

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**ÉDEN CARLOS MICHELON**

**GESTÃO DA MANUTENÇÃO: ANÁLISE DA CRITICIDADE EM  
EQUIPAMENTOS DE UMA INDÚSTRIA NO SUDOESTE DO PARANÁ**

**FRANCISCO BELTRÃO  
2019**

**ÉDEN CARLOS MICHELON**

**GESTÃO DA MANUTENÇÃO: ANÁLISE DA CRITICIDADE EM EQUIPAMENTOS DE UMA INDÚSTRIA NO SUDOESTE DO PARANÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Especialização em Engenharia de Produção da UTFPR-Universidade Tecnológica Federal do Paraná em exigência para obtenção do título de Especialista em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof Me Maiquiel Schmidt de Oliveira

Coorientador: Prof Me Franklin Ângelo Krukoski

**FRANCISCO BELTRÃO**  
**2019**



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campus Francisco Beltrão  
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
Especialização em Engenharia de Produção



## **TERMO DE APROVAÇÃO**

**Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização**

**GESTÃO DA MANUTENÇÃO: ANÁLISE DA CRITICIDADE EM  
EQUIPAMENTOS DE UMA INDÚSTRIA NO SUDOESTE DO PARANÁ**

por

**ÉDEN CARLOS MICHELON**

Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização apresentado às 10 horas e 00 min. do dia 14 de dezembro de 2019, como requisito parcial para obtenção do grau de especialista em Engenharia de Produção, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus* Francisco Beltrão. O(a) candidato(a) foi arguido(a) pela Banca Avaliadora composta pelos professores que abaixo assinam este Termo. Após deliberação, a Banca Avaliadora considerou o trabalho \_\_\_\_\_ (Aprovado ou Reprovado).

---

**MAIQUEL SCHMIDT DE  
OLIVEIRA**  
Professor(a) Orientador(a)

---

**FRANKLIN ANGELO  
KRUKOSKI**  
Professor(a) Coorientador(a)

---

**VILMAR STEFFEN**  
Membro da Banca

---

**Prof. Maiquiel Schmidt de Oliveira**  
Responsável pela Coordenação do CEEP  
Curso de Especialização em Engenharia de Produção

**A FOLHA DE APROVAÇÃO ORIGINAL (ASSINADA) ENCONTRA-SE NA COORDENAÇÃO DO  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.**

**A minha família, especialmente a minha esposa  
Luana pelo companheirismo nesta etapa de minha  
vida.**

## **AGRADECIMENTOS**

Neste momento agradeço a todos que contribuíram para a realização deste trabalho especialmente:

A Deus por me dado forças e perseverança de chegar até aqui.

A minha família, Luana minha esposa, meus pais Delcio e Fátima por serem fundamentais nessa caminhada, principalmente pelas palavras de apoio em momentos difíceis.

Aos Professores Mestre Maiquiel Schmidt de Oliveira e Mestre Franklin Ângelo Krukoski pela amizade e os fundamentos repassados durante a elaboração deste trabalho, e pela confiança na realização deste.

## RESUMO

A constante evolução da indústria busca cada vez mais transformar seus processos e torná-los mais eficientes, utilizando-se de equipamentos com tecnologia mais avançada afim de garantir a qualidade esperada. Dentro deste contexto a manutenção industrial se evidencia como peça importante para as empresas que buscam alcançar seus objetivos no mercado competitivo. Para que o setor de manutenção alcance os resultados esperados pelas corporações, com planejamento e o uso das ferramentas e os recursos disponíveis da melhor maneira possível, a matriz de análise de criticidade possibilita a visualização e auxilia a gestão da manutenção em suas tomadas de decisões. O presente trabalho da análise da criticidade sendo esse um dos processos da ferramenta da manutenção centrada na confiabilidade, tendo como objetivo a redução do custo de manutenção e das ocorrências de paradas de processo devido a manutenção não eficaz. Portanto a proposta do trabalho é a implantação da matriz de criticidade em uma linha de produção de uma empresa fabricante de artefatos de cimento afim de aumentar a confiabilidade do processo e a redução do custo com manutenção. O levantamento realizado a empresa estudada definiu uma linha de produção específica dentro das unidades produtivas da mesma, com o uso dos indicadores já estabelecidos pela produção, qualidade e setor de segurança do trabalho sendo esses relacionados as restrições da matriz de análise da criticidade, ficou então demonstrado que, em 46% dos equipamentos, a técnica de manutenção a ser utilizada afim de se reduzir custos e aumentar a confiabilidade da manutenção deve ser a manutenção preventiva.

**Palavras-chave:** Análise da criticidade. Manutenção Industrial. Confiabilidade.

## **ABSTRACT**

The constantly evolving industry increasingly seeks to transform its processes and make them more efficient, using equipment with the most advanced technology in order to ensure the expected quality. Within this context, industrial maintenance is evidenced as an important piece for companies seeking to reach their goals in the competitive market. In order for the maintenance sector to achieve the results expected by corporations, with the planning and use of the best available tools and resources, the criticality analysis matrix enables visualization and assists maintenance management in their decision making. The present work of criticality analysis is one of the processes of the reliability centered maintenance tool, aiming at reducing the maintenance cost and the occurrence of process stoppages due to inefficient maintenance. Therefore, the purpose of this work is the implementation of the criticality matrix in a production line of a cement artifact manufacturing company in order to increase process reliability and reduce maintenance costs. The survey conducted by the company studied defined a specific production line within its production units, using the indicators already established by the production, quality and work safety sector, which were related to the constraints of the criticality analysis matrix. It has been shown that in 46% of the equipment, the maintenance technique to be used in order to reduce costs and increase maintenance reliability must be preventive maintenance.

**Keywords:** Criticality analysis. Industrial Maintenance. Reliability

## Lista de Figuras

Figura 1 - Organograma dos tipos de manutenção	16
Figura 2 - Curva do custo de manutenção corretiva	17
Figura 3 - Curva do custo de manutenção preventiva	19
Figura 4 - Processo de implantação do MCC	22
Figura 5 - Programa da MCC	24
Figura 6 - Fluxograma da classificação ABC	27
Figura 7 - Matriz de criticidade	35
Figura 8 - Organograma de análise da criticidade	38
Figura 9 - Fluxograma da análise da criticidade	47
Figura 10 - Aplicação da análise da criticidade	48
Figura 11 - Gráfico de técnicas de manutenção	49



## **Lista de Quadros**

Quadro 1 - Ocorrências de falhas	25
Quadro 2 - Classificação ABC	28
Quadro 3 - Mapa de risco NR5	30
Quadro 4 - Categoria e critérios decisores	40
Quadro 5 - Restrições por categoria	42
Quadro 6 - Matriz de classificação da criticidade	46

## **Lista de Tabelas**

Tabela 1 - Comparação da manutenção tradicional e MCC	23
Tabela 2 - Indicador de segurança do trabalho e meio ambiente	43
Tabela 3 - Indicador da produção	44
Tabela 4 - Indicador da manutenção	45
Tabela 5 - Análise da criticidade	49

## **Lista de Siglas**

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
COFA	<i>Consequence of Failure Analysis</i>
FMEA	<i>Failure Modes effects analysis</i>
FMECA	<i>Failure Modes effects and criticality analysis</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
JIPM	<i>Japan Insitute of Plant Maintenance</i>
MCC	Manutenção Centrada na Confiabilidade
MTBF	<i>Mean Time Between Failures</i>
MTTR	<i>Mean Time to Repair</i>
NR5	Norma Regulamentadora 5
PPRA	Programa de Prevenção de Riscos Ambientais
RCM	<i>Realiability Centred Maintenance</i>
TOC	<i>Theory of Constraints</i>

## **SUMÁRIO**

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>12</b>
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	12
1.2	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	12
1.3	OBJETIVOS	14
1.3.1	Objetivo Geral	14
1.3.2	Objetivos Específicos	14
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>15</b>
2.1	MANUTENÇÃO INDUSTRIAL	15
2.1.1	Manutenção Corretiva	16
2.1.2	Manutenção Preventiva	18
2.1.3	Manutenção Preditiva	19
2.2	MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE	20
2.3	ANÁLISE DA CRITICIDADE	24
2.3.1	Modo de Falha e Efeito (FMEA)	28
2.3.2	Avaliação da Criticidade	29
2.3.3	Aplicação da Criticidade	34
2.4	TEORIA DAS RESTRIÇÕES	35
<b>3</b>	<b>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b>	<b>37</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>38</b>
4.1	DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS DECISORES E CATEGORIAS	39
4.2	CARACTERIZAÇÃO DOS CRITÉRIOS E DAS RESTRIÇÕES	40
4.3	INDICADORES DE DECISÃO	43
4.4	APLICAÇÃO DAS INFORMAÇÕES NO MODELO DE MATRIZ DE CRITICIDADE	45
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>51</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>52</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A evolução industrial ocorrida no último século, desde o princípio da primeira produção em linha e produtos seriado desenvolvida por Henry Ford, as empresas buscam reduzir custos, aumentar a produtividade e a qualidade de seus produtos tendo em vista o mercado cada vez mais competitivo. Com isso as indústrias necessitam atualizar suas estruturas constantemente para tornarem-se mais eficientes, o setor de manutenção se torna peça chave para que exista a garantia do pleno funcionamento dos equipamentos e a qualidade exigida pelos consumidores.

Para Bortolini (2017) as inovações tecnológicas como a rede de comunicação global, sensores inteligentes interconectados estão possibilitando um avanço na tecnologia de produção, ou seja, uma nova revolução do método de produção assim denominado Indústria 4.0. Como parte fundamental desse novo modelo, a manutenção torna-se parte estratégica da produtividade da indústria, auxiliando na qualidade e volume de produção.

A falta de manutenção nos equipamentos pode acarretar em perdas com paradas, baixa qualidade e atraso de programação das entregas. Segundo Xenos (1998) para que a empresa se torne competitiva é necessário que a gestão da manutenção certifique a produção seja contínua, sem paradas para manutenções corretivas, esse sistema é chama de Sistema de Gerenciamento da Manutenção.

Uma proposta de desenvolvimento em uma visão sistêmica é o estudo do tema sobre a gestão da manutenção e o princípio da definição de suas prioridades e na escolha correta das ações realizadas, a relação entre o setor e a organização.

## 1.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

A confiabilidade e a disponibilidade no equipamento são componentes chaves para que a produção da empresa seja realizada, com isso, a responsabilidade sobre o setor de manutenção aumenta devido a necessidade de se ter os equipamentos a disposição para a produzir. Para evitar possíveis falhas nos equipamentos, a manutenção trabalha com duas frentes de ações a manutenção preditiva e a manutenção preventiva, buscando-se antecipar-se ao fato.

Entretanto para que a disponibilidade seja realizada de forma correta, leva-se em consideração que, nem todos os equipamentos acarretam em indisponibilidade de processo, ou seja, nem todos os equipamentos ou processos têm a mesma importância na cadeia produtiva, sendo uns de maior relevância e criticidade que outros. Conhecer o processo crítico que pode estabelecer perdas de maiores relevâncias e neste atuar como rigidez impacta no ganho de produção e na redução de custos.

