

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA – UFU
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA – FEELT
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

RAFAEL GOMES SANDIM

A Engenharia de Manutenção e Confiabilidade – Um Estudo de Caso Real

UBERLÂNDIA
JUNHO 2021

RAFAEL GOMES SANDIM

A Engenharia de Manutenção e Confiabilidade – Um Estudo de Caso Real

Trabalho apresentado a Faculdade De Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Ivan Nunes Santos

UBERLÂNDIA

JUNHO 2021

RAFAEL GOMES SANDIM

A Engenharia de Manutenção e Confiabilidade – Um Estudo de Caso Real

Trabalho apresentado a Faculdade De Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Banca de avaliação:

Prof. Dr. Ivan Nunes Santos – UFU
Orientador

Prof. Dr. Carlos Eduardo Tavares
Avaliador

Prof. Dr. Paulo Henrique Oliveira Rezende
Avaliador

Uberlândia (MG), 10 de junho de 2021

RESUMO

O termo manutenção é uma palavra derivada do latim *manus tenere*, que significa manter o que se tem. A mesma está presente na história da humanidade há muito tempo, desde que o ser humano começou a utilizar instrumentos de produção. Com a ocorrência da Revolução Industrial, no final do século XVIII, a capacidade de produção de bens de consumo aumentou de forma exponencial. Neste contexto, o presente estudo visa apresentar os principais conceitos existentes na literatura e em artigos científicos já publicados, os quais dissertam sobre a evolução da manutenção e as boas práticas para a gestão estratégica dos ativos de uma companhia. A partir disso foi proposto um estudo de caso de uma manutenção em um módulo produtivo da planta industrial da *British American Tobacco* (BAT) Brasil. Neste estudo foram abordados todos os principais indicadores de manutenção descritos ao longo do desenvolvimento do trabalho, visando evidenciar e verificar a efetividade destes índices no que tange o direcionamento das grandes organizações, com foco na busca pela melhoria contínua dos processos, a maximização da produção e a redução do lucro cessante.

Palavras-chave: Manutenção. Revolução Industrial. Indicadores de manutenção. BAT Brasil.

ABSTRACT

The term maintenance is a word derived from the Latin manus tenere, which means to keep what you have. It has been present in the history of mankind for a long time, since the human being started using production instruments. With the Industrial Revolution, at the end of the 18th century, the production capacity of consumer goods increased exponentially. In this context, the present study aims to present the main concepts existing in the literature and in scientific articles already published, which talk about the evolution of maintenance and the good practices for the strategic management of the assets of a company. From that, a case study of a maintenance in a productive module of the BAT Brazil industrial plant was proposed. In this study, all the main maintenance indicators described throughout the development of the work were addressed, aiming at evidencing and verifying the effectiveness of these indexes with regard to the direction of large organizations, with a focus on the search for continuous improvement of processes, the maximization of production and the reduction of loss of profit.

Key words: *Maintenance. Industrial Revolution. Maintenance indicators. BAT Brazil.*

AGRADECIMENTOS

Nesta nota de agradecimento, gostaria de agradecer a todos os docentes do curso de Engenharia Elétrica, ofertado pela Faculdade de Engenharia Elétrica (FEELT), a qual faz parte da Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Os ensinamentos transmitidos ao longo do período da graduação foram fundamentais para a minha formação como engenheiro eletricitista e também como cidadão.

Aos meus pais, Antônio e Karlandrea, os quais sempre incentivaram os meus estudos. E também por todos os ensinamentos e direcionamentos que contribuíram de forma fundamental para a minha formação como cidadão.

A todos os meus familiares que estiveram sempre ao meu lado e auxiliaram nesta grande conquista.

A minha namorada, Amanda, por todo o suporte na construção deste trabalho e compreensão durante os períodos que tive que me ausentar para termina-lo.

Ao professor Ivan Nunes Santos, pela orientação, paciência e suporte durante todas as etapas do trabalho.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução da Manutenção	5
Figura 2 – Espectro de vibrações motor elétrico de 30 CV, utilizado em aplicação industrial na BAT Brasil, fábrica de Uberlândia – MG.....	8
Figura 3 - Diagrama de Fluxo de Dados do PCM.	11
Figura 4 - Resultados x Tipo de manutenção.	14
Figura 5 - Curva da Banheira.	19
Figura 6 - Disponibilidade Física do equipamento.....	23
Figura 7 – Evolução dos meios de produção.....	32
Figura 8 - a) Peça branca: bolsa da 3ª roda fabricada em impressora 3D b) Peça verde: bolsa da 3ª roda fabricada pelo OEM.....	33
Figura 9 – Planejamento de atividades de manutenção.	36
Figura 10 – Quadro de Manutenção preenchido ao término da manutenção preventiva do módulo SD53.....	37
Figura 11 – Resultados obtidos após a manutenção preventiva do módulo SD53.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Nível de qualificação dos recursos da manutenção.	12
Tabela 2 - Disponibilidade dos ativos por setor produtivo.	24
Tabela 3 – Custos de manutenção.....	25
Tabela 4 – Exemplo da aplicação da ferramenta de análise de falhas RCFA.	27
Tabela 5 – FMEA construído para analisar os modos de falha de um sistema de bombeamento.....	28
Tabela 6 – Perfil de trabalhadores na metodologia TPM.....	30

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REFERENCIAL TEÓRICO	2
2.1 A Evolução da Manutenção	3
2.1.1 A Primeira Geração	3
2.1.2 A Segunda Geração	3
2.1.3 A Terceira Geração	4
2.1.4 A Quarta Geração	4
2.2 Tipos de Manutenção	5
2.2.1 Manutenção Corretiva	6
2.2.2 Manutenção Preventiva	6
2.2.3 Manutenção Preditiva	6
2.3 Planejamento e Controle da Manutenção (PCM)	10
2.4 As Funções dentro da Manutenção	11
2.5 A Engenharia de Manutenção	13
3. MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE (MCC)	16
3.1 Principais Conceitos Associados à Confiabilidade	16
3.1.1 Função de Confiabilidade $R(t)$	17
3.1.2 Função de Risco $h(t)$	17
3.1.3 Tempo Médio Até Falha (MTTF)	19
4. INDICADORES DA MANUTENÇÃO	21
4.1 MTBF	22
4.2 MTTR	22
4.3 TMPF	22
4.4 Disponibilidade Física (DF)	23
4.5 Custo de Manutenção por Faturamento	25
4.6 Custo de Manutenção por Valor de Reposição	25
5. FERRAMENTAS PARA ANÁLISE DE FALHAS	27
6. A MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL E A MANUTENÇÃO AUTÔNOMA	30
7. A INDÚSTRIA 4.0	32
8. ESTUDO DE CASO: MANUTENÇÃO PREVENTIVA EM MÓDULO PRODUTIVO DA BAT BRASIL – FÁBRICA UBERLÂNDIA / MG	34
8.1 Descrição do Problema	34
8.2 Objetivos da Pesquisa	34

8.3	Contexto e Local de Aplicação da Pesquisa.....	34
8.4	Planejamento e Acompanhamento da Manutenção	35
8.5	Procedimento de coleta de dados e Análise dos Resultados	38
9.	PROPOSTA DE FICHA DE DISCIPLINA.....	39
10.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	40
	REFERÊNCIAS	41
	ANEXO A	42

1. INTRODUÇÃO

O termo manutenção é uma palavra derivada do latim *manus tenere*, que significa manter o que se tem. A mesma está presente na história da humanidade há muito tempo, desde que o ser humano começou a utilizar instrumentos de produção. Com a ocorrência da Revolução Industrial, no final do século XVIII, a capacidade de produção de bens de consumo aumentou de forma exponencial. Já no século XX, as revoluções tecnológicas tiveram função fundamental na modificação do modo de viver do ser humano. (VIANA, 2002).

Tendo em vista o contexto apresentado, a presença de equipamentos cada vez mais sofisticados e de alta produtividade aumenta de forma significativa às exigências no que se refere à disponibilidade dos ativos de uma indústria. Dessa forma, é preciso utilizar os recursos de produção de forma racional e produtiva. A partir disso, surge a necessidade de organizar, controlar e planejar os processos produtivos. (VIANA, 2002).

Atualmente, a confiabilidade do processo produtivo está totalmente relacionada à manutenção dos equipamentos ou ativos. Quando ocorrem falhas nos maquinários de uma indústria é evidente o aumento do lucro cessante, além disso, podem ser observados outros efeitos que também são críticos como: acidentes de trabalho, desvios de qualidade, redução da vida útil dos equipamentos e aumento dos custos para o restabelecimento emergencial da cadeia produtiva.

Dessa forma, visando mitigar que os efeitos relatados anteriormente ocorram é necessária a estruturação de um departamento de inteligência da manutenção nas indústrias, denominado Planejamento e Controle da Manutenção (PCM). Neste o engenheiro de manutenção é um dos principais funcionários deste setor, sendo o profissional responsável pela definição de todas as metodologias para o uso da infraestrutura da empresa, encarregado de gerenciar o departamento de manutenção da companhia na qual atua.

O profissional com graduação em engenharia é cada vez mais demandado pelo mercado de trabalho, em especial devido a sua capacidade analítica de resolver problemas complexos e propor soluções simples e que proporcionem retorno financeiro à companhia. Na última década, com a intensificação da globalização e industrialização cada vez mais presente no nosso dia a dia, este profissional tem sido contratado especialmente por indústrias, dos mais diversos setores, para gerenciar o departamento de manutenção de ativos.

O presente trabalho visa descrever os principais conceitos e estratégias de manutenção existentes nas grandes companhias, com foco nas inovações e metodologias de trabalho

discutidas através da inserção da indústria 4.0. Além disso, será apresentado um estudo de caso verídico acerca de uma manutenção na planta industrial da *British American Tobacco* (BAT) Brasil, a qual é uma multinacional pertencente a um grupo britânico denominado *British American Tobacco* (BAT). Este grupo possui instalações em mais de 200 países, tendo sua sede localizada na cidade de Londres na Inglaterra. A BAT Brasil é líder absoluta no mercado nacional de cigarros, com marcas comercializadas em mais de 180 países.

Posteriormente, ao final deste trabalho será apresentada uma proposta de ficha de disciplina, para ser avaliada pelos órgãos competentes da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), visando à inclusão de uma disciplina de engenharia de manutenção na base curricular do curso de graduação em engenharia elétrica, ofertado pela Faculdade de Engenharia Elétrica (FEELT).

Essa pesquisa pode ser classificada como descritiva quanto ao objetivo, que segundo Gil (2002) são as pesquisas que têm como principal objetivo descrever as características de uma população ou fenômeno e estabelecer as relações entre as variáveis. Algumas delas vão além de simplesmente identificar as relações, mas também têm o propósito de determinar a natureza dessa relação.

Quanto aos procedimentos técnicos a pesquisa será de caráter documental e bibliográfico. Documental porque serão usados documentos normativos para obter informações e bibliográfico, pois serão utilizadas também contribuições de artigos do passado e referenciais teóricos já publicados.

A pesquisa bibliográfica é elaborada a partir de materiais já realizados, especialmente livros e artigos científicos, e a pesquisa documental é bem próxima da bibliográfica, porém não se restringe a apenas contribuições de certo autores sobre o tema, mas também são válidos materiais que não receberam um tratamento minucioso e ainda podem ser reelaborados. (GIL,2002).

2. REFERENCIAL TEÓRICO

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT a manutenção é “A combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida”. (ABNT NBR 5462 / 1994).

