

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA  
TECNOLOGIA EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

ELIELSON DE BONFIM SILVA

**MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE VISANDO A  
COMPETIVIDADE EM UMA INDÚSTRIA MOEDORA DE GRÃOS  
NA REGIÃO DOS CAMPOS GERAIS**

TRABALHO CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA  
2018

ELIELSON DE BONFIM SILVA

**MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE VISANDO A  
COMPETITIVIDADE EM UMA INDÚSTRIA MOEDORA DE GRÃOS NA  
REGIÃO DOS CAMPOS GERAIS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de graduação em Tecnologia de Automação Industrial, da Universidade Tecnologia Federal do Paraná, como parte parcial dos requisitos necessários à obtenção do título de Tecnólogo em Automação Industrial.

Orientadora: Professora Dr<sup>a</sup> Marcella Scoczynski Ribeiro Martins

PONTA GROSSA  
2018



Ministério da Educação  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
Câmpus Ponta Grossa  
Diretoria de Graduação e Educação Profissional  
Departamento Acadêmico de Eletrônica  
Tecnológica em Automação Industrial



## **TERMO DE APROVAÇÃO**

**MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE VISANDO A COMPETIVIDADE  
EM UMA INDÚSTRIA MOEDORA DE GRÃOS NA REGIÃO DOS CAMPOS GERAIS**

por

**ELIELSON BONFIM DA SILVA**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 20 de junho de 2018 como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo em Automação Industrial. O(A) candidato(a) foi arguido(a) pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof(a). Dr(a). Marcella Scoczynski Ribeiro Martins  
Orientadora

Prof. Msc. Edison Luiz Salgado Silva  
Membro Titular

Prof. Esp. Paulo Sérgio Parangaba Ignácio  
Membro Titular

Prof. Dr. Josmar Ivanqui  
Responsável pelos TCC

Prof. Dr. Felipe Mezzadri  
Coordenador do Curso

Dedico este trabalho a minha esposa, Tassianne, obrigado pelo carinho, a paciência e por sua capacidade de me trazer paz na correria de cada semestre, sem seu apoio, talvez este momento não fosse possível.

## **AGRADECIMENTOS**

A Prof<sup>o</sup> Dr<sup>a</sup> Marcella Scoczinski Ribeiro Martins, pela contribuição com seus conhecimentos e sugestões na orientação dessa monografia.

Ao meus pais, Lourival e Nazira e minhas irmãs, pelo incentivo, apoio e compreensão.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná e a seus funcionários pelo respeito e atenção que sempre me dedicaram.

Aos professores, com seus ensinamentos que enriqueceram e proporcionaram a minha formação acadêmica.

Ao meu irmão, Vander, sempre acreditou e me incentivou a fazer um curso superior.

Aos meus colegas de curso, pela convivência, ajuda e incentivo durante os anos de estudo.

## RESUMO

Ao longo dos últimos 40 anos a área da manutenção teve um grande desenvolvimento modificando seus objetivos, passando do conceito de consertar para prevenir e/ou prever a ocorrência de falhas. Nesse contexto, vários sistemas foram criados visando aumentar a produtividade e a competitividade da indústria. Este trabalho tem o objetivo de aprofundar os conhecimentos da manutenção centrada na confiabilidade dos equipamentos, abordando as vantagens em se trabalhar com a ferramenta da manutenção centrada em uma empresa no ramo de processamento de grãos.

**Palavras-chave:** Manutenibilidade, confiabilidade, produtividade, manutenção centrada.

## **ABSTRACT**

Over the last 40 years the maintenance area has undergone a major development modifying its objectives, going from the concept of repair to prevent and / or predict the occurrence of failures. In this context, several systems were created to increase the productivity and competitiveness of the industry. This work has the objective of deepening the knowledge of the maintenance centered in the reliability of the equipment, addressing the advantages in working with the tool of the maintenance centered for the competitiveness in a company in the branch of grain processing.

**Keywords:** Maintenance, reliability, productivity, maintenance centered

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Identificação das Funções .....	17
Figura 02 – Curva da Banheira .....	19
Figura 03 – Gerações da Manutenção .....	22
Figura 04 – Manutenção Preventiva .....	25
Figura 05 – Manutenção Preditiva .....	26
Figura 06 – Surgimento Manutenção Centrada Confiabilidade .....	28
Figura 07 – Ocorrência da Falha .....	33
Figura 08 – Severidade da Falha .....	33
Figura 09 – Detecção da Falha .....	34
Figura 10 – Formulário para Análise de Modo e Efeito de Falha Potencial .....	34
Figura 11 – Evolução da MCC .....	36
Figura 12 – Comparação Manutenção Tradicional com a MCC .....	38
Figura 13 – Lógica Seleção Significância .....	40
Figura 14 – Diagrama de Implantação .....	41

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 – Duração Equivalente a Interrupção Anual .....	47
Gráfico 02 – Backlog .....	49
Gráfico 03 – Manutenção Proativa e Horas Programadas .....	50
Gráfico 04 – Índices Parada de Produção Para Manutenção Programada .....	51

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>MMC</b>	Manutenção Centrada na Confiabilidade
<b>PCM</b>	Planejamento e Controle da Manutenção
<b>MP</b>	Manutenção Preventiva
<b>NBR</b>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<b>FMEA</b>	Análise de Efeitos e Modos de Falha
<b>EDT</b>	Parada de Produção Emergencial
<b>DEI</b>	Duração Equivalente a Interrupção
<b>FAA</b>	<i>Federal Aviation Authority</i>
<b>ABRAMAN</b>	Associação Brasileira de Manutenção

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>13</b>
1.1 OBJETIVOS	14
1.1.1 Objetivo Geral	14
1.1.2 Objetivos Específicos	14
1.2 JUSTIFICATIVA	14
<b>2 DEFINIÇÃO E HISTÓRICO DA MANUTENÇÃO</b>	<b>16</b>
2.1 DEFINIÇÕES	16
2.2 FALHAS	17
2.3 GERAÇÕES DA MANUTENÇÃO	19
2.4 TIPOS DE MANUTENÇÃO	22
2.4.1 Manutenção Corretiva	23
2.4.2 Manutenção Preventiva	23
2.4.3 Manutenção Preditiva	25
2.4.4 Manutenção Detectiva	27
2.4.5 Engenharia da Manutenção	27
2.5 CONFIABILIDADE	28
2.5.1 Disponibilidade	29
2.5.2 Manutenibilidade	30
2.5.3 Análise das Causas Raízes da Falha (RCFA)	30
2.5.4 FMEA – Análise de Risco dos Modos de Falha	31
<b>3 MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE (MCC)</b>	<b>35</b>
3.1 HISTÓRICO	35
3.2 FUNDAMENTAÇÃO	37
3.3 OBJETIVOS DE IMPLEMENTAÇÃO	38
<b>4. METODOLOGIA</b>	<b>42</b>
4.1 RECURSOS	43
4.2 TÉCNICAS UTILIZADAS PELA EMPRESA	44
4.3 INDICADORES EVIDENCIADOS	44
4.4 CUSTOS DIRETOS RELATIVOS À PARADA EMERGENCIAL	46
4.5 ÍNDICE DURAÇÃO EQUIVALENTE À INTERRUPÇÃO (DEI)	46
<b>5. RESULTADOS</b>	<b>48</b>
5.1 BACKLOG	48
5.2 HORAS PROGRAMADAS	48
5.3 MANUTENÇÃO PROATIVA	49
5.4 PARADA DA PRODUÇÃO PARA MANUTENÇÃO PROGRAMADA	50
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>52</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>53</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo Silva (2009), antes da revolução industrial os produtos eram confeccionados de forma artesanal em pequenas quantidades e as empresas não focavam em manutenção dos equipamentos. Com a revolução surgiu uma série de evoluções que construíram a indústria atual exigindo uma maior confiabilidade nos equipamentos.

Formalmente, a manutenção é definida como a combinação de 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 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994).

Para Xenos (1998), manutenção significa fazer tudo que for preciso para assegurar que um equipamento continue a desempenhar as funções para as quais foi projetado, num nível de desempenho exigido.

Se definirmos que a manutenção é a garantia de que os itens físicos continuam a cumprir as funções desejadas, a manutenção centrada na confiabilidade é um processo usado para determinar os requisitos de manutenção de qualquer item físico no seu contexto operacional. (KARDEC; NASCIF, 2010)

Atualmente uma significativa parte do custo de um produto é de responsabilidade da manutenção, bem como a disponibilidade da produção garantida aos equipamentos. Segundo Nascif e Kardec (2010), confiabilidade é a probabilidade de um equipamento desempenhar uma função requerida sob condições definidas de uso durante um intervalo de tempo.

Com a evolução da indústria, a manutenção também precisou modificar-se do setor de trocar peças para um dos elementos chave na competitividade. Além disso, precisa cumprir seu papel de manter a disponibilidade dos equipamentos ajudando assim a conseguir manter o prazo de entrega do produto, realizando gestão eficiente de custos, tentando diminuir o impacto no produto final, pois uma parte significativa dos custos de um produto são de responsabilidade da manutenção. Assim sendo, a manutenção centrada na confiabilidade tem demonstrado ser uma eficiente ferramenta para conseguir alcançar esses objetivos, por isso foi escolhida como tema desse trabalho.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 OBJETIVO GERAL**

Analisar a implantação da manutenção centrada em confiabilidade em uma indústria moedora de grãos na região dos Campos Gerais.

### **1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Contextualizar as eras da manutenção;
- Enumerar os benefícios de uma manutenção centrada em confiabilidade;
- Demonstrar como a manutenção centrada em confiabilidade pode aumentar os lucros e a competitividade da indústria.

## **1.2 JUSTIFICATIVA**

A escolha do tema ocorreu devido a vida profissional do autor e as expectativas pós-conclusão do curso. Esse tema está ligado a área da manutenção, a qual tem bastante foco na engenharia de confiabilidade. Diante deste assunto, e do interesse pessoal em confiabilidade, procurou-se escolher um tema dentro da referida engenharia que pudesse ser aplicado de forma estratégica no planejamento da manutenção. Conforme Ishikawa (1986), não se pode melhorar aquilo que não se mede, ou seja, a manutenção quando não considerada uma atividade importante para manter os ativos físicos, passa a ser um setor que desenvolve atividades ineficientes e a manutenção centrada em confiabilidade tem-se demonstrado uma boa ferramenta.

Devido ao dinamismo do mercado, a indústria precisa estar em constante evolução e com o foco na busca contínua em aumentar a sua produção, manter a qualidade dos seus produtos e ter seus os custos sobre controle. Essas premissas,

fazem do departamento de confiabilidade um ponto chave para o seu sucesso, e o profissional que estiver habilitado e com domínio nas ferramentas que englobam esse departamento terá um bom mercado de trabalho para explorar.

## 2 DEFINIÇÃO E HISTÓRICO DA MANUTENÇÃO

### 2.1 DEFINIÇÕES

Pode-se conceituar manutenção como a atividade para assegurar a função requerida do equipamento e instalações, garantindo a segurança para o meio ambiente e pessoas, atendendo a produção com custos controlados e confiabilidade dos equipamentos e visar sua melhoria.

A função manutenção não pode caminhar de forma isolada do resto das funções da organização, deve ser um apoio efetivo para conseguir a excelência empresarial. O seu principal objetivo, segundo Fogliato (2009), é o de manter e melhorar a confiabilidade e regularidade de operação do sistema produtivo.

Segundo Gutiérrez (2005 apud Caiado), o objetivo principal de um bom sistema de manutenção é a busca do ponto ótimo entre o custo, a disponibilidade e a confiabilidade.

Monchy (1989 apud VIANA, 2002, p. 2), define manutenção como um vocábulo militar, que significava conservar os homens e seus materiais em um nível constante de operação.

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas, a manutenção é definida como a combinação de 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 (NBR 5462-1994).

Kardec & Nascif (2010), conceituam manutenção como sendo a função de garantir a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações de modo a atender a um processo de produção e a preservação do meio ambiente, com confiabilidade, segurança e custos adequados.