Dessa forma classificar a importância da intervenção da manutenção através do conhecimento da relevância crítica de cada processo ou equipamento, podendo assim distinguir as necessidades das ações tomadas em cada caso, usando-se das ferramentas e da disposição técnica em cada caso.

Para Fabro (2003) o processo crítico é formado por diversos meios de produção, que se falharem poderão causar a indisponibilidade do mesmo, comprometendo desta forma a produtividade, ou seja, cada equipamento tem sua importância dentro da produtividade classifica-los corretamente torna a intervenção da manutenção mais eficaz.

Partindo dessa proposição, a organização que define sua gestão de manutenção procurando estruturar as ações de forma coerente, elaborando propostas eficientes e agindo com rapidez nas intervenções considerando as prioridades dos setores produtivos. Assim dessa questão proposta por esse é a elaboração de uma matriz para análise de criticidade em uma linha de produção de uma indústria, afim de definir a melhor técnica a ser utilizada e a melhor utilização dos recursos disponíveis pela manutenção.

Ainda Baran (2011) descreve que as políticas mais tradicionais adotadas pela manutenção difundem que todas as falhas são ruins e devem ser evitadas, no entanto, quando analisado mais detalhadamente essa afirmação é comparado a dois aspectos:

- i. Nem sempre é viável evitar uma falha, do ponto de vista técnico;
- ii. Qual seria o custo para evitar todas as falhas.

Com o propósito de implantar métodos que redução as falhas em equipamentos industriais, adotando critérios que tornem essa medida mais eficiente e se utilizando dos recursos dispostos.

O trabalho é apresentado pelas seguintes etapas, capítulo 1 contextualização do problema: nesta etapa são realizados os comentários iniciais, apresentação e

justificativa do tema, exposição dos objetivos. Capítulo 2, fundamentação teórica: etapa apresenta o contexto histórico da manutenção seus métodos e técnicas, função das técnicas e políticas empregadas, bem como os conceitos e definições empregados na MCC e a metodologia de análise de criticidade e definição de matriz de criticidade através de indicadores. Capítulo 3, procedimento metodológico: a apresentação dos métodos de pesquisa e estrutura do trabalho. Capítulo 4, análise de criticidade na manutenção: Compreende o processo de análise de criticidade de equipamentos industriais, observando os métodos empregados atualmente e os fatores que influenciam no processo de fabricação. Capítulo 5, construção de modelo para definição de criticidade: Nesta etapa são apresentados os modelos desenvolvidos para representar a problemática em questão, com identificação dos métodos a serem empregados, critérios fundamentais definidos pela alta gestão da empresa, e a elaboração de modelo a fim de operacionalizar uma aplicação, através das preferências de decisões e demais etapas necessárias. Capítulo 6, aplicação do modelo: Etapa de aplicação do modelo de análise da criticidade em um problema de manutenção industrial. Capítulo 7 resultados e considerações finais: Avaliação dos resultados.

### 1.3 OBJETIVOS

#### 1.3.1 Objetivo Geral

Desenvolver uma matriz de criticidade através de indicadores a ser utilizada na definição do planejamento das manutenções industriais.

#### 1.3.2 Objetivos Específicos

1. Reduzir o custo de manutenção de equipamentos;
2. Redução do número de paradas de processo produtivo por falha de equipamentos devido a manutenção;
3. Definir a melhor técnica de manutenção para cada equipamento.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 MANUTENÇÃO INDUSTRIAL

A evolução da manutenção em equipamentos deu-se principalmente após a segunda guerra mundial, pois introduziu o contexto de investigação das falhas e quebras, ou seja, conforme Cabrita e Silva (2002) a aplicação de técnicas para o monitoramento de forma científica ao trabalho da manutenção.

Segundo Slack (2000) manutenção é o termo usado para abordar a forma pela qual as empresas tentam evitar as falhas e quebras ao cuidar de suas instalações físicas e equipamentos, sendo de suma importância para as atividades desenvolvidas pelas empresas.

Para Moubrey (2001), a manutenção industrial é abordada em três gerações, a primeira antes da segunda guerra mundial onde as indústrias não eram mecanizadas, ou seja, significava que a prevenção de falhas no equipamento não era uma prioridade para a gestão das empresas. Como resultado da metodologia da época não existia a necessidade de manutenção sistemática de qualquer tipo além das simples rotinas de limpeza e lubrificação.

Sendo assim a segunda geração é desenvolvida durante a segunda guerra associava a exigências com a disponibilidade e a vida útil do equipamento, a redução do custo com possíveis consertos, isso levou ao crescimento dos sistemas de planejamento e controle de manutenção. Na terceira geração da manutenção são desenvolvidos os requisitos exigidos atualmente da manutenção, a confiabilidade e disponibilidade essas garantindo a segurança com ausência de danos ao meio ambiente.

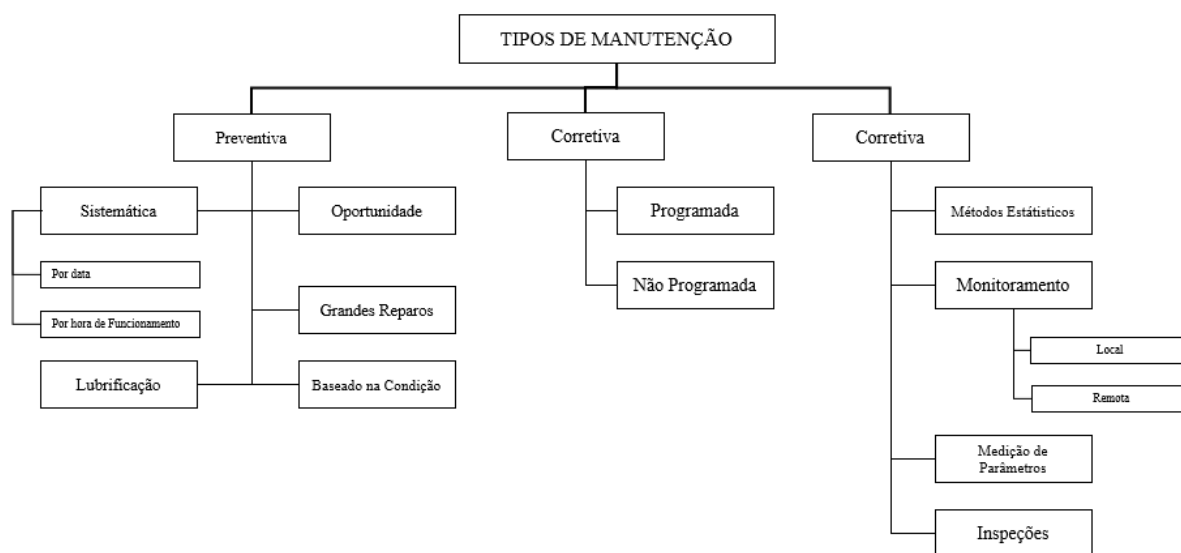
Podemos classificar a manutenção em algumas divisões de métodos e ações a realizarem, a ABNT 5462 (1994) classifica as manutenções em técnicas corretivas, preventivas e preditivas, sendo que nenhuma as técnicas não são substituídas uma pela outra, porém se associadas uma da outra encontra-se resultados positivos em termos de performances gerais nas gestões.

Sendo assim Branco (2008) descreve que as técnicas de manutenção devem ser aplicadas levando em consideração o custo da parada ou falha, e se uso da técnica de manutenção escolhida gerarão despesas menores que nos reparos do



que o custo da parada de processo. Portanto, o autor define em três técnicas principais Figura 1, que combinadas corretamente trarão à gestão da manutenção resultados esperados, redução de custos, quebras e paradas, ainda aumento da qualidade dos produtos e disponibilidade dos equipamentos.

Figura 1 - Organograma dos tipos de manutenção



Fonte: Branco (2008).

Assim apresenta-se cada método de ações realizados pela manutenção industrial e sua forma de agir e meio de intervenção.

### 2.1.1 Manutenção Corretiva

Para a ABNT 5462 (1994) a manutenção corretiva é aquela efetuada após a ocorrência da falha, quebra ou defeito, sendo está destinada recolocar o equipamento ou estrutura em condição de realizar a sua função destinada, ou seja, é a realização de uma ação afim de corrigir a avaria afim de que o equipamento ou instalação cumpram o seu papel dentro do processo de produção.

Segundo Bloom (2005) a manutenção corretiva como o trabalho realizado a fim de reparar uma falha ocorrida em uma máquina.

Telles (2017) descreve que 69% das empresas brasileiras se utilizam da técnica de manutenção corretiva como a principal a ser utilizada para efetuar o conserto dos equipamentos.

B. G. Filho (2008) divide a manutenção corretiva em duas classes, corretiva programada, onde a ação de manutenção é realizada após a falha potencial, e corretiva não planejada, onde a ação de manutenção é realizado após a ocorrência da falha funcional

Portanto Otani e Machado (2008) definem que podemos separar a manutenção corretiva em dois tipos de ações, e as classifica da seguinte forma:

- Manutenção Corretiva não planejada: correção da falha de maneira aleatória, ou seja, é a correção da falha ou desempenho menor que o esperado após a ocorrência do fato. Esse tipo de manutenção implica em altos custos, pois o dano ao equipamento é maior e causa perda de produção;
- Manutenção Corretiva planejada: é a correção que se faz em função de um acompanhamento preditivo, detectivo ou até mesmo pela decisão gerencial de se operar até ocorrer à falha.

Figura 2 - Curva do custo de manutenção corretiva



Fonte: Teles (2017).

Teles (2017) apresenta na Figura 2 que a manutenção corretiva é a técnica de manutenção mais cara a ser realizada pela empresa, pois a mesma quase sempre é realizada após o ponto potencial de falha e necessita de um tempo maior para a sua realização e sendo normalmente realizado durante o processo de produção. Esse valor pode ser sete vezes maior que as outras técnicas de

manutenção. Esse custo pode ser caracterizado pelos seguintes itens:

- Compras de caráter emergencial: a falta de planejamento para manutenção tendo a necessidade de ser realizada em caráter de urgência, deixando todo o planejamento fora do processo. Sendo assim as compras dos suprimentos para a manutenção desses equipamentos podem custar até sete vezes mais, pois a compra em fornecedores que têm um preço maior que o de seus concorrentes e entregam em um prazo menor.
- Danos Auxiliares: uma pequena avaria pode transformar em uma complexa manutenção através de desgaste não identificado.
- Tempo: a manutenção corretiva leva muito mais tempo para ser executada do que a manutenção preventiva ou predita, quando se leva em consideração a eliminação da causa raiz, por não existir planejamento para executar o trabalho.

### 2.1.2 Manutenção Preventiva

Conforme a ABNT 5462 (1994) a manutenção preventiva é definida como aquela efetuada em intervalos pré-determinados, ou de acordo com critérios estabelecidos, sendo destinados a reduzir a probabilidade de falhas e degradação dos equipamentos.

