



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Análise de dados referente à manutenção elétrica preditiva

Uberlândia, MG

2023

Juliana Santana de Almeida

Análise de dados referente à manutenção elétrica preditiva

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Augusto Wohlgemuth Fleury Veloso da Silveira

Uberlândia, MG

2023

Juliana Santana de Almeida

Análise de dados referente à manutenção elétrica preditiva

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Banca de avaliação

Documento assinado digitalmente
 AUGUSTO WOHLGEMUTH FLEURY VELOSO
Data: 29/06/2023 15:05:12-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Augusto Wohlgemuth Fleury Veloso da Silveira
Professor Orientador

Documento assinado digitalmente
 CARLOS EDUARDO TAVARES
Data: 05/07/2023 09:16:47-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Carlos Eduardo Tavares
Membro Avaliador

Documento assinado digitalmente
 LUCIANO COUTINHO GOMES
Data: 05/07/2023 10:20:40-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Luciano Coutinho Gomes
Membro Avaliador

Uberlândia, MG, 23 de junho de 2023

Este trabalho é dedicado aos meus colegas de classe e a minha família.

Agradecimentos

Agradeço aos queridos meus pais Maria das Graças Rodrigues Santana e João de Almeida Filho que sempre estiveram ao meu lado me apoiando ao longo da minha trajetória acadêmica e de todo o meu caminho.

Agradeço aos meus professores do curso de Engenharia elétrica da Universidade Federal de Uberlândia pela excelência da qualidade técnica de cada um.

E a todos que contribuíram direta ou indiretamente para execução desse trabalho.

Sumário

1.	Introdução	14
1.1.	Justificativas.....	17
1.2.	Objetivos	17
2.	Referenciais Teóricos	18
2.1.	Manutenção Industrial	18
2.2.	Evolução da Manutenção Industrial.....	19
2.2.1.	Primeira Geração	19
2.2.2.	Segunda Geração	19
2.2.3.	Terceira Geração	20
2.2.4.	Quarta Geração.....	20
2.3.	Classificação das formas de Manutenção.....	20
2.3.1.	Manutenção Corretiva	21
2.3.2.	Manutenção Preventiva.....	21
2.3.3.	Manutenção Preditiva.....	22
2.3.3.1.	Ensaio por ultrassom.....	23
2.3.3.2	Análise de vibrações mecânicas	24
2.3.3.3.	Análise de óleo e lubrificantes	24
2.3.3.3.	Termografia.....	25
2.3.4.	Manutenção Detectiva.....	26
2.4.	Engenharia de Manutenção	27
2.5.	Manutenção Autônoma	28
2.6.	Planejamento e Controle da Manutenção (PCM).....	28
3.	Resultados e discussões	29
3.1.	Revisão teórica	29
<u>3.2.</u>	Estudo de caso	32
4.	Conclusão.....	34

Referências Bibliográficas.....	35
--	-----------

Lista de Figuras

Figura 1 – Formas de manutenção	14
Figura 2 – Diagrama das formas de Manutenção Industrial.....	18
Figura 3 – Gráfico ilustrativo, manutenção preditiva	20
Figura 4 – Coleta de vibração em motor	24
Figura 5 – Coleta de óleo em transformador	25
Figura 6 – Coleta de dados análise termográfica	26

Lista de Quadros e Tabelas

Quadro 1 - Resumo da biografia sobre manutenção preditiva

Tabela 1 - Dados de disponibilidade dos Motores

Lista de abreviaturas e siglas

TPM - *Total Productive Maintenance*

PCM - Planejamento e Controle da Manutenção

KW - Quilowatt

Resumo

A eletricidade foi inserida no cotidiano da população no século XIX por meio das lâmpadas elétricas, com a revolução industrial que ocorreu em no século XX os equipamentos elétricos tiveram um aumento da demanda de consumo sendo estes os grandes responsáveis por grande parte do avanço tecnológico mundial. Com o aumento da indústria, os equipamentos passam a ter uma demanda de produção superior, o que originou o nascimento da manutenção. Dentre as manutenções existe a manutenção corretiva, intervenção pós falha, manutenção preventiva, manutenção em intervalos determinados, manutenção detectiva, testes para detecção de falhas ocultas e manutenção preditiva, manutenção após sinalização de falha. A última é uma forma de manutenção que tem origem na necessidade de ampliar a disponibilidade e confiança nos equipamentos. O presente estudo trata acerca da manutenção preditiva voltada a equipamentos elétricos. Para tanto, foi realizado uma revisão integrativa acerca das aplicabilidades da manutenção preditiva em equipamentos elétricos, visando a redução de falhas desses componentes, o direcionamento para redução de custos em manutenção e aumento da disponibilidade dos equipamentos. Diante disso, verificou-se que a manutenção preditiva possibilita a ampliação da disponibilidade de equipamentos na indústria através da manutenção pontual desses, reduzindo o custo de troca desnecessário e expandindo a taxa de ocupação dos equipamentos.