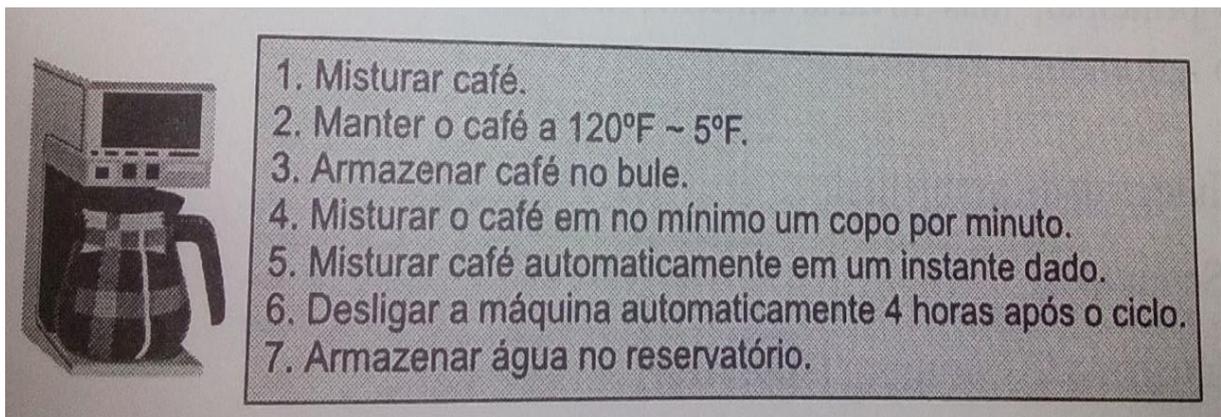
Xenos (1998, p.20), divide as atividades da manutenção em atividade de melhoria e atividade da manutenção, somente manter o equipamento nas condições originais é insuficiente e a introdução de melhoria que visa aumentar a produtividade também deve fazer parte do trabalho do departamento de manutenção.

As atividades de manutenção resultam de ações tomadas no dia-a-dia para prevenir ou corrigir eventuais anomalias ou falhas detectadas nos equipamentos pelos operadores da produção ou pelas equipes de manutenção. Estas atividades devem ser executadas sistematicamente pelos departamentos de produção e de manutenção através do cumprimento dos padrões de operação. Por sua vez as atividades de melhoria visam a melhorar as condições originais de operação desempenho e confiabilidade. O objetivo destas atividades é atingir novos patamares de produção. As atividades de melhorias requerem ações específicas que resultam na modificação de padrões e procedimentos existentes (XENOS, 1998).

## 2.2 FALHAS

As funções descrevem os objetivos da existência dos sistemas na visão de seus usuários, estabelecem também as possibilidades de falhas, Siqueira (2005), define função como sendo o que o usuário deseja que o item ou sistema faça dentro de um padrão de performance especificado.

Deve-se identificar, em ordem de importância, as funções do equipamento que suportam ou impactam no aspecto de segurança, meio ambiente, operação da instalação, economia do processo e instrumentação e controle. Essa identificação consiste, em geral, de uma descrição textual, que contém obrigatoriamente sua finalidade ou objetivo, e, se possível os limites aceitáveis de qualidade neste objetivo (Siqueira, 2005).



**Figura 01: IDENTIFICAÇÃO DE FUNÇÕES**  
**Fonte: SIQUEIRA (2005)**

Conforme definição da NBR 5462-1994 (1994), falha é a diminuição total ou parcial da capacidade de uma peça, componente ou máquina, de desempenhar

a sua função durante um período, quando o item deverá ser reparado ou substituído. A falha leva um item a um estado de indisponibilidade.

Segundo Kardec & Nascif (2010), pode ser definida como a cessação da função de um item ou incapacidade de satisfazer a um padrão de desempenho previsto.

Siqueira (2005) classifica as falhas quanto à sua origem, extensão, velocidade, manifestação, criticidade, idade.

Dentro da manutenção centrada em confiabilidade, Siqueira (2005) utiliza duas classificações para falhas sendo:

Falha funcional: Incapacidade de um item desempenhar a função específica, podendo ser falha evidente, oculta ou múltipla.

Falha potencial: É uma condição identificável e mensurável.

As falhas devem estar sempre associadas a parâmetros mensuráveis ou indicações claras, para que os critérios de falha não sejam ambíguos. (Xenos, 1998, p. 67). Fogliato & Ribeiro (2009), afirmam que mediante o conhecimento do que se entende por desempenho adequado, é possível definir quando um item falha, mediante a ocorrência da falha, o item deixa de desempenhar adequadamente suas funções.

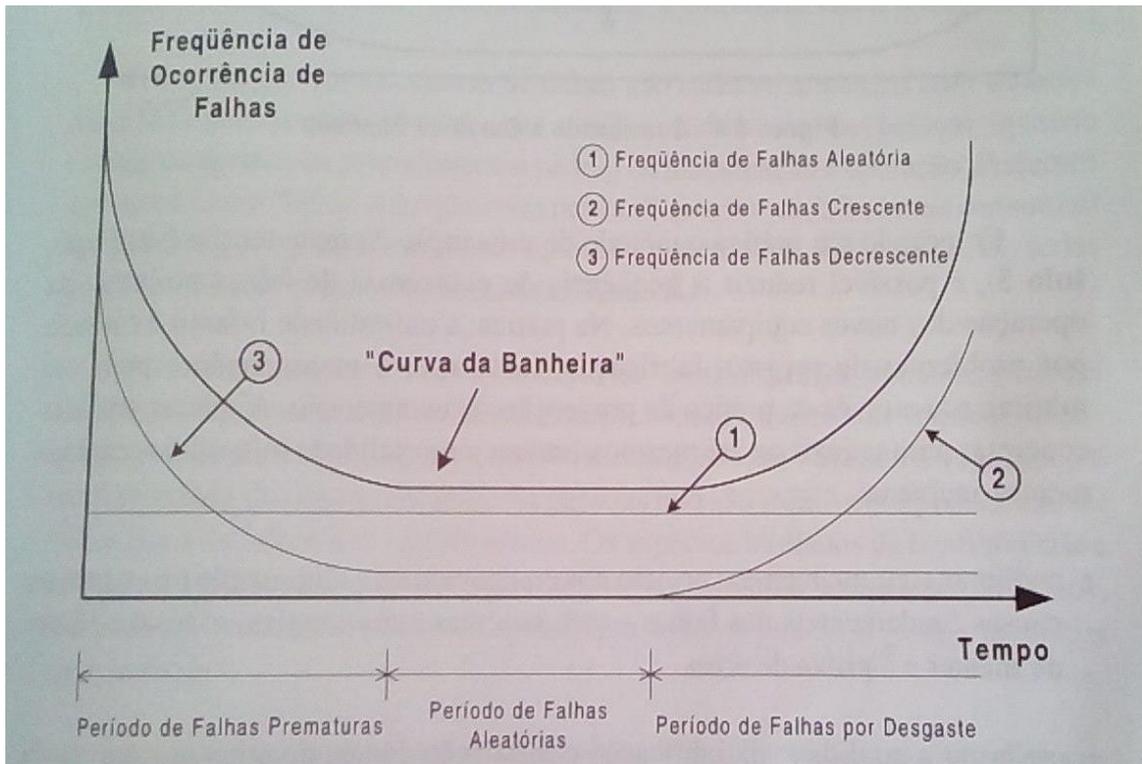
Para Xenos (1998), basicamente, a frequência de ocorrência de falhas para um equipamento pode variar de três maneiras diferentes. Essa frequência pode ser constante, crescente e decrescente.

Uma frequência constante é característica de equipamentos cujas falhas são causadas por eventos aleatórios (Xenos, 1998, p. 70).

Uma probabilidade de ocorrência crescente é típica de situações de fadiga de materiais, corrosão ou desgaste. Ou seja, a probabilidade de ocorrência de falhas aumenta à medida que o equipamento envelhece (Xenos, 1998, p. 70).

Uma probabilidade de ocorrência decrescente é característica de equipamento cuja confiabilidade intrínseca aumenta com o tempo (Xenos, 1998, p. 70).

De acordo com Xenos (1998), o efeito combinado desses três modelos de falhas dá origem a um modelo típico de falhas conhecido como curva da banheira.



**Figura 02: Curva da Banheira**  
**Fonte: Xenos (1998)**

### 2.3 GERAÇÕES DA MANUTENÇÃO

Com o aumento da população, as indústrias precisaram aumentar a sua demanda, deixando de ser uma indústria focada na produção e com equipamentos superdimensionados, para uma indústria com produção em larga escala, com alta dependência da eficiência de seus equipamentos, onde a confiabilidade e disponibilidade da planta é altamente exigida. A partir dos anos 50, a manutenção evoluiu do conceito de reparar um equipamento após a sua quebra, para um departamento estratégico, com o objetivo de diminuir ou eliminar a falha e prever a sua ocorrência, conseguindo intervir num momento onde não impacta a produção e não diminui a vida útil do equipamento. Para Moubray (2000), a manutenção é a segunda senão a primeira despesa dos custos operacionais, de uma indústria.

A primeira geração entende-se antes da segunda guerra, onde as indústrias eram pouco mecanizadas, os equipamentos eram superdimensionados e tinham uma manutenção simples, "os períodos de paralisação à espera de

recuperação de falhas não eram muito importantes” (MOUBRAY, 2000, p.2), deixando a prevenção em segundo plano, segundo, Nascif e Kardec (2010, p. 2) à manutenção, se resumia em reparos pós a quebra, serviços de lubrificação e limpeza, ocorrendo basicamente a manutenção corretiva não planejada, o profissional da época precisava apenas realizar reparos.

A segunda geração da manutenção (1950-1980), de acordo com MOUBRAY (2000), durante a 2ª Guerra Mundial, devido à pressão do período, aumentou a demanda, enquanto a mão de obra diminuiu, esse fato levou ao aumento da mecanização. Com a mecanização da indústria, os equipamentos precisaram ter maior confiabilidade e disponibilidade, e as instalações ficaram mais complexas. Marcou essa geração o surgimento da manutenção preventiva, basicamente realizando revisões gerais dos equipamentos em intervalos fixos, visando a evitar as falhas nos equipamentos. Os custos da manutenção se elevaram, em comparação com os custos operacionais, esse fato fez aumentar os sistemas de planejamento e controle de manutenção, para Kardec e Nascif (2010, p.2), esse aumento de capital investido em itens físicos, juntamente com o nítido aumento do custo deste capital levaram as pessoas a começarem a buscar meios para aumentar a vida útil dos itens físicos.

Terceira Geração da manutenção (1980-2000), em trinta anos o custo da manutenção passou de inexistente para o topo da lista como uma das prioridades de controle de custo (MOUBRAY, 2000), a dependência dos ativos físicos aumentou, para assegurar o máximo de retorno, eles devem ser mantidos funcionando eficientemente durante por tanto tempo que desejarmos. Todo o tempo para parada de produção se transformava em atraso do produto, a partir da década de 70, isto devido as indústrias começaram a trabalhar com o seu estoque de produtos acabado baixo. De acordo com NASCIF e KARDEC (2010, p.3) “o crescimento da automação e mecanização passaram a indicar que confiabilidade e disponibilidade se tornaram pontos chave em setores da saúde, processamento de dados, telecomunicações e gerenciamento de edificações”, nessa era se consolidou os padrões de segurança e meio ambiente e ocorreu o surgimento da do conceito confiabilidade na engenharia de manutenção, metodologias de manutenção como MCC e *Total Productive Maintenance* (TPM).

O avanço da informática, reforço do conceito e utilização da manutenção preditiva, conceito confiabilidade passa a ser aplicado pela engenharia,

manutenção centrada na confiabilidade apoiado nos estudos da indústria aeronáutica são pontos principais que marcaram essa geração, porém, devido à falta de interação entre as áreas os resultados impediam a melhorados resultados e as taxas de quebra prematuras eram elevadas. (KARDEC & NASCIF, 2010).

As alterações dessa época, Moubray classificou como novas expectativas, nova pesquisa e novas técnicas.

Bem distante das nossas maiores expectativas, a nova pesquisa está alterando muito das nossas crenças básicas sobre idade e falha. Em especial torna-se evidente que há cada vez menos relação entre a idade operacional da maioria dos itens e a probabilidade de eles falharem. (MOUBRAY, 2000).

Quarta geração (2000), as expectativas quanto ao desempenho estão relacionadas ao alinhamento com os objetivos estratégico corporativos, Kardec e Nascif (2010, p. 4), enumeram a *disponibilidade*, do equipamento, *como uma das medidas de desempenho* mais importante da manutenção, e a confiabilidade dos equipamentos, como um fator de constante busca. A quarta geração tende a utilizar a gestão de ativos juntamente com a gestão de riscos permitindo uma visão mais ampla dos prejuízos a serem evitados.

Com o constante objetivo de intervir cada vez menos na planta, as práticas de manutenção preditiva e monitoramento de condição de equipamentos e do processo são cada vez mais utilizadas. Em consequência, há uma tendência de redução na aplicação da manutenção preventiva ou programada, desde que ela promove a paralisação dos equipamentos e sistemas, impactando negativamente a produção (NASCIF, KARDEC, 2010).



Figura 03 – Gerações da Manutenção  
 Fonte: MORTELARI all, apud TROMBETA (2017)

## 2.4 TIPOS DE MANUTENÇÃO

A maneira pela qual é realizada a intervenção nos equipamentos, sistemas ou instalações caracteriza os vários tipos de manutenção existentes (Kardec & Nascif, 2010). Moubray classifica essas atividades através de suas abordagens: atividades proativas e atividades reativas. As atividades proativas são aquelas executadas antes das falhas ocorrerem, desenvolvendo ações que antecipem sua ocorrência para não permitir o estado de falha do equipamento. Já as atividades reativas atuam após a ocorrência da falha no equipamento, desenvolvendo ações para restabelecer a disponibilidade do equipamento (Moubray, 2000, p. 129).