Tendo em vista o conceito apresentado, com o intuito de obter uma maior produtividade, as grandes corporações buscaram analisar todas as variáveis que impactam no

valor final do produto. Dessa forma, implantaram processos produtivos capazes de reduzir o custo e o tempo de produção. Porém, ao avaliar esta abordagem, verificou-se que grande parte das intervenções do parque fabril eram originadas da baixa qualidade da estratégia de manutenção aplicada às máquinas. A partir disso, a manutenção tornou-se uma função estratégica, com foco no aumento da confiabilidade dos equipamentos e redução do lucro cessante ocasionado por falhas técnicas. (TAVARES, 2001;PINTO;XAVIER,2009 apud MARTINS, 2019).

2.1 A Evolução da Manutenção

Após ser apresentada a definição formal do termo manutenção, é importante discutir acerca da evolução da manutenção ao longo dos anos. Esta evolução, de acordo com Kardec e Nascif (2009), ocorre a partir de 1930 e pode ser dividida em quatro gerações. As mesmas serão descritas a seguir.

2.1.1 A Primeira Geração

Essa geração contempla o período antes da Segunda Guerra Mundial, caracterizada por indústrias com baixo nível de automação e por equipamento simples e superdimensionados. Além disso, a exigência e a demanda de produção eram bem menores em comparação à pressão exercida pela indústria moderna sobre esses indicadores.

Dessa forma, a manutenção era fundamentalmente corretiva não planejada, ou seja, os reparos eram realizados após a quebra do equipamento. A visão em relação às falhas dos equipamentos era que “todos os equipamentos se desgastavam com o passar dos anos, vindo a sofrer falhas ou quebras”. Neste contexto, o executante da manutenção, ou seja, o mantenedor possui essencialmente a competência de realizar reparos.

2.1.2 A Segunda Geração

Essa geração ocorreu entre a década de 50 e 70, logo após a Segunda Guerra Mundial. É um período caracterizado por alta demanda de produtos e mão de obra industrial, devido à recessão durante a guerra. Dessa forma, foi observado um aumento significativo na mecanização e na complexidade das instalações industriais.

Além disso, devido ao aumento da demanda de produção, a disponibilidade e confiabilidade dos ativos passaram a ser tema de preocupação e foco das principais organizações, visando atender a demanda. Neste contexto surgiu a manutenção preventiva, a qual será detalhada posteriormente. A manutenção era realizada seguindo intervalos fixos de tempo.

O grande desafio dessa geração é reduzir o aumento eminente dos custos de manutenção, os quais superavam os custos operacionais. Sendo assim, a partir desse momento começam a ocorrer discussões visando à criação de sistemas de planejamento e controle da manutenção, juntamente com estudos e análises voltadas para o aumento da vida útil dos itens físicos.

2.1.3 A Terceira Geração

A terceira geração ocorreu a partir do início da década de 70, sendo caracterizada pelo crescimento da automação e da mecanização dos ativos, tornando os conceitos de disponibilidade e confiabilidade de suma importância para as indústrias. Além disso, é um período conhecido pelo alto número de paralisações da produção devido ao sistema de produção denominado *just-in-time*, que significa “momento certo”, no qual os estoques são reduzidos, visando produzir justamente a demanda de produção esperada, evitando a geração de excedentes e, conseqüentemente, aumento dos custos de produção. Porém, ao adotar esse sistema de produção, qualquer pequena parada ou interrupção na produção, originada por uma quebra ou falha do equipamento, teria potencial de mobilizar toda a operação.

Dessa forma a terceira geração da manutenção, pode ser resumida da seguinte forma:

- O conceito e a utilização da manutenção preditiva (apresentada no tópico 3.2.3) foram cada vez mais reforçados;
- O desenvolvimento tecnológico no campo da informática permitiu a utilização de computadores pessoais velozes e o desenvolvimento de softwares potentes para o planejamento, controle e acompanhamento dos serviços de manutenção;
- A engenharia de manutenção (apresentada no tópico 3.5) e os seus conceitos começam a ser aplicados;
- O processo de manutenção centrada na confiabilidade (MCC) (apresentada no tópico 4), tem sua implantação iniciada na década de 90 no Brasil.
- Dificuldades de aumentar a confiabilidade de novos projetos, pois a interação entre às áreas de engenharia, manutenção e operação, impedia que os resultados esperados fossem alcançados. Sendo observadas altas taxas de falhas prematuras.

2.1.4 A Quarta Geração

A quarta geração da manutenção é caracterizada principalmente por manter os conceitos estabelecidos na terceira geração, com foco na garantia da disponibilidade, confiabilidade e manutenibilidade dos ativos.

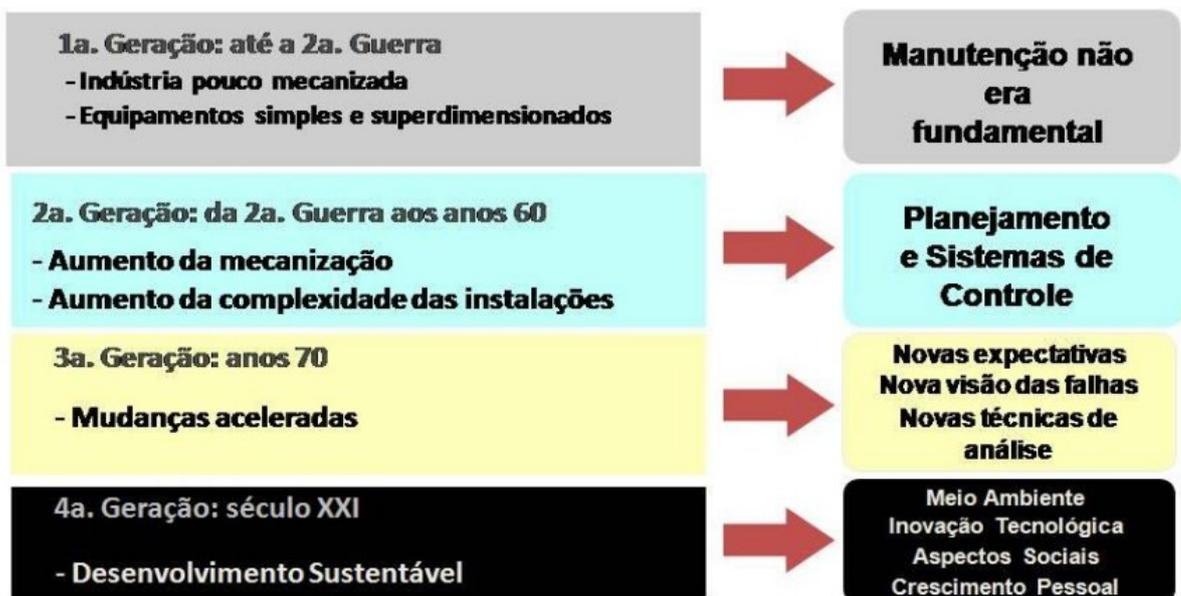
Visando possibilitar a entrega dos objetivos esperados, as práticas de manutenção preditiva são cada vez mais utilizadas, com o intuito de monitorar as condições do equipamento e, dessa forma, antecipar paradas não planejadas que geram lucro cessante para a companhia.

Além disso, em relação aos outros tipos de manutenções é possível observar o seguinte cenário: as manutenções preventivas são realizadas de forma reduzida, pois ela promove a paralisação dos equipamentos e sistemas interrompendo a produção. E a manutenção corretiva torna-se um indicador de ineficiência no processo de gestão da manutenção.

Outro fator pertinente desta geração é o fato da interação entre as áreas de manutenção, engenharia e operação ser cada vez mais intensa, possibilitando o alcance dos objetivos estratégicos da empresa, juntamente à manufatura de produtos com a qualidade desejada.

A **figura 1** expressa de forma simplificada o processo de evolução da manutenção ao longo dos anos e os principais conceitos acerca de cada geração, conforme detalhado previamente.

Figura 1 – Evolução da Manutenção



Fonte: Sales (2017)

2.2 Tipos de Manutenção

Neste tópico do presente trabalho, serão especificados os três principais tipos de manutenção, os quais são definidos através da norma técnica brasileira (NBR) 5462-1994. É de vital importância o gestor de manutenção possuir o domínio desses conceitos, visando

garantir que as estratégias adotadas sejam cada vez mais assertivas contribuindo para uma maior disponibilidade e confiabilidade dos ativos.

2.2.1 Manutenção Corretiva

O item 2.8.8 da página 7 da NBR 5462-1994 define manutenção corretiva como: “Manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida”.

De acordo com Viana (2002), a manutenção corretiva é uma intervenção necessária, realizada de forma imediata, visando evitar graves consequências aos instrumentos de produção, à segurança do trabalhador ou ao meio ambiente. A mesma não possui um planejamento prévio para ser executada e é popularmente conhecida como “apagar incêndios”.

2.2.2 Manutenção Preventiva

O item 2.8.7 da página 7 da NBR 5462-1994 define manutenção preventiva como: “Manutenção efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item”.

De acordo com Viana (2002), este tipo de manutenção oferece uma série de vantagens para o organismo fabril, com relação à manutenção corretiva descrita no tópico anterior, pois um dos fatos mais incômodos no cotidiano da produção industrial é uma pane inesperada, ou seja, uma parada repentina na produção, a qual ocasiona o aumento do lucro cessante, o aumento dos custos de manutenção e mal-estar na equipe de execução e de planejamento. As manutenções preventivas visam reduzir de forma significativa os efeitos relatados, proporcionando um maior controle sobre o funcionamento dos equipamentos e, além disso, os desvios no plano são tratados como um acontecimento isolado, de fácil administração.

2.2.3 Manutenção Preditiva

O item 2.8.9 da página 7 da NBR 5462-1994 define manutenção preditiva como: “Manutenção que permite garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou de amostragem, para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva”.

De acordo com Viana (2002), a manutenção preditiva é constituída de tarefas de manutenção preventiva que visam acompanhar a máquina ou as peças, por monitoramento, por medições ou por controle estatístico visando prever uma falha no equipamento. Este tipo

de manutenção tem como objetivo aumentar a assertividade do planejamento da intervenção mantenedora, estressando o componente até o final de sua vida útil. Existem quatro técnicas preditivas, bastante presente nas grandes indústrias do mundo. São elas:

- Ensaio por ultra-som;
- Análise de vibrações mecânicas;
- Análise de óleo e lubrificantes;
- Termografia.

Em concordância com o presente autor, serão definidas cada uma das técnicas descritas, sendo a definição complementada por imagens de exemplos práticos observados na indústria dos mais diversos segmentos.

O ensaio por ultra-som é caracterizado por ser um método não destrutivo que visa detectar defeitos ou discontinuidades internas, as quais estão presentes nos mais variados tipos ou formas de materiais ferrosos ou não-ferrosos. Alguns defeitos comuns detectados por essa técnica são: bolhas de gás em fundidos, dupla laminação em laminados, micro trincas em forjados, escórias em uniões soldadas, entre outros. (VIANA, 2002).

Na indústria contemporânea, esta técnica é uma ferramenta indispensável para a garantia da qualidade e funcionalidade das peças de grande espessura. A principal vantagem deste método é o fato do mesmo possuir alta sensibilidade na detecção de pequenas discontinuidades internas, sem a necessidade de processos intermediários, tornando a atividade de inspeção mais rápida. Porém, a principal desvantagem deste método é o fato da necessidade de um grande conhecimento teórico e experiência por parte do inspetor. (VIANA, 2002).