Palavras-chave: Custos; Manutenção; Preditiva; Disponibilidade; Equipamento.

Abstract

Electricity was incorporated into the everyday life of the people in the nineteenth century by the electric lamp, With the industrial revolution of the 20th century, electrical equipment has had an increase in consumer demand, and these are largely responsible for much of the world technological advancement. With the rise of industry, equipment has a higher demand for production, which is the source of the birth of maintenance. Among the maintenance there is a corrective maintenance, after fault intervention, preventive maintenance, maintenance at specific intervals, detective maintenance, tests for detection of hidden faults and predictive maintenance, maintenance after failure reporting. The latter is a form of maintenance that arises from the need to increase availability and confidence in the equipment. This study focuses on electric-based predictive maintenance. To that purpose, an integrative review be carried out on the applicability of predictive maintenance in electrical equipment, with a view to reducing the failures of these components, reduce maintenance costs and make equipment more availability. Consequently, predictive maintenance has been found to increase the availability of equipment in the industry by providing timely maintenance of this equipment, lower unnecessary foreign exchange costs and increase the occupancy rate of the equipment.

Keywords: Maintenance; Predictive; Costs; Availability; Equipment.

1. Introdução

A origem do termo manutenção vem do vocabulário militar e significava manter, nas unidades de combate, o efetivo e o material num nível constante. O surgimento da palavra manutenção industrial ocorreu em 1950 nos Estados Unidos da América. Na França, por exemplo, esse termo está mais associado à palavra “conservação” (MONCHY, 1989).

Formalmente, o conceito de manutenção é a associação de ações técnicas, administrativas e de supervisão, com a finalidade de manter ou recolocar um item em uma condição a o qual possa exercer uma função solicitada, ou seja, fazer o que for preciso para assegurar que um equipamento ou Máquina opere dentro de condições mínimas de requerimentos e especificações (ABNT, 2004).

Desde a revolução industrial que ocorreu no século XX os motores elétricos estão cada vez mais inseridos no cotidiano da população sendo estes os grandes responsáveis por grande parte do avanço tecnológico mundial. Sua aplicação é vista desde equipamentos de pequeno porte como geladeiras e máquinas de lavar, a equipamentos de grande porte como motores em parques industriais. Com o passar das décadas a demanda de motores aumentou e a demanda por maior confiabilidade desses equipamentos também.

A partir dessa necessidade surgiu o conceito de manutenção preventiva, forma de manutenção considerada como evolução natural da manutenção corretiva, que incorpora esforços para evitar defeitos de qualidade provocados por desgaste e mau funcionamento dos equipamentos visando a melhoria de qualidade de produtividade nas indústrias (HERPICH; FOGLIATTO, 2013).

Além disso, com o avanço da tecnologia, as máquinas têm se tornado cada vez mais velozes, sofisticadas e compactas. Como resultado, surgiu a demanda por matérias-primas de alta qualidade e por operadores mais capacitados, tornando a manutenção eficiente e adequada desses equipamentos uma necessidade extrema. (NEPOMUCENO, 2014).

Dessa forma, A manutenção desempenha um papel importante na conquista da competitividade e do sucesso empresarial, pois oferece suporte à estratégia

produtiva. A busca por técnicas e ferramentas de gestão dos ativos conduz as empresas e indústrias a atingir uma eficiência em termos de produtividade e qualidade. Esse ciclo mantém o avanço, o estado de progresso contínuo nas empresas. (PINTO; XAVIER, 2009).