A experiência mostra que não se pode colocar em execução uma manutenção preventiva eficaz e durável se não existir um consenso verdadeiro em torno da sua aplicação. (MONCHY, 1989, p. 31). Qual tipo de manutenção a ser utilizado dependerá de uma análise detalhada em cada equipamento, nem sempre

a mesma técnica pode ser aplicada em todos os equipamentos, isso devido ao custo da prevenção ser maior que o reparo.

#### **2.4.1 Manutenção Corretiva**

É a intervenção no equipamento, devido a uma falha não detectada, podendo ser corretiva programada, ou seja, quando a falha não comprometer a produção ou os demais componentes, deve-se realizar um alinhamento em conjunto com o departamento de produção, para definir qual o melhor momento de intervir e minimizar o impacto à produção ou, a não programada, onde se realiza a intervenção imediatamente após a recepção de uma informação relacionada ao estado do equipamento a fim de evitar danos aos demais componentes.

Segundo Xenos (1998), a opção por este método de manutenção deve levar em conta fatores econômicos: é mais barato consertar uma falha do que tomar ações preventivas? Mesmo que optando pela manutenção corretiva, não se deve conformar com as ocorrências das falhas.

Kardec & Nascif, definem manutenção corretiva como a atuação para a correção da falha ou do desempenho menor que o esperado.

Manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida (NBR 5461/1997).

#### **2.4.2 Manutenção Preventiva**

Conjunto de ações preventivas executadas em intervalos de tempos fixos ou de acordo com critérios preestabelecidos, (XENOS, 1998, p. 135).

Sempre que for possível identificar precisamente uma vida útil a partir da qual a frequência de falhas aumenta em função do tempo, é possível estabelecer um intervalo fixo para ações preventivas baseado no tempo. Neste caso, estamos considerando que existe um limite de vida, a partir do

qual a probabilidade de ocorrência de falhas aumentará ao longo do tempo (XENOS, 1998).

Segundo Xenos (1998), esse tipo de manutenção é mais caro, se analisar apenas do ponto de vista do custo da manutenção, devido se trocar peças e reformar os componentes antes de atingirem seus limites de vida. Por outro lado, a ocorrência de falhas e interrupções não programadas da produção diminui e aumenta a disponibilidade do ativo. A manutenção preventiva procura evitar a ocorrência da falha, principalmente nos setores onde o fator de segurança se sobrepõe com os demais, exemplo aeronaves, elevadores.

De acordo com NBR5462-1994, é o método da manutenção efetuada em intervalos pré-determinados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item.

Kardec & Nascif (2010), definem manutenção preventiva como a atuação realizada de forma a reduzir ou evitar a falha ou queda no desempenho, obedecendo a um plano previamente elaborado, baseado em intervalos definido de tempo.

Muitas empresas quase sempre, utilizam o tempo reservado para manutenção preventiva trabalhando em manutenções corretivas, para Xenos (1998, p. 24), sem uma boa manutenção preventiva, as falhas tendem a aumentar e ocupar todo o tempo do pessoal da manutenção, num ciclo vicioso.

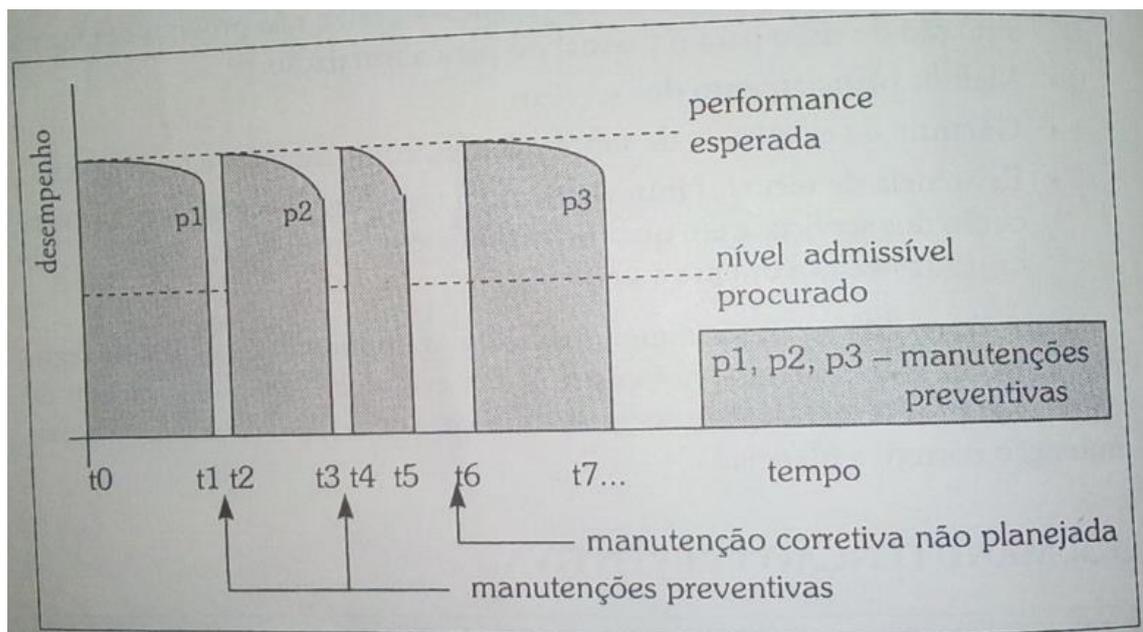
Kardec & Nascif (2010), enumeram os seguintes fatores que devem ser levados em considerações para adoção de uma política de manutenção preventiva.

- Quando não é possível a manutenção preditiva;
- Aspectos relacionados com a segurança pessoal ou da instalação que tornam mandatória a intervenção, normalmente para substituição de componentes;
- Por oportunidade em equipamentos críticos de difícil liberação operacional;
- Riscos de agressão ao meio ambiente;
- Em sistemas complexos e/ou de operação contínua.

Este tipo de manutenção por via de regra, promove a retirada do equipamento de produção, para execução dos serviços programados, de acordo com Kardec & Nascif (2010), possíveis questionamentos à política de manutenção preventiva sempre serão levantados, onde os conjuntos de fatores não seja suficientemente forte ou claro em prol dessa política.

Ponto negativo com relação a manutenção preventiva é a introdução de defeitos não existentes no equipamento devido a falha humana ou do sobressalente, contaminações introduzidas no sistema de óleo, danos durante a partida e parada bem como a falha dos procedimentos de manutenção (KARDEC & NASCIF, 2010).

Uma das desvantagens nesse tipo de manutenção é a troca prematura de peças, e como observado nos parágrafos anteriores, parar uma linha de produção sem ter realmente necessidade da intervenção.



**Figura 04: Manutenção Preventiva**

Fonte: Kardec & Nascif (2010)

### 2.4.3 Manutenção Preditiva

A manutenção preditiva foi a primeira grande quebra de paradigma na manutenção (KARDEC & NASCIF, 2010 p. 41), diferente da manutenção preventiva, onde as peças são trocadas em um intervalo pré-determinado e algumas vezes prematuramente, neste tipo de manutenção já é capaz de otimizar o uso do equipamento, e a interrupção na linha de produção só é realizada com embasamento em histórico da evolução da falha, segundo Kardec & Nascif (2010), a manutenção preditiva privilegia a disponibilidade à medida que não promove a intervenção nos equipamentos ou sistemas, pois as medições são efetuadas com o equipamento produzindo. Para Moubrey (2000), se pode ser encontrada evidência

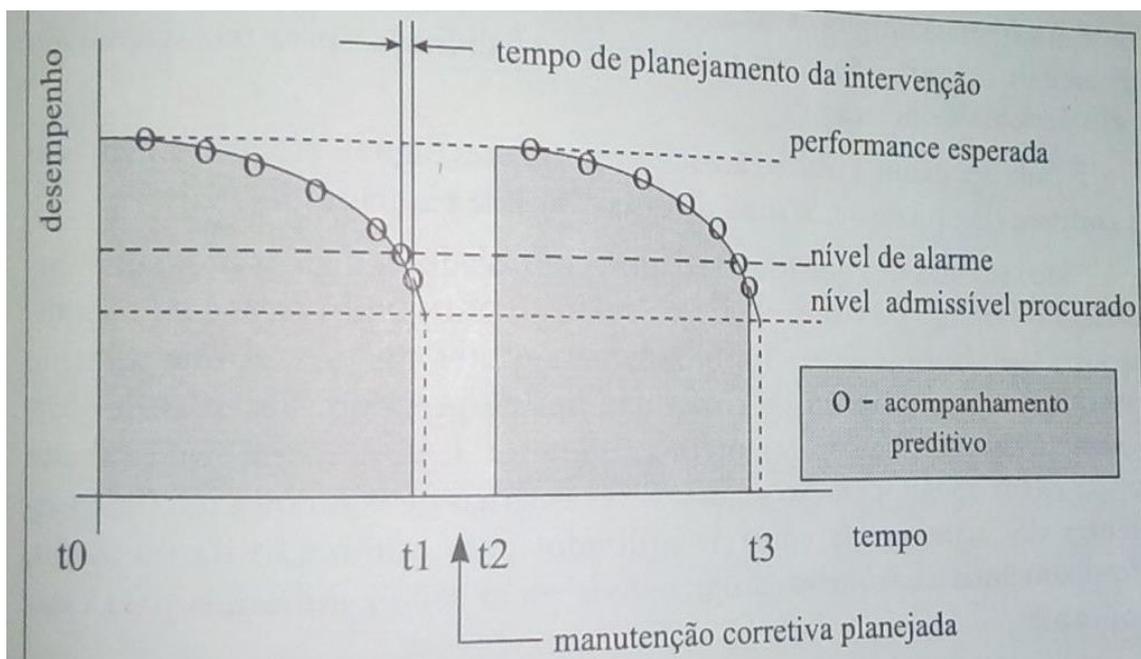
que alguma coisa está no estágio final da falha, é possível tomar decisão de prevenir a falha completamente e/ou evitar as consequências.

NBR 5462/1994 (1994), define a manutenção preditiva, tem-se como base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou de amostragem, para reduzir o mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva.

Segundo Kardec & Nascif (2010), é a atuação realizada com base em modificação de parâmetros de condição ou desempenho, cujo acompanhamento obedece a uma sistemática.

A manutenção preditiva consiste na monitoração, por inspeção e medições, das condições do equipamento até que sejam atingidos limites de deterioração predeterminados, o que poderá determinar a desmontagem para reforma ou troca de peças e componentes. Estas ações levam em conta que a maioria das falhas apresenta algum tipo de sinal que indica o provável instante da sua ocorrência (XENOS, 1998).

De acordo com Kardec & Nascif (2010), para se adotar esse tipo de manutenção o equipamento, sistema ou instalação devem permitir algum tipo de monitoramento, ou seja, as falhas precisam ser oriundas de causas que possam ser monitoradas, também, precisa estabelecer um programa de análise, acompanhamento e diagnóstico, também devido aos custos envolvidos, os equipamentos, sistema ou instalação, devem merecer esse tipo de função.



**Figura 05: Manutenção Preventiva**  
**Fonte: Kardec & Nascif (2010)**

#### 2.4.4 Manutenção Detectiva

Algumas falhas em determinados equipamentos podem ser catastróficas para a produção, segurança ou meio ambiente, para esse tipo de monitoramento, utiliza-se esse tipo de manutenção, que consiste em um sistema contínuo de monitoramento através de sensores interligados a um sistema PLC.

Kardec & Nascif (2010), definem a manutenção Detectiva como sendo a atuação efetuada em sistemas de proteção buscando detectar falhas ocultas ou não perceptíveis ao pessoal de operação e manutenção, essa identificação das falhas ocultas é primordial para garantir a confiabilidade. Essa categoria de manutenção começou a ser mencionada a partir da década de 90.

#### 2.4.5 Engenharia de Manutenção

É a segunda quebra de paradigma na manutenção, segundo Trombeta (2017), a denominação engenharia de manutenção surgiu entre os anos 1950 e 1960, e a necessidade de conter custos e aumentar a capacidade de respostas levaram a manutenção a adotar uma perspectiva global.

Para Figueiredo (2017 apud Viana 2002), o principal objetivo da engenharia de manutenção é promover o processo tecnológico da manutenção, resolvendo os problemas encontrados nos processos e equipamentos com o auxílio empírico e científico.

Significa uma mudança cultural, é deixar de ficar consertando continuamente, para procurar as causas básicas, modificar situações permanentes de mau desempenho, deixar de conviver com problemas crônicos, melhorar padrões e sistemáticas, desenvolver a manutenibilidade, dar *feedback* ao projeto, interferir tecnicamente nas compras (KARDEC & NASCIF, 2010).