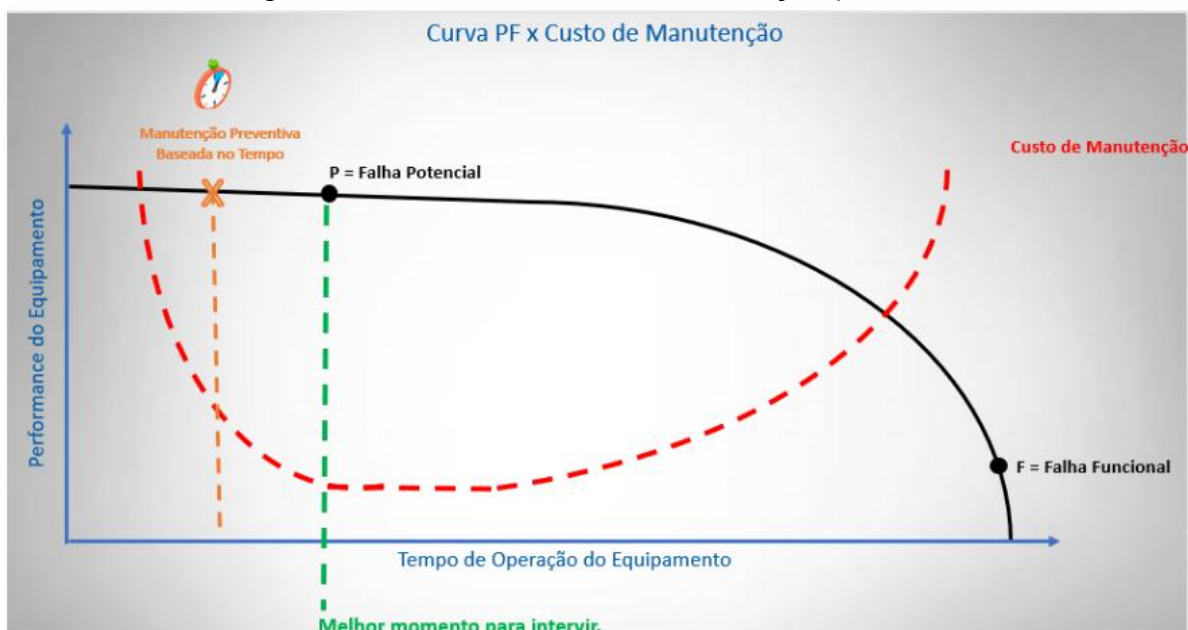
Ainda para Otani e Machado (2008) a manutenção preventiva é a atuação realizada para reduzir falhas ou queda no desempenho, obedecendo a um planejamento baseado em períodos estabelecidos de tempo.

Para Xavier (2007) o sucesso da ação de manutenção preventiva depende muito do intervalo de tempo destinado entre estas, o intervalo correto tende a efetivar custos desnecessários com trocas antecipadas de peças.

Teles (2019) considera que a manutenção preventiva tem sua ação sobre os “gatilhos”, ou seja, gatilhos são critérios ou condições específicas que irão determinar quando um equipamento deve passar por manutenção.

Para Teles (2019) esses gatilhos podem ser classificados como: tempo; horas de funcionamento; produtividade e os gatilhos mistos.

Figura 3 - Curva do custo de manutenção preventiva



Fonte: Teles (2019).

A Figura 3 apresenta que a manutenção preventiva baseada no tempo se antecipa ao potencial de falha reduzindo assim a possibilidade de o processo produtivo parar por quebra ou falha do equipamento.

Segundo Wiley (1985) apud Armstrong-Hékouvry (1994), que a possibilidade de se definir o momento exato de uma falha é baixa, sendo assim, quanto mais perto do potencial de falha a manutenção preventiva for realizada menor o custo.

### 2.1.3 Manutenção Preditiva

Segundo a ABNT 5462 (1994) a manutenção preditiva permite garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação de técnicas de análises, utilizando-se de supervisão e amostragem de peças dos equipamentos, afim de se reduzir a necessidade de manutenções preventivas e as ocorrências de manutenções corretivas.

Para Otani e Machado (2008) o termo associado à manutenção preditiva é o de “prever”, assim o grande objetivo da manutenção preditiva: prever as falhas nos equipamentos ou sistemas através de acompanhamento dos diversos parâmetros, sendo estes que definiram a necessidade de intervenção através dos dados apresentados.

Assim como Teles (2017) essa técnica é conhecida como manutenção sob condição ou manutenção com base no estado do equipamento, baseando-se na tentativa de definir o estado futuro de um equipamento ou sistema, por meio dos dados coletados ao longo do tempo por uma instrumentação específica, verificando e analisando a tendência de variáveis do equipamento.

Branco (2008) ressalta que a manutenção preditiva tem como vantagens o máximo aproveitamento da vida útil dos componentes junto com o mínimo de intervenções nos equipamentos, reduzindo reparos desnecessários.

Teles (2017) destaca entre as técnicas de manutenção preditivas utilizadas destaca o uso de quatro sendo estas:

- a) Análise de Vibração: é o processo pelo qual as falhas em componentes móveis de um equipamento, são descobertas pela taxa de variação das forças dinâmicas geradas.
- b) Termografia: é a técnica de registrar em forma gráfica ou visível a olho nu, a Radiação Infravermelha que todos os corpos acima do Zero Absoluto (  $-273,15^{\circ}\text{C}$  ) irradiam.
- c) Análise de óleo: consiste na análise em laboratório das propriedades do lubrificante, se existe contaminantes e detritos.
- d) Ultrassom: essa técnica de inspeção detecta facilmente vazamentos em sistemas de transporte de ar comprimido, vapor e outros gases até mesmo fuga de corrente elétrica e defeitos mecânicos.

Como critério de seleção para aplicação de técnicas preditivas a relevância do sistema ou equipamento no processo produtivo, através de parâmetros como: criticidade de uma falha do sistema, tempo de operação, sistemas ou componentes sobressalentes, característica das falhas, possibilidade de monitoramento e custos de inspeção. (MARÇAL, 2000)

## 2.2 MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE

A manutenção centrada na confiabilidade em inglês conhecida como RCM (*Reliability Centered Maintenance*), é um método de manutenção utilizada na década de 60 pelas industriais de aviação, priorizando ações da manutenção para

que o sistema tenha uma confiabilidade fundamental. Focando também na segurança, desempenho, financeiro e no meio-ambiente. (WANG & HWANG, 2004)

Moubray (2001) descreveu que o desenvolvimento mais importante realizado no campo da manutenção centrada na confiabilidade foi a publicação em agosto de 1999 do SAE Standard JA:1011: "Critérios de evolução para o processo de Manutenção Centrada na Confiabilidade". Portanto, o documento desempenhou um papel central no esclarecimento do que é, e do que não é o RCM.

Sendo assim Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) disponibiliza uma estratégia eficiente de manutenção, agindo na redução e eliminação dos efeitos a partir da consequências de uma falha, baseadas nas necessidades do processo produtivo e não do equipamento, conforme abordagem tradicional de manutenção. (GARZA, 2002)

Para Niu (2010), a MCC se torna uma abordagem da melhoria industrial evidenciando a necessidade de identificar métodos de melhoria para a manutenção e das operações e do capital, então consequentemente as mesmas irão realizar o gerenciamento dos riscos de falhas dos equipamentos de forma mais eficaz.

Lima Junior (2019) descreve que o principal objetivo da MCC, é prevenir a função de cada equipamento ou componente dentro do sistema reduzindo os custos da manutenção dos ativos, aumentar a confiabilidade e a disponibilidade dos mesmos.

Ainda para Leverette (2006) a aplicação da MCC é dividida em quatro etapas, nessas destacam-se os processos de análise, ferramentas e relacionamentos possíveis presentes no processo de implantação, a Figura 4 ilustra a relação entre as etapas citadas.

Figura 4 - Processo de implantação do MCC



Fonte: Leverette (2006).

No processo inicial da implantação a identificação de cada parte do equipamento, ou seja, as partes principais e os sub-conjuntos. A identificação de possíveis falhas, anomalias seus efeitos e causas, são o passo seguinte do processo. A terceira etapa consiste na definição da lógica da confiabilidade aplicada sobre os equipamentos junto ao processo de produção, e a última etapa é o desenvolvimento e a constante atualização das técnicas de manutenção aplicadas, visando a melhoria contínua do MCC introduzido.

Para Siqueira (2009) o processo de implantação do MCC é realizado pelas seguintes etapas:

- Etapa 1: Identificação das Funções do Sistema;
- Etapa 2: Análise dos Modos de Falha e Efeitos;

- Etapa 3: Seleção das Funções Significantes;
- Etapa 4: Seleção das Atividades Aplicáveis;
- Etapa 5: Avaliação da Efetividade das Atividades;
- Etapa 6: Seleção das Atividades Aplicáveis e Efetivas;
- Etapa 7: Definição da Periodicidade das Atividades.

Tabela 1 Siqueira (2009) compara o uso do MCC com a manutenção da forma tradicional.

Tabela 1 - Comparação da manutenção tradicional e MCC

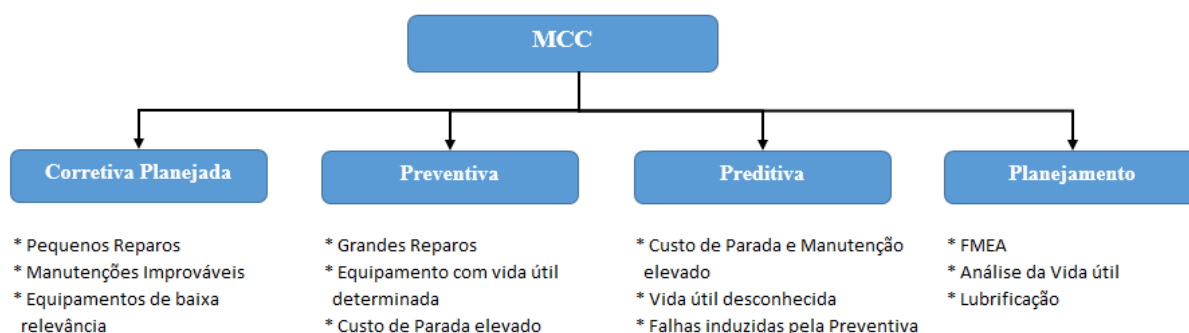
<b>Caraterísticas</b>	<b>Manutenção Tradicional</b>	<b>MCC</b>
<b>Foco</b>	Equipamento	Função do equipamento
<b>Objetivo</b>	Manter o Equipamento	Preservar a função
<b>Atuação</b>	Componente	Sistema
<b>Atividades</b>	O que pode ser feito	O que deve ser feito
<b>Dados</b>	Pouca ênfase	Muita ênfase
<b>Documentação</b>	Reduzida	Obrigatória e sistemática
<b>Metodologia</b>	Empírica	Estruturada
<b>Combate</b>	Falhas	Consequência das falhas
<b>Normalização</b>	Não	Sim
<b>Priorização</b>	Inexistente	Por função

Fonte: Siqueira (2009).

Com isso a manutenção focada na confiabilidade tem por características a utilização da manutenção como ferramenta estratégica do negócio, focalizando especialmente nos resultados como um todo. A MCC apresenta dentro das técnicas de manutenção a maneira de visualizar as ações a Figura 5 apresenta essa utilização.



Figura 5 - Programa da MCC



Fonte: Adaptado de Branco (2008).