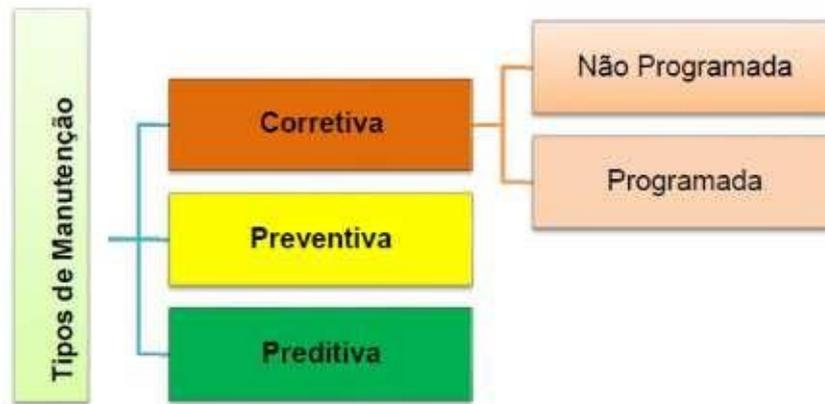
Embora a manutenção seja somente lembrada quando ocorrem falhas nos equipamentos ou instalações industriais, sendo mais especificamente quando um equipamento interrompe o seu funcionamento causando prejuízo a manutenção sempre terá um papel essencial na produtividade na disponibilidade dos equipamentos nas indústrias (ABREU, 2022a).

Portanto, se faz primordial a comunicação da atividade de manutenção na indústria ao processo produtivo direcionando o sentido rumo a excelência. Assim, através da manutenção manter o equipamento sem restrições para operação, diminuindo a ocorrência de falhas e atenuando as interrupções indesejadas em produção (KARDEC; NASCIF, 2009).

As formas de manutenção se diferenciam no modo como é efetuado o ou intervenção em um equipamento, uma máquina ou fábrica. Existe dentro da literatura diversas formas de classificação de manutenção, a grande variedade de nomenclaturas desencadeando uma confusão quanto a caracterização dos tipos de manutenção (KARDEC; NASCIF, 2009)

A figura 1 apresenta as três práticas base de manutenção, cujo quais são consideradas como principais pela maioria dos autores.

Figura 1 – Formas de manutenção



Fonte: (ABREU, 2022b).

A estratégia de manutenção aplicada a sistemas elétricos, não importando a forma ou o tipo de aplicação, pode ser definida como uma soma de procedimentos que são realizados periodicamente em sistemas elétricos. Esses procedimentos têm a finalidade manter os equipamentos elétricos em pleno desempenho, e assegurar que todas as suas funções sejam executadas de forma eficiente (REIS et al., 2018).

Considerando que a grande maioria das falhas nos sistemas elétricos é acompanhada ou precedida de sintomas que evidenciam a ocorrência ou evolução de fenômenos térmicos, a manutenção preditiva com a utilização de termógrafos e pirômetros se mostra uma grande aliada na avaliação de parâmetros que permitam avaliar e prever se ocorrerá e quando ocorrerá um colapso sintomaticamente manifesto.

1.1. Justificativas

O trabalho busca demonstrar através da análise bibliográfica das formas de manutenção, a importância da associação de técnicas de manutenção diferentes, e o impacto que elas trazem no desempenho e confiabilidade das manutenções elétricas em uma planta industrial. Assim, por meio do conhecimento adquirido do funcionamento de equipamentos elétricos em instalações industriais analisar os resultados obtidos e formular diagnósticos.

1.2. Objetivos

O objetivo do atual estudo constitui em apresentar uma revisão integrativa, constituída a partir de uma perspectiva narrativa e de um estudo de caso, relacionado a aplicabilidade da manutenção preditiva e seu estado da arte a fim da diminuição de falhas de componentes eletrônicos e elétricos em indústrias. Tendo como foco direcionar gestores e suas equipes com técnicas, quanto a ferramentas, experiências, redução de custos e disponibilidade de equipamentos.

2. Referenciais Teóricos

O objetivo desse capítulo é apresentar os principais fundamentos para a compreensão desse trabalho. Serão abordados os princípios de manutenção industrial.

2.1. Manutenção Industrial

A manutenção, embora despercebida, sempre existiu, mesmo nas épocas mais remotas. Começou a ser conhecida com o nome de manutenção, por volta do século XVI na Europa central, em conjunto com o surgimento do relógio mecânico, quando surgiram os primeiros técnicos em montagem e assistência. Tomou corpo ao longo da Revolução Industrial e firmou-se, como necessidade absoluta, na Segunda Guerra Mundial. No princípio da reconstrução pós-guerra, Inglaterra, Alemanha, Itália e principalmente o Japão alicerçaram seu desempenho industrial nas bases da engenharia e da manutenção.

Nas últimas décadas, com a intensa concorrência, os prazos de entrega dos produtos passaram a ser relevantes para todas as empresas. Com isso, surgiu a motivação para se prevenir contra as falhas em máquinas e equipamentos. Essa motivação deu origem à manutenção preventiva. Em suma, nos após a terceira geração da manutenção é que tem havido preocupação de técnicos e empresários para o avanço de técnicas específicas para melhorar o complexo sistema Homem/Máquina/Serviços (XENOS, 1998).

