados

Componente	MTBF (Dias)	MTTR (Horas)	Disponibilidade (%)
Garra	3,8	0,9	98,88
Cilindro	9,6	1,2	99,41
Bomba	5,2	1,4	98,70
Esteira	21,6	1,8	99,61
Corrente	7,9	1,2	99,31

Fonte: O autor

Analisando os dados obtidos identificou-se dois extremos dentro os itens estudados.

A garra possui o menor MTBF e menor MTTR, isso mostra que está ocorrendo mais falhas nesse item em um período de tempo mais curto em relação aos demais itens, além de mostrar que o tempo de reparo está sendo o mais rápido.

A esteira possui maior MTBF e maior MTTR, isso traz como informação que a quantidade de falhas está sendo menor, contudo o tempo de reparo está sendo o maior. Essas análises são importantes para definição da periodicidade que cada componente pode sofrer intervenções, levando em consideração o histórico de falhas.

O FMEA de forma geral é uma ferramenta de confiabilidade que não traz resultados lógicos e sim analíticos. Sendo necessário utilizar todas as informações encontradas no FMEA para analisar a confiabilidade e a manutenção para escolha da tomada de decisão.

Mediante a todas as informações geradas no presente trabalho, os progressos quanto a manutenção do equipamento e de seus itens críticos é o ponto principal de melhoria da confiabilidade e disponibilidade do processo. Manutenções específicas mediante a criticidade de cada item é de extrema importância para que o processo melhore de forma significativa.

Conforme já informado anteriormente, foi definido três formas de manutenções mediante ao estudo do FMEA. Foi informado na seção “Análise atual do equipamento”, que existem planos de manutenções dos quais gerados e realizados pela equipe de execução de manutenção, contudo devido as intervenções que e aos estudos que foram realizados no presente trabalho, é aconselhável que uma reformulação nos planos de manutenções do equipamento.

Desta forma, com a reformulação dos planos de manutenção relacionado ao equipamento estudado, foram identificados 61 modos de falhas no FMEA, sendo que 15% deles tem como criticidade A dos quais requerem que ações de manutenção preditiva aconteçam. Já 59% desses modos de falhas foram identificados como criticidade B das quais são necessárias manutenções preventivas. E por fim 26% dos modos de falhas foram identificados como criticidade C, sendo suficientes manutenções corretiva

5. CONCLUSÃO

Mediante aos objetivos desse trabalho, o foco era a utilização de técnicas da metodologia de manutenção centrada na confiabilidade dentro do contexto de uma empresa metalúrgica, assim pode-se afirmar que estes foram alcançados com satisfação.

O estudo do equipamento foi realizado de forma aprofundada, concedendo uma grande quantidade dos dados, dos quais proporcionaram uma abordagem de pesquisa quantitativa, tendo como resultado uma grande quantidade de informações que trouxeram um retrato mais real do que está sendo estudado, trazendo mais segurança nos resultados obtidos.

Para as análises de confiabilidade foram utilizadas com propriedade ferramentas que usualmente auxiliam as equipes de engenharia de manutenção a solucionar os problemas. O FMEA foi o método mais importante utilizado no trabalho, pois trouxe importantes contribuições que foram usadas para definir quais os modos de falhas que merecem maior atenção.

É esperado que as contribuições sejam aplicadas no atual equipamento, possibilitando uma reformulação na manutenção através dos resultados obtidos pela MCC. Foi possível classificar e pontuar as principais falhas para melhorar a confiabilidade e disponibilidade do equipamento. Sendo possível definir através das estratégias de manutenção qual tipo de manutenção que melhor se adequa para evitar que a falha ocorra. Sendo atividades de manutenção preditiva, preventiva, corretivas e TPM, conforme a sua classificação.

Para os trabalhos futuros, uma sugestão é a utilização de software estatístico que utilize a Distribuição de Weibull para definir de forma precisa e através dos cálculos de confiabilidade e taxa de falhas, qual a melhor periodicidade para cada um dos itens críticos, que maximiza a utilização do equipamento. De forma sequenciada ou outro trabalho, é a criação de um plano de manutenção muito bem estruturado, no qual abrange descrições muito bem precisas, com criticidades bem definidas e com periodicidades assertivas para que cada uma das informações alcançadas seja utilizada da melhor forma.

6. REFÊRENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ABRAMAN. Página eletrônica: <<http://www.abraman.org.br/>>.

KARDEC, Alan; NASCIF Júlio. **Manutenção: Função estratégica.** 3.ed. Rio de Janeiro: Ed. Qualitymark, 2009.

ALVES, L. H. (2011). Notas de Aula: **Gestão da Manutenção.** *Universidade Federal de Juiz de Fora.*

VIANA, Hebert Ricardo Garcia. **Planejamento e Controle da Manutenção.** 1.ed. Rio de Janeiro: Ed. Qualitymark, 2006.

MONCHY, François. **A Função Manutenção:** Formação para a gerência da Manutenção Industrial. 1.ed. São Paulo: Ed. Durban, 1987.

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

YAMAGUCHI, Carlos Toshio. **TPM – manutenção produtiva total.** São João Del Rei: ICAP DEL-REI, 2005.

SOUZA, S. S. d.; LIMA, C. **Manutenção centrada em confiabilidade como ferramenta estratégica.** XXIII Encontro Nac. de Eng. de Produção, 2003

SIQUEIRA, Iony Patriota. **Manutenção centrada na confiabilidade:** manual de implantação. 1. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.

MOUBRAY, J. **Reliability-centered Maintenance RCM II.** 2a. ed. New York: Industrial Press, 1997.

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

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.*

MENDES, A. A.; RIBEIRO, J. L. D. **Estabelecimento de um plano de manutenção baseado em análises quantitativas no contexto da mcc em um cenário de produção jit.** Produção = Production, Scielo Brasil, Porto Alegre, v. 24, n. 3, p. 675–686, 2014

WYREBSK, J. **Manutenção Produtiva Total. Um Modelo Adaptado.** 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997. Disponível em: <<http://www.eps.ufsc.br/disserta98/jerzy>>.

EINARSSON, S.; RAUSAND, M. **An approach to vulnerability analysis of complex industrial systems.** Risk analysis, Springer, v. 18, n. 5, p. 535–546, 1998.

GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo (organizadoras). **Métodos de pesquisa.** Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

SELLITTO, M. A. **Formulação estratégica da manutenção industrial com base na confiabilidade dos equipamentos.** Revista Produção, SciELO Brasil, 2005.

ANEXO 1- CLASSIFICAÇÃO DAS FALHAS

Notas do critério de severidade

Severidade	NOTAS									
Tipo do Efeito	Mínima	01 - 02	Baixa	03 - 04	Moderada	05 - 06	Alta	07 - 08	Muito Alta	09 - 10
Segurança	Acidentes pessoais sem lesões		Acidentes pessoais com lesões leves		Acidentes pessoais com grande potencial de afastamento de funcionários		Acidentes pessoais com grande potencial de invalidez de funcionários		Acidentes pessoais com grande potencial de morte de funcionários	
Meio Ambiente	Sem danos ambientais		Danos ao meio ambiente reversíveis com ações imediatas		Danos ao meio ambiente de difícil reversão mas reparadas com ações imediatas		Danos ao meio ambiente de difícil reversão mas podendo ser mitigados com ações imediatas		Danos ao meio ambiente irreversíveis	
Produção	Impactos na produção inferiores a 8 horas de trabalho		Impacto na produção acima de 8 horas e inferior a 24 horas de trabalho		Impacto na produção acima de 24 horas e inferior a 84 horas (1/2 semana) de trabalho		Impacto na produção acima de 84 horas e inferior a 168 horas (1 semana) de trabalho		Impacto na produção superior a 168 horas (1 semana) de trabalho	
Qualidade	Não causa problemas de qualidade		Afeta pouco na qualidade do produto podendo prosseguir no processo		Influência de forma mediana na qualidade do produto podendo ter a situação revertida		Influência muito na qualidade do produto podendo ser revertida com reprocesso		Influência muito na qualidade do produto não havendo possibilidade de reversão	
Custos	Sem custos para reparo		Custos com reparo inferior a R\$ 1000,00		Custos com reparo superior a R\$ 1000,00 e inferior a R\$ 1500,00		Custos com reparo superior a R\$ 1500,00 e inferior a R\$ 2000,00		Custos com reparo superior a R\$ 2000,00	