## 2.3 ANÁLISE DA CRITICIDADE

As indústrias são desenvolvidas com o intuito de produzir a fim de satisfazer o anseio de seus consumidores, sendo este anseio atendido através do elevado nível da qualidade desejada pelos clientes no produto ou serviço. Mas ao decorrer do tempo o processo de produção começa a adotar uma política de manutenção que mantenha o desempenho da empresa e a qualidade dos produtos ou serviços. (WANG & PHAM, 2011).

Segundo Marques e Marçal (2006) o nível de criticidade de um equipamento é definido por aquele que apresentar o maior grau de complexidade na manutenção das avarias ou aquele que impõe mais dificuldades de acesso para eventual ação corretiva.

Portanto o uso da análise de criticidade sendo utilizada como ferramenta para determinação da priorização e definição de técnicas para atendimento da manutenção. Hellman (2010) ressalta a importância de estabelecer os níveis de criticidade os quais podem expressar a relevância de cada equipamento dentro do processo produtivo, levando em consideração fatores como segurança, qualidade, impactos ambientais e econômicos, além de funções operacionais, sendo que as falhas ou quebras dentro de cada fator podem ser fundamentados pelas suas consequências.

Segundo Siqueira (2009) grande parte das empresas se utiliza do conhecimento de seus gestores e técnicos de manutenção para avaliar a criticidade dos equipamentos, a utilização da forma empírica dos métodos apenas servem de

referência para as atividades de manutenção e não para uma completa avaliação dos aspectos e cenários do sistema.

Com isso Fogliatto e Ribeiro (2009) descrevem que a base de trabalho da MCC pode ser representada através de uma FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) modificada, definindo-se as funções e padrões dos equipamentos e seus desempenhos, suas falhas, as causas e as consequências destas, a criticidade para o processo produtivo e o tipo de manutenção recomendada.

As falhas deveram ocorrer ao longo do tempo, o Quadro 1 de ocorrência das falhas de Fogliatto e Ribeiro (2009) apresenta a relação entre a gravidade da falha com a taxa de aceitação, impondo a relação na escala. Na escala quanto mais alto o valor apresenta, maior será a necessidade de se realizar uma ação afim de diminuir a ocorrência.

Quadro 1 - Ocorrências de falhas

Ocorrência da Falha	Taxa de Falha	Escala
Muito Alta	Falhas Inevitáveis	
	100/1000	10
	50/1000	9
Alta	Falhas que ocorrem com frequência	
	20/1000	8
	10/1000	7
Moderada	Falhas ocasionais	
	5/1000	6
	2/1000	5
	1/1000	
Baixa	Falhas raramente ocorrem	
	0,5/1000	4
	0,1/1000	3
Mínima	Falhas muito improváveis	
	0,01/1000	2 ou 1

Fonte: Fogliatto e Ribeiro (2009).

Neste contexto, a adaptação do FMEA para a análise crítica sendo amplamente utilizada, outros autores sugerem o uso de outras ferramentas. Rausand (1998) sugere que se utilize na identificação das falhas e definição da criticidade desta na produção a ferramenta FMECA (*Failure Modes, Effects and Criticality Analysis*).

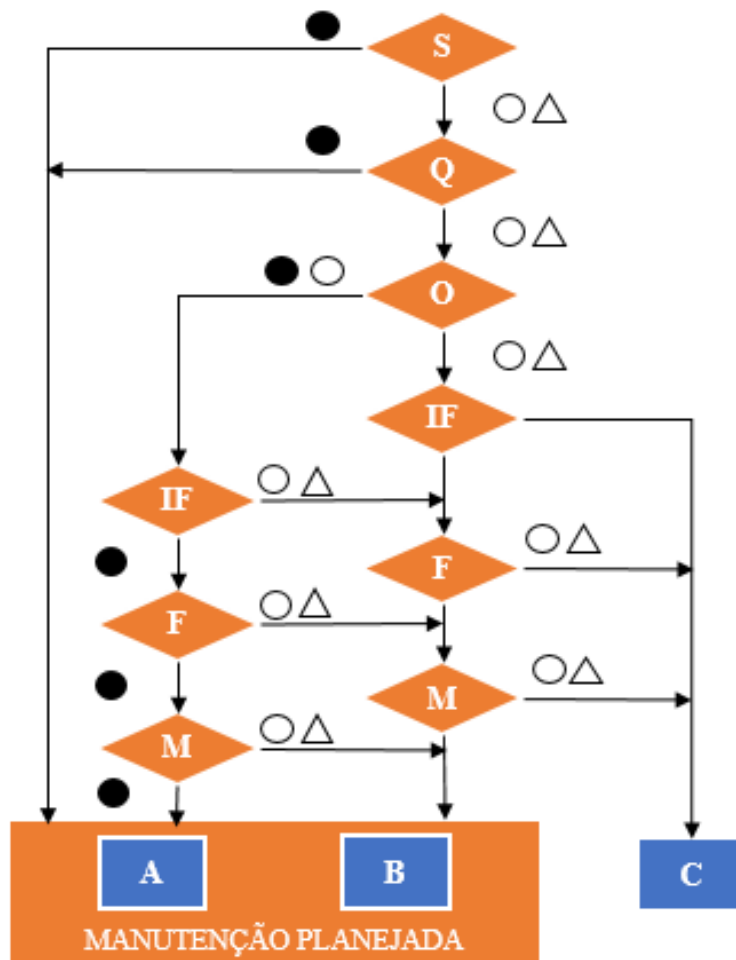
Ainda para Bloom (2005) define que a COFA (*Consequence of Failure Analysis*) como uma ferramenta mais simples para se analisar as consequências das falhas e sua criticidade.

O JIPM (*Japan Institute of Plant Maintenance*) (1995) recomenda para a avaliação da criticidade o uso da classificação ABC, o auxílio do fluxograma orientado para a decisão Figura 6 e o Quadro 2, sendo avaliado os critérios escolhidos pela análise, através de perguntas que direcionam os ativos nas classes de criticidade (A, B e C).

Siqueira (2009) define as classes de criticidade dos equipamentos:

- Classe A: Equipamentos altamente críticos, sendo fundamental uma política de manutenção preventiva com o uso de técnicas preditivas e preventivas, focadas na redução de falhas e custos utilizando metodologias MCC ou FMECA;
- Classe B: Equipamentos importante ao processo, sendo aceitável a utilização de técnicas de manutenção preventivas ou preditivas, equipes para melhoria, análise das falhas pelo setor de manutenção;
- Classe C: Equipamento com baixa relevância ou impacto ao processo, seguindo o uso das técnicas de manutenção corretivas e preventivas em equipamentos, o monitoramento das falhas focando na redução das recorrências.

Figura 6 - Fluxograma da classificação ABC



Fonte: JIPM (1995).

Quadro 2 - Classificação ABC

		CLASSE		
		●	○	△
<b>S</b>	Risco potencial de um acidente quando ocorre uma falha	Risco Alto	Risco Médio ou baixo	Risco descartado
<b>Q</b>	Risco de perdas, reclamações, retrabalhos	Risco alto para perdas e retrabalhos	Risco médio para perdas e retrabalho	Risco baixo ou descartado
<b>O</b>	Tempo de operação do equipamento	24/dia	8 a 24/dia	<= 8h/dia
<b>IF</b>	Impacto no processo durante a falha do equipamento	Interrompe todo processo de produção	Não interrompe processo, mas gera perdas	Não há impacto significativo
<b>F</b>	Frequência de falha do equipamento	Maior que 01 falha/02 meses	01 falha/02 e 06 meses	Menor que 01 falha/06 meses
<b>M</b>	Tempo médio de reparo (MTTR)	MTTR > 2h	0,5h < MTTR < 2h	MTTR < 0,5h

Fonte: JIPM (1995).

### 2.3.1 Modo de Falha e Efeito (FMEA)

Na manutenção centrada na confiabilidade (MCC), o FMEA é uma ferramenta de utilização fundamental, utilizada para análise das falhas ocorridas nos equipamentos e os impactos no processo.

Para Fogliatto e Ribeiro (2009) a ferramenta FMEA que analisa as falhas e seus efeitos se tornando uma ferramenta essencial no processo de confiabilidade.

Ainda Fogliatto e Ribeiro (2009) definem que os principais objetivos do FMEA são:

- (i) Reconhecer e avaliar as falhas potenciais que podem surgir em um produto ou processo,
- (ii) Identificar as ações que possam eliminar ou reduzir a chance de ocorrência dessas falhas,
- (iii) Documentar o estudo, criando um referencial técnico que possa auxiliar em revisões desenvolvimentos futuros do projeto ou processo.

### 2.3.2 Avaliação da Criticidade

Para Siqueira (2009) grande parte das industriais não utilizam parâmetros adequados para avaliarem os fatores que afetam seus equipamentos, com isso se utilizam do conhecimento dos gestores e técnicos responsáveis pela análise.

A IEC 60518 (2006) define criticidade como o impacto de falha que exige seu controle e redução, também com o propósito de quantificar o efeito de cada falha como uma ferramenta de auxílio à tomada de decisão, de modo que com uma combinação de criticidade e severidade as ações sejam realizadas afim de reduzir os efeitos e novos eventos das falhas.

Ainda assim Pinto (2002) descreve que a avaliação da criticidade dos equipamentos deve ser realizada a partir de uma classificação dos equipamentos sobre o ponto de vista do impacto que uma avaria causa na qualidade dos produtos ou serviços prestados pelas empresas, ainda sendo necessário classifica-los pelo volume e a qualidade da produção.

Ainda para Horenbeek & Pintelon (2010) na avaliação da criticidade devem ser acrescentados outros critérios sendo estes, a relação dos equipamentos no processo, risco potencial da falha, os impactos financeiros, segurança, impactos ao meio ambiente, aspectos financeiros e fatores da qualidade do produto.

Classificar corretamente a criticidade de um equipamento permite que o setor de manutenção tenha uma melhor eficácia na escolha de suas ações, ou seja, a escolha da técnica de manutenção adequada para que cada equipamento seja submetido visando otimizar a aplicação dos recursos diminuindo os custos com manutenção e paradas de produção. (BRITO, 2003)

Portanto os principais grupos da análise da criticidade são:

- i. Critérios de segurança do trabalho e meio ambiente

Moubray (2007) define que o equipamento que apresenta risco de segurança a vida do colaborador ou ao meio ambiente quando gerados a partir de falha.

Ainda Pintelon (1992) define que a análise de segurança e risco ao meio ambiente identificam as falhas cujas as consequências possam impactar no desempenho do sistema, segurança dos trabalhadores ou no risco ao meio ambiente. Com isso o fator é determinado através do ponto mais crítico do indicador e pela capacidade de comprometer a segurança e o impacto sobre o meio ambiente.

O PPRA o Programa de prevenção de riscos ambientais que segundo Miranda (2004), tem como objetivo a prevenção e o controle da exposição ocupacional aos riscos ambientais, a prevenção e o controle dos riscos químicos, físicos e biológicos presentes nos locais de trabalho.

O Quadro 3 da NR5 apresenta cada grupo e seus respectivos riscos categorizados, as cores serviram para a identificação dos mesmo na realização do mapa de risco nas empresas. Sendo assim, a cor identifica o risco e a grandeza de cada um no ambiente ou equipamento.