De acordo com (XENOS, 1998), a manutenção pode ser definida como uma série de cuidados técnicos indispensáveis ao funcionamento regular e permanente de máquina, equipamentos, ferramentas e instalações. Esses cuidados envolvem a conservação, a adequação, a restauração, a substituição e a prevenção. De modo geral, a manutenção em uma empresa tem como objetivos:

Manter equipamentos e máquinas em estado de pleno funcionamento para garantir a produção normal e a qualidade dos produtos;

Prevenir prováveis falhas ou quebras dos elementos das máquinas;

2.2. Evolução da Manutenção Industrial

O avanço tecnológico da manutenção seguiu o progresso dos parques industriais no último século. Esse avanço se deu desde a terceira década do século XX e acompanha as demandas de aumento de produção e as demandas de aumento da capacidade produtiva, sendo assim a manutenção foi dividida em quatro gerações (KARDEC; NASCIF, 2009).

A seguir, será apresentada a evolução da manutenção industrial detalhando as características específicas de cada geração.

2.2.1. Primeira Geração

Segundo (KARDEC; NASCIF, 2009), a primeira geração da indústria começou antes do fim da Segunda Guerra Mundial e é caracterizada por indústrias com baixo nível de automação e por equipamento simples e superdimensionados, Além do mais, a exigência e a demanda de produção eram bem menores em comparação à pressão exercida pela indústria moderna.

Devido a situação financeira dos países, a questão da produtividade não era prioridade. Consequentemente, nenhuma manutenção significativa foi necessária, sendo preciso apenas limpar, lubrificar e consertar as peças quebradas. Isso significava que a manutenção possui natureza essencialmente corretiva (PINTO; XAVIER, 2009).

2.2.2. Segunda Geração

A segunda geração ocorreu entre as décadas de 1950 e 1970. Durante esse período, a pressão da guerra aumentou a demanda por produtos, e diminuiu o contingente de mão de obra industrial disponível. Consequentemente, ocorreu um aumento significativo na mecanização e no tamanho das instalações de fabricação. Para ampliar a produtividade, a demanda de maior disponibilidade e confiabilidade começa aparecer (PINTO; XAVIER, 2009).

A falha do equipamento era muito comum nas fábricas devido à grande dependência de máquinas, o que levou as pessoas a acreditarem que as falhas de equipamentos poderiam e deveriam ser evitadas, dando origem a ideia de manutenção preventiva dentro da indústria (SALERMO, 2005). Para (SHERWIN,

2000), as etapas de manutenção periódicas foram introduzidas em primeiro lugar para melhorar a segurança e ampliar a disponibilidade dos equipamentos, e não para limitar os custos

2.2.3. Terceira Geração

A terceira geração se dá entre as décadas de 1980 e 1990, no qual começa a ser introduzido o conceito de qualidade e confiabilidade das manutenções. Em que a disponibilidade do começa a ser analisada e se torna necessário aprofundar os métodos de manutenção devido a tendência de diminuição nos estoques na produção.

É marcado pelo início da manutenção preditiva, e análise de riscos para direcionar as ações dentro das fábricas e antecipar falhas e problemas nos equipamentos, de forma a aumentar a disponibilidades dos equipamentos. (KARDEC; NASCIF, 2009).

2.2.4. Quarta Geração

A terceira geração se dá entre os anos e 2000 até atualmente. O foco atualmente está voltado a melhoria de resultados em que o foco passa a ser em disponibilidade dos equipamentos por meio da redução das falhas prematuras dos equipamentos, dando origem assim a engenharia de manutenção.

Através da manutenção preditiva os equipamentos passam a ter a condição de operação monitorada, reduzindo assim o impacto de disponibilidade de equipamento parado. (KARDEC; NASCIF, 2009).

2.3. Classificação das formas de Manutenção

De acordo com (KARDEC; NASCIF, 2009), a manutenção é dividida em formas de manutenção conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Diagrama das formas de Manutenção Industrial.



Fonte: (ABREU, 2022b).

A manutenção corretiva ou reativa destina-se a corrigir falhas que já tenham ocorrido, enquanto a manutenção preventiva tem o propósito de prevenir e evitar as consequências das falhas. Já a manutenção preditiva busca a antecipação da falha por meio do mapeamento dos parâmetros que indiquem evolução de uma falha a tempo de ser corrigida. Similarmente, a manutenção detectiva procura identificar falhas que já tenham ocorrido, mas que não foram percebidas até o momento pelo manutentor (SIQUEIRA, 2005).