Notas do critério de severidade

Ocorrência	Taxa de Falhas	Faixa de ocorrência	Nota
Muito Baixa	Falhas muito improváveis	O < 8 horas	1
			2
Baixa	Falhas raramente ocorrem	8 horas < O < 24 horas	3
			4
Moderada	Falhas ocasionais	24 horas < O < 84 horas	5
			6
Alta	Falhas ocorrem com frequência	84 horas < O < 168 horas	7
			8
Muito Alta	Falhas quase inevitáveis e de alta frequência	O > 168 horas	9
			10

Notas do critério de detecção

Deteção	Descrição da Deteção	Nota
Muito Alta	Probabilidade muito alta de deteção	1
		2
Alta	Probabilidade alta de deteção	3
		4
Moderada	Probabilidade moderada de deteção	5
		6
Baixa	Probabilidade baixa de deteção	7
		8
Muito Baixa	Probabilidade muito baixa de deteção	9
		10

ANEXO II - PLANO DE ELABORAÇÃO DOS FMEA
Elaboração do FMEA Parte 1

Área	Equipamento	Componente	F - Função	FF - Falha Funcional	MF - Modo de Falha	CF - Causas de Falha	EF - Efeito de Falha	Referência da Informação			Avaliação das Consequências								Classificação da Falha	
								F	FF	MF	Segurança	Severidade			S - Severidade	O - Ocorrência	D - Detecção	NPR		
												Meio ambiente	Produção	Qualidade						Custos
Fundição	Lingoteira	Garra	Segurar o lingote e transportar até a mesa	Não segura e não transporta	Problemas na Garra	Ar comprimido insuficiente para segurar lingotes	Máquina parada / Perda de produção	1	1	1	6	4	8	8	10	7	8	4	230	A
						Pino extrator funcionar de forma parcial		1	1	1	4	2	6	4	10	5	7	6	218	A
						Sensor não detecta presença de lingotes		1	1	1	2	2	7	5	8	5	6	7	202	A
					Falha fixação do conjunto	Falta de alinhamento do conjunto garra		1	1	1	3	2	7	4	2	4	4	8	115	B
						Desparafusamento devido aos impactos		1	1	2	3	2	5	3	5	4	6	5	108	B
						Desparafusamento devido as vibrações		1	1	2	3	3	5	3	5	4	6	6	137	B
		Tirante da rotula soltou			Se soltou devido aos impactos	1		1	3	4	2	6	5	7	5	5	4	96	C	
					Se soltou devido as vibrações	1		1	3	4	2	5	4	7	4	6	4	106	B	
					Cilindro travado	Esforço axial atípico		1	1	4	4	3	4	5	8	5	3	8	115	B
		Haste empenada				1		1	4	5	2	5	4	9	5	6	7	210	A	
		Haste quebrada				1		1	4	4	2	5	5	9	5	7	6	210	A	
		Desalinhamento de tirantes				1		1	4	4	1	7	3	8	5	6	8	221	A	
	Falha no anel de vedação	Falta de lubrificação			1	1		4	3	4	5	3	5	4	3	9	108	B		
		Contaminações no ar comprimido			1	1		5	6	2	4	4	5	4	3	10	126	B		
	Falha entrada ar comprimido	Desgaste do material dentro do cilindro			1	1		5	4	2	4	4	8	4	3	10	132	B		
		Conexão da mangueira dando passagem			1	1		6	6	2	5	4	7	5	5	6	144	B		
		Obstrução do ar comprimido impuro			1	1		6	5	4	6	3	8	5	4	10	208	A		
	Falha na mangueira	Mangueira se soltou da conexão			1	1		7	5	2	5	5	7	5	3	4	58	C		
		Mangueira furou			1	1		7	6	2	5	4	7	5	4	5	96	C		
		Mangueira ressecou			1	1		7	6	2	6	3	5	4	4	5	88	C		
	Falha conexão terminal saída ar comprimido	Falha na fixação da conexão na mangueira			1	1		8	5	1	6	3	2	3	3	6	61	C		
		Contaminações no ar comprimido			1	1		8	6	4	5	3	3	4	3	7	88	C		