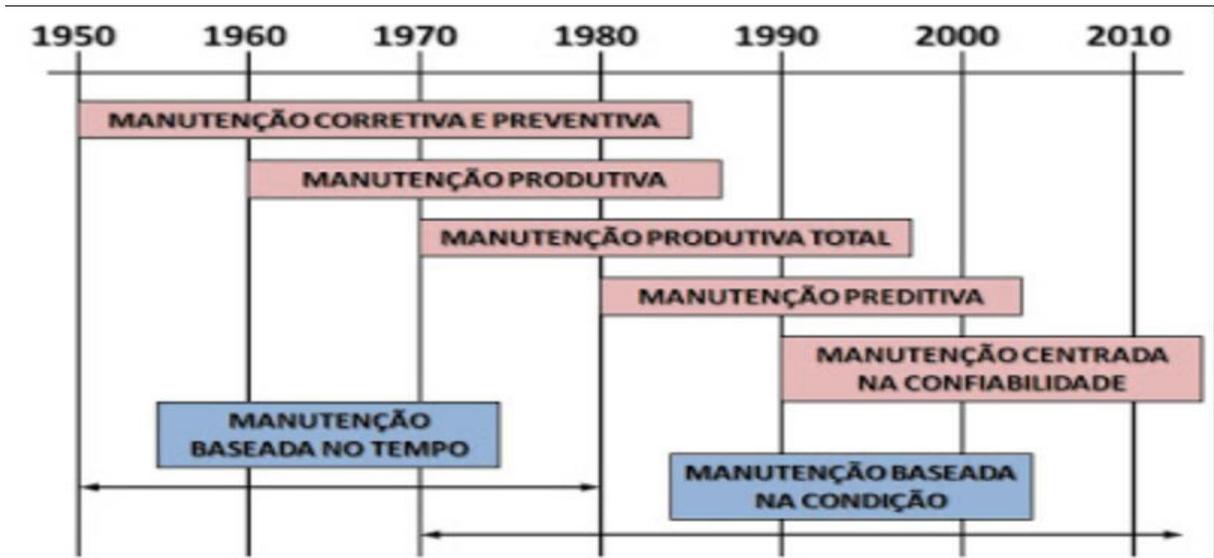


Figura 06: Surgimento Manutenção Centrada em Confiabilidade  
Fonte: Sampaio (2016)

## 2.5 CONFIABILIDADE

Segundo Kardec & Nascif (2010), a confiabilidade, do inglês *Reability*, teve origem nas análises de falhas em equipamentos eletrônicos para uso militar durante a década de 50, nos Estados Unidos. Em 1960 a *Federal Aviation Administration*, criou um grupo para estudar e desenvolver um programa de confiabilidade para a indústria aeronáutica.

De acordo com Fogliato (2009), o conceito adquiriu um significado tecnológico após o término da Primeira Guerra Mundial, quando foi utilizado para descrever estudos comparativos feito em aviões.

Após o término Segunda Guerra Mundial, devido a falha nos protótipos dos mísseis que estavam sendo desenvolvidos na Alemanha, foi contratado o matemático Robert Lusser para analisar o sistema operacional. Ao final da análise foi proposta a lei da probabilidade de um produto com componentes em série, onde, estabeleceu que a confiabilidade de um sistema em série é igual ao produto das confiabilidades e suas componentes (Fogliato, 2009).

Na década de 1970, segundo Fogliato (2009), o estudo da confiabilidade se consolidou nas mais diversas áreas, principalmente nas áreas associadas a engenharia de produção.

A NBR 5462/1994, define como sendo a capacidade de um item em desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante intervalo de tempo.

Para Leemis (1995, apud Fogliato & Ribeiro 2009), a confiabilidade de um item corresponde à sua probabilidade de desempenhar adequadamente o seu propósito especificado, por um determinado período e sob condições ambientais predeterminadas.

De acordo com Kardec & Nascif (2010), é a probabilidade que um item possa desempenhar sua função requerida, por um tempo estabelecido, sob condições definidas de uso.

Confiabilidade, devem apresentar valores entre 0 e 1, segundo Fogliato & Ribeiro (2009), o modelo binário é o mais simples de representar a condição de um item, o qual o item pode estar em um estado de funcionamento ou de falha.

A confiabilidade em um equipamento pode ser expressa pela seguinte expressão, segundo a distribuição exponencial (taxa de falha constante): Kardec & Nascif (2010).

$$R(t) = e^{-ht}$$

Onde:

R(t) = Confiabilidade a qualquer tempo.

e= base de logaritmo neperiano.

h= taxa de falhas (número de falhas por período de operação)

t= tempo previsto de operação.

$$h = \text{número de falhas} \div \text{número total de horas de operação da unidade}$$

### 2.5.1 Disponibilidade

Kardec & Nascif (2010), definem disponibilidade como sendo a relação entre o tempo em que o equipamento ou instalação ficou disponível para produzir em relação ao tempo total.

Conforme Fogliato (2009) a disponibilidade é a capacidade de um item, mediante manutenção apropriada, desempenha sua função requerida em um determinado tempo e pode ser expressa pela seguinte expressão.

$$A = \text{MTTF} \div (\text{MTTF} + \text{MTTR})$$

Onde:

A = Disponibilidade média

MTTF = É o tempo médio entre falhas

MTTR = É o tempo médio até conclusão de reparos

### 2.5.2 Manutenibilidade

É um fator essencial no estabelecimento da disponibilidade, Fogliato (2009) a define como, a capacidade de um item ser mantido ou recolocado em condições de executar suas funções requeridas.

Monchy, (1989, apud Kardec & Nascif 2010), apresenta a seguinte definição: É a probabilidade de restabelecer a um sistema suas condições de funcionamento específicas, em limites de tempo desejados. Sua expressão é:

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t}$$

Onde:

$M(t)$  = Representa a probabilidade de que o reparo comece no  $t=0$  e esteja concluído satisfatoriamente em  $t$ .

$e$  = Base logaritmos neperianos.

$\mu$  = Taxa de reparos ou números de reparos efetuados em relação ao total de horas de reparo equipamento.

$T$  = Tempo previsto de reparo.

O somatório do MTTR com os demais tempos constitui o que é normalmente denominado *dow-time*, por alguns autores. Outros costumam denominar esse tempo total de MFOT – *Mean Force Outage Time*, além disso a notação mais adotada acaba sendo TMPR (KARDEC & FOGLIATO, 2010).

### 2.5.3 Análise das Causas Raízes da Falha (RCFA)

Esta técnica se baseia no questionamento: Por quê? Cada etapa deve sempre responder a esta questão: Por quê. (KARDEC & NASCIF, 2010). Recomenda-se o uso principalmente em problemas crônicos, que podem consumir até 50% do orçamento da manutenção, segundo Kardec & Nascif (2010), os

principais passos para o processo de Análise de Causas Raízes de falha são os seguintes.

1º Análise do modo e efeito da falha – FME. Responsável pela ação Manutenção e produção.

2º Preservação da informação da falha. Responsável pela ação Manutenção.

3º Organização do grupo de análise. Responsabilidade: Gerência da manutenção.

4º Análise. Para as ações do quarto passo o grupo de análise organizado no terceiro passo é responsável.

5º Relatar as descobertas.

6º Fazer as recomendações.

7º Acompanhar os resultados.

Toda análise de RCFA deve ser documentada para servir de apoio à decisão de implementação de melhorias e modificações e servir de referência futura. (KARDEC & NASCIF, 2010).

#### **2.5.4 FMEA - ANÁLISE DE RISCO DOS MODOS DE FALHA**

O FMEA é uma técnica que tem como objetivo reconhecer e avaliar as falhas potenciais, identificar ações que possam eliminar a chance de ocorrência e documentar o estudo, criando referencial técnico para auxiliar em revisões futura (Fogliato & Ribeiro, 2009 p. 177).

Segundo NBR 5462/1994, é um Método qualitativo de análise de confiabilidade que envolve o estudo dos modos de falhas que podem existir para cada subitem, e a determinação dos efeitos de cada modo sobre os outros subitens e sobre a função requerida do item.

O objetivo da FMEA com análise de risco é identificar e avaliar a criticidade dos modos de falha dos diversos componentes físicos, com foco nos efeitos das falhas e seu impacto na função dos sistemas e subsistemas (Caiado 2011).

De acordo com Helman e Andery (1995, apud Tondin et al 2016), aumentar a confiabilidade implica necessariamente previsão de falhas e adoção de medidas preventivas das mesmas, desde a etapa de elaboração do projeto do produto e/ou processo até sua execução. A FMEA tem se mostrado como uma ferramenta que importante no aumento da qualidade e confiabilidade.

A metodologia de Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos teve a sua origem em operações militares, ele surgiu no ano de 1949, nos Estados Unidos, na época, foi denominado de Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis. Consistia em uma técnica para avaliação de confiabilidade dos sistemas e falhas em equipamentos. Depois a NASA também começou a usar variações da ferramenta (HENRIQUE & FIORIO, 2013).

De acordo com Oliveira et al (2015), a aplicação da análise FMEA pode ocorrer no processo produtivo ou projeto, aumentando a confiança e reduzindo os riscos de erros no produto ou projeto e aumentando a qualidade em procedimentos, também para definir prioridades de ações corretivas.

Para elaborar o FMEA, devem-se listar os componentes, funções ou serviços que podem falhar e determinar a ocorrência, e determinar a ocorrência, os efeitos e os modos de falha, após essas informações é possível calcular o risco inerente da falha (RPN). O valor do risco é um múltiplo da ocorrência, severidade e detecção, sendo essas variáveis tabeladas numa escala de 1 a 10, conforme os exemplos a seguir:

Classif.	Critério
1	Chance Remota de Falha
2	Frequência muito baixa: 1 vez a cada 5 anos
3	Pouco Frequente: 1 vez a cada 2 anos
4	Frequência baixa: 1 vez por ano
5	Frequência ocasional: 1 vez por semestre
6	Frequência moderada: 1 vez por mês
7	Frequente: 1 vez por semana
8	Frequência elevada: algumas vezes por semana
9	Frequência muito elevada: 1 vez ao dia
10	Frequência máxima: várias vezes ao dia

**Figura 07: Ocorrência da Falha**  
**Fonte: Silveira (2012)**

Classif.	Critério
1	Efeito não detectável no sistema
2	Baixa severidade causando aborrecimento leve no cliente
3	
4	Severidade moderada: cliente hora insatisfeito com perda de desempenho perceptível
5	
6	
7	Severidade alta com alta insatisfação do cliente
8	
9	Severidade muita alta: risco potencial de segurança e problemas graves de não-conformidades
10	

**Figura 08: Severidade da Falha**  
**Fonte: Silveira (2012)**

Classif.	Critério
1	Deteccção quase certa do modo de falha
2	Probabilidade muito alta de deteccção do modo de falha
3	Alta probabilidade de deteccção do modo de falha
4	Moderadamente alta probabilidade de deteccção do modo de falha
5	Moderada probabilidade de deteccção do modo de falha
6	Baixa probabilidade de deteccção do modo de falha
7	Probabilidade muito baixa de deteccção do modo de falha
8	Probabilidade remota de deteccção do modo de falha
9	Probabilidade muito remota de deteccção do modo de falha
10	Não é possível detectar o modo de falha

**Figura 09: Deteccção da Falha**  
**Fonte: Silveira (2012)**

Após o cálculo do risco e a elaboração do FMEA, são definidas as ações para os riscos com maior pontuação. Conforme Silveira (2012), o documento gerado deverá ser analisado e revisado periodicamente, afim de verificar se houveram alterações no produto ou processo.

ANÁLISE DE MODO E EFEITO DE FALHA POTENCIAL								
Nº. FMEA: 122		Data de Início: 27-08-2012		Responsável: Cristiano				
Área: Resfriamento de Cubas		Revisão: 01		Preparado por: João		Telefone: (15) 3021-6257		
Sistema: Bombeamento		Equipe: João, Felipe, Pedro						
Nome do Componente	Função do componente	Modo(s) de falha	Efeito(s) Potencial(is) de Falha(s)	OCORR (tab1) (O)	SEVER (tab2) (S)	DETEC (tab3) (D)	RISCO (RPN) (O)*(S)*(D)	Ação Corretiva Recomendada
M212 - Motor Elétrico	Bombear água para a caixa d'água central	Estator - Falha de isolamento	Perda de Fluxo	1	3	5	15	
		Estator - Enrolamento danificado	Perda de Fluxo	4	4	6	96	Realizar inspeção mensalente no estator
		Estator - Rotor Queimado	Perda de Fluxo	4	4	5	80	Realizar termografia mensalente
		Estator - Vibração Excessiva	Perda de Fluxo	5	6	5	150	Realizar análise de vibração mensalente
		Estator - Rolamento Travado	Perda de Fluxo	5	6	6	180	Realizar inspeção semanal no rolamento

**Figura 10: Formulário Para Análise de Modo e Efeito de Falha Potencial**  
**Fonte: SILVEIRA (2012)**

### 3 MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE (MCC)

É uma metodologia de gestão de ativos físicos utilizada na determinação de tarefas de manutenção capazes de assegurar que um sistema ou processo atenda à necessidade de seus usuários. (Duarte *et al* 2013), segundo Siqueira, 2005, uma de suas características é fornecer um método estruturado para selecionar as atividades de manutenção, para qualquer processo produtivo.