2.3.1. Manutenção Corretiva

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

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. Ela não possui um planejamento anterior para ser realizada (VIANA, 2002).

2.3.2. Manutenção Preventiva

O item 2.8.7 da página 7 da NBR 5462-1994 define a 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”.

No organismo fabril a esse tipo de manutenção oferece uma série de vantagens, com relação à manutenção corretiva descrita no tópico anterior, pois um dos fatos mais incômodos no cotidiano da produção industrial é uma pene 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 (VIANA, 2002).

2.3.3. 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”.

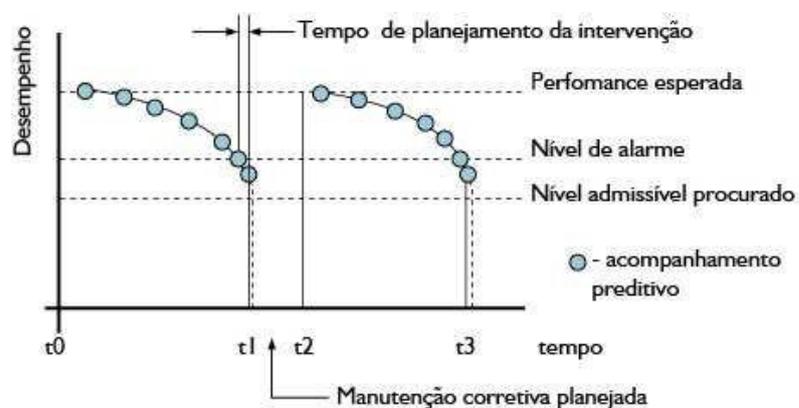
O objetivo deste tipo de manutenção é prevenir falhas nos equipamentos ou sistemas através de acompanhamento de parâmetros diversos, permitindo a operação contínua do equipamento pelo maior tempo possível. É a primeira grande quebra de paradigma na manutenção, e tanto mais se intensifica quanto mais o conhecimento tecnológico desenvolve equipamentos que permitam a avaliação das instalações e sistemas operacionais em funcionamento.

De acordo com, (VIANA, 2002), a manutenção preditiva é constituída de tarefas de manutenção preventiva que tem como objetivo prever uma falha no equipamento e aumentar a assertividade do planejamento da intervenção mantenedora, através do acompanhamento de peças ou equipamentos, por meio de monitoramento, das medições ou por meio de pôr controle estatístico. Assim, estressando o componente até o final de sua vida útil. Existem quatro técnicas

preditivas, bastante presente nas grandes indústrias do mundo. Essas serão apresentadas nos tópicos a seguir.

A Figura 3, a seguir, ilustra o processo de manutenção preditiva: quando o grau de degradação se aproxima ou atinge o limite estabelecido, é tomada a decisão de intervenção. Normalmente, este tipo de acompanhamento permite a preparação prévia do serviço, além de outras decisões e alternativas relacionadas com a produção.

Figura 3 – Gráfico ilustrativo, manutenção preditiva.



Fonte: (KARDE; NASCIF,2009).

2.3.3.1. Ensaio por ultrassom.

O ensaio por ultrassom é caracterizado por ser um método destrutivo que visa detectar defeitos ou descontinuidades 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 de ele possuir alta sensibilidade na detecção de pequenas descontinuidades 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).

2.3.3.2 Análise de vibrações mecânicas

A vibração mecânica pode ser definida 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 a 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, eles 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).

Figura 4 - Coleta de vibração em motor.



Fonte: (MECÂNICA APLICADA, 2018).

2.3.3.3. Análise de óleo e lubrificantes

A técnica preditiva de análise de óleo, ela tem duas grandes finalidades: determinar a ocasião para 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;
- Quantidade de resíduos de metais;
- Viscosidade do óleo;
- Acidez;
- Ponto de congelamento;
- Ponto de fulgor;
- Ensaio da rigidez dielétrica do óleo isolante.

Figura 5 – Coleta de óleo em transformador



Fonte: (MÉDIA VOLTAGEM)

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

2.3.3.3. Termografia

A termografia 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, verificação de superfícies com o equipamento em pleno funcionamento, além de, proporcionar a inspeção de grandes superfícies em um curto espaço de tempo (VIANA, 2002).

Figura 6 – Coleta de dados análise termográfica.