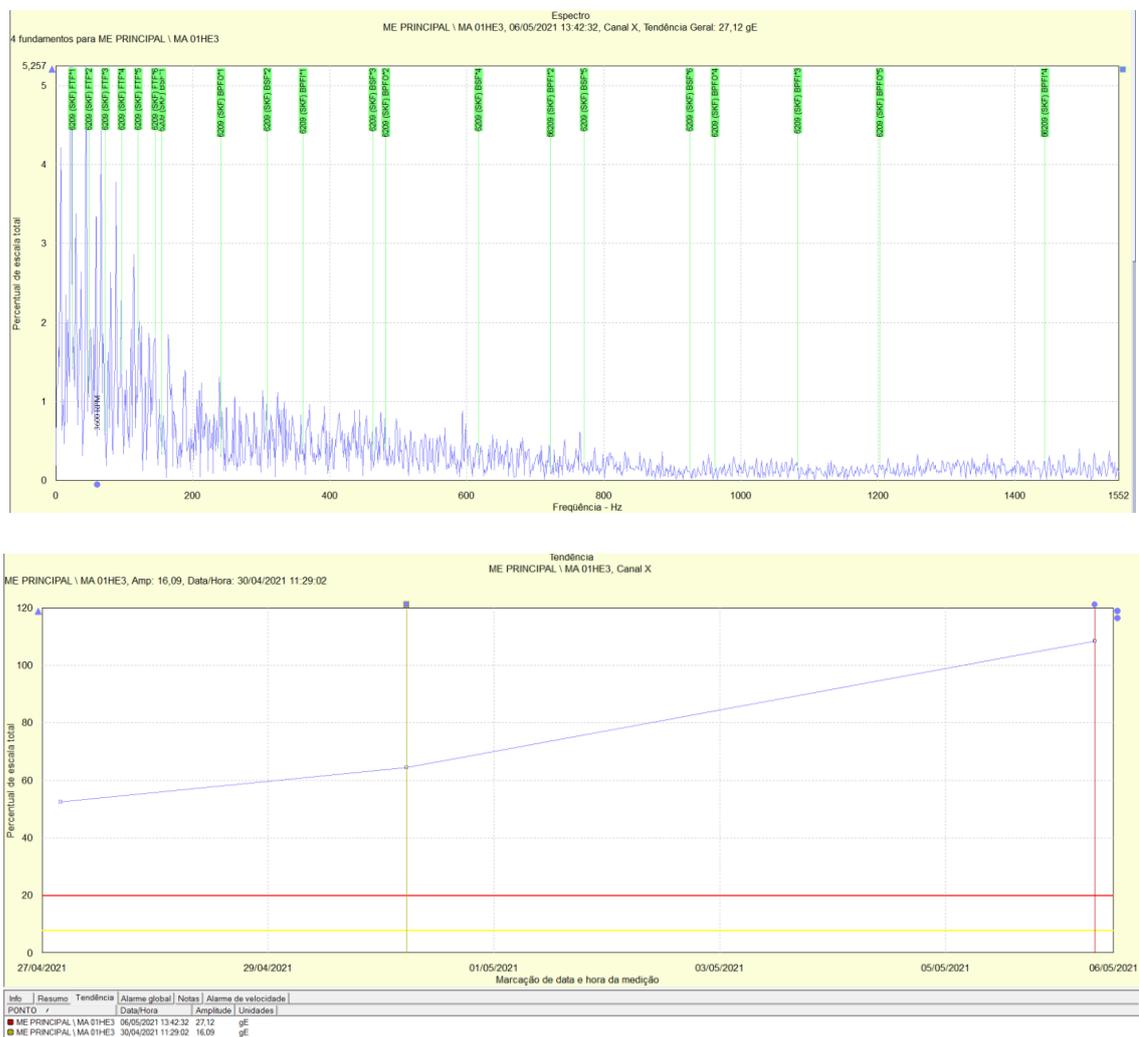
Em relação à técnica preditiva de análise de vibração, podemos definir a vibração mecânica como uma oscilação em torno de uma posição de referência. Esta vibração é geralmente associada a um processo destrutivo, pois ocasiona falhas nos componentes do equipamento devido à diminuição gradual da resistência do material gerado pelo efeito de esforços mecânicos repetitivos. A vibração se propaga por todas as partes da máquina, inclusive para as estruturas que estão interligadas a ela. (VIANA, 2002).

A análise de vibração é realizada colocando-se acelerômetros em pontos predeterminados do equipamento, os mesmos irão captar as vibrações geradas pelo maquinário. A partir dos dados coletados, é possível realizar a análise proposta e verificar a

evolução das vibrações no tempo, possibilitando obter informações vitais acerca do estado funcional de um determinado componente. (VIANA, 2002).

Visando clarificar as definições que foram realizadas acerca da técnica preditiva de análise de vibrações, foi realizada uma coleta de um motor elétrico de 30 CV, o qual opera em um regime de trabalho contínuo durante 24 horas por dia, os resultados obtidos estão expressos na **figura 2**.

Figura 2 – Espectro de vibrações motor elétrico de 30 CV, utilizado em aplicação industrial na BAT Brasil, fábrica de Uberlândia – MG.



Fonte: Equipe Preditiva – BAT Brasil / Fábrica Uberlândia

Após a análise dos gráficos expressos na **figura 2**, foi possível identificar pontos de sobreaquecimento do motor e níveis elevados de envelope de aceleração, podendo estar relacionado com algum tipo de esforço excessivo do motor. O primeiro gráfico ilustra o espectro de vibrações mecânicas do rolamento do eixo do motor, o qual tem a sua frequência de vibração monitorada com intuito de verificar possíveis falhas na em sua operação. Já o

segundo gráfico demonstra a evolução dos níveis de aceleração do componente monitorado ao longo das datas de medição, com isso é possível verificar o comportamento do mesmo, atentando-se para possíveis sinais de alerta. (Equipe Preditiva Souza Cruz, 2021).

A recomendação da equipe preditiva é realizar, através de uma ordem de manutenção (OM), a medição da corrente do motor acoplado e realizar a medição de vibração com o motor desacoplado, visando avaliar novamente os níveis e gerar um novo diagnóstico do componente. (Equipe Preditiva Souza Cruz, 2021).

Em relação à técnica preditiva de termografia, a mesma é definida como sendo um ensaio não destrutivo, o qual permite realizar o sensoriamento remoto de pontos ou superfícies aquecidas por meio de radiação infravermelha. Esta técnica é contemplada na maior parte dos programas de manutenção preditiva, pois apresenta uma série de vantagens, como: realização de medições sem contato físico com a instalação, verificação com o equipamento em pleno funcionamento, proporciona a inspeção de grandes superfícies em um curto espaço de tempo. (VIANA, 2002).

Um exemplo prático de aplicação da termografia nas indústrias é na instalação elétrica da mesma, visando identificar componentes defeituosos sem a necessidade do contato físico. Além disso, o campo de aplicação é vasto para as indústrias siderúrgicas e petroquímicas, por possuírem processos que demandam grande quantidade de calor. (VIANA, 2002).

Em relação à técnica preditiva de análise de óleo, a mesma tem duas grandes finalidades: determinar o momento exato da troca do lubrificante e identificar sintomas de desgaste de um componente. Estes dados são obtidos através do monitoramento quantitativo das partículas sólidas presentes no fluido, juntamente com a análise físico-química das suas propriedades, as quais estão listadas abaixo:

- Nível de contaminação de água;
- Quantidade de resíduos de carbono;
- Viscosidade do óleo;
- Acidez;
- Ponto de congelamento;
- Ponto de fulgor.

Esta técnica preditiva demanda um grande aparato laboratorial, sendo necessária a presença de instrumentos como: viscosímetros, centrífugas, microscópios, entre outros. (VIANA, 2002).

2.3 Planejamento e Controle da Manutenção (PCM)

O Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) consiste basicamente de um departamento da empresa responsável por realizar toda a gestão estratégica do setor de manutenção. Este setor surgiu logo após a Segunda Guerra Mundial, por volta de 1950, devido à alta demanda de produção, a baixa disponibilidade de recursos e o alto número de falhas nos equipamentos devido à ausência de uma estratégia preventiva de manutenção. (MODULAR CURSOS, 2020).

Neste contexto, o grande foco do PCM é garantir a confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade dos ativos. Sendo as suas principais responsabilidades:

- Definir metas e gerar indicadores de desempenho de manutenção;
- Criar planos de ação voltados para as metas estabelecidas;
- Elaborar planos de manutenção e procedimentos para manutenções preventivas, corretivas, inspeções e preditivas;
- Elaborar políticas de manutenção;
- Fazer a integração entre produção, produto, qualidade, projetos e TI;

De acordo com Kardec e Nascif (2009), visando harmonizar todos os processos que interagem na manutenção é importante existir um Sistema de Controle da Manutenção.

O fluxo dos dados tratados diariamente pelo departamento de PCM, com o intuito de executar todos os apontamentos descritos anteriormente, está expresso na **figura 3**.

Tabela 1 – Nível de qualificação dos recursos da manutenção.

Setores	Nível Superior (%)	Nível Médio (%)	Pessoal Qualificado (%)	Pessoal Não Qualificado (%)	Supervisores / Supervisionados (%)	Turnover (%)
Açúcar e Alcool, Alimentos e Bebidas	23%	54%	18%	5%	12%	8%
Aeronáutico e Automotivo	16%	61%	18%	4%	8%	2%
Eletrônicos - Energia Elétrica	29%	48%	22%	1%	17%	3%
Químico e Saneamento	47%	53%	0%	0%	8%	3%
Mineração e Siderúrgico	7%	87%	6%	0%	15%	3%
Petróleo e Petroquímico	26%	69%	3%	3%	16%	4%
Papel e Celulose e Plástico	22%	60%	11%	7%	13%	8%
Predial e Prestação de Serviços (EQ e MO)	27%	45%	22%	6%	15%	3%
Máquinas e Equipamentos - Metalúrgico	24%	50%	19%	7%	8%	3%
Média Geral	25%	59%	13%	4%	12%	4%

Fonte: Documento Nacional da ABRAMAN, 2017.

A partir da análise da **tabela 1** é possível verificar que em média 59% dos recursos da manutenção possuem formação de nível médio e apenas 25% possui formação de nível superior, evidenciando a necessidade do país em investir na educação dos cidadãos visando à formação de profissionais mais qualificados que possam contribuir com a melhoria dos processos produtivos e maximizar os resultados.

De acordo com Viana (2002), o ambiente da manutenção é composto por três funções em evidência: o executante, o planejador e o supervisor da manutenção.

A função de executante de manutenção em equipamentos sempre foi atribuída a técnicos mecânicos e eletrônicos, porém atualmente o primeiro profissional envolvido na manutenção é o próprio operador da máquina, conforme conceitos propostos pela manutenção autônoma, a qual será definida posteriormente. O operador é responsável pela execução de tarefas como: instruções de lubrificação e limpeza, tarefas elementares de manutenção e reaperto. Além disso, são responsáveis por realizar inspeções rotineiras e criar OM para a correção de eventuais falhas encontradas.

Além disso, o perfil do mantenedor, nome atribuído ao recurso que executa a manutenção, mudou de forma significativa nos últimos anos. O conhecimento técnico profundo da sua área de atuação já não é mais suficiente, o mesmo deve possuir também habilidades em outras áreas do conhecimento das ciências aplicadas à indústria e habilidades interpessoais, visando atender às exigências do mercado. Este fenômeno de mudança do perfil do mantenedor ocorre devido ao processo de globalização, no qual a produtividade total e o custo zero são palavras-chave com intuito de manter a organização competitiva em relação às demais concorrentes, dessa vez em escala mundial.