Elaboração do FMEA Parte 2

Área	Equipamento	Componente	F - Função	FF - Falha Funcional	MF - Modo de Falha	CF - Causas de Falha	EF - Efeito de Falha	Referência da Informação		Avaliação das Consequências							Classificação da Falha			
								F	FF	MF	Severidade				S - Severidade	O - Ocorrência		D - Detecção	NPR	
											Segurança	Meio ambiente	Produção	Qualidade						Custos
Fundição	Lingoteira	Bomba	Bombear material fundido	Não bombeia	Quebra da bomba	Excesso de vibração	Perda de material / Danos ao equipamento / Perda de produção	2	2	9	4	1	5	2	10	4	4	4	70	C
						Falta de lubrificação		2	2	9	3	4	6	3	9	5	3	7	105	B
						Mudança brusca da temperatura do material		2	2	9	9	3	5	4	10	6	4	6	149	B
					Falha no sistema de selagem	Desgaste do material		2	2	10	7	4	6	5	6	6	5	10	280	A
						Rompimento da junta de expansão		2	2	10	6	2	5	6	7	5	4	8	166	B
					Quebra do eixo	Falta de alinhamento		2	2	11	8	2	5	5	5	5	5	6	150	B
						Força excessiva radial		2	2	11	7	1	6	5	5	5	4	7	134	B
					Deficiência de bombeamento	Falha elétrica		2	2	12	6	2	6	4	3	4	7	4	118	B
						Ausência de material fundido do forno		2	2	12	7	2	6	4	3	4	5	4	88	C
						Obstrução de material na sucção		2	2	12	6	2	5	4	4	4	6	6	151	B
						Vazamento por corrosão na tubulação de saída		2	2	12	4	3	5	5	4	4	7	5	147	B
					Falha de fixação	Excesso de vibração		2	2	13	4	4	6	5	5	5	6	5	144	B
						Calços do bomba desajustados		2	2	13	2	2	5	4	4	3	5	5	85	C
					Obstrução da pica e tubulação	Encruamento do material fundido		2	2	14	3	4	6	5	4	4	5	6	132	B
						Desgaste do material de saída da bomba		2	2	14	6	2	5	4	3	4	4	7	112	B
					Ruptura ou quebra do rotor	Desgaste do material do rotor		2	2	15	4	3	4	4	10	5	5	5	125	B
						Mudança brusca da temperatura de material fundido		2	2	15	4	4	4	3	8	5	4	6	110	B
						Falhas na instalação do rotor		2	2	15	5	2	5	5	7	5	5	8	192	B