Fonte: (VIB MASTER, 2020)

Um exemplo prático de aplicação da termografia nas indústrias é na instalação elétrica dela, 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).

2.3.4. Manutenção Detectiva

Conforme (KARDEC; NASCIF, 2009), a manutenção detectiva, passa a ser mencionada na década de 90, ela é corresponde as atividades exercidas em sistemas de comando, controle e proteção objetivando encontrar falhas ocultas, isto é, falhas que passam imperceptíveis para os técnicos responsáveis pela manutenção e produção durante a operação. Desse modo, quando se deseja verificar o funcionamento de um sistema de segurança é utilizada a manutenção

detectiva.

Segundo (BRISTOT, 2012), tanto a manutenção detectiva quanto a preditiva, requerem paradas programadas a fim de agendar reparos quando uma falha for detectada. Além disso, ele aponta que definir a periodicidade das verificações é uma grande dificuldade para esse método, pois trata de falhas que ocorrem aleatoriamente, falhas ocultas no equipamento, ou seja, o tempo médio entre falhas é desconhecido. Portanto, para reduzir a ocorrência de falhas entre os intervalos, as verificações iniciais devem ser realizadas com maior frequência.

2.4. Engenharia de Manutenção

A engenharia de manutenção é a prática que expressa uma mudança cultural, que é o suporte que trabalha na implantação de melhorias e consolidação de rotinas. Portanto, suas atribuições são:

- Aumentar a confiabilidade e disponibilidade;
- Princípios novos projetos;
- Gerir materiais e sobressalentes;
- Aumentar a segurança;
- Eliminar problemas crônicos;
- Melhorar a manutenibilidade;
- Melhorar a capacitação do pessoal;
- Solucionar problemas tecnológicos;
- Dar suporte a execução;
- Acompanhar indicadores;
- Fazer análise de falhas e estudos;
- Elaborar planos de manutenção e de inspeção (KARDEC; NASCIF, 2009).

Para (KARDEC; NASCIF, 2009), “Engenharia de manutenção significa perseguir *benchmarks*, aplicar técnicas modernas, estar nivelado com a manutenção do Primeiro Mundo”. Isso mostra que o método está sendo continuamente aprimorado para acomodar novos métodos e aplicações emergentes no mercado. Portanto, além da prevenção, a engenharia de manutenção busca aplicar uma

combinação de métodos de manutenção para minimizar as paradas de produção.

2.5. Manutenção Autônoma

A manutenção autônoma é um dos pilares dos pilares do *Total Productive Maintenance* (TPM). Contudo, para (VIANA, 2002), a manutenção autônoma é uma forma de manutenção no qual é realizado um planejamento e programação para a realização das atividades por parte do time técnico e do PCM (Planejamento e Controle da Manutenção), caracterizando assim, essa ação como tipo de manutenção, pois tem efeito influência direto manutenção.

Para (XENOS, 1998) a manutenção autônoma é um exercício em que os operadores se envolvem nas práticas de inspeção, limpeza e lubrificação, ações essas que fazem parte da manutenção dos equipamentos. Ademais. Essa estratégia está ligada a uma atividade de observação do equipamento por parte da equipe técnica, quanto a alterações nos ruídos, vibrações, odores e temperatura facilitando uma identificação prévia de falha.

2.6. Planejamento e Controle da Manutenção (PCM)

O Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) corresponde à soma de todas as atividades destinadas a preparar, programar e verificar, após a conclusão das ações de manutenção, o cumprimento do conteúdo pré-estabelecido e a determinação de ações corretivas para atingir os objetivos da empresa (CARVALHO et al., Ano 2009). Portanto, o PCM é responsável por repassar as informações às unidades de apoio à gestão e à coordenação, ou seja, atua como órgão central de manutenção (OLIVEIRA, 2014).

A implantação do PCM nas unidades nas empresas e fábricas é de fundamental importância, pois permite uma distribuição mais eficiente das atividades de manutenção, melhora a dinâmica operacional e reduz os custos com quebras e reparos (OLIVEIRA, 2014). Ademais, (TELES, 2019) afirmou que as estratégias geradas pelo PCM são capazes de direcionar a manutenção a setores estratégicos dentro da organização.