O planejador de manutenção possui uma função fundamental dentro da organização, pois esta função é originada da fusão de três funções igualmente importantes: o planejador, o programador e o coordenador de materiais. Além disso, é interessante que este profissional tenha experiência na área de execução, pois esta vivência irá contribuir agregando um grande *know-how* de conhecimento dos processos e equipamentos envolvidos no mesmo.

As atribuições básicas do planejador são: gerenciamento dos planos de manutenção, coordenação e tratamento das inspeções, coordenação de materiais, gerenciamento dos cadastros da manutenção, programação de serviços, programação de paradas e controles dos índices da manutenção.

O supervisor de manutenção é o profissional responsável pela coordenação e orientação da equipe de mantenedores, em especial do time técnico. O mesmo desempenha funções táticas, como o direcionamento de questões técnicas e questões burocráticas como a gestão de horas extras de seus subordinados.

Este profissional deve ser o ponto de equilíbrio da sua equipe, organizando os objetivos individuais de cada funcionário, promovendo a capacitação do time e auxiliando na resolução de conflitos internos.

Em relação às características comportamentais, o supervisor de manutenção deve possuir um excelente controle emocional para assumir esta função em um ambiente produtivo. Algumas outras habilidades valorizadas na composição do perfil deste profissional são: pensamento sistemático, capacidade de realização, visão estratégica, criatividade, capacidade de motivar a equipe, conhecimentos de ferramentas de gerenciamento, entre outras competências.

2.5 A Engenharia de Manutenção

Neste tópico, serão abordados os principais conceitos acerca da engenharia da manutenção, visando possibilitar uma discussão sobre este tema tão relevante para o desenvolvimento das práticas de manutenção.

De acordo com Kardec e Nascif (2009), a engenharia de manutenção pode ser compreendida como o suporte técnico da manutenção, estando dedicada a: consolidar a rotina e implantar a melhoria.

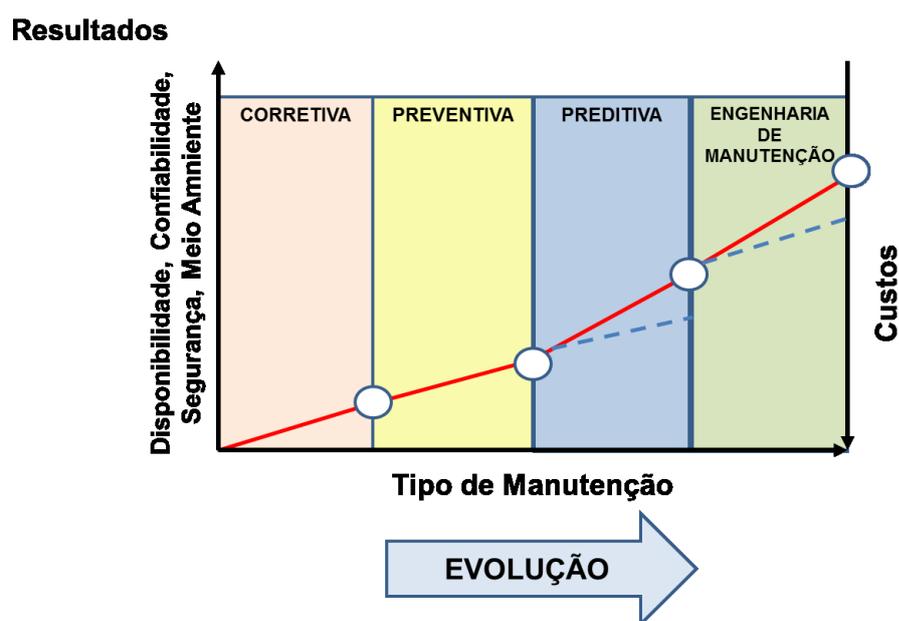
As principais atribuições da engenharia de manutenção são:

- Aumentar a confiabilidade;

- Aumentar a disponibilidade;
- Melhorar a manutenibilidade;
- Aumentar a segurança;
- Eliminar problemas crônicos;
- Solucionar problemas tecnológicos;
- Melhorar a capacitação do pessoal;
- Gerir materiais e sobressalentes;
- Participar de novos projetos (interface com a engenharia);
- Dar suporte à execução;
- Fazer análise de falhas e estudos;
- Elaborar planos de manutenção e inspeção e fazer sua análise crítica;
- Acompanhar os indicadores;
- Zelar pela documentação técnica.

É interessante ressaltar que no momento em que a estrutura de manutenção estiver utilizando todos os dados que o sistema preditivo implantado colhe e armazena, tem-se a prática da engenharia de manutenção. Este conceito visa utilizar os dados obtidos pela manutenção para promover a melhoria contínua dos processos. É possível visualizar a metodologia descrita no gráfico expresso pela **figura 4**.

Figura 4 - Resultados x Tipo de manutenção.



Fonte: Manutenção Função Estratégica. (Kardec e Nascif, 2009).

O gráfico representado pela **figura 4** ilustra de forma clara a evolução da manutenção desde a estratégia corretiva até o estabelecimento da engenharia de manutenção, evidenciando o aumento gradativo dos indicadores de disponibilidade, confiabilidade, segurança e meio ambiente, juntamente com a redução dos custos de manutenção.

Viana (2002) define a engenharia de manutenção como a área responsável por promover o progresso tecnológico da manutenção, através da aplicação de conhecimentos científicos e empíricos para a solução dos mais diversos tipos de problemas encontrados nos processos e nos equipamentos. Os principais objetivos, em concordância com Kardec e Nascif (2009), são: melhorar a manutenibilidade do equipamento, aumentar a produtividade e eliminar riscos relacionados à segurança do trabalho e ao meio ambiente.

Além disso, em sua dissertação Viana (2002), reforça: “As atribuições da Engenharia começam pela incansável busca de melhorias; a área deverá ser capaz de ver o invisível e buscar de maneira prática a implantação de projetos que atinjam os objetivos traçados a partir desta visão. Os estudos, análises de falhas e ensaios serão o sangue por onde circularão as ponderações e soluções”.

3. MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE (MCC)

Neste tópico do trabalho, serão apresentados os principais conceitos da manutenção centrada em confiabilidade, abordando a forma de cálculo dos principais indicadores e análise dos mesmos para direcionar as ações das grandes organizações produtivas.

O advento da economia globalizada ocasionou um aumento significativo na demanda por produtos e sistemas eficientes e com custo competitivo. Dessa forma, surgiu a necessidade de reduzir a probabilidade de falha. Neste contexto, podemos verificar que a confiabilidade está associada à operação bem-sucedida de um produto ou sistema, na ausência de quebras e falhas. (RIBEIRO E FOGLIATTO, 2011).

Uma definição de confiabilidade é proposta por Leemis (1995), da seguinte forma “A confiabilidade de um item corresponde à sua probabilidade de desempenhar adequadamente o seu propósito especificado, por um determinado período de tempo e sob condições ambientais predeterminadas”.

Outra definição existente para confiabilidade, a qual é muito próxima da definição de Leemis, pode ser extraída da norma NBR 5462-1994, a qual caracteriza confiabilidade como: “A capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um intervalo de tempo. O termo confiabilidade $R(t)$ é usado como uma medida de desempenho de confiabilidade”.

3.1 Principais Conceitos Associados à Confiabilidade

A implantação de um programa de gestão da confiabilidade assertivo demanda uma equipe dedicada para esse propósito, sendo que cada membro da equipe deverá ter um grau de conhecimento adequado, apresentando familiaridade com técnicas de desenvolvimento de produtos, gestão de pessoas e análises de custos. Além disso, é necessária a criação de um sistema de coleta e análise de dados eficiente, visando à construção de uma base histórica de dados de confiabilidade na empresa. (RIBEIRO E FOGLIATTO, 2011).

Tendo em vista os conceitos de confiabilidade apresentados até o momento, é necessário desenvolver medidas de confiabilidade para uma unidade não reparável. Ribeiro e Fogliatto (2011) definem as três medidas de confiabilidade mais comumente utilizadas para unidades não reparáveis, são elas:

- i. Função de Confiabilidade $R(t)$;
- ii. Função de Risco $h(t)$;

- iii. Tempo médio até falha (MTTF).

3.1.1 Função de Confiabilidade $R(t)$

Visando definir a função de confiabilidade, vamos supor que n_0 representa unidades idênticas, as quais foram submetidas a teste em condições predefinidas. Após o intervalo de tempo $(t-\Delta t, t)$, $n_f(t)$ unidades que apresentaram falha, ou seja, ficaram incapazes de realizar sua função requerida, e $n_s(t)$ unidades que sobreviveram, de forma que: $n_0 = n_s(t) + n_f(t)$.

A partir destas suposições realizadas, a confiabilidade da unidade é definida como a sua probabilidade acumulada de sucesso. Assim, em um tempo definido t , a função confiabilidade $R(t)$ é dada por:

$$R(t) = \frac{n_s(t)}{n_s(t) + n_f(t)} = \frac{n_s(t)}{n_0}$$

A função de confiabilidade em um tempo t , considerando uma variável aleatória T , pode ser expressa como:

$$R(t) = P(T > t)$$

Dessa forma, a função de distribuição de T , $F(t)$, é o complemento de $R(t)$, ou seja:

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - \int_0^t f(u)du = \int_t^{+\infty} f(u)du$$

O desenvolvimento matemático realizado determina a função de confiabilidade $R(t)$, a qual informa a probabilidade da unidade apresentar sucesso na operação, ou seja, não ocorrerem falhas no intervalo de tempo definido. Esta função também é conhecida como função de sobrevivência.

3.1.2 Função de Risco $h(t)$

Neste tópico será definida a função de risco $h(t)$, esta função é a medida de confiabilidade mais utilizada na prática. O resultado obtido pode ser interpretado como a quantidade de risco associada a uma unidade no tempo t . Esta função é extremamente útil na análise de risco a qual uma unidade está exposta e é conhecida como taxa de falha ou taxa de risco.

Utilizamos a probabilidade condicional para definir a função de risco. Dessa forma, considerando, inicialmente, a probabilidade de falha entre t e $t + \Delta t$, dada por:

$$P(t \leq T \leq t + \Delta t) = \int_t^{t+\Delta t} f(u)du = R(t) - R(t + \Delta t)$$

Considerando que a unidade está operando no tempo t , é possível determinar a seguinte expressão:

$$P(t \leq T \leq t + \Delta t | T \geq t) = \frac{P(t \leq T \leq t + \Delta t)}{P(T \geq t)} = \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{R(t)}$$

A taxa de falha média no intervalo $(t, t + \Delta t)$ pode ser obtida dividindo a equação obtida acima por Δt . Considerando $\Delta t \rightarrow 0$, obtém-se a taxa de falha instantânea, a qual é a própria função de risco, dada por:

$$h(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{R(t)\Delta t} = \frac{-R'(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{R(t)}, t \geq 0$$

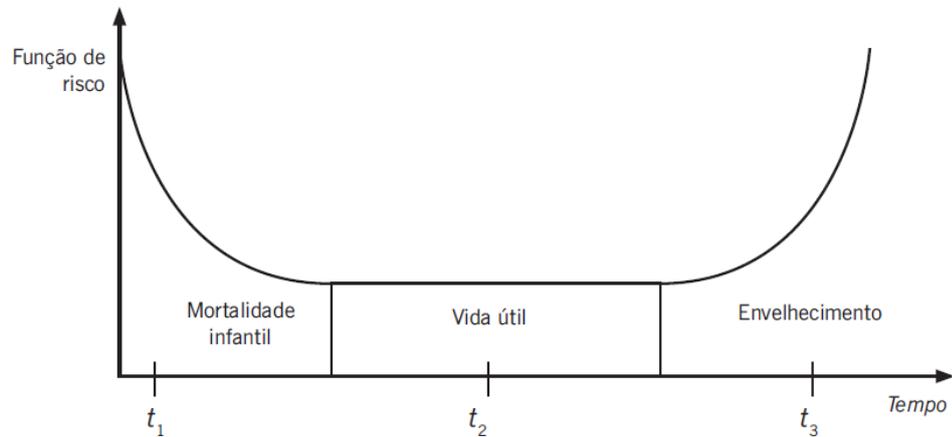
As funções de risco devem atender as seguintes condições:

- a) $\int_0^{+\infty} h(t)dt = +\infty$;
- b) $h(t) \geq 0$, para todo $t \geq 0$.