Quadro 3 - Mapa de risco NR5

<b>Grupo 1 Verde</b>	<b>Grupo 2 Vermelho</b>	<b>Grupo 3 Marrom</b>	<b>Grupo 4 Amarelo</b>	<b>Grupo 5 Azul</b>
<b>Riscos Físicos</b>	<b>Riscos Químicos</b>	<b>Riscos Biológicos</b>	<b>Riscos Ergonômicos</b>	<b>Riscos de Acidentes</b>
Ruídos	Poeiras	Vírus	Esforço Físico intenso	Arranjo físico inadequado
Vibrações	Fumos	Bactérias	Levantamento e transporte	Máquinas e equipamentos
Radiações Ionizantes	Névoas	Protozoários	Exigência de postura inadequada	Ferramentas inadequadas ou defeituosas
Radiações não Ionizantes	Neblina	Fungos	Controle rígido de produtividade	Iluminação inadequada
Frio	Gases	Parasitas	Imposição de ritmos excessivos	Eletricidade
Calor	Vapores	Bacilos	Trabalho em turno e noturno	Probabilidade de incêndio ou explosão
Pressões anormais	Produtos químicos em geral		Jornadas de trabalho prolongado	Armazenamento inadequado
Umidade			Monotonia e repetitividade	Animais peçonhentos
				Outras situações de risco

Fonte: MTE NR5 (2019).

Com isso fica mais claro a aplicação deste indicador através do uso do PPRA estabelecido pelo setor de segurança do trabalho.





## ii. Critérios financeiros e econômicos

Para Baran (2015) qualquer empreendimento industrial pode sofrer impactos financeiros, esses impactos financeiros podem ser decorrentes de variações econômicas.

Wang (2004) descreve que as estratégias da manutenção devem considerar que os recursos financeiros das empresas são limitados, com isso as atividades realizadas pela manutenção devem considerar que não será possível aplicar constantemente a política de manutenção devido as restrições financeiras.

Kardec & Nascif (2009) classificam os custos das atividades industriais como:

- Custo de produção: decorrentes das perdas, qualidade, das falhas e redução do desempenho;
- Custos diretos: recursos necessários para manter a função dos equipamentos os reparos e manutenções;
- Custos indiretos: decorrentes dos setores administrativos da manutenção e produção,

## iii. Critérios de produção e qualidade

Equipamentos e sistemas cujas falhas tenham a capacidade de afetar a produção, qualidade do produto e processo possuem grande relevância sobre na análise de criticidade por parte dos gestores, principalmente por impactarem financeiramente na organização. (BARAN, 2015)

## iv. Critérios de manutenção

Os critérios de manutenção para determinação da importância de um equipamento dentro de um processo de produção ou serviço conforme Mobley (2008) deve ter o conhecimento da disponibilidade do mesmo, ou seja, é necessário que se identifique o impacto da ausência do equipamento e quanto sua função representa na produção.

Diante disso Smith (2001) apresenta duas formas de se descobrir a disponibilidade do equipamento dentro do conjunto de produção sendo estas:

- MTBF – (*Mean Time Between Failures*), representa o tempo médio entre falhas, definido pela razão entre o tempo disponível de máquina sobre o número de ações corretivas menos “uma unidade”. Representado pela seguinte equação:

$$MTBF = \frac{\text{Tempo útil disponível} + \text{Tempo de parada}}{\text{Número de paradas}}$$

Sendo que o mesmo exibe de quanto em quanto tempo equipamento poderá falhar.

- MTTR – (*Mean Time to Repair*), expressa o tempo médio necessário para reparo do ativo após uma falha. Representado pela seguinte equação:

$$MTTR = \frac{\text{Tempo de parada}}{\text{Número de paradas}}$$

Este indicador apresenta o tempo médio necessário para o reparo.

A disponibilidade do equipamento será calculada através da aplicação dos indicadores anteriores a seguinte equação:

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Sendo que este indicador apresenta de forma simples um conceito de disponibilidade, ainda assim são vitais para a gestão da manutenção realizar seu planejamento e suas ações, pois mesmo que o equipamento represente um número baixo de ocorrências de falhas com uma excelente confiabilidade o valor da MTTR irá reduzir drasticamente a disponibilidade dele. Pois no cálculo do MTTR não são considerados tempo de *setup* e ajustes de produção. (BARAN, 2015)

Como citado o equipamento com baixo índice de ocorrência falhas traduzirá seus resultados em uma excelente confiabilidade. Que conforme Dhillon (2006) é a probabilidade de um equipamento ou sistema cumprir sua função, dentro de padrões de desempenhos definidos para um dado intervalo de tempo.

Ainda assim a IEC (2006) indica que a frequência com que o ativo apresenta uma falha, influenciará a criticidade do mesmo dentro do processo em questão, ou seja, quanto maior o número de falhas a criticidade do mesmo irá ser interferida por este fator.

Segundo Siqueira (2009) para se estimar a frequência das falhas de um equipamento, pode-se utilizar sua taxa de falhas, ou no caso de ausência desta informação, os técnicos de manutenção e especialistas do equipamento podem determinar a frequência de falhas, fazendo uso da experiência, dados de produção, históricos e controle da manutenção.

### 2.3.3 Aplicação da Criticidade

Após finalizar as análises de criticidade, os modos de falhas selecionados através do ranking com uma apresentação decrescente, podendo ser utilizada a ferramenta de seleção a matriz de criticidade da IEC (2006).

Essa matriz da IEC (2006) segundo Kim (2009) relaciona os valores da severidade e frequência os quais produzirão um nível de criticidade. Com isso, os níveis de criticidade elevados são atribuídos para os modos de falhas superiores, ou seja, os equipamentos que requerem maior atenção da gestão da manutenção e seu planejamento. Na Figura 7 é apresentado a classificação da criticidade que relaciona a probabilidade de ocorrência e a gravidade afim de definir o nível do risco de um equipamento afetar o processo ou não, ou seja, o seu histórico dentro dos indicadores.

Figura 7 - Matriz de criticidade

PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA	5(A)			<b>ALTO RISCO</b>	
	4(B)	<b>MODO DE FALHA 1</b>			
	3(C)				
	2(D)		<b>MODO DE FALHA 2</b>		
	1(E)	<b>BAIXO RISCO</b>			
		<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>
		<b>GRAVIDADE</b>			

Fonte: Kim (2009).

Para Carazas (2011) a política organizacional da empresa é que determinara a aceitação dos níveis de riscos como, questões econômicas, operacionais, segurança e meio ambiente ou apenas pela necessidade de se cumprir o que órgãos fiscalizadores estabelecem.

Portanto, a tomada de decisão pode ser apresentada como um cenário extremamente complexo, que envolve diferentes alternativas de ações, pontos de vistas distintos entre os que tomam a decisão, critérios específicos de avaliação, o que contribui para que múltiplos critérios concorram entre si. (BARAN,2015)

## 2.4 TEORIA DAS RESTRIÇÕES

O termo 'restrição' é caracterizado como qualquer elemento que impede a organização de alcançar a sua respectiva meta. Sendo assim o principal foco da TOC (*Theory of Constraints*) é identificar o conjunto de restrições e gerenciá-las de forma eficaz. (MISHRA et al. , 2005).

Portanto para Pergher, Rodrigues e Lacerd (2011) a teoria das restrições apresenta um conjunto de indicadores para monitorar o resultado da organização. Simultaneamente a esses indicadores, as cinco etapas de focalização o gerenciamento das restrições do sistema.

Goldratt (1991) apresenta as cinco etapas do processo de focalização:

- I. Identificar as restrições do sistema: A primeira etapa do processo é voltada a identificar as possíveis restrições que impedem a empresa de atingir a sua meta;
- II. Decidir como explorar as restrições do sistema: A segunda etapa do processo promove a otimização da restrição identificada;
- III. Subordinar qualquer coisa à decisão anterior: Terceira etapa consiste em subordinar todo o sistema à restrição encontrada no primeiro passo;
- IV. Elevar a restrição do sistema: Penúltima etapa é necessário concentrar esforços com o intuito de aumentar a capacidade de geração de saída da restrição;
- V. Essa etapa consiste em analisar se no passo anterior uma restrição for quebrada, volte ao primeiro passo, mas não deixe que a inércia se torne uma restrição do sistema. O último passo relata a importância de reavaliar todo sistema, quando ocorre o aumento da capacidade da restrição. Isto porque, com esse aumento, a restrição do sistema agora pode ser outro recurso que anteriormente não era a restrição.

### **3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

Para a realização deste trabalho acadêmico foi adotada a uma pesquisa de natureza aplicada, sendo o método de pesquisa empregado o estudo de caso, que conforme Gil (2002) delimita a descrição de um fenômeno dentro do real contexto.

A utilização da revisão bibliográfica atualizada com a delimitação dos seguintes temas: manutenção industrial, técnicas de manutenção industrial, manutenção centrada na confiabilidade, análise da criticidade e aplicação da criticidade.

No próximo passo realizou-se a coleta de dados, de forma quantitativa sobre a documentação já existente na empresa, os indicadores, realizando uma comparação entre os instrumentos da coleta, ou seja, tratando os resultados obtidos.

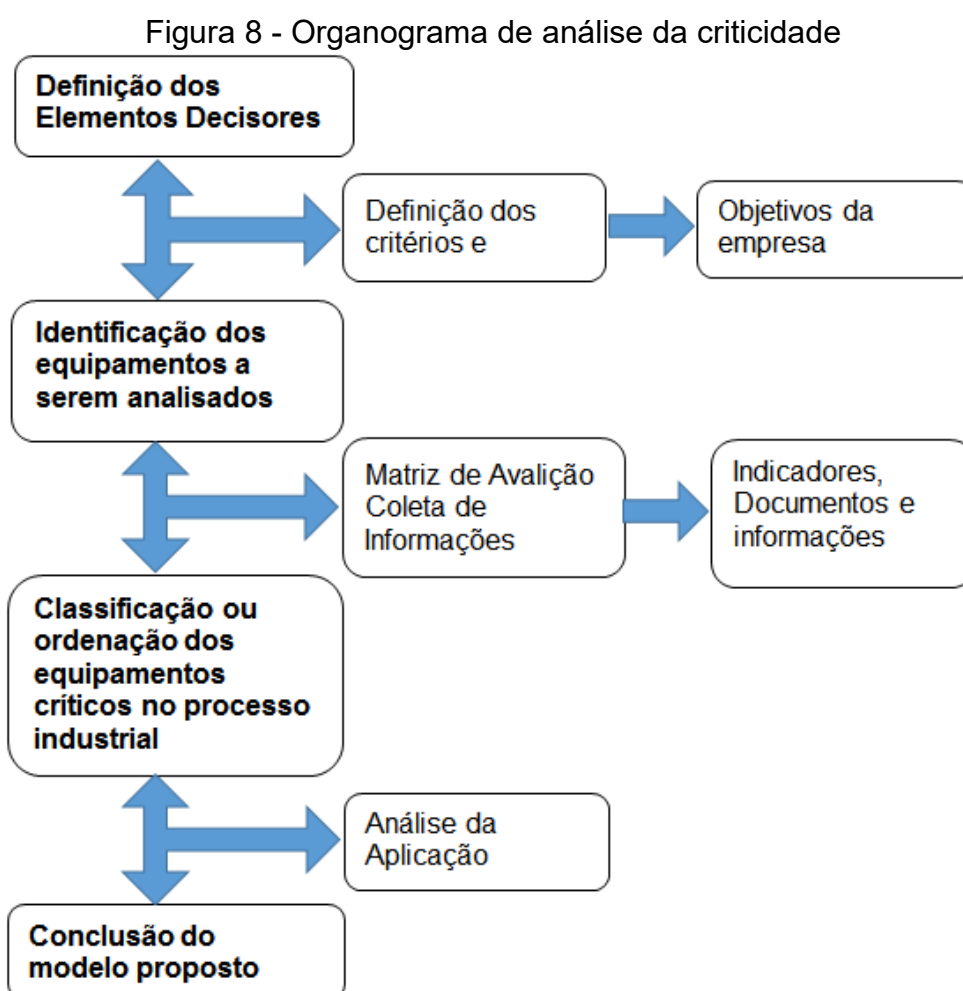
Branco (2008) define indicadores como (1) – Aqueles que indicam; (2) – Dados relativos a uma situação; (3) – Dados numéricos estabelecidos sobre alguns processos que se quer controlar.