Segundo (OLIVEIRA, 2014), o PCM também atua como um dos fatores de integração dentro da empresa, pois incentiva a participação de todos os funcionários

para identificar e notificar qualquer anomalia em seus postos de trabalho. Dessa forma, a cultura organizacional é fortalecida para que as ações de manutenção possam ser realizadas pelos operadores, os operadores podem relatar problemas por meio de solicitações de serviço, obter *feedback* técnico sobre falhas e acompanhar as ações tomadas para resolução. Segundo (SOEIRO; OLIVIO; LUCATO, 2017), o papel do PCM é gerenciar a manutenção para garantir os requisitos de produção. Portanto, segundo (KARDEC; NASCIF, 2009), a estrutura e filiação da manutenção variam de acordo com o tipo de atividade produtiva, as características do produto ou serviço e o porte da empresa.

(VIANA, 2002), Mostra que o planejamento e controle da manutenção é uma das áreas que demonstra a saúde de uma organização. Visto que, o PCM atua na organização e melhoria da companhia e a manutenção industrial cuida diretamente da parte interna. Dessa forma, um PCM eficaz é parte fundamental para que os produtos tenham competitividade em relação a qualidade e preço.

3. Resultados e discussões

3.1. Revisão teórica

Para a construção da base teórica de revisão foram analisados 18 trabalhos dos quais 4 são livros. A partir da leitura dos livros e artigos o resultado será apresentado no desenvolvimento desse tópico. No quadro 1 é possível observar a diferença entre as análises e equipamentos cobertos especificado pelos autores.

Quadro 1 – Resumo da biografia sobre manutenção preditiva

Autor	Tipo de análise estudada	Equipamentos analisados	Equipamento de medição
KARDEC & NASCIF, 2009	Termografia Ensaio de óleos Vibração	Contatos Barramentos Temperatura da carcaça Motor Transformador Disjuntores	Termômetro de contato Termômetros Termógrafos Aparelho de teste de rigidez dielétrica Viscosímetro

			Analisador de vibração Medidor de pulso de choque
CARNEIRO, 2015	Termografia Ensaio de óleos Vibração	Subestações transformadores Motores	Câmara térmica Termômetros infravermelhos Termômetro de contato Aparelho de teste de rigidez dielétrica Viscosímetro Sensores eletromagnéticos Acelerômetros Analisadores de vibração
SALES- JÚNIOR, FREITAS E VIDAL-FILHO, 2020	Termografia Gases Dissolvidos em óleo Físico Químicos Descargas parciais Emissão acústica Vibração	Transformadores	Sensores
MARQUES E BRITO, 2019	Vibração Temperatura	Motor	Alinhadores a laser Acelerômetro Microlog GX-75 Termômetros infravermelhos

WEISS et al., 2019	Propriedades magnéticas	Motor	Sensores
--------------------	-------------------------	-------	----------

Fonte: Autoria própria

Ao analisar o Quadro 1 é possível verificar que dentre os três métodos mais citados de coleta preditiva a análise e coleta de vibração, termografia e análise de óleos conseguem abranger grande parte dos equipamentos elétricos em operação.

Dentre a análises mais usuais de preditiva é possível destacar a termografia como ferramenta mais abrangente de preditiva dentro da manutenção elétrica. A termografia pelos três autores contempla análise de componentes elétricos e eletrônicos desde contadores e contatos elétricos a grandes equipamentos como transformadores e subestações completas.

(SALES- JÚNIOR, FREITAS E VIDAL-FILHO, 2020) abordam a adição de equipamentos inteligentes a redes inteligentes. Os equipamentos inteligentes realizam coletas de tensão, corrente e temperatura, esses dados permitem o monitoramento das condições de diversos equipamentos e a programação da manutenção a partir da operação em tempo real em contrapartida a manutenção preditiva, em que a obtenção de dados ocorre durante as coletas e com periodicidade predeterminada.

No trabalho ainda são levantados os custos de operação elevados de coleta de informação e treinamento da equipe para realizar a coleta e deslocamento, como desvantagens da manutenção preditiva em relação as redes inteligentes de monitoramento.

Outro aspecto abordado na manutenção é que o estudo de análise de dados preditivos é um fenômeno que pode ser multifatorial. O artigo (MARQUES E BRITO, 2019), correlaciona a vibração e temperatura em um motor de indução trifásico, ao adicionar massas que geram desbalanceamento, tanto os aspectos de vibração quanto a temperatura durante o ensaio sofreram alterações com as adições de massa ao motor.

(LIMA, ARANHA E ERICK, 2019), aborda em específico a manutenção preditiva relacionando em equipamentos de missão crítica, que possuem o funcionamento 24 horas por dia, sete dias por semana. Esses equipamentos em específico se beneficiam das análises preditivas de forma a mapear as formas de funcionamento do equipamento, antecipando possíveis falhas e a longo prazo, determinando a vida útil do componente. O artigo aborda uma das principais dificuldades de aplicação deste tipo de manutenção que é a análise dos dados

coletados e a mão de obra qualificada para realização das análises apontando como solução a implementação de inteligências artificiais para análise dos dados.