Os pilares da MCC baseiam-se nos conceitos do amplo conhecimento e envolvimento da engenharia, operação e manutenção da indústria. Com a ênfase nos estudos das consequências das falhas, abrangência das análises inerentes a segurança, meio ambiente, operação e custos, envolvendo trabalhos preditivos e preventivos.

#### 3.1 HISTÓRICO

A MCC surgiu da necessidade de uma manutenção mais efetiva na frota área dos Estados Unidos, onde, mesmo com a evolução dos componentes, a duplicidade em sistemas de segurança e a evolução da manutenção preventiva, a FAA (*Federal Aviation Agency*) estava preocupada com o índice de falhas em motores da época. E em 1960 foi criada uma força tarefa com os representantes da FAA e das companhias aéreas para desenvolver um programa com o objetivo de revisar e investigar a aumentar a confiabilidade nas aeronaves. Esta força tarefa foi denominada MSG (*Maintenance Steering Group*) (Moubray, 1997).

Após implementação do programa de confiabilidade para sistema de propulsão e de manutenção, concluíram que, o item tenha um modo de falha dominante, as revisões programadas têm pouco efeito na confiabilidade total de um item complexo. (Moubray, 1997)

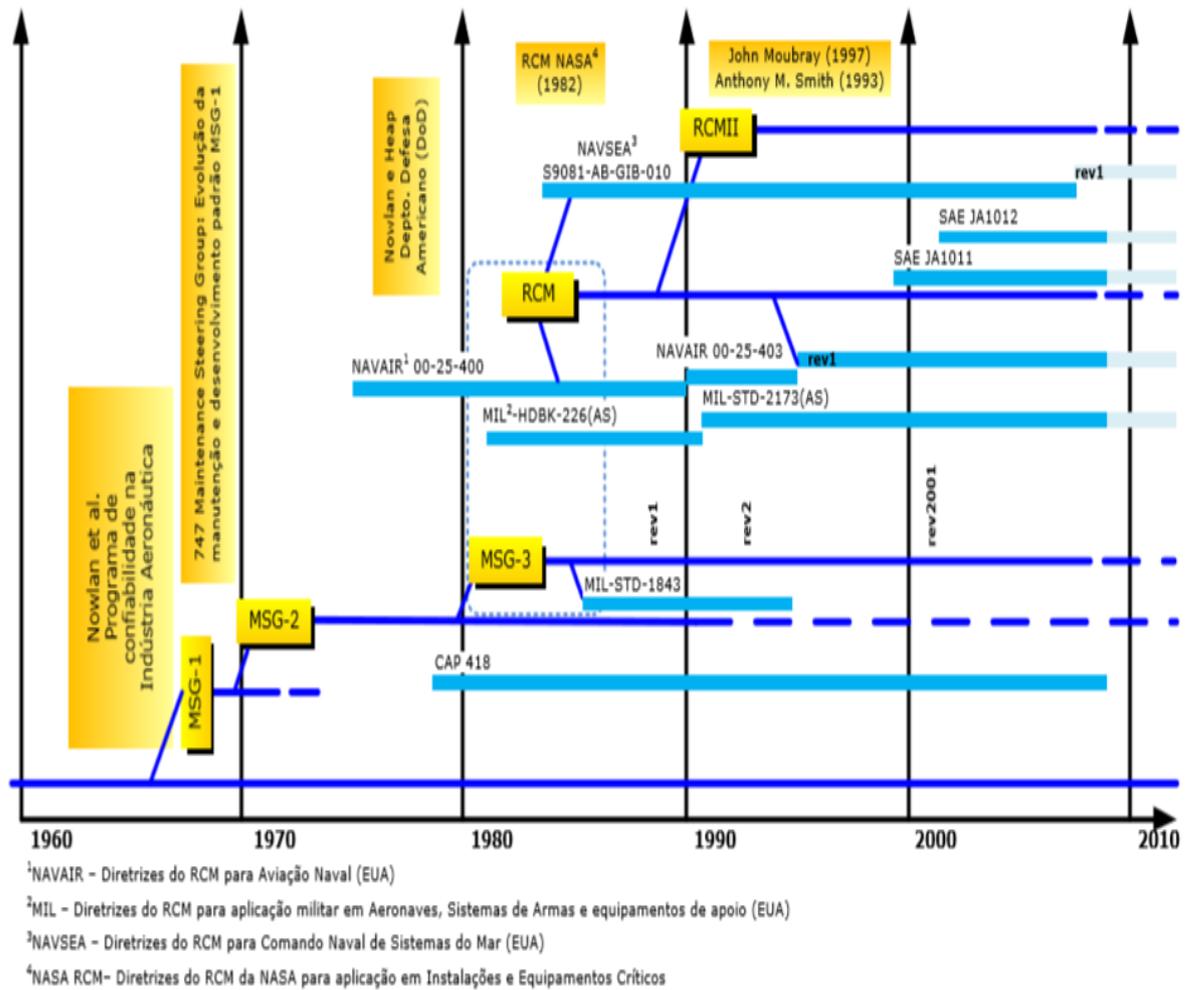
O passo seguinte foi organizar e desenvolver uma abordagem lógica e genericamente aplicável aos projetos de manutenção preventiva, apresentando em

1965 uma técnica rudimentar do diagrama de decisão, porém, foi apenas em junho de 1967 que esse documento foi concluído e apresentado. (Moubray, 1997).

Segundo Moubray (1997), após refinamentos nesse documento, conhecido como MSG-1, ele foi usado para desenvolver o primeiro programa de manutenção baseado nos princípios de manutenção centrada em confiabilidade, no avião modelo Boeing 747. Dois anos após melhorias, um segundo documento, denominado MSG-2, foi publicado onde foi possível aplicar a demais modelos de aeronaves inclusive alguns modelos militares. De acordo com Moubray (1997), os documentos MSG-1 e MSG-2, tinham como objetivo de desenvolver um programa de manutenção que assegurasse a máxima confiabilidade e segurança com o mínimo de custo.

Embora os documentos MSG-1 e MSG-2 tenham revolucionado e desenvolvido os procedimentos de manutenção no setor de aviação, sua aplicação em outros setores era limitada devido a sua focada e concisa especialização, em 1980 Nowlan e Heap promulgaram o MSG-3 revisado em 1988 e 1993, permanece até o presente como o processo usado para desenvolver e refinar os programas de manutenção para todos os principais tipos de aeronaves civis (Moubray, 1997).

Conforme Baran (2012), o MSG-3, incluía os padrões anteriores, e uma visão conjunta de todo o processo da indústria de aeronaves, sendo adotado como metodologia obrigatória de manutenção para novas aeronaves pelo Departamento de Defesa Americano – Dod.



**Figura 11: Evolução MCC**  
**Fonte: MIKA (2009, apud BARAN)**

### 3.2 FUNDAMENTAÇÃO

Kardec & Nascif (2010) definem MCC como um processo usado para determinar os requisitos de manutenção de qualquer item físico no seu contexto operacional.

Segundo Fogliato & Ribeiro (2009), a manutenção e confiabilidade tem uma importante ligação, e muitas indústrias estão percebendo essa ligação e implantando programa de manutenção centrado em confiabilidade.

Garza (2002, apud Baran 2012), afirma que além da introdução de novos conceitos, a MCC apresenta um novo foco para a manutenção em relação ao modelo tradicional, embasando as suas ações em novos objetivos.

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

**Figura 12: Comparação Manutenção Tradicional com a MCC**  
**Fonte: Siqueira (2005)**

De acordo com Esteves et al 2005, apud Caiado et al 2015, o foco da visão da MCC não é a preservação da operação plena do ativo, mas sim a preservação da sua capacidade em não permitir que o sistema onde ele está inserido deixe de cumprir suas funções.

### **3.3 OBJETIVOS DA IMPLEMENTAÇÃO**

Se aplicado corretamente, Moubray (2000), afirma que a MCC transforma as relações entre os empreendimentos que o utilizam, seus ativos físicos e as pessoas que operam e mantêm os ativos. Ela também permite que novos ativos sejam postos em serviço efetivo com muita rapidez, confiança e precisão.

De acordo com Siqueira 2005, desta forma é possível priorizar o atendimento às necessidades do processo ou aplicação, em detrimento das necessidades próprias ou individuais dos itens.

Moubray (1997, p 312), afirma, que se aplicado corretamente leva a uma redução de 40 a 70% da carga de trabalho de rotina, isto devido não somente, em parte da redução do número de tarefas, mas também no aumento de seus intervalos.

Conforme Moubray (1997, p. 308), os resultados da MCC podem ser percebidos na melhoria da segurança e integridade ambiental, no aumento da disponibilidade e confiabilidade da planta, na melhoria do produto, melhoria no custo efetivo da manutenção.

A metodologia de MCC começa pela avaliação da criticidade dos sistemas e subsistemas objetos da análise. Verifica-se o nível de risco sistêmico da instalação sem descer ao detalhe do componente físico. Em seguida, entra-se na fase da análise detalhada, com aplicação da técnica FMEA associada à análise de risco dos modos de falha. Na sequência, com base nos parâmetros de falha (modos de falha, causas, efeitos, criticidade), são definidas as tarefas de manutenção preventivas e corretivas, visando preservar as funções dos sistemas e subsistemas (Júnior et al (2001 apud Caiado et al 2015).

Durante sua implantação as sete perguntas sobre cada um dos itens sob revisão ou sob análise crítica devem ser respondidas. (Moubray 2000).

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

Essas respostas, segundo Kardec & Nascif (2010), devem ser dadas por uma equipe multidisciplinar, formada por pessoas da operação, manutenção e segurança do trabalho.

A próxima etapa é a definição de alguns conceitos fundamentais na aplicação da MCC, tais como: funções, padrões de desempenho, contexto operacional, falhas funcionais e potenciais, modos de falhas, causas das falhas funcionais, efeitos das falhas. Apresentação FMEA e definidos os conceitos de ações proativas.

De acordo com Siqueira (2005), as consequências das falhas são analisadas na MCC pelos impactos dos efeitos dos modos de falha na operação do sistema, no meio ambiente.

Para escolher as funções significantes utiliza a lógica seleção.

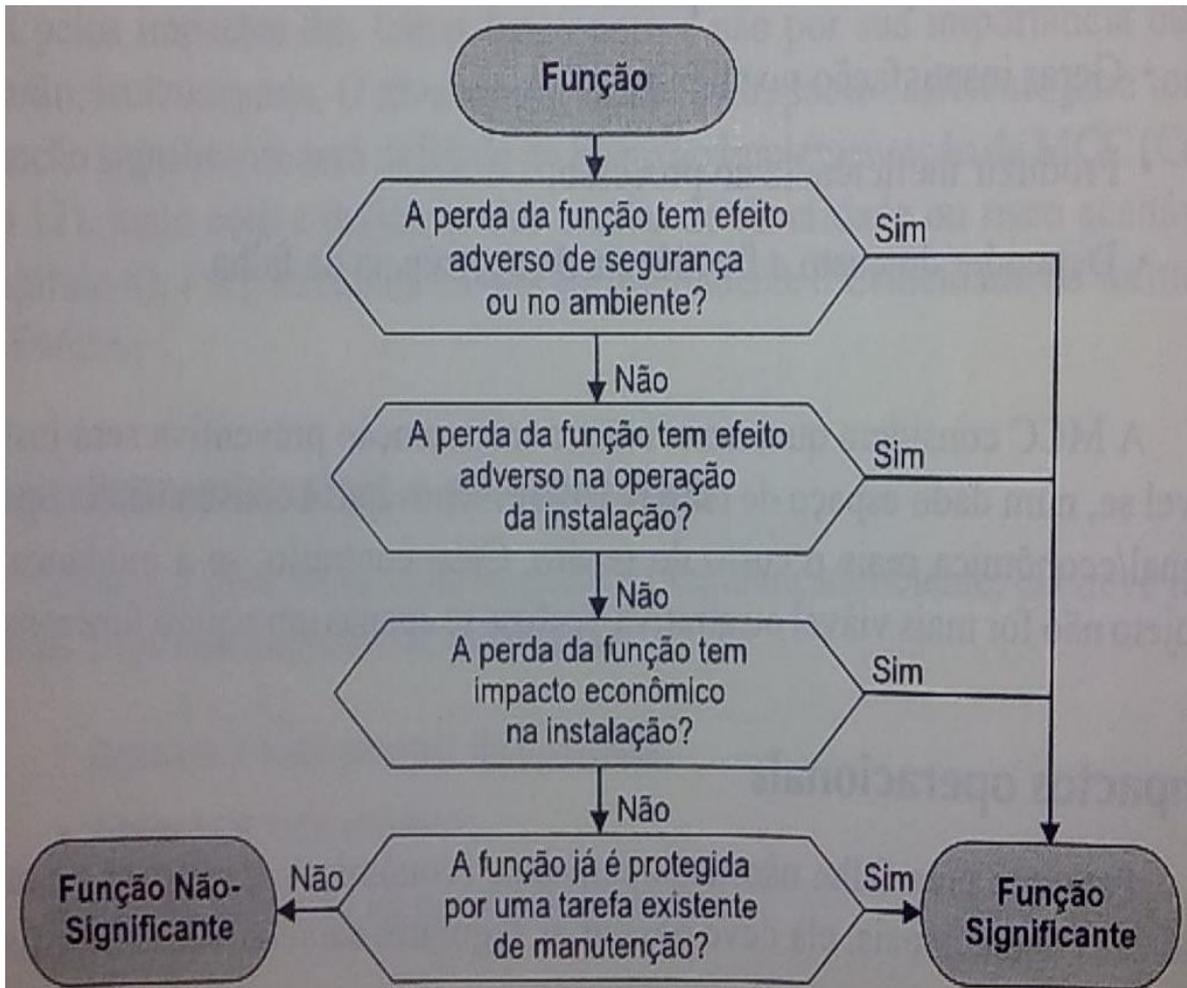


Figura 13: Lógica de seleção  
Fonte: Siqueira (2005)

Os quatros resultados principais dessa análise, segundo Kardec & Nascif (2010) são: a melhoria da compreensão do funcionamento do equipamento bem como sua sistemática, solução de problemas e estabelecimento de programas de trabalho, definição de causas básica da falha e a elaboração de planos de para garantir a operação do item em um nível desejado.