Para aplicação da ferramenta de melhoria da manutenção proposta usou-se da fase de aplicação da técnica a partir das informações da coleta de dados.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo é descrito o modelo proposto para análise da criticidade, realizado em uma empresa no sudoeste do Paraná fabricante de artefatos de cimento em duas unidades industriais de fabricação, sendo divididas em matriz e filial. O estudo é realizado na unidade matriz, a mesma tem seu processo produtivo separado em duas linhas de produção.

A Figura 8 apresenta a adaptação do diagrama proposto por Baran (2015) para a análise da criticidade. Esse organograma apresenta a estrutura do processo da definição dos elementos, etapas e decisores participantes desta análise da criticidade.



Fonte: Autoria própria (2019).

Portanto, a definição da sequência do trabalho apresenta como foi realizado o processo da análise da criticidade dentro da empresa. Cada passo organograma proposto é explicado a seguir.

#### 4.1 DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS DECISORES E CATEGORIAS

Conforme Baran (2015) a definição dos critérios e categorias fazem parte da composição do sistema de análise da criticidade, sendo assim, a realização deste processo torna-se importante para que seja possível identificar os equipamentos críticos ao processo e assim definir qual método de manutenção deverá ser adotado.

A seleção dos critérios corresponde na avaliação das alternativas no processo da análise da criticidade, portanto o conjunto das alternativas é diretamente ligada aos critérios e suas avaliações e restrições.

Para isso é necessário definir quais são os elementos e as restrições que estarão envolvidos com o processo de análise da criticidade, assim os critérios decisores e as categorias estabelecem a relevância ao qual o equipamento é submetido para definir o nível de importância.

Dentro do método recomendado pela JIPM (*Japan Institute of Plant Maintenance*) (1995) é apresentado seis categorias diferentes para a avaliação dos equipamentos na análise da criticidade com o uso da classificação ABC, para a realização deste trabalho estabeleceu-se o uso de cinco categorias.

Com as categorias que serão as decisores na matriz de criticidade dos equipamentos definidas, ou seja, o Quadro 4 apresenta as cinco categorias em que serão confrontados os equipamentos e os dados de cada com seus respectivos indicadores a seguir apresentados.

Os critérios decisores de cada categoria também são apresentados no Quadro 4, sendo que cada um destes tem ligação direta ao indicador utilizado pela empresa para monitorar o desempenho dos equipamentos relativos a cada categoria.



Quadro 4 - Categoria e critérios decisores

<b>Siglas</b>	<b>Categoria</b>	<b>Crítérios Decisores</b>
S	Segurança do trabalho e Meio ambiente	Risco Potencial de um acidente de trabalho ou ambiental através de uma falha
Q	Qualidade	Risco de Perdas por retrabalho ou reclamações
P	Produção	Tempo de Operação do Equipamento
C	Financeiro e econômicos	Impacto no processo por falha, custo de equipamento parado
M	Manutenção	Tempo Médio de Reparo (MTTR)

Fonte: Autoria própria (2019).

Esse critério decisor estabelece o princípio da análise de criticidade dos equipamentos dentro de cada categoria.

Para determinar o nível na classificação ABC, conforme JIPM (1995) torna-se necessário além de se formar as categorias e os critérios decisores elaborar-se restrições para cada categoria, ou seja, relacionar os indicadores da empresa com os critérios decisores da classificação.

#### 4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS CRITÉRIOS E DAS RESTRIÇÕES

Nesta etapa, define-se dentro de cada categoria e seus critérios as restrições que serão utilizadas para avaliar e determinar a relação da gravidade da criticidade de cada equipamento.

Com o uso das restrições na matriz de criticidade permite que tal classificação possa reduzir os custos e a sobrecarga de trabalho da do setor de manutenção uma vez que cada equipamento deve ter um tratamento diferenciado.

Sendo assim cada categoria apresenta suas restrições alinhadas aos seus indicadores utilizados pela empresa para medir cada uma. A classificação é dentro do método recomendado pela JIPM (1995) a classificação ABC, onde nível A (alto impacto), possui risco de parada do equipamento, riscos de acidentes e riscos de bloqueio de qualidade, no nível B (médio impacto) todos os riscos de parada do

equipamento, incidentes, qualidade são parciais. Por fim o nível C (baixo impacto), os riscos de parada do equipamento, incidentes e qualidade são praticamente inexistentes.

São empregados os indicadores para cada categoria, os quais estipulam os níveis A, B ou C em que cada equipamento estará classificado. Sendo esses níveis os seguintes:

a) Segurança do trabalho e Meio ambiente:

Com isso o indicador fica classificado através dos grupos de riscos apresentados no PPRA, ficando da seguinte forma:

- Nível A: Se três ou mais riscos classificados como grandes;
- Nível B: Se dois riscos classificados como grandes;
- Nível C: Se um ou nenhum risco classificado como grande.

b) Qualidade:

Indicador é estabelecido pelos equipamentos em que realização manufaturas ao produto, aqueles em que se pode estabelecer mudança ao produto. Com isso fica classificado da seguinte forma:

- Nível A: Equipamento participa diretamente da qualidade do produto;
- Nível B: Equipamento participa parcialmente da qualidade do produto;
- Nível C: Não participa da qualidade do produto.

c) Produção

Para este indicador o tempo de produção e a tempo de uso dos equipamentos no processo determinaram a sua importância para a matriz, sendo assim fica classificado da seguinte forma:

- Nível A – 100% a 76% do tempo em operação;
- Nível B – 75% a 51% do tempo em operação;
- Nível C – Abaixo de 50% do tempo em operação.

O valor considerado como tempo total de operação é de 8 horas e 48 minutos.

d) Econômicos e Financeiros

No indicador de custo/financeiro é definido através do processo e a interferência neste, sendo assim classificado:

- Nível A – Interrompe totalmente o processo de produção;
- Nível B – Interrompe parcialmente o processo de produção;
- Nível C – Não interfere no processo.

e) Manutenção

MTTR: Tempo Médio Para Reparo, medidos em minutos ou horas fica classificado da seguinte forma:

- Se maior (>) 120 minutos ou 2 horas classificado como nível A;
- Menor (<) que 120 minutos ou 2 horas e maior (>) que 30 minutos classificado como nível B;
- Menor (<) 30 minutos classificado como nível C;

Sendo assim, as restrições para cada categoria de indicador fica estabelecida dentro dos níveis da seguinte forma:

Quadro 5 - Restrições por categoria

<b>Categoria</b>	<b>Código</b>	<b>Objetivos</b>	<b>A Alto Impacto</b>	<b>B Médio Impacto</b>	<b>C Baixo Impacto</b>
<b>Segurança do trabalho / Meio ambiente</b>	<b>S</b>	Risco Potencial de um acidente de trabalho ou ambiental através de uma falha	Risco alto de acidente	Risco Médio ou baixo	Risco Descartado
<b>Qualidade</b>	<b>Q</b>	Risco de Perdas por retrabalho ou reclamações	Risco alto de perdas ou retrabalho	Risco Médio para perdas ou retrabalho	Risco baixo ou descartado para retrabalho
<b>Produção</b>	<b>P</b>	Tempo de Operação do Equipamento	100% do tempo em produção	75 % do tempo em produção	Abaixo de 75% do tempo em produção
<b>Custo/ Financeiro</b>	<b>C</b>	Impacto no processo por falha, custo de equipamento parado	Interrompe todo o processo de produção	Interrompe parcialmente o processo ou parte dele	Não tem impacto significativo ao processo
<b>Manutenção</b>	<b>M</b>	Tempo Médio de Reparo (MTTR)	MTTR > 2h	0,5 > MTTR < 2h	MTTR < 0,5h

Fonte: Autoria própria (2019).

Seguindo as informações do Quadro 5 será proposta a classificação de onze equipamentos que compõe uma das linhas de produção da unidade da matriz da empresa estudada.

#### 4.3 INDICADORES DE DECISÃO

O peso de cada indicador para a análise da criticidade são fatores importantes, pois estes, estabelecidos anteriormente, são os decisores das ações a serem realizadas pela gestão da manutenção.

Com isso os onze equipamentos estudados obtiveram um levantamento dentro de cada indicador, para que o mesmo possa ser submetido a restrição definida para cada categoria. Sendo assim as Tabelas 2, 3 e 4 abaixo apresentam os resultados dos levantamentos dos dados de cada equipamento:

Tabela 2 - Indicador de segurança do trabalho e meio ambiente

Equipamento	Grupo de Risco Grandes
Equipamento 01	2
Equipamento 02	1
Equipamento 03	1
Equipamento 04	2
Equipamento 05	2
Equipamento 06	2
Equipamento 07	2
Equipamento 08	2
Equipamento 09	2
Equipamento 10	2
Equipamento 11	2

Fonte: Autoria própria (2019).

No indicador de segurança e ambiental a documentação realizada pelo setor de segurança do trabalho o PPRA é predominante no decisor, sendo ele que estabelece as principais ações que a empresa toma para proteção de seus colaboradores e do meio a cada equipamento ou ao todo do processo de fabricação afim de reduzir os danos de ambos. Na coluna grupo de risco é apenas descrito

quantos grupos o equipamento apresenta um risco caracterizado como grandes pelo PPRA.

A próxima Tabela apresenta o indicador de produção que tem como base o tempo total de trabalho da empresa estuda as 8 horas e 48 minutos como base principal para o tempo de operação. A média histórica desta tomada de tempo de operação é de um período de 6 meses.

Tabela 3 - Indicador da produção

Equipamento	Tempo de Disponível para Produção	Tempo em Produção	% de Operação
Equipamento 01	8 h e 48 minutos	8 h e 30 min	96,6 %
Equipamento 02	8 h e 48 minutos	8 h e 30 min	96,6 %
Equipamento 03	8 h e 48 minutos	8 h e 30 min	96,6 %
Equipamento 04	8 h e 48 minutos	8 h e 30 min	96,6 %
Equipamento 05	8 h e 48 minutos	8 h e 30 min	96,6 %
Equipamento 06	8 h e 48 minutos	8 h e 30 min	96,6 %
Equipamento 07	8 h e 48 minutos	8 h e 30 min	96,6 %
Equipamento 08	8 h e 48 minutos	7 h	79,5 %
Equipamento 09	8 h e 48 minutos	6 h	68,2 %
Equipamento 10	8 h e 48 minutos	6 h	68,2 %
Equipamento 11	8 h e 48 minutos	4 h	45,5 %

Fonte: Autoria própria (2019).