Geralmente, a unidade de medida em uma função de risco é dada em termos de falhas por unidade de tempo. Esta função representa a quantidade de risco que uma unidade está exposta em um tempo t , ou seja, um valor pequeno para a função de risco determina uma unidade exposta a uma menor quantidade de risco.

A função de risco é classificada de acordo com o seu comportamento ao longo do tempo, sendo a função de risco crescente (FRC), caracterizada pelo aumento da incidência do risco com o tempo, a função de risco decrescente (FRD), caracterizada pela redução da incidência do risco com o tempo e a função de risco estacionária (FRE), caracterizada por um nível de risco constante da unidade ao longo do tempo.

Visando exemplificar o conceito apresentado acerca da função de risco $h(t)$, a **figura 5**, popularmente conhecida como curva da banheira consiste basicamente do valor da função de risco ao longo do tempo.

Figura 5 - Curva da Banheira.

Fonte: Confiabilidade e Manutenção Industrial. (Ribeiro e Fogliatto, 2011).

A partir da análise da **figura 5** é possível verificar que a função de risco assume valores elevados no início da vida do produto, justificado pelas deficiências nos processos de manufatura do mesmo, as quais originam falhas precoces, na fase denominada mortalidade infantil. Na segunda fase, denominada vida útil, as falhas que incidem sobre o produto são ocasionadas por condições extremas do ambiente de operação e podem ocorrer, de forma uniforme, em qualquer momento do tempo. O valor assumido pela função de risco nesta etapa é praticamente constante. Por fim, na última fase, denominada envelhecimento, as falhas ocorrem pelo desgaste do produto, as quais começam a se intensificar no fim de sua vida útil. O valor assumido pela função de risco nesta etapa aumenta de forma exponencial.

3.1.3 Tempo Médio Até Falha (MTTF)

O tempo médio até falha de uma unidade, cuja sigla em inglês é dada por MTTF (*Mean Time To Failure*), pode ser definido da seguinte forma:

$$MTTF = E(T) = \int_0^{+\infty} tf(t)dt$$

Essa expressão trata-se do valor esperado da variável T , como apresentado anteriormente, $f(t) = -R'(t)$, dessa forma é possível obter uma expressão alternativa para o MTTF, dada por:

$$MTTF = - \int_0^{\infty} tR'(t)dt$$

Integrando essa expressão por partes, temos:

$$MTTF = [tR(t)]_0^{\infty} + \int_0^{\infty} R(t)dt$$

Considerando que o $MTTF < \infty$ é possível demonstrar que $[tR(t)]_0^{\infty} = 0$, sendo a expressão alternativa dada por:

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t)dt$$

Dessa forma, pode-se concluir que o MTTF consiste basicamente na integração da função confiabilidade no tempo. Outra abordagem acerca deste indicador será apresentada posteriormente.

4. INDICADORES DA MANUTENÇÃO

Neste tópico serão apresentados os principais indicadores da manutenção, o método de cálculo e interpretação dos mesmos, visando contribuir para o desenvolvimento da engenharia de manutenção nas empresas.

Os indicadores da manutenção devem retratar a realidade da planta, sendo de responsabilidade da equipe do PCM a definição da melhor forma para monitorar o processo. Nessa etapa é fundamental definir índices que realmente agreguem valor para o negócio, visando evitar desperdício de recursos para analisar dados que não irão possibilitar a tomada de decisões assertivas. (VIANA, 2002).

Neste contexto, de acordo com Viana (2002), existem seis indicadores denominados “Índices de Classe Mundial”, os quais são diariamente calculados e analisados por empresas do mundo inteiro. São eles:

- i. MTBF;
- ii. MTTR;
- iii. TMPF;
- iv. Disponibilidade Física da Maquinaria;
- v. Custo de Manutenção por Faturamento;
- vi. Custo de Manutenção por Valor de Reposição.

É importante ressaltar que existem outros indicadores de manutenção, os quais são calculados e analisados pela equipe de PCM de cada organização. Os mesmos não serão detalhados neste trabalho, porém é interessante o leitor realizar a verificação dos mesmos para melhor compreensão, são eles:

- vii. Backlog;
- viii. Retrabalho;
- ix. Índice de Corretiva;
- x. Índice de Preventiva;
- xi. Alocação de HH em OM;
- xii. Taxa de Frequência de Acidentes;
- xiii. Taxa de Gravidade de Acidentes.

4.1 MTBF

MTBF - *Mean Time Between Failures* - é um indicador de manutenção e uma sigla em inglês, sendo conhecido no Brasil como TMEF – Tempo Médio Entre Falhas. Este índice é calculado através da divisão da soma das horas disponíveis do equipamento para a produção (HD), pelo número de intervenções corretivas realizadas no período de análise (NC).

Dessa forma, temos:

$$MTBF = \frac{HD}{NC}$$

Este indicador visa observar o comportamento do equipamento em relação às ações mantenedoras. Se o valor do mesmo aumentar ao longo do tempo, será um excelente indício de estabilidade do ativo, representando uma redução no número de intervenções corretivas e uma maior disponibilidade da máquina para a produção.

4.2 MTTR

MTTR - *Mean Time To Repair* - é um indicador de manutenção e uma sigla em inglês, sendo conhecido no Brasil como TMR – Tempo Médio De Reparo. Este índice é calculado através da divisão entre a soma das horas de indisponibilidade para a operação devido à manutenção (HIM) pelo número de intervenções corretivas realizadas no período de análise (NC).

Dessa forma, temos:

$$MTTR = \frac{HIM}{NC}$$

Este indicador visa observar o impacto da ação mantenedora na produção, de forma que quanto menor o MTTR, menor será o impacto calculado.

4.3 TMPF

TMPF – Tempo Médio Para Falha - é um indicador de manutenção que está relacionado a componentes que não são passíveis de recuperação, ou seja, eles são substituídos por novos componentes após falharem, possuindo um MTTR igual a zero. A definição formal deste indicador foi realizada no **tópico 4.1.3**. Este índice é calculado através da divisão entre a soma das horas de disponibilidade do equipamento para produção (HD) dividido pelo número de falhas detectadas em componentes não reparáveis.

Dessa forma, temos:

$$TMPF = \frac{HD}{N^{\circ} \text{ de Falhas}}$$

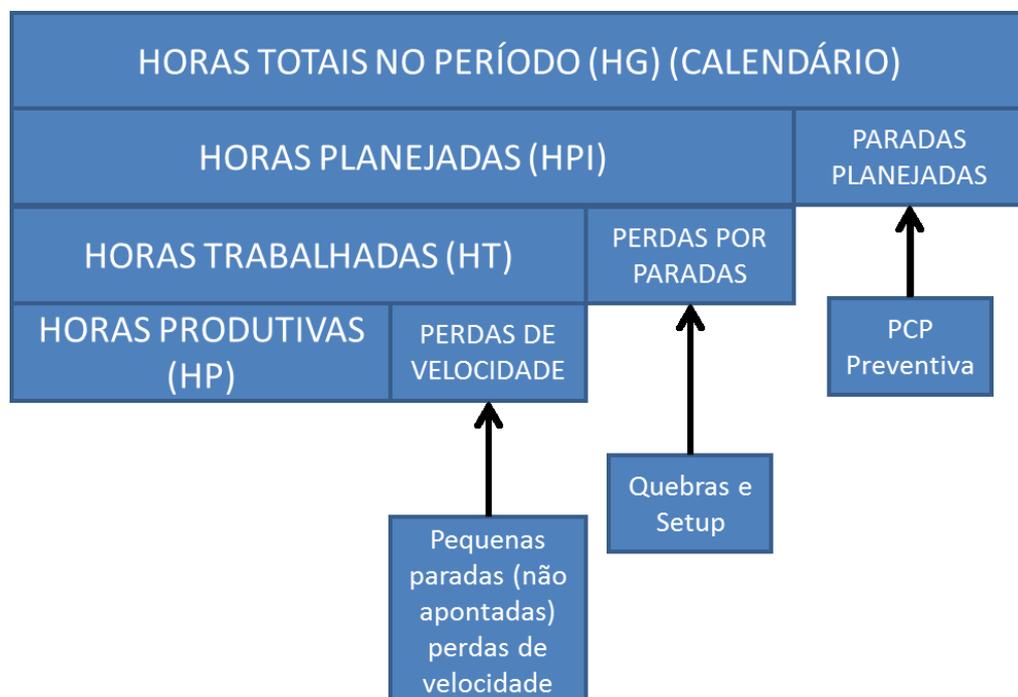
É importante ressaltar que o MTBF e o TMPF são indicadores distintos por tratarem falhas em componentes passíveis de recuperação e não reparáveis, respectivamente.

4.4 Disponibilidade Física (DF)

O item 2.2.5 da página 2 da NBR 5462-1994 define disponibilidade como: “Capacidade de um item estar em condições de executar certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado, levando-se em conta os aspectos combinados de sua confiabilidade, manutenibilidade e suporte de manutenção, supondo que os recursos externos requeridos estejam assegurados”.

Tendo em vista o conceito apresentado, a forma utilizada para realizar o cálculo da disponibilidade de um equipamento pode variar de um setor produtivo para o outro, porém de maneira geral a disponibilidade física (DF), expressa o percentual de horas disponíveis para a operação de um equipamento em relação às horas totais do período. A **figura 6** visa facilitar a compreensão deste conceito.

Figura 6 - Disponibilidade Física do equipamento.



Fonte: Viana (2002).

A partir da análise da **figura 6** é possível evidenciar que a disponibilidade física é a relação entre as horas trabalhadas (HT) e as horas totais do período (HG), dessa forma, temos:

$$DF = \frac{HT}{HG} \cdot 100\%$$

Outra definição existente também para este indicador é obtida através da relação entre o total de horas acumulado de operação e o total de horas transcorridos, dessa forma temos:

$$DF = \frac{HO}{HO + HM} \cdot 100\%$$

Sendo:

HO – Tempo total de operação do equipamento;

HM – Tempo total de intervenções, sejam elas preventivas ou corretivas.

Este índice é considerado um dos principais para a manutenção, pois ele evidencia o tempo que cada equipamento esteve disponível para a produção. Quanto maior este valor, menor será o lucro cessante, sendo possível identificar os denominados “equipamentos-problema”, os quais reduzem o DF da planta e necessitam de uma maior atenção por parte do time do PCM no que tange à análise e a aplicação de ferramentas de solução de problemas.