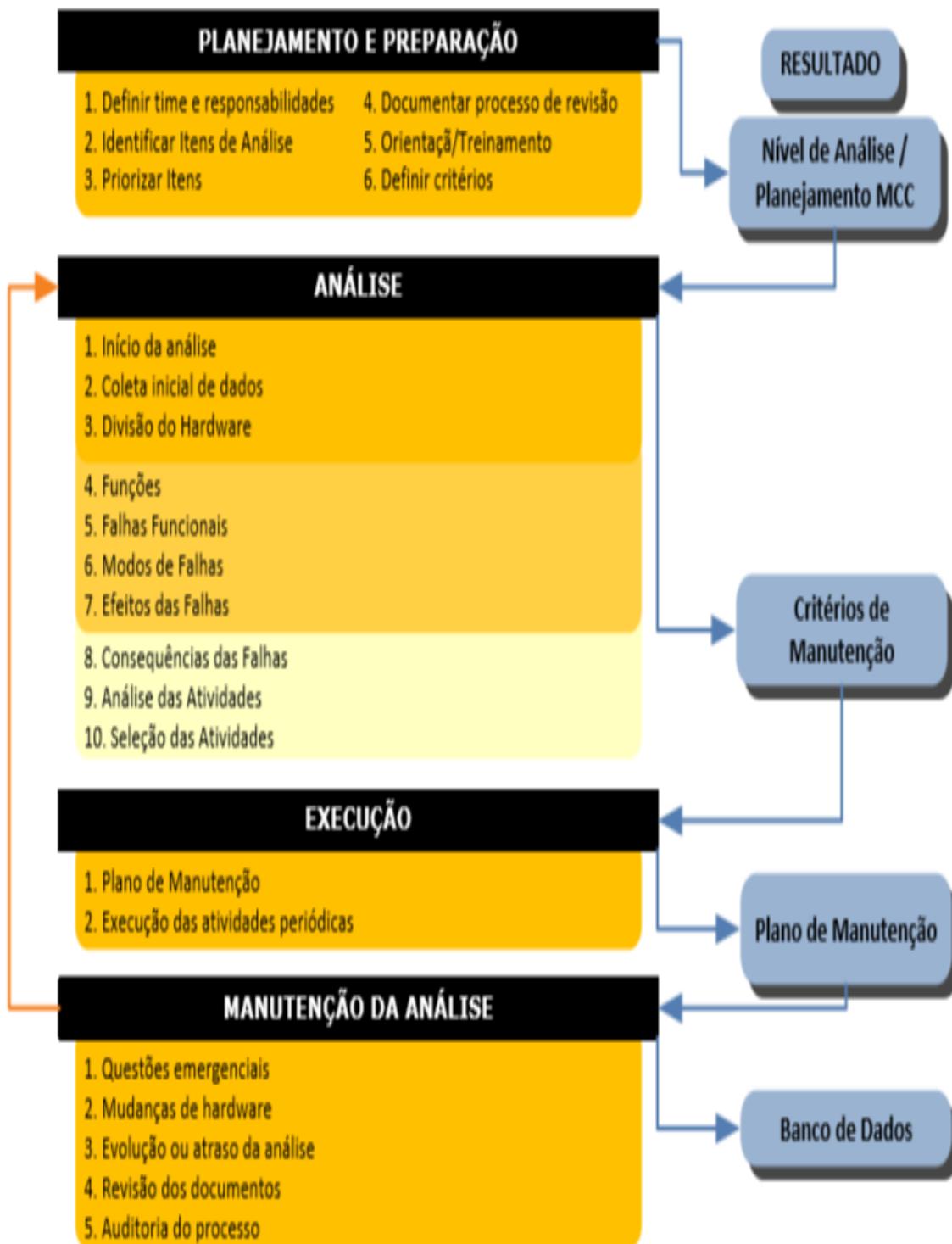


Figura 14: Diagrama de Implantação  
Fonte: Baran (2012)

## 4 METODOLOGIA

Foi realizada visita ao departamento de confiabilidade e planejamento em uma indústria moedora de grãos na região dos campos gerais. Devido a política da empresa, não foram cedidos fotografia e dados com os valores gastos com a implementação e o retorno financeiro. A empresa processa 1300 toneladas grão por hora, e fornece matéria prima para indústria alimentícias no Brasil e exporta para Ásia.

A indústria trabalha em regime de três turnos durante os sete dias da semana, com disponibilidade para manutenção de uma parada mensal, com duração de 24 horas, mais duas paradas anuais de 48 horas, totalizando 336 horas anuais para a manutenção programada nos equipamentos críticos.

A definição da criticidade do ativo foi realizada através da aplicação ferramenta FMEA, e utilizado escala de cores para definir a criticidade, sendo:

- Preto: Todo ativo que impacta a planta. Uma falha nesse tipo de equipamento paralisa as atividades no setor imediatamente, e em algumas horas a fábrica toda. A manutenção somente com a planta parada.

- Cinza: Nesta categoria estão os ativos que paralisam uma linha de produção, mas não afetam a produção. Sua manutenção pode ser realizada com redução de produção pontuais.

- Branco: Ativos cujas falhas não impactam na produção. São ativos que na maioria das vezes existe um *by pass*.

Para a manutenção, o principal indicador estratégico é a duração equivalentes de interrupção (DEI), e é caracterizado quando algum ativo preto tem uma pane completa. Esse tipo de pane, segundo a NBR 5462-1994, é caracterizada pelo fato do item não conseguir desempenhar nenhuma das suas funções requeridas, ou quando algum ativo cinza não é recolocado em operação antes de parar a produção geral. Atualmente a meta da planta é que o DEI seja inferior à 6%, porém, para o ano de 2020 a meta será revisada para 4%.

## 4.1 RECURSOS

Para a implantação a empresa precisou investir em software para gestão de ordens de serviço, equipamentos para análise de vibração, treinamentos, e na contratação de 4 profissionais, para trabalhar na fase de estruturação, sendo: 1 engenheiro de confiabilidade, 1 auxiliar administrativo, 1 programador de manutenção e 1 analista preditiva. Atualmente dispões de mais 2 planejadores de manutenção, 1 auxiliar administrativo e 1 inspetor de manutenção. O custo com a implementação e a folha de salário dos 08 funcionários do departamento a empresa não disponibilizou. A seguir tem-se uma breve descrição da função de cada funcionário.

**Engenheiro de confiabilidade:** Responsável pelos estudos de melhoria nos equipamentos, através da análise nas falhas e dos índices da manutenção. Levantamento de dados de mantenabilidade, confiabilidade, produtividade e periodicidade. Revisar lista de sobressalentes.

**Programador de manutenção:** O programador de manutenção é o responsável pela elaboração da carta de programação semanal, esta carta é realizada em conjunto com os encarregados de cada setor em uma reunião semanal, onde são apresentadas todas as ordens de serviço e escolhida pelo critério de prioridade, para os ativos pretos e alguns cinzas são separadas para realizarem durante uma parada mensal.

**Planejador de manutenção:** Realiza uma análise criteriosa da atividade a ser executada, determina metodologia para execução, estima a duração, levanta todos os recursos necessários para a execução da atividade com segurança, qualidade, auxilia engenheiro confiabilidade com a elaboração de planos de trabalho padrão.

**Analista de preditiva:** Técnico responsável pela coleta e análise de vibração em equipamentos e análise de ultrassom. É uma mão de obra muito importante para aumentar a confiabilidade devido a possibilidade de antever alguma falha. Devido a complexidade da atividade o analista de preditiva realiza análise apenas nos ativos pretos e cinzas, para os demais ativos somente quando solicitado pelo inspetor.

**Auxiliares administrativos:** São os responsáveis pelo apontamento dos recursos das ordens de serviço, abertura de ordem compra e arquivo dos documentos relativos a manutenção, arquivo e abertura de ordem de compra.

**Inspetor de manutenção:** Segue uma rota diária nos equipamentos e setores da fábrica, dividido para que ao final do mês o técnico atinja 100% dos ativos da planta, o mesmo utiliza ferramentas específicas e um *check-list* verificando os seus parâmetros, para todas as falhas abre uma ordem de serviço.

## 4.2 TÉCNICAS UTILIZADAS PELA EMPRESA

Através do estudo do modo de falha, foi possível determinar qual tipo de manutenção e periodicidade para cada equipamento. Respeitando as suas particularidades, foram aplicados inspeção preditiva e melhoria de projetos em todos os ativos pretos e cinza. A manutenção preventiva está presente nas inspeções visuais diárias, para os ativos que não foi possível aplicar técnicas preditivas é realizado a restauração e substituição preventiva.

As manutenções corretivas programadas e não programadas também fazem parte do cotidiano da equipe, algumas dessas falhas são oriundas de equipamentos que não estão em monitoramento devido a não ter um impacto na produção, e seu custo de reparo ser insignificante, outras falhas devido a estar ajustando o FMEA e/ou o banco de dados não ter informação suficiente para uma definição da melhor metodologia. Os índices de manutenção corretiva são monitorados pela engenharia de confiabilidade, a fim de evidenciar e atualizar a melhor metodologia.

## 4.3 INDICADORES EVIDENCIADOS

Dos indicadores mais evidentes no departamento, estão correlacionados a disponibilidade da mão de obra e indisponibilidade da planta, tais como:

- Horas programadas: É medido com base na mão de obra disponível e o número de horas designadas na carta de programação semanal, a meta atual é programar 85% das horas disponíveis de cada mantenedor.

- Horas planejadas: Este índice representa qual o percentual das ordens de serviços teve um planejamento. A meta atual é que 50% dos serviços programados tenham passado pela avaliação dos planejadores.

- Horas reportadas: Este índice é calculado individualmente de cada mantenedor para analisar a ociosidade. Para realizar esse cálculo é comparado o tempo que o funcionário estava na empresa e quantas horas ele estava realizando alguma atividade. Os valores são extraídos do cartão ponto e das horas que estão lançadas no sistema de gestão de ordens de serviço, o índice precisa ser superior a 80%. Fórmula para cálculo:

$$H. R. = (\text{Horas Lançadas no Sistema} \div \text{Horas Cartão Ponto}) \times 100$$

- *Backlog*: Representa o período em que a equipe de manutenção precisara para finalizar todas as ordens de serviços que estão aguardando execução. Esta medida de tempo é importante para sinalizar a necessidade de se aumentar ou diminuir o tamanho da equipe.

$$\text{Backlog} = \text{HHE} / \text{HHT}$$

Onde:

HHE são as horas estimadas para executar todos as ordens de serviços em aberto e HHT é o total de homem hora disponível da mão de obra efetiva da equipe semanal

- Atividades proativas: Número de horas relatadas, em que o colaborador está realizando atividades de manutenção preditiva e preventiva.

- Paradas de produção manutenção não programada: Tempo em que a fábrica precisou parar a produção devido alguma manutenção não programada.

- Parada produção manutenção programada: Tempo em que a fábrica precisou parar a produção devido a manutenção programada.

- Aderência a programação: Percentual de horas executadas da programação semanal. Meta: 80%.