No indicador da categoria manutenção é apenas considerado os tempos de paradas por manutenção, sendo contabilizado os tempos de setup de ferramentas ou start-up de processo que estão dentro do indicador de produção.

Para elaboração dos tempos médios é utilizado a formula do MTTR, explicada na fundamentação teórica, a Tabela 4 indica os valores levantados pelo indicador.

Tabela 4 - Indicador da manutenção

Equipamentos	Tempo de Parada (minutos)	Nº de Paradas	MTTR (minutos)
Equipamento 01	0	0	0
Equipamento 02	55	1	55
Equipamento 03	45	2	22,5
Equipamento 04	260	2	130
Equipamento 05	612	5	122,4
Equipamento 06	230	2	115
Equipamento 07	50	1	50
Equipamento 08	210	1	210
Equipamento 09	65	2	32,5
Equipamento 10	152	4	38
Equipamento 11	440	6	73,3

Fonte: Autoria própria (2019).

Os valores apresentados nas tabelas 2, 3 e 4 serão aplicados na definição dentro da matriz de criticidade para determinar o nível de impacto de cada equipamento, este nível é apresentado conforme JIPM (1995) como classificação ABC.

#### 4.4 APLICAÇÃO DAS INFORMAÇÕES NO MODELO DE MATRIZ DE CRITICIDADE

Para apresentação da proposta de aplicação da matriz de criticidade ficou estabelecido junto a empresa a utilização de apenas umas das linhas de produção da unidade matriz do grupo. Essa linha contém onze equipamentos em seu processo para fabricação de artefatos de cimento.

O estudo levou em consideração apenas equipamentos de composição direta ao processo, não sendo considerado painéis de comandos elétricos como conjunto separado do equipamento principal.

Portando, com a utilização das restrições apresentadas no quadro 6 e os indicadores de cada categoria apresentados nas tabelas 2, 3 e 4 classifica-se os níveis de impactos para cada equipamento em suas categorias de restrições.

Quadro 6 - Matriz de classificação da criticidade

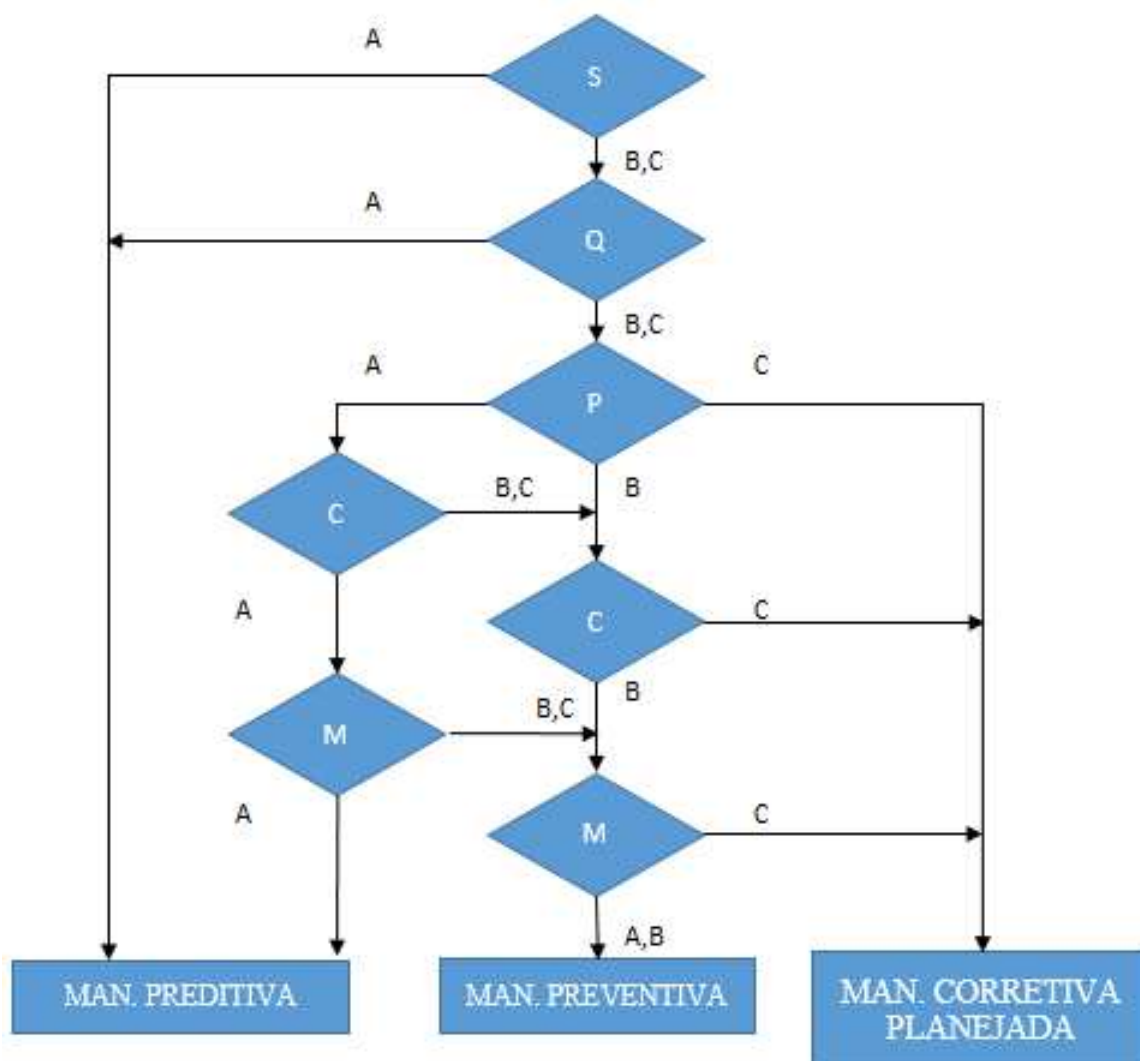
		<b>S</b>	<b>Q</b>	<b>P</b>	<b>C</b>	<b>M</b>
		Segurança do trabalho e Meio Ambiente	Qualidade	Produção	Econômico e Financeiro	Manutenção
Equipamento	1	B	A	A	A	C
Equipamento	2	C	B	A	A	C
Equipamento	3	C	C	A	A	C
Equipamento	4	B	A	A	A	A
Equipamento	5	B	A	A	A	A
Equipamento	6	B	C	A	A	B
Equipamento	7	B	C	A	B	B
Equipamento	8	B	C	A	B	A
Equipamento	9	B	C	B	C	B
Equipamento	10	B	C	B	B	B
Equipamento	11	B	C	C	C	B

Fonte: Autoria própria (2019).

Para a utilização das informações contidas no Quadro 6 na análise da criticidade e assim determinar a técnica de manutenção correta para cada equipamento, tendo em vista a melhor aplicação dos recursos do setor de manutenção, propõe-se o fluxograma da análise da criticidade.

A figura 9 apresenta o fluxograma da análise da criticidade, este fluxograma foi uma adaptação do modelo recomendado pela JIPM (1995) a classificação ABC.

Figura 9 - Fluxograma da análise da criticidade



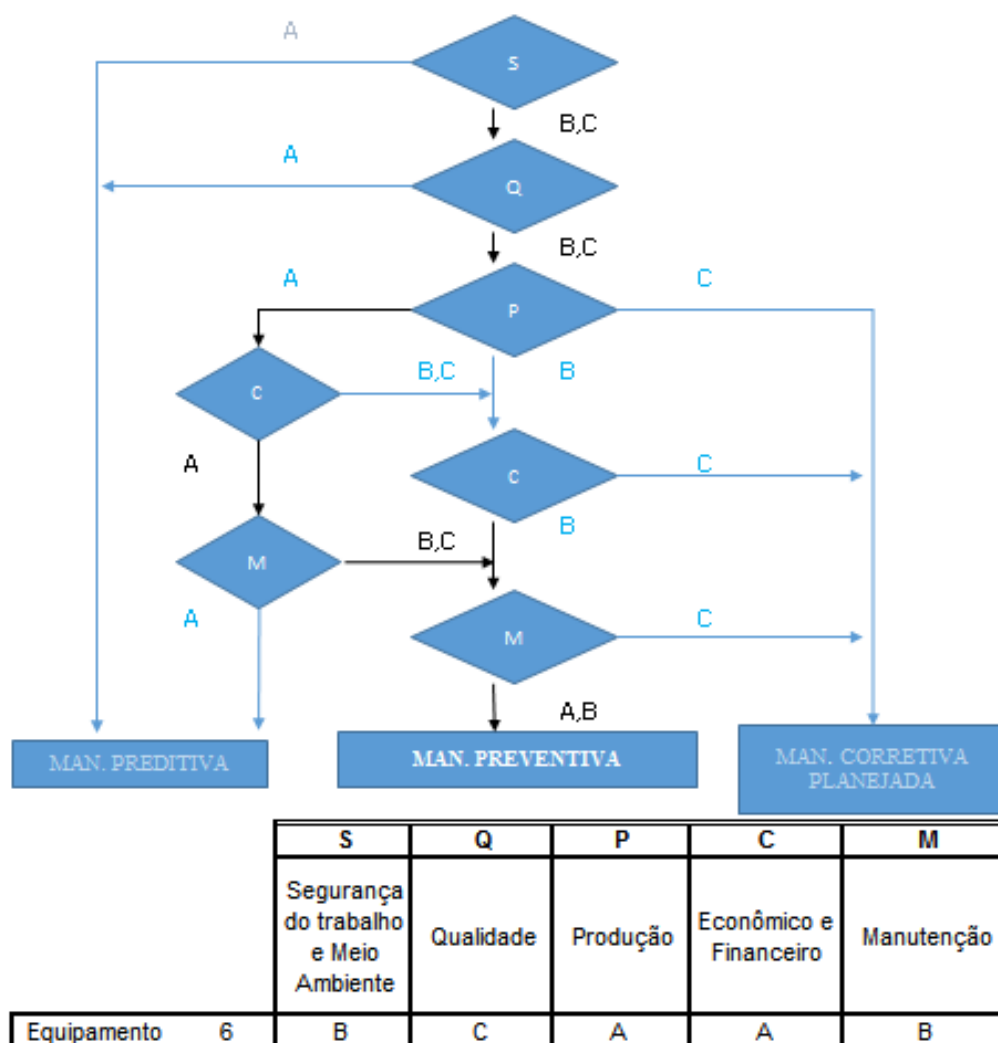
Fonte: Autoria própria (2019).

A partir da observação dos dados fornecidos pelo Quadro 6 e a correlação da mesma a Figura 9, fica estabelecidos através da análise de criticidade as seguintes técnicas a cada equipamento.

Na Figura 10 apresenta a aplicação da análise da criticidade e a matriz gerada pelo estudo, ou seja, o equipamento 6 com os valores do Quadro 6 passando por cada decisor até a definição da técnica a ser utilizada pela manutenção ao equipamento.



Figura 10 - Aplicação da análise da criticidade



Fonte: Autoria própria (2019).