A **tabela 2**, extraída do Documento Nacional da ABRAMAN de 2017, permite visualizar a disponibilidade dos ativos de diversos setores produtivos do Brasil.

Tabela 2 - Disponibilidade dos ativos por setor produtivo.

Setores	Disponibilidade dos Equipamentos (%)	Indisponibilidade Devido a Manutenção (%)	Valor do Estoque / Custo de Manutenção (%)
Açúcar e Álcool, Alimentos e Bebidas	81%	26%	41%
Aeronáutico e Automotivo	82%	6%	39%
Eletroeletrônicos - Energia Elétrica	95%	4%	39%
Químico e Saneamento	88%	13%	13%
Mineração e Siderúrgico	88%	8%	27%
Petróleo e Petroquímico	88%	2%	32%
Papel e Celulose e Plástico	92%	3%	26%
Predial e Prestação de Serviços (EQ e MO)	83%	7%	24%
Máquinas e Equipamentos - Metalúrgico	90%	4%	33%
Média Geral	87%	8%	30%

Fonte: Documento Nacional da ABRAMAN, 2017.

A partir da análise da **tabela 2**, é possível verificar que o setor de eletroeletrônicos possui a maior disponibilidade dos equipamentos (95%), possuindo 14 pontos percentuais a mais que os setores produtivos de açúcar e álcool, alimentos e bebidas, os quais estão situados no final da tabela com 81% de disponibilidade.

4.5 Custo de Manutenção por Faturamento

Este indicador, até o ano de 1993, era composto pelos gastos com pessoal, material, e contratação de serviços externos. Ao ser criado o conceito de manutenção classe mundial, foram incluídas nesta conta a depreciação e a perda de faturamento.

A **tabela 3**, extraída do Documento Nacional da ABRAMAN de 2017, permite visualizar como o custo da manutenção é distribuído percentualmente entre as classes de gastos apresentadas.

Tabela 3 – Custos de manutenção.

Setores	Custo Manutenção / Faturamento (%)	Custo Manutenção / Valor Imobilizado (%)	Custo Relativo Pessoal Próprio (%)	Custo Relativo Material (%)	Custo Relativo a Contratação (%)	Outros Custos Relativos (%)
Açúcar e Alcool, Alimentos e Bebidas	4%	6%	40%	40%	20%	0%
Aeronáutico e Automotivo	3%	13%	54%	32%	15%	0%
Eletrônicos - Energia Elétrica	7%	6%	44%	29%	27%	4%
Químico e Saneamento	5%	5%	46%	38%	16%	0%
Mineração e Siderúrgico	5%	10%	50%	37%	14%	0%
Petróleo e Petroquímico	4%	15%	41%	31%	28%	0%
Papel e Celulose e Plástico	3%	8%	39%	49%	12%	6%
Predial e Prestação de Serviços (EQ e MO)	4%	4%	49%	23%	28%	2%
Máquinas e Equipamentos - Metalúrgico	3%	1%	51%	37%	12%	3%
Média Geral	4%	8%	46%	35%	19%	2%

Fonte: Documento Nacional da ABRAMAN, 2017.

A partir da análise da **tabela 3**, é possível verificar que o setor de eletrônicos apesar de possuir a maior disponibilidade dos equipamentos, conforme verificado na **tabela 2**, possui o maior custo de manutenção por faturamento, possuindo quatro pontos percentuais a mais que os setores aeronáutico e automotivo, papel e celulose e metalúrgico no final da tabela com 3% de custo de manutenção em relação ao faturamento.

É interessante verificar também que o setor aeronáutico e automotivo tem um maior gasto com a folha salarial de seus funcionários, totalizando 54%.

4.6 Custo de Manutenção por Valor de Reposição

O custo de manutenção por valor de reposição (CPMV) consiste basicamente na relação entre o custo total da manutenção de um determinado equipamento com o seu valor de compra. Este cálculo é geralmente realizado apenas para equipamentos da planta que são considerados de alta criticidade.

Dessa forma, temos:

$$CPMV = \frac{\textit{Custo total de manutenção}}{\textit{Valor de compra do equipamento}} \cdot 100\%$$

Visando atender as expectativas do departamento financeiro da empresa, um valor aceitável para este indicador é o mesmo possuir um valor percentual menor que 6% no período de um ano. Sendo que este valor pode ser maior caso o retorno financeiro e estratégico do ativo seja elevado, justificando um maior investimento na manutenção do mesmo.

5. FERRAMENTAS PARA ANÁLISE DE FALHAS

Neste tópico, serão apresentadas duas ferramentas comumente utilizadas nas empresas para analisar as falhas nos equipamentos, são elas: a Análise das Causas Raízes de Falha (*Root Cause Failure Analysis - RCFA*) e a Análise de Modo e Efeito de Falha (*Failure Mode and Effect Analysis – FMEA*).

De acordo com Kardec e Nascif (2009), a Análise das Causas Raízes de Falha (*Root Cause Failure Analysis - RCFA*), pode ser definida como um método ordenado que visa evidenciar as causas de uma falha e determinar ações para evitar que essa falha venha a ocorrer novamente. Esta metodologia baseia-se no questionamento, basicamente na repetição dos “Porquês”, sendo recomendado que a pergunta seja realizada até o momento que a resposta não faça mais sentido.

Dessa forma, visando clarificar o conceito apresentado, a **tabela 4** exemplifica um caso prático de aplicação desta ferramenta.

Tabela 4 – Exemplo da aplicação da ferramenta de análise de falhas RCFA.

Pergunta	Resposta
Por que a bomba falhou?	O selo falhou
Por que o selo falhou?	Desgaste excessivo das faces de vedação
Por que ocorreu o desgaste?	Houve superaquecimento
Por que houve o superaquecimento?	O flushing não estava alinhado
Por que o flushing não estava alinhado?	O operador se esqueceu de abrir a válvula
Por que ele se esqueceu?	Ele é novo na área e não tinha operado, ainda, uma bomba deste tipo.
Por que ele não tinha operado esse tipo particular de bomba?	O seu treinamento não contemplou esse tipo de bomba

Fonte: Manutenção Função Estratégica. (Kardec e Nascif, 2009).

A partir da análise do exemplo apresentado é possível verificar que a causa-raiz da falha foi a falta de treinamento formal do operador para operar o componente avariado. Portanto, uma ação efetiva para mitigar esse problema é conceder a capacitação adequada ao operador. Além disso, o engenheiro de manutenção, também tem a opção de avaliar a instalação de uma válvula de controle automática, evitando dessa forma a falha humana na operação.

É importante ressaltar que toda a análise de RCFA deve ser devidamente registrada com o objetivo de suportar a decisão de implantação de melhorias e modificações e servir de histórico para consultas futuras, contribuindo para a resolução de falhas similares.

Em relação à outra ferramenta abordada pelos autores Kardec e Nascif (2009), Análise de Modo e Efeito de Falha (*Failure Mode and Effect Analysis – FMEA*), pode ser compreendida como um sistema lógico que hierarquiza as falhas potenciais do equipamento e fornece recomendações para ações preventivas.

O FMEA pode ser aplicado a projetos, ao processo produtivo e ao sistema. A equipe de manutenção canaliza seus esforços para o desenvolvimento do FMEA de processo, o qual focaliza como o equipamento é mantido e operado. Sendo fundamental a presença de engenheiros, técnicos de manutenção e de operação para a formação do grupo de trabalho.

Portanto, em resumo, o FMEA é uma ferramenta de análise que foca nas falhas potenciais que podem ocorrer em cada etapa do processo e visa identificar suas causas com o objetivo de sugerir ações de bloqueio, ou seja, ações que iram evitar que o tipo de falha analisada ocorra.

O FMEA procede à análise partindo da causa para chegar ao efeito. A **tabela 5**, expressa um exemplo de um FMEA construído para um sistema de bombeamento.

Tabela 5 – FMEA construído para analisar os modos de falha de um sistema de bombeamento.

ANÁLISE DE MODO E EFEITO DE FALHA POTENCIAL								Critisystems
Nº. FMEA: 122		Data de Início: 27-08-2012		Responsável: Cristiano		Telefone: (15) 3021-6257		
Área: Resfriamento de Cubas		Revisão: 01		Preparado por: João				
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 mensalmente no estator
		Estator – Rotor Queimado	Perda de Fluxo	4	4	5	80	Realizar termografia mensalmente
		Estator – Vibração Excessiva	Perda de Fluxo	5	6	5	150	Realizar análise de vibração mensalmente
		Estator – Rolamento Travado	Perda de Fluxo	5	6	6	180	Realizar inspeção semanal no rolamento

Fonte: Revista Espacios (2019)

A partir da análise da **tabela 5** é possível verificar a aplicação dos conceitos apresentados e visualizar as ações de bloqueio propostas para o sistema em questão com o intuito de aumentar a confiabilidade do mesmo.

6. A MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL E A MANUTENÇÃO AUTÔNOMA

A Manutenção Produtiva Total (MPT), em inglês denominada *Total Productive Maintenance* (TPM), teve seu início no Japão, através da empresa Nippon Denso KK, integrante do grupo Toyota.

De acordo com Kardec e Nascif (2009), os conceitos base do TPM, são:

- Cada um deve exercer o autocontrole;
- A minha máquina deve ser protegida por mim;
- Homem, máquina e empresa devem estar integrados;
- A manutenção dos meios de produção deve ser preocupação de todos.

A TPM visa garantir a eficácia da companhia através de uma maior qualificação da equipe e introdução de melhorias nos equipamentos. O perfil esperado das pessoas que vão trabalhar nas organizações que operam baseadas nesta metodologia está expresso na **tabela 6**.

Tabela 6 – Perfil de trabalhadores na metodologia TPM.

OPERADORES	Execução de atividades de manutenção de forma espontânea (lubrificação, regulagens...)
MANTENEDORES	Execução de tarefas na área da mecatrônica
ENGENHEIROS	Planejamento, projeto e desenvolvimento de equipamentos que "não exijam manutenção".

Fonte: Manutenção Função Estratégica. (Kardec e Nascif, 2009).

Nesta metodologia de trabalho, os operadores começam a executar tarefas que antes eram exclusivas do time de manutenção, como: lubrificação, limpeza, ajuste de gaxetas, medição de vibração e temperatura, troca de lâmpadas, sintonia em controladores, limpeza e troca de filtros, substituição de instrumentos, entre outras atividades consideradas mais simples, permanecendo com o time de manutenção as tarefas mais complexas.

O TPM é composto por oito pilares fundamentais, os quais estão listados abaixo:

- Melhoria Focada;
- Manutenção Autônoma;
- Manutenção Planejada;
- Educação e Treinamento;
- Controle Inicial;

- Manutenção da Qualidade;
- TPM Office;
- Segurança ou SHE.

Por motivos de simplificação, neste trabalho serão abordados apenas os conceitos da Manutenção Autônoma, a qual é objeto diário de trabalho do autor na BAT Brasil – Fábrica de Uberlândia.

Em concordância com Viana (2002), na manutenção autônoma vale à máxima: “Da minha máquina cuidado eu”, ou seja, os próprios operadores executam serviços de manutenção no equipamento, conforme descrito anteriormente.

Kardec e Nascif (2009) caracterizam a manutenção autônoma como autogerenciamento e controle, liberdade de ação, elaboração e cumprimento de padrões e, principalmente, a conscientização da filosofia TPM.