Os indicadores específicos de equipamento, tais como: tempo médio entre falhas, tempo médio de reparo. Não são evidentes, ficando restrito para o uso da engenharia confiabilidade.

#### **4.4 CUSTOS DIRETOS RELATIVOS À PARADA EMERGENCIAL DE PRODUÇÃO**

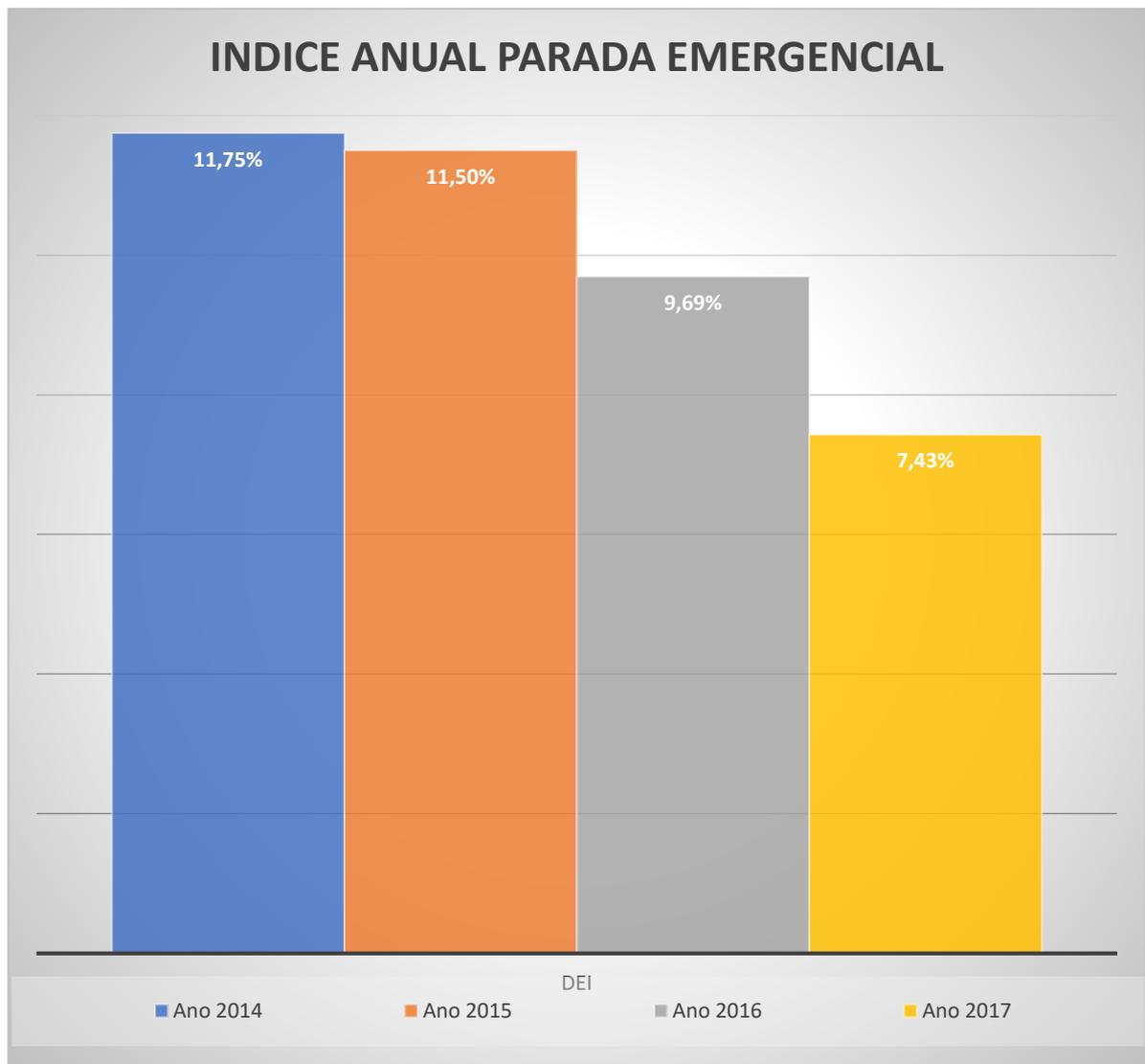
No fechamento do ano fiscal de 2014 o DEI da fábrica fechou em 11,75%, totalizando aproximadamente 1015 horas de parada na produção não programada. Os prejuízos vão além do custo direto, com a perda de produção, até custos indiretos como pagamento de diárias às transportadoras e fretes especiais para reposição de peças. Serão usados para análise deste trabalho apenas os custos diretos.

#### **4.5 ÍNDICE DURAÇÃO EQUIVALENTE À INTERRUPÇÃO (DEI)**

No ano de 2015 foi o ano de criação de banco de dados, definição de criticidade, prioridade, desenvolvimento de ferramentas, e, no final de 2015, a empresa conseguiu uma redução insignificante de 0,25%, fechando o ano em um acumulado de 11,50% do total de horas de produção.

Nos anos de 2016 e 2017 foi um período de revisão de planos de trabalho, FMEA, aplicação das ferramentas de qualidade, e o fechamento fiscal teve redução expressiva de 1,81% em 2016. Teve avanço novamente em 2017, conseguindo reduzir o DEI em mais 2,26%, fechando o ano de 2017 em 7,32%, do total de horas de produção.

A redução acumulada do período de 4,32%, resultam em um aumento na disponibilidade equivalente a 378 horas e/ou 20 mil toneladas a mais de grãos processados. Esse valor ainda é alto quando se comparado a meta dos 4% de 2020, porém, se seguir com os índices de evolução dos últimos dois anos a equipe acredita que irá alcançar.



**Gráfico 01: Duração Equivalente a Interrupção Anual**  
**Autor: Elielson de Bonfim Silva, 2018.**

## 5 RESULTADOS

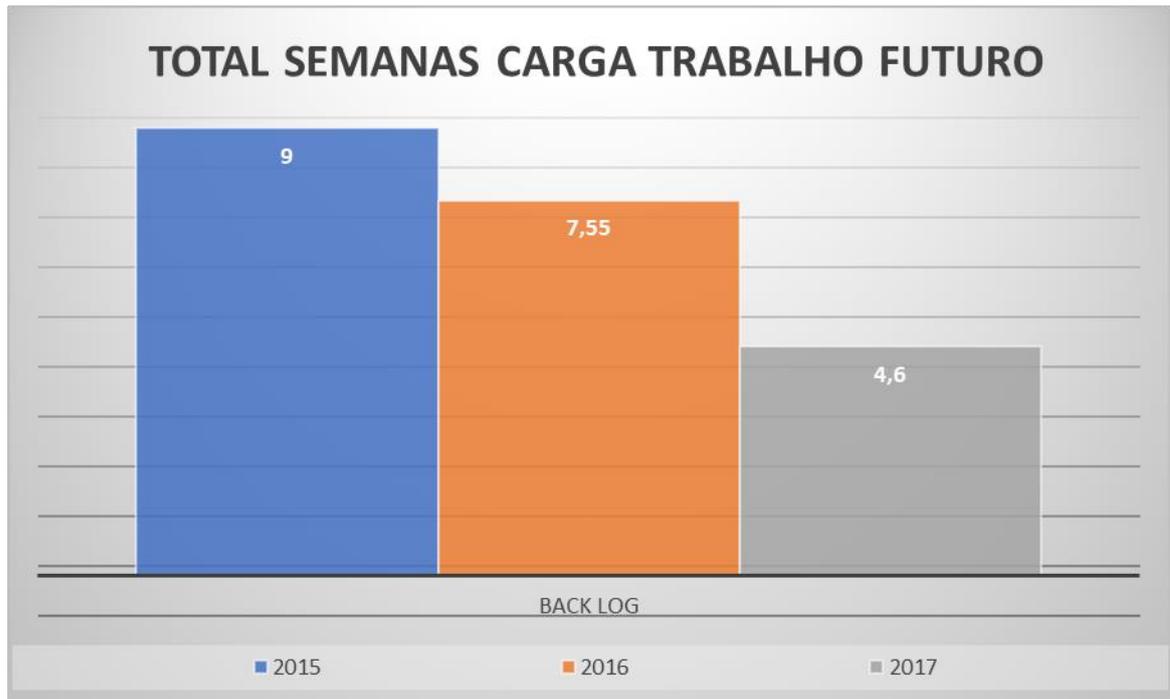
Para uma análise mais concreta da eficiência desta metodologia, uma vez que a comparação do DEI não seria suficiente, foram analisados o *backlog*, percentual de manutenções proativas, índice de ocupação da mão de obra e as paradas programadas para manutenção, conforme apresentado a seguir.

### 5.1 Backlog

Segundo Silveira (2012), *backlog* é a relação entre o tempo total estimado para a realização dos serviços de manutenção em carteira e o tempo total disponível na manutenção, por período. A fábrica mede esse número em semanas e conseguiu reduzir esse tempo praticamente pela metade.

### 5.2 Horas Programadas

Este índice representa a carga de ocupação em carta de programação semanal, ou seja, é o valor de quanto se está conseguindo ocupar o tempo da equipe de manutenção, o ideal é 100%, mas devido algumas atividades não poderem ser interrompidas ao final de cada expediente, esse é um valor intangível. Com o aumento do percentual de programação foi possível reduzir o *backlog*, também pode-se trabalhar mais em manutenção proativas.



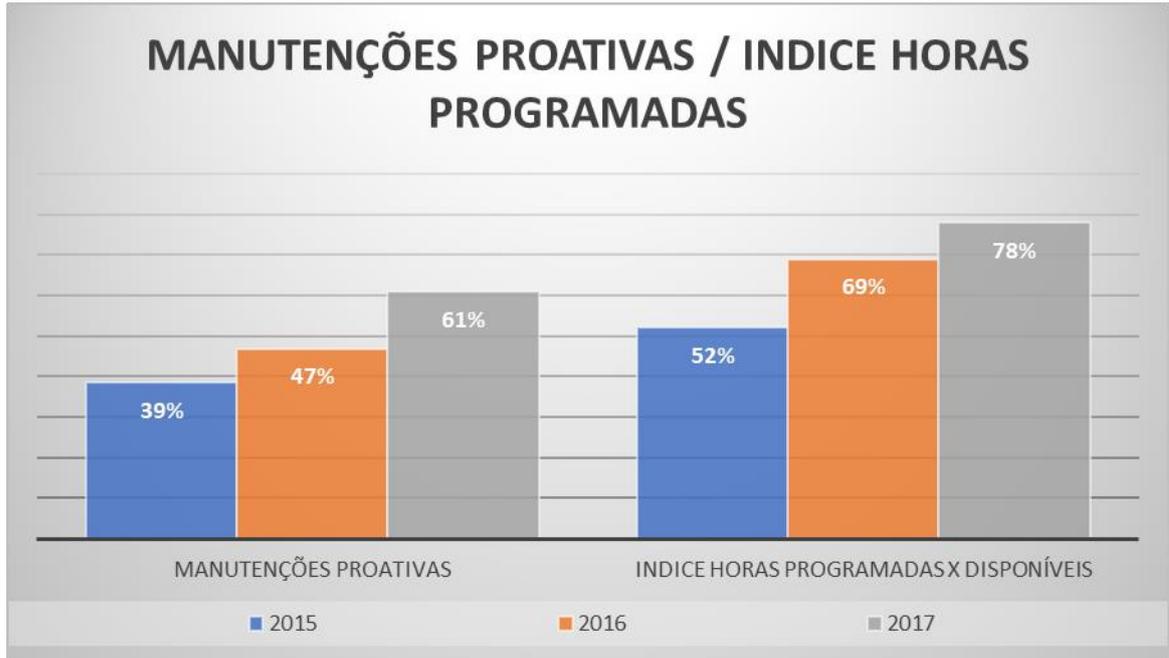
**Gráfico 02: Backlog**  
Autor: Elielson de Bonfim Silva, 2018.

Com a redução do *backlog* foi possível definir as prioridades das ordens de serviço, um trabalho não fica muito tempo na fila de esperando à execução. Otimização da reunião programação semanal. Com um número tão alto de trabalhos a serem executados algumas vezes era delegado para pessoas que não tinham competência. A meta da companhia para 2020 é reduzir esse número para 3 semanas.

### 5.3 Manutenção Proativa

De acordo com Siqueira (2005), a manutenção proativa é executada antes que uma falha ocorra, a fim de impedir que o item passe ao estado de falha (restauração preventiva, substituição preventiva ou inspeção preditiva).