Conforme observa-se na Tabela 5, apenas dois dos equipamentos será necessário a adoção da técnica de manutenção preditiva, para a implantação deste processo de manutenção é necessário a revisão dos planos de manutenção estabelecidos hoje na empresa.

Tabela 5 - Análise da criticidade

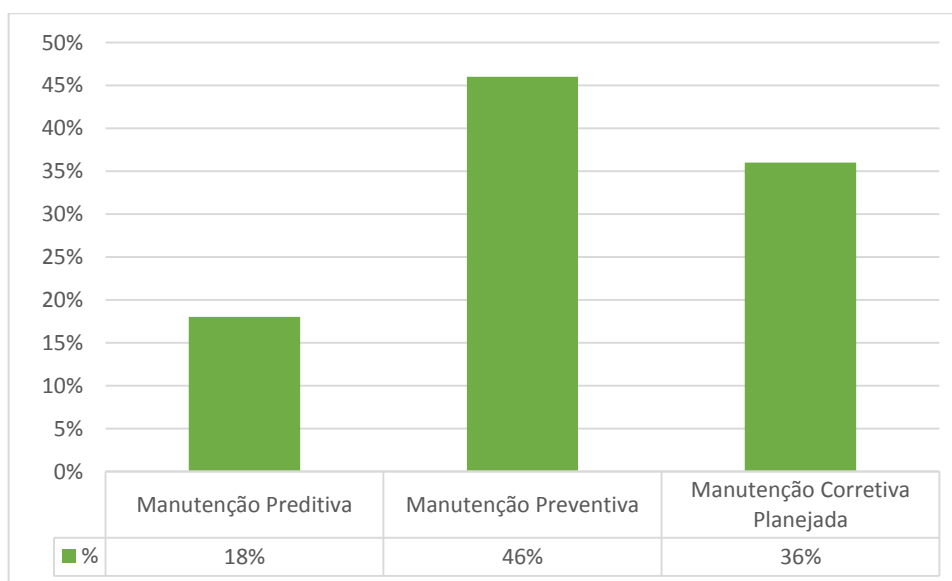
Equipamentos	Técnicas de Manutenção
Equipamento 1	Manutenção Preventiva
Equipamento 2	Manutenção Corretiva Planejada
Equipamento 3	Manutenção Corretiva Planejada
Equipamento 4	Manutenção Preditiva
Equipamento 5	Manutenção Preditiva
Equipamento 6	Manutenção Preventiva
Equipamento 7	Manutenção Preventiva
Equipamento 8	Manutenção Preventiva
Equipamento 9	Manutenção Corretiva Planejada
Equipamento 10	Manutenção Preventiva
Equipamento 11	Manutenção Corretiva Planejada

Fonte: Autoria própria (2019).

A técnica de manutenção corretiva planejada com índice de utilização sendo de 36,4 %, devido a grande possibilidade de equipamentos gerar paradas de no processo de fabricação elevando assim o custo do produto ou o tempo de reparo pela manutenção.

Com isso, a técnica de manutenção preventiva tornou-se a mais utilizada dentro da apresentação da Tabela 5 e da Figura 11, tendo em vista que a empresa já utiliza-se desta técnica em seus equipamentos sua implantação apenas deve ser melhor distribuída entre os equipamentos da empresa otimizando os recursos do setor de manutenção.

Figura 11 - Gráfico de técnicas de manutenção



Fonte: Autoria própria (2019).

Um ponto importante e que visa nortear as atividades relacionadas a matriz de análise da criticidade são os valores das restrições equalizados com as metas, pois estas servem como um parâmetro da análise do desempenho dos ativos quando relacionados as ações da manutenção.

## **5 CONCLUSÃO**

Conclui-se que esse trabalho proposto a matriz de análise de criticidade de equipamentos, com foco na redução das paradas de produção por ocorrências de manutenção, e assim também podendo reduzir os custos com manutenção.

Após realizar o processo de classificação dos equipamentos da linha de produção estudada, com a utilização da matriz de análise de criticidade, com isso a avaliação do resultado apresentado no trabalho do ponto de vista teórico, com a técnica de manutenção mais utilizada sendo manutenção preventiva.

Fica caracterizado para que na implantação do modelo proposto de classificação da criticidade através do nível ABC, se torna necessário a atualização dos planos de manutenção referente a cada equipamento participante da análise.

Com base nos resultados apresentados, espera-se que a implantação da matriz de análise de criticidade resultará na redução dos custos finais com a produção, ou seja, reduzindo os custos de manutenção.

## 6 REFERÊNCIAS

- ABNT, NBR. 5462. Confiabilidade e manutenibilidade. **Rio de Janeiro**, 1994.
- ANTONELLI, S. C. Aplicação da abordagem estatística no contexto da gestão da qualidade: um survey com indústrias de alimentos de São Paulo. **Gestão e Produção**, v. 18, n. 3, p. 509–524, 2011.
- ARMSTRONG-HÉLOUVRY, Brian; DUPONT, Pierre; DE WIT, Carlos Canudas. A survey of models, analysis tools and compensation methods for the control of machines with friction. **Automatica**, v. 30, n. 7, p. 1083-1138, 1994.
- BARAN, Leandro Roberto. **Proposta de um modelo multicritério para determinação da criticidade na gestão da manutenção industrial**. 2015. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- BLOOM, Neil. **Reliability Centered Maintenance (RCM): Implementation Made Simple: Implementation Made Simple**. McGraw Hill Professional, 2005.
- BORTOLINI, Marco et al. Assembly system design in the Industry 4.0 era: a general framework. **IFAC-PapersOnLine**, v. 50, n. 1, p. 5700-5705, 2017.
- BRANCO FILHO, Gil. **A Organização, o planejamento eo controle da manutenção**. Ciência Moderna, 2008.
- CARAZAS, Fernando J. G. Decisões baseadas em Risco: Método aplicado na Indústria de Geração de Energia Elétrica para seleção de equipamentos críticos e políticas de manutenção. 2011. 238 f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.
- DHILLON, B. S. *Maintainability, maintenance and reliability for Engineers*. 1ª. ed. New York: CRC Press, 2006
- FOGLIATO, Flavio; RIBEIRO, José Luís Duarte. **Confiabilidade e manutenção industrial**. Elsevier Brasil, 2009.
- GARZA, Luiz. **A Case Study of the Application of Reliability Centered Maintenance (RCM) in the Acquisition of the Advanced Amphibious Assault Vehicle (AAAV)**. 2002. 85 f. Thesys (Master) – Naval Postgraduate School, United States Navy. California, 2002.
- GIUNTINI, Norberto et al. Teoria das Restrições: uma nova forma de “ver e pensar” o gerenciamento empresarial. **Laboratório de Desenvolvimento Profissional**, 2002.
- GOLDRATT, E. M. **A síndrome do Palheiro**: Garimpando informações num oceano de dados. São Paulo: Educator, 1991.

HELMANN, Kurtt Schamne et al. **Uma sistemática para determinação da criticidade de equipamentos em processos industriais baseada na abordagem multicritério**. 2008. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION'S. *IEC 60812: Analysis techniques for system reliability – procedure for failure mode and effects analysis (FMEA)*. Switzerland, 2006

JAPAN INSTITUTE FOR PLANT MAINTENANCE (JIPM). *600 Forms Manual*. Japan, 1995.

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

KIM, J. H.; JEONG, H. Y. & PARK, J. S. Development of the FMECA Process and Analysis Methodology for Railroad Systems. *International Journal of Automotive Technology*. Montreal, v. 10, n. 6, p. 753-759, 2009.

LEVERETTE, J. C. An Introduction to the US Naval Air System Command RCM Process and Integrated Reliability Centered Maintenance Software. In: RCM 2006 - The Reliability Centred Maintenance Managers' Forum. 2006. **Anais...**: p. 22-29.

LIMA JÚNIOR, Djalma Rodrigues de. **Manutenção centrada na confiabilidade**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

MARCAL, Rui Francisco Martins. Um método para detectar falhas incipientes em máquinas rotativas baseado em análise de vibração e lógica Fuzzy. 2000.

MARQUES, Armando et al. Os principais equipamentos utilizados nas empresas de beneficiamento de mármore e granito, suas funções e importância no processo. **XII SIMPEP**, 2006.

MIRANDA, Carlos Roberto; DIAS, Carlos Roberto. PPRA/PCMSO: auditoria, inspeção do trabalho e controle social. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 20, p. 224-232, 2004.

MISHRA, N. et al. Hybrid tabu-simulated annealing based approach to solve multi-constraint product mix decision problem. **Expert Systems with Applications**, v. 29, p. 446-454, 2005.

MOBLEY, K.; HIGGINS, L. R. Wikoff, “. **Maintenance Engineering Handbook**”, **New York Editora, 7ª Edição, Nova Iorque**, 2008.

MOUBRAY, John. **Reliability-centered maintenance**. Industrial Press Inc., 2001.

- MTE – MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. Norma regulamentadora 5 – NR 5: Comissão Interna de Prevenção de Acidentes – CIPA. Disponível em: <<http://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr5.htm>>. Acesso em: 14 nov. 2019.
- NIU, Gang; YANG, Bo-Suk; PECHT, Michael. Development of an optimized condition-based maintenance system by data fusion and reliability-centered maintenance. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 95, n. 7, p. 786-796, 2010.
- PERGHER, Isaac; RODRIGUES, Luis Henrique; LACERD, Daniel Pacheco. Discussão teórica sobre o conceito de perdas do Sistema Toyota de Produção: inserindo a lógica do ganho da Teoria das Restrições. **Gestão & Produção**, v. 18, n. 4, p. 673-686, 2011.
- PINTELON, L; GELDERS, L. Maintenance management decision making. *European Journal of Operational Research*, v. 58, p. 301-317, 1992
- RAUSAND, Marvin. Reliability centered maintenance. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 60, n. 2, p. 121-132, 1998.
- SIQUEIRA, Y. P. D. S. Manutenção centrada na confiabilidade: manual de implantação. 1ª (Reimpressão). ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.
- TELES, Jhonata. Guia prático para implantação indicadores de manutenção. Brasília-DF: ENGETELES – Engenharia de Manutenção Consultoria e Treinamentos. 9 p. 2017.
- TELES, Jhonata. Planejamento e controle da manutenção na indústria 4.0. Brasília-DF: ENGETELES – Engenharia de Manutenção Consultoria e Treinamentos. 69 p. 2017.
- TELES, Jhonata. Plano de Manutenção Preventiva: Como Elaborar. Disponível em: < <https://engeteles.com.br/plano-de-manutencao-preventiva/>> Acesso: 01 de novembro de 2019.
- VAN HORENBEEK, Adriaan; PINTELON, Liliane; MUCHIRI, Peter. Maintenance optimization models and criteria. **International Journal of System Assurance Engineering and Management**, v. 1, n. 3, p. 189-200, 2010.
- WANG, Cheng-Hua & HWANG, Sheue-Ling. A stochastic maintenance management model with recovery factor. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 10, n. 2, p. 154-164, Bingley (UK), abr-jun. 2004.

WANG, Yaping; PHAM, Hoang. A multi-objective optimization of imperfect preventive maintenance policy for dependent competing risk systems with hidden failure. **IEEE Transactions on Reliability**, v. 60, n. 4, p. 770-781, 2011.