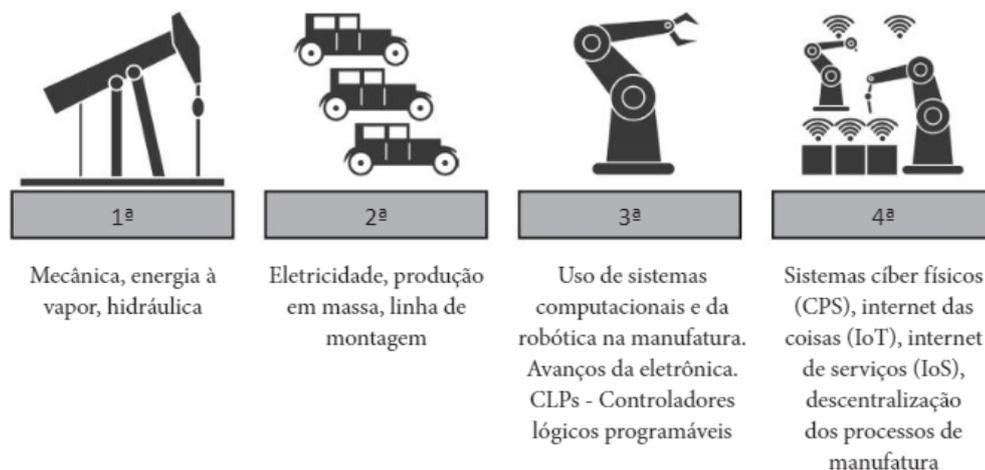
7. A INDÚSTRIA 4.0

Nesta etapa do trabalho, será apresentada de forma breve os principais conceitos e inovações propostas pela indústria 4.0, com intuito de introduzir este tema que está cada vez mais presente nos planejamentos estratégicos das grandes organizações.

Desde os primórdios da civilização, o ser humano fez o uso de sua própria força muscular para produzir trabalho. Ao longo dos anos, foram desenvolvidas novas tecnologias baseadas na hidráulica, pneumática e posteriormente, a eletricidade. O objetivo principal desses esforços era eliminar as atividades repetitivas e automatizar os sistemas de produção. (SACOMANO et al.,2018).

Neste contexto, a partir do final do século XX e início do século XXI, o fenômeno da digitalização, também denominada transformação digital, começa a ocorrer. A presença de computadores, *tablets*, *smartphones* e a conexão de amplo acesso à internet proporcionam a convergência das mídias de comunicação para o formato digital e o mercado começa a traçar estratégias baseadas nas análises das grandes bases de dados (*big data*) e rede sociais. (SACOMANO et al.,2018). A **figura 7** permite a visualização sequencial das inovações e mudanças de comportamento descritas.

Figura 7 – Evolução dos meios de produção



Fonte: Indústria 4.0: Conceitos e Fundamentos – Sacomano e Sátyro, 2018.

Em relação às inovações que estavam ocorrendo na indústria, à visão de negócio voltada à transformação digital deu origem ao conceito de indústria 4.0, cujo nome veio de um projeto da indústria alemã, denominado *Plattform Industrie 4.0* (Plataforma Indústria 4.0, lançado em 2011, na feira de Hannover. (SACOMANO et al.,2018).

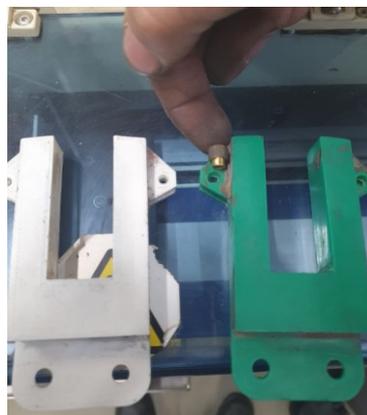
O conceito de indústria 4.0 baseia-se na integração de tecnologias de informação e comunicação com o intuito de promover um maior nível de produtividade, flexibilidade, qualidade e gerenciamento. A utilização desses conceitos passou a constituir a denominada Quarta Revolução Industrial, caracterizada principalmente por possibilitar a implantação de linhas de produção acionadas e controladas remotamente, visando atingir o maior desempenho produtivo possível. (SACOMANO et al.,2018).

Em relação à manutenção dos equipamentos, tema principal deste trabalho, os próprios ativos irão comunicar ao setor de manutenção a necessidade de um reparo e o cliente já é alertado sobre um possível atraso do produto devido à interrupção da linha. (SACOMANO et al.,2018).

Em resumo, a indústria 4.0 já é realidade nos processos produtivos e a cada dia surgem novas inovações que buscam eliminar as falhas, aumentar a disponibilidade e confiabilidade dos ativos, proporcionando o menor lucro cessante possível e contribuindo para o crescimento da economia mundial.

Visando exemplificar na prática um exemplo de inovação proposta pela indústria 4.0, a **figura 8** ilustra um componente mecânico fabricado através de uma impressora 3D. Este componente é utilizado na máquina de encarteamento da BAT Brasil para transportar às carteiras de cigarro de um ponto ao outro. A peça original é aproximadamente 16 vezes mais cara que a peça impressa. Estão sendo realizados testes com intuito de validar esta modificação que, caso aprovada, irá gerar um retorno financeiro muito interessante para a companhia.

Figura 8 - a) Peça branca: bolsa da 3ª roda fabricada em impressora 3D **b)** Peça verde: bolsa da 3ª roda fabricada pelo OEM.



Fonte: Próprio Autor (2021).

8. ESTUDO DE CASO: MANUTENÇÃO PREVENTIVA EM MÓDULO PRODUTIVO DA BAT BRASIL – FÁBRICA UBERLÂNDIA / MG

Nesta etapa do presente trabalho, será apresentado um estudo de caso acerca de uma manutenção preventiva realizada em um módulo produtivo da empresa BAT Brasil – Fábrica Uberlândia / MG.

As principais informações acerca da companhia em questão foram expressas na introdução, visando contribuir para uma maior interação do leitor com o conteúdo que será apresentado neste estudo.

8.1 Descrição do Problema

A BAT Brasil utiliza o *software* SAP, módulo de manutenção, para realizar o gerenciamento dos ativos da planta. Este sistema é um Enterprise Resource Planning (ERP), sigla em inglês que significa Sistema Integrado de Gestão Empresarial. Neste sistema são armazenados todos os dados necessários para realizar o gerenciamento diário dos ativos. Ele é o responsável por inicializar os planos de manutenção preventivos, os quais são baseados no horímetro do equipamento e possuem uma frequência básica de execução de 725 horas, aproximadamente um mês, considerando um módulo produtivo que opere de forma contínua ao longo do ano.

Neste estudo de caso, o desafio do engenheiro de manutenção será: planejar as atividades, alocar os recursos, realizar a contratação de serviços externos, executar e analisar os dados de uma manutenção preventiva em um módulo produtivo da planta.

8.2 Objetivos da Pesquisa

O objetivo dessa pesquisa é verificar os principais indicadores de manutenção, apresentados ao longo do desenvolvimento deste trabalho, com o intuito de avaliar a efetividade da manutenção preventiva em relação ao desempenho e disponibilidade do ativo para a produção. Além disso, é proposto ao engenheiro de manutenção analisar os pontos de melhoria que irão surgir ao término do estudo, visando à melhoria contínua dos processos da companhia.

8.3 Contexto e Local de Aplicação da Pesquisa

Nesta etapa do presente estudo, serão apresentadas as características do local de aplicação da pesquisa, com intuito de facilitar a compreensão acerca do contexto no qual o estudo foi realizado. Dessa forma, temos:

- Data de realização da manutenção preventiva: 12/04/2021;
- Local: Módulo SD53;
- Departamento: *Secondary Manufacturing Department* (SMD), sigla em inglês para definir o departamento secundário de produção;
- Número de atividades planejadas: 67 ordens de manutenção;
- Responsável pela manutenção: Rafael Gomes Sandim.

8.4 Planejamento e Acompanhamento da Manutenção

Nesta etapa será exposto o processo de como foi realizado o planejamento e o acompanhamento das atividades durante a manutenção executada.

O planejamento de manutenção, conforme descrito previamente, é realizado através do ERP SAP, módulo de manutenção. O mesmo fornece todas as informações necessárias para a programação das atividades. Visando facilitar a compreensão do processo de planejamento, o mesmo foi ordenado e descrito abaixo.

i) Levantamento do backlog de manutenção

Responsável: Departamento de PCM

Descrição: O departamento de PCM realiza o levantamento dos planos de manutenção preventiva e preditiva que estão em backlog com o auxílio do SAP e direciona para o responsável pela manutenção do ativo.

ii) Levantamento das notas de manutenção corretiva abertas no sistema SAP

Responsável: Engenheiro de Manutenção

Descrição: O engenheiro de manutenção verifica as notificações abertas no sistema SAP pela equipe operacional, com intuito de planejar a execução das mesmas para a manutenção programada. Estas atividades possuem um peso maior e devem ser priorizadas, pois as mesmas são indicadores de falhas que a máquina está apresentando em produção.

iii) Levantamento das principais paradas de máquina do módulo produtivo

Responsável: Analista de processos

Descrição: O analista de processo realiza o levantamento das principais paradas de cada equipamento que compõem o módulo produtivo, visando auxiliar a equipe de manutenção na priorização das atividades, focando na execução de tarefas preventivas que contribuam para o

aumento da vida útil do equipamento e reduza as paradas, falhas de processos e quebras do maquinário.

iv) Reunião de pré-manutenção com a equipe técnica

Responsável: Departamento de PCM e Engenheiro de Manutenção

Descrição: Nesta reunião o planejamento prévio é apresentado ao time técnico e são discutidas as principais atividades, verificado o número de recursos necessários e construído o caminho crítico, ou seja, a sequência de tarefas que devem ser realizadas com intuito de alcançar o sucesso na manutenção. Essa reunião é fundamental para o alinhamento entre a equipe de planejamento e a equipe de execução, evitando que ocorram problemas no dia da manutenção que possam comprometer a eficiência da mesma.

v) Verificação da disponibilidade do estoque e programação das atividades no sistema

Responsável: Departamento de PCM

Descrição: Nesta etapa do planejamento, é verificado se as peças necessárias para realizar as atividades definidas na etapa anterior estão disponíveis no almoxarifado, caso não estejam é necessário realizar a compra das mesmas no mercado de sobressalentes para atender a manutenção. Além disso, é realizada a programação dos planos escolhidos no sistema SAP, alocando-se o número de matrícula do executor à ordem de manutenção de sua responsabilidade, conforme expresso na **figura 9**.

Figura 9 – Planejamento de atividades de manutenção.

Ordem	Equipamento	Descrição da Tarefa	Matricula	Custo	Tempo	Colaborador
1002077017	GD S90-503	T36 - ACION. SUPERIOR CANAL DE ENTRADA	71443118	53	1	Alexsander Castilho Cardoso
1002077018	GD S90-503	T37 - ACION. INFERIOR CANAL DE ENTRADA	71443118	26,5	4	Alexsander Castilho Cardoso
1002300813	GD S90-503	T32 - MANUTENÇÃO DO S90	71443118	2954,64	0,5	Alexsander Castilho Cardoso

Fonte: Próprio Autor (2021).

vi) Verificação da necessidade de contratação de serviços externos

Responsável: Departamento de PCM

Descrição: Nesta etapa, é definida a necessidade ou não de realizar a contratação de serviços externos, como prestadores de serviços de usinagem, para estarem presentes no dia da manutenção programada. É fundamental contatar os fornecedores externos com antecedência para evitar surpresas inesperadas no dia da manutenção.