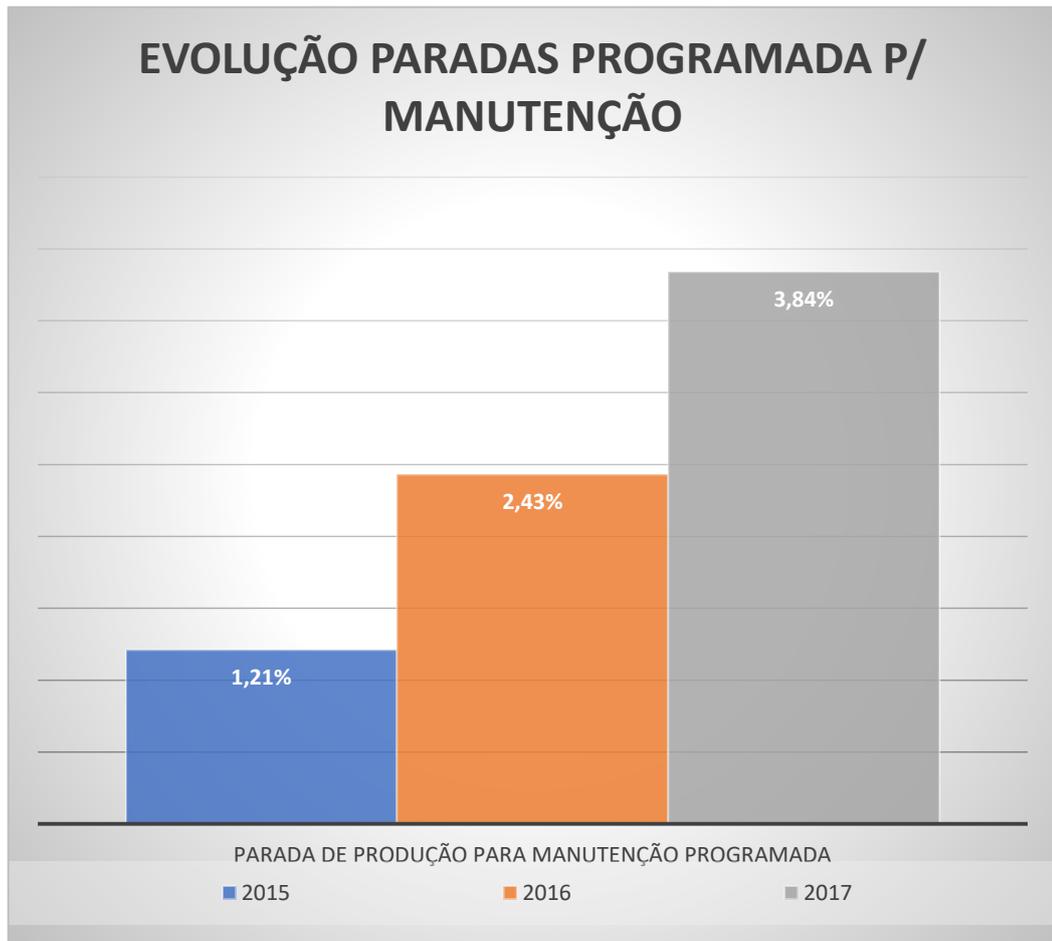
Com a priorização das ordens de serviço, ocorreu uma melhor alocação da mão de obra, foi possível focar a equipe em atividades que visavam antecipar uma falha. Esse índice é calculado com base nas horas reportadas em ordem de serviço.



**Gráfico 03: Manutenção Proativa e Horas Programadas**  
 Autor: Elielson de Bonfim Silva, 2018

#### 5.4 Parada da Produção para Manutenção Programada

Conforme abordado no tópico anterior, durante o planejamento anual, a empresa disponibiliza 336 horas para realizar as manutenções programadas, representando 3,84%. Nos anos 2015 e 2016 esses índices foram 1,21% e 2,43%, essas baixas taxas são reflexo das paradas emergenciais. Esses índices baixos se explicam devido ao DEI ser alto, a empresa não conseguia fazer paradas programadas. Em 2017 já se pode ver uma melhora, esse índice fechou em 3,71%, nesse mesmo ano teve um aumento em 50% das ordens proativas e redução nas paradas emergenciais.



**Gráfico 04: Índices Parada de Produção Para Manutenção Programada**  
Autor: Elielson de Bonfim Silva, 2018

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O principal objetivo da manutenção centrada em confiabilidade é aumentar a disponibilidade do ativo e otimizar a produção. Com base nos dados coletados conseguimos observar que na empresa visitada isso está ocorrendo de uma maneira satisfatória e visível com a redução de paradas emergenciais, melhoria na distribuição da mão de obra, aumento das paradas programadas para manutenção corretivas, na redução da taxa de serviços aguardando programação, e evidente ampliação da vida útil dos equipamentos, pois cada componente do sistema tem a manutenção necessária para cumprir a sua função.

Os valores gastos para implementação e manutenção do sistema não podem ser disponibilizados, porém, em um mercado competitivo onde as margens de lucros são baixas, e os custos indiretos devido a parada emergenciais vão além de pagamento de multas por atraso na entrega dos produtos e sim na perda da confiança de seus clientes. Esse valor por si só já representaria a viabilidade da implementação do sistema, mas a manutenção centrada em confiabilidade gera ganhos significativos em outras áreas da companhia, como por exemplo, no almoxarifado com a redução de peças sobressalentes, ao departamento de planejamento e controle da produção com o aumento da confiabilidade e previsão.

Por fim, a manutenção centrada na confiabilidade gera ganhos significativos em várias áreas da empresa e é possível notar melhoria a médio e longo prazo.

## REFERÊNCIAS

**BARAN**, Leandro Roberto, Manutenção Centrada em Confiabilidade Aplicada Redução de Falhas um Estudo de Caso. Disponível em: <[http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1450/3/PG\\_CEGIPM\\_VII\\_2011\\_12.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1450/3/PG_CEGIPM_VII_2011_12.pdf)>. Acesso em: 02/04/2018.

**CAIADO**, Rodrigo Goyannes G. Contribuição da Manutenção Centrada em Confiabilidade no Setor de Instrumentação de uma Indústria do Segmento de Petróleo. Projeto Final Engenharia de Produção UFF. Dezembro de 2011.

**CAIADO**, Rodrigo Goyannes G.; **LIMA**, Gilson Brito Alves; **Quelhas**, Osvaldo Luiz Gonçalves. Aspectos da aplicação da manutenção centrada em confiabilidade. Artigo para apresentação no Congresso Nacional de Excelência em Gestão. Disponível em: <<http://www.inovarse.org/node/4171>. 2015>. Acesso em: 17/03/2018.

**ESTEVES**, Afonso Cláudio Ielo; **FAISSAL**, Gilson; **PEREIRA**, José Fernando; Geração de planos de manutenção baseados na MCC (Manutenção Centrada em Confiabilidade) – Uma abordagem prática; Abraman, XX congresso brasileiro de manutenção, 2005.

**FIGUEIREDO**, Danielle Lima de; Indicadores de performance: Um enfoque na gestão da manutenção. Simpósio de Engenharia de Produção. Disponível em: <[https://sienpro.catalao.ufg.br/up/1012/o/DANIELLE\\_LIMA\\_DE\\_FIGUEIREDO.pdf](https://sienpro.catalao.ufg.br/up/1012/o/DANIELLE_LIMA_DE_FIGUEIREDO.pdf)>. Acesso em: 20/03/2018.

**FOGLIATO**, Flávio Sanson; **RIBEIRO**, José Luis Duarte, Confiabilidade e Manutenção Industrial, Editora Elsevier, Rio de Janeiro, 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.

**GUTIÉRREZ**, Carlos Alberto Barros; Serviços, como planejar e controlar o dia-a-dia da manutenção; Trabalho técnico para apresentação XX congresso brasileiro de manutenção, 2005.

**HELMAN, H.; ANDERY, P. R. P.** Análise de falhas: aplicação dos métodos de FMEA e FTA. Belo Horizonte: Fundação Christino Ottoni, 1995.

**HENRIQUE, Fábio; FIORIO, Vivian,** O que é FMEA. Disponível em: <<https://www.industriahoje.com.br/fmea>>. Acesso em: 17/03/2018.

**JÚNIOR, Ayr Lannes; FIGUEIRA, Luciana Heil; FRANÇA, Sandro Ricardo Roxo de O.; RISI, Francisco Gilberto Erthal;** *Aplicação da técnica de Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) com base em risco, em Estações de Entrega de gás natural operadas pela Petrobras Transporte S.A. Transpetro*; CIM, I Congresso Confiabilidade, Inspeção e Manutenção, 2001.

**KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio.** Manutenção: Função estratégica, 3º edição, Editora Qualitymark, Rio de Janeiro, 2010.

**LEEMIS, E.E.** Introduction to Reliability Engineering. 2. Ed Nova York: John Wiley, 1996.

**LESSA, Ana Karina Marques da Cunha; FILHO, Luis Cordeiro de Barros;** *Gestão da manutenção na construção civil: o caso da hotelaria no estado de Pernambuco – diagnóstico e proposições*; XIX Congresso Brasileiro de Manutenção. Disponível em: < <http://docplayer.com.br/25735216-Aspectos-da-aplicacao-da-manutencao-centrada-em-confiabilidade.html>>. Acesso em: 17/03/2018.

**MONCHY, François.** A Função Manutenção – Formação para Gerência da Manutenção Industrial. São Paulo, 1989 – Editora Durban Ltda.

**MORTELARI, Denis; SIQUEIRA, Kleber; PIZZATI, Nei.** O RCM na quarta geração da manutenção. São Paulo: RG Editores, 2011.

**MOUBRAY, John.** RCM II – Manutenção Centrada em Confiabilidade – Edição brasileira. Traduzido por: Kleber Siqueira, Aladon Ltd. Inglaterra, 2000.

**NBR 5462-1994,** Confiabilidade e manutenibilidade, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 1994.

**OLIVEIRA, James C. Santana de; CAMPOS, Hebert; BOCCALETTI, Helder;** Aplicação do método FMEA de Processo. Disponível em:< [http://revistasapere.inf.br/site2/artigos/2015-2/SAPERE\\_2015-2\\_01.pdf](http://revistasapere.inf.br/site2/artigos/2015-2/SAPERE_2015-2_01.pdf)>. Acesso em: 20/03/2018.

**SAMPAIO**, André; Manutenção – Evolução Histórica. Disponível em:<<http://mcc-facic.blogspot.com.br/>>. Acesso em: 24/03/2018.

**SILVA**, Patrícia Carla da; Revolução Industrial. Disponível em: <<http://www.administradores.com.br/artigos/economia-e-financas/revolucao-industrial/27484/>>. Acesso em: 21/05/2018.

**SILVEIRA**, Cristiano Bertulucci. FMEA – Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos. Disponível em:<<https://www.citisystems.com.br/fmea-processo-analise-modos-falhas-efeitos/>>. Acesso em: 17/03/2018.

**SILVEIRA**, Cristiano Bertulucci. Indicadores de Performance da Manutenção Industrial. Disponível em:<<https://www.citisystems.com.br/indicadores-performance-manutencao-industrial/#backlog>>. Acesso em: 21/04/2018.

**SIQUEIRA**, Iony Patriota de. Manutenção Centrada na confiabilidade: Manual de Implementação. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.

**SIMONETTI**, Marcelo José; **DE SOUZA**, Anderson Luiz; **LEANDRO**, Claudio Roberto; **TRABACHINI**, Aldie; **ELL**, Sandra Mauren; *A Manutenção Centrada na Confiabilidade uma Prática Contemporânea*; 2010. Disponível em: <[http://www.revistasapere.inf.br/download/segunda/SIMONETTI\\_SOUZA\\_LEANDRO\\_TRABACHINI\\_ELL.pdf](http://www.revistasapere.inf.br/download/segunda/SIMONETTI_SOUZA_LEANDRO_TRABACHINI_ELL.pdf)>. Acesso em: 17/03/2018.

**TAKAYAMA**, Mariano Amorim Silva, Análise de Falha Aplicada ao Planejamento Estratégico da Manutenção. Disponível em <[http://www.ufjf.br/ep/files/2014/07/2008\\_3\\_Mariana-Amorim.pdf](http://www.ufjf.br/ep/files/2014/07/2008_3_Mariana-Amorim.pdf)>. Acesso em: 16/02/2018.

**TONDIN**, Renata; **DREGER**, Ademir Anildo, **BARBOSA**, Luis Antonio. Melhoria no desenvolvimento de produto: Uma aplicação da ferramenta FMEA. Disponível em <<http://www.revistaespacios.com/a17v38n06/17380618.html>>. Acesso em: 17/03/2018.

**TROMBETA**, Alessandro, 50 tons de manutenção classe mundial, 2017. Disponível em: <<http://manutencao.net/artigo/50-tons-para-a-manutencao-classe-mundial/#.WuWp1kxFzVI>>. Acesso em: 29/04/2018.

**VIANA**, Herbert Ricardo Garcia, PCM - Planejamento e Controle de Manutenção, Rio de Janeiro, editora Qualitymark, 2002.

**XENOS**, Harilaus Gerogius D'Philippus, Gerenciando a manutenção produtiva, Belo Horizonte, 1998.