Área	Equipamento	Componente	F - Função	FF - Falha Funcional	MF - Modo de Falha	CF - Causas de Falha	EF - Efeito de Falha	Referência da Informação		Avaliação das Consequências										
								F	FF	MF	Severidade				S - Severidade	O - Ocorrência	D - Detecção	NPR	Classificação da Falha	
											Segurança	Meio ambiente	Produção	Qualidade						Custos
Fundição	Lingoteira	Corrente	Transportar as formas de lingotes	Não transporta	Corrente arrebentada	Rombimento de elos	Máquina parada / Perda de produção / Atrasos na produção	3	3	16	5	3	4	3	8	5	4	6	110	B
						Impacto excessivos		3	3	16	5	3	6	4	7	5	5	7	175	B
					Desgaste do material	3		3	16	6	4	4	4	8	5	3	5	78	C	
					Corrente pulando dentes	Formas da esteira inclinadas		3	3	17	5	2	5	3	6	4	4	7	118	B
		Roldanas que se soltam ou quebram				3		3	17	6	2	4	4	7	5	5	4	92	C	
		Parafuso da esteira quebrado				3		3	17	5	2	6	5	6	5	6	3	86	C	
		Desgaste do material			3	3		17	6	4	5	4	9	6	3	5	84	C		
		Roldana da esteira soltou ou quebrou			Corrente pular dente	3		3	18	4	2	6	3	8	5	10	4	184	B	
					Quebra do pino de fixação	3		3	18	5	2	5	3	9	5	7	6	202	A	
		Pino extrator não funciona			Sensor do extrator não detecta o material	3		3	19	5	1	5	3	10	5	5	7	168	B	
					Quebra da solda que suporta o pino	3		3	19	5	2	5	4	8	5	6	6	173	B	
		Restos de materiais proximos ao pino			3	3		19	4	4	6	2	7	5	4	4	74	C		
		Mancal que suporta a esteira quebrou			Esforço excessivo radial	3		3	21	5	2	7	3	7	5	5	5	120	B	
					Falta de lubrificação	3		3	21	4	4	5	4	6	5	6	6	166	B	
		Esteira com dificuldade de avançar			Corrente da esteira pulou dente ou arrebentou	3		3	22	3	2	8	2	5	4	8	4	128	B	
					Resíduos de materiais interferindo	3		3	22	3	4	5	3	6	4	6	5	126	B	
Travamento ou quebra dos roletes	Desgaste do material	3	3	23	4	3	6	3	7	5	4	6	110	B						
	Falta de lubrificação	3	3	23	3	2	3	4	5	3	5	6	102	B						
Fim de vida útil do material	3	3	23	3	3	3	2	8	4	3	8	91	C							
Quebra do acoplamento do motor	Desalinhamento	3	3	24	4	2	5	4	7	4	4	7	123	B						
	Fim de vida útil do material	3	3	24	3	3	3	2	8	4	3	8	91	C						

Elaboração do FMEA Parte 3

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, 15 de Março de 2021.

ADILSON TADEU LIMA TALMA
NOME LEGÍVEL DO ALUNO (A)

201171055
Matrícula

Adilson Tadeu Lima Talma
ASSINATURA

101.786.876-00
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

ANEXO B – ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO



Universidade Federal de Juiz de Fora - Faculdade de Engenharia
Comissão de Trabalho de Conclusão de Curso - CTCC
Engenharia Mecânica



ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Ata de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Juiz de Fora, realizada na Faculdade de Engenharia da UFJF, com início às horas.

Exame:	DATA: 15/03/2021	SALA: Virtual 11:00	PERÍODO: 2020-3	ALTERAÇÃO DATA:
Discente:	ADILSON TADEU LIMA TALMA			
Orientador:	LUIZ HENRIQUE DIAS ALVES			
Coorientador				

Banca Examinadora:

LUIZ HENRIQUE DIAS ALVES
CARLOS RENATO PAGOTTO
MARCOS MARTINS BORGES

Título do Trabalho de Conclusão de Curso

UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DA MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE APLICADA NO SETOR DA FUNDIÇÃO DE UMA INDÚSTRIA METALÚRGICA DE GRANDE PORTE DO SUDESTE DE MINAS GERAIS

Título do Trabalho de Conclusão de Curso – PREENCHA EM LETRA DE FORMA CASO HAJA ALTERAÇÃO DO TÍTULO

De acordo com as normas do Curso de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, aprovadas pela Comissão de Trabalho de Conclusão de Curso (CTCC), o aluno submeteu seu **Trabalho de Conclusão de Curso** em forma escrita e oral, sendo, após exposição de cerca de 30 minutos, arguido oralmente pelos membros da banca, tendo tido como resultado:

Aprovação por unanimidade.

Aprovação somente após satisfazer as seguintes exigências solicitadas pela banca e no prazo estipulado pela mesma (não superior a quinze dias).

Reprovação.

Na forma regulamentar foi lavrada a presente ata que é abaixo assinada pelos membros da banca na ordem acima determinada e pelo candidato.

Banca Examinadora: (assinatura)

Luiz Henrique Dias Alves

Luiz Henrique Dias Alves
Carlos Renato Pagotto
Marcos Martins Borges

Juiz de Fora, 15 de março 2021.

Candidato: (assinatura)

Adilson Tadeu Lima Talma