8.5 Procedimento de coleta de dados e Análise dos Resultados

Nesta etapa, será apresentada a metodologia utilizada para coletar os dados e expressos os resultados obtidos ao longo do estudo de caso proposto.

Após a realização da manutenção preventiva, o departamento de PCM realiza a coleta dos dados pertinentes à manutenção diretamente do SAP, sendo coletado o número de atividades concluídas, o custo total da manutenção, o número total de horas de manutenção realizadas, a divisão entre os tipos de manutenção existente (preventiva, corretiva e preditiva), os principais impactos durante o processo de arrancada do equipamento, entre outros.

Além disso, com o auxílio de outro software ofertado pela companhia é possível verificar os indicadores de desempenho do módulo antes e depois da manutenção, com intuito de calcular o *Ramp Up* do mesmo, termo em inglês que verifica a curva de evolução dos resultados do módulo até o mesmo atingir ou superar os resultados apresentados antes da manutenção programada. Este indicador é calculado da seguinte forma:

$$Ramp\ Up = \frac{\sum_{1\ dia,depois}^{3\ dia,depois} Volume\ produzido}{\sum_{1\ dia,depois}^{3\ dia,depois} Volume\ planejado} \cdot 100\%$$

Tendo em vista o procedimento apresentado, foi construído um *dashboard* no *software Power BI* com o objetivo de consolidar os resultados obtidos após a manutenção do módulo SD53, os quais estão expressos na **figura 11**.

Figura 11 – Resultados obtidos após a manutenção preventiva do módulo SD53.



Fonte: Próprio Autor (2021)

A partir da análise da **figura 11**, é possível verificar que os resultados obtidos após a manutenção preventiva do módulo SD53 são satisfatórios. O módulo apresentou um *ramp up* de aproximadamente 87%. Além disso, o resultado de eficiência de produção, denominado como *overall equipment effectiveness* (OEE), e o valor de MTBF atingiram um valor superior, no 3º dia após a manutenção, em relação aos dois dias que a antecederam. Outro ponto interessante a ser verificado é o fato de que aproximadamente 95% das atividades planejadas foram realizadas, sendo que as atividades não realizadas foram devidamente justificadas à equipe de planejamento e serão reprogramadas pelo departamento de PCM.

Em relação à estratégia de manutenção adotada, foi verificado que 38,8% das atividades planejadas foram corretivas e 61,2% foram preventivas. Nesta manutenção não havia ordens preditivas abertas para planejamento.

O único ponto de atenção que deverá ser tratado pelo engenheiro de manutenção, juntamente com o departamento de PCM, são os custos. Os mesmos excederam o planejamento em 32,4%. A investigação foi realizada e foi verificado que o motivo do orçamento real ter sido mais alto do que o planejado é o fato de ter sido encontrado alguns componentes danificados, com alto valor agregado, durante a inspeção preventiva, sendo necessário realizar a substituição dos mesmos para garantir a confiabilidade do plano e, conseqüentemente, do ativo.

9. PROPOSTA DE FICHA DE DISCIPLINA

Conforme abordado na introdução deste trabalho, o mercado de trabalho possui uma alta demanda por profissionais de engenharia que possuam conhecimentos e habilidades para gerenciar o setor de manutenção da empresa e garantir a confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos.

Neste contexto, foi verificada pelo discente, a oportunidade da complementação da base curricular do curso de Engenharia Elétrica, ofertado pela Faculdade de Engenharia Elétrica (FEELT), da Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Dessa forma, foi elaborada uma ficha de disciplina para a criação de uma disciplina focada nos principais conceitos e estratégias da manutenção industrial. A ficha de disciplina construída está expressa no anexo A e será disponibilizada aos órgãos competentes com intuito de verificar sua viabilidade.

10. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da realização do estudo proposto ao longo deste trabalho, foi possível verificar a evolução da humanidade em relação à manutenção dos meios de produção. Foram abordados os principais conceitos sobre a engenharia da manutenção, as estruturas de controle e planejamento existentes, as ferramentas para análise de falhas, as boas práticas propostas pela manutenção centrada na confiabilidade, incluindo os modelos matemáticos, e as principais teorias sobre a quarta revolução industrial, a indústria 4.0.

Além disso, o estudo de caso da manutenção do módulo produtivo SD53 da planta industrial da BAT Brasil – Fábrica Uberlândia, apresentou resultados satisfatórios, permitindo a verificação prática de todo o conteúdo teórico. Os principais indicadores de manutenção foram analisados com auxílio do *ERP SAP*, os quais são utilizados diariamente pelo engenheiro de manutenção, juntamente à equipe do PCM, para avaliar e propor melhorias no processo de gestão da manutenção, conforme estabelecido pela Manutenção Produtiva Total (MPT).

Dessa forma, após a realização deste trabalho foi verificada a importância da engenharia de manutenção e do departamento de PCM na estrutura funcional de uma empresa, em especial as que possuem plantas industriais, pois esses setores são responsáveis por garantir a “saúde” dos ativos da companhia através da confiabilidade do processo de manutenção, proporcionando uma maior disponibilidade dos equipamentos e, conseqüentemente, um período de tempo maior para a produção, visando à redução do lucro cessante.

REFERÊNCIAS

1. VIANA, Hebert Ricardo Garcia. **Planejamento e Controle da Manutenção**. 1 ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002. 192 p.
2. KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. **Manutenção: Função Estratégica**. 3 ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009. 384 p.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462: Confiabilidade e Manutenibilidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.
4. FOGLIATTO, Flávio Sanson; RIBEIRO, José Luís Duarte. **Confiabilidade e manutenção industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.
5. SACOMANO, José Benedito; GONÇALVES, Rodrigo Franco; DA SILVA, Márcia Terra; BONILLA, Silvia Helena; SÁTYRO, Walter Cardoso. **Indústria 4.0: Conceitos e fundamentos**. 1. ed. São Paulo - SP: Edgard Blucher Ltda, 2018. 182 p. ISBN 978-85-212-1370-3.
6. **ABRAMAN - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MANUTENÇÃO E GESTÃO DE ATIVOS**. Documento Nacional. Situação da Manutenção no Brasil.
7. DE SOUSA, Evair Martins. **Engenharia de manutenção aplicada ao dimensionamento da lubrificação de máquinas utilizadas por indústrias alimentícias de nutrição animal**. 2019 – Dissertação Centro Universitário do Sul de Minas, Varginha, 2019.
8. MODULAR CURSOS (Santa Catarina - SC). O que é PCM?: Tudo o que você precisa saber.. *In: O que é PCM? : Tudo o que você precisa saber*. Santa Catarina - SC: Modular Cursos, 31 ago. 2020. Disponível em: https://www.modularcursos.com/post/o-que-%C3%A9-pcm-tudo-o-que-voc%C3%AA-precisa-saber?src=o%20que%20e%20pcm&gclid=Cj0KCQjw7pKFBhDUARIsAFUoMDb44WodOS5tWjmr4XFUQsIjHYONGAXpseQyt7pmyLdQmrMqtqFUso4aAjZ-EALw_wcB. Acesso em: 19 maio 2021.

ANEXO A

**FICHA DE COMPONENTE CURRICULAR**

CÓDIGO: <hr style="width: 80%; margin: 0;"/>	COMPONENTE CURRICULAR: <u>MANUTENÇÃO E CONFIABILIDADE</u>	
UNIDADE ACADÊMICA OFERTANTE: <u>FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA</u>	SIGLA: <u>FEELT</u>	
CH TOTAL TEÓRICA: <u>45</u>	CH TOTAL PRÁTICA: <u>15</u>	CH TOTAL: <u>60</u>

OBJETIVOS

Ao final da disciplina o estudante deverá ser capaz de:

1. Ter o entendimento acerca da evolução da manutenção e as suas gerações.
2. Conhecer os fundamentos da manutenção centrada na confiabilidade (MCC).

3. Conhecer os fundamentos dos principais tipos de manutenção e como elas se relacionam.
4. Ter o entendimento acerca dos principais indicadores de desempenho utilizados pela Engenharia de manutenção.
5. Ter noções básicas acerca do departamento de Planejamento e Controle da Manutenção (PCM).
6. Conhecer a metodologia da Manutenção Produtiva Total (MPT) e seus pilares.
7. Compreender as principais técnicas para a análise de falhas (RCFA e FMEA).
8. Ter noções básicas sobre os conceitos da Indústria 4.0 e a Quarta Revolução Industrial

EMENTA

Conhecimento dos princípios básicos da engenharia de manutenção e confiabilidade.

DESCRIÇÃO DO PROGRAMA

1. Considerações Gerais

- 1.1. A evolução da Manutenção
- 1.2. A Primeira Geração
- 1.3. A Segunda Geração
- 1.4. A Terceira Geração
- 1.5. A Quarta Geração

2. Tipos de Manutenção

- 2.1. Manutenção Corretiva
- 2.2. Manutenção Preventiva

2.3. Manutenção Preditiva

3. Departamento de PCM

- 3.1. Conceitos básicos sobre o PCM
- 3.2. A Engenharia de Manutenção
- 3.4. As funções dentro da manutenção
- 3.3. Fluxo de dados dentro da manutenção

4. Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC)

- 4.1. Principais conceitos associados à confiabilidade
- 4.2. Função de confiabilidade $R(t)$
- 4.3. Função de Risco $h(t)$
- 4.4. Exemplos de aplicação

5. Indicadores de Desempenho da Manutenção

- 5.1. Introdução
- 5.2. MTBF
- 5.3. MTTR
- 5.4. TMPF
- 5.5. Disponibilidade Física (DF)
- 5.6. Custo de manutenção por faturamento
- 5.7. Custo de manutenção por valor de reposição
- 5.8. Indicadores secundários

6. Ferramentas para Análise de Falhas

- 6.1. Introdução
- 6.2. *Root Cause Failure Analysis* - RCFA
- 6.3. *Failure Mode and Effect Analysis* – FMEA

7. A Manutenção Produtiva Total (MPT)

- 7.1. Introdução
- 7.2. Objetivos
- 7.3. Os oito pilares do MPT

8. A Indústria 4.0

- 8.1. Introdução e contexto histórico
- 8.2. Principais conceitos
- 8.3. Exemplos de aplicação

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA BÁSICA

1. VIANA, Hebert Ricardo Garcia. **Planejamento e Controle da Manutenção**. 1 ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002. 192 p.
2. KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. **Manutenção: Função Estratégica**. 3 ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009. 384 p.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462: Confiabilidade e Manutenibilidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.
4. FOGLIATTO, Flávio Sanson; RIBEIRO, José Luís Duarte. **Confiabilidade e manutenção industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.
5. XENOS, Harilaus G.. **Gerenciando a Manutenção Produtiva: O Caminho para Eliminar Falhas nos Equipamentos e Aumentar a Produtividade**. 1 ed. Belo Horizonte: EDG, 1998. 302.
6. SACOMANO, José Benedito; GONÇALVES, Rodrigo Franco; DA SILVA, Márcia Terra; BONILLA, Silvia Helena; SÁTYRO, Walter Cardoso. **Indústria 4.0: Conceitos e fundamentos**. 1. ed. São Paulo - SP: Edgard Blucher Ltda, 2018. 182 p. ISBN 978-85-212-1370-3.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR:

7. ABRAMAN - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MANUTENÇÃO E GESTÃO DE ATIVOS.
Documento Nacional. Situação da Manutenção no Brasil.
8. LIMA, Abrahão Lincoln. **MANUAL PRÁTICO DE PCM: Planejamento e Controle da Manutenção.** 6 ed. Rio de Janeiro: Rede Industrial, 2012. 384 p.