A assertividade na execução das atividades está associada diretamente à forma que a coleta e análise dos dados foram realizadas. Ter mão-de-obra especializada ou softwares de previsão e estudo dos dados se torna essencial para o posicionamento durante as paradas planejadas e manutenção dos equipamentos, possibilitando a redução dos custos de manutenção e uma maior precisão na execução das manutenções. Além da otimização das estratégias de manutenção dentro da empresa.

Complementar à prática de manutenção preditiva, a análise preditiva também pode ser aplicada na construção de equipamentos, como abordado em (WEISS et al., 2019). No artigo a manutenção preditiva foi abordada de forma a maximizar a eficiência da construção dos motores e a detectar variações nos parâmetros magnéticos dos mesmos e acompanhar a degradação das propriedades magnéticas ao longo do tempo.

3.2. Estudo de caso

Trata-se do processo de coleta e análise preditiva, realizado no período de doze meses, dos equipamentos de uma empresa multinacional do ramo alimentício. Os dados coletados são referentes a quebra dos motores, moto redutores e moto ventiladores presentes na linha de produção da fábrica e foram levantados o tempo de indisponibilidade da linha produtiva devido as falhas nos equipamentos.

Foram levantados os dados de tempo de indisponibilidade da linha produtiva devido a falhas nos equipamentos e a quebras. Os dados coletados são referentes a doze meses de operação. O primeiro semestre abrange o período de implementação do processo de análise preditiva e o segundo semestre abrange a consolidação e tratativa dos dados coletados.

Dentre as análises preditivas realizadas na planta estão a coleta de vibração com acelerômetro, coleta de termografia com pirômetro e câmera termográfica. Os equipamentos acompanhados possuem potência de operação entre 2,5 KW e 20KW, totalizando mais de 500 motores acompanhados.

Tabela 1 – Dados de disponibilidade dos Motores.

Período	Número de trocas corretivas	Número de trocas Preditivas	Tempo de indisponibilidade dos equipamentos (h)
1° Semestre	38	36	71
2° Semestre	40	54	50,31

Fonte: Autoria própria

Os resultados permitem afirmar que durante o período analisado houve um aumento de 5,26% na troca corretiva e redução de 29% do tempo de indisponibilidade do equipamento motivado por falhas. Portanto, infere-se que a análise preditiva foi benéfica para o setor produtivo, à medida que proporcionou a redução do indicador de tempo de indisponibilidade da linha produtiva.

O número de trocas corretivas no segundo período foi 5,26% superior ao número de trocas realizadas no primeiro semestre, porém, o tempo de indisponibilidade foi menor. Desse modo, os números indicam que a estratégia preditiva foi eficiente devido à diminuição do tempo de indisponibilidade.

Ademais, o aumento do número de quebras no período reflete as oportunidades de aperfeiçoamento do processo da preditiva, tanto no que tange à abrangência dos equipamentos quanto no que tange à análise dos dados coletados. Outrossim, o número de trocas preditivas aumentou 50% do primeiro para o segundo período, refletindo assim a consolidação dessa estratégia dentro da empresa.

Dentre os fatores que podem influenciar os resultados de tempo de indisponibilidade dos equipamentos devido à quebra está a ampla variedade de potência entre os equipamentos acompanhados. Considerando-se ainda que equipamentos com maior potência possuam tempo de troca proporcionalmente maior que os de menor potência, afetando o indicador caso as falhas ocorram em maior número em motores menores. Além do mais, a disponibilidade de equipamento reserva para a troca e alocação de estoque são outros pontos que tornam o tempo de troca dos componentes variado e individual, já que se houver estoque do componente, o tempo de troca será reduzido.

4. Conclusão

O resultado do presente estudo apresentou uma visão sobre a manutenção preditiva em seu estado fim da arte, com base em referências bibliográficas e artigos direcionados para a manutenção, em específico a preditiva, identificando as análises realizadas dentro da indústria, os equipamentos coletados e as ferramentas que são utilizadas para a coleta de dados.

A adoção de sistemas de manutenção dentro dos setores industriais e de energia é uma prática que busca garantir o funcionamento dos equipamentos, ou seja, o processo de análise preditiva permite o monitoramento dos equipamentos, por meio da coleta e estudo dos dados. Assim, identificando oportunidades de melhoria e disponibilidade dos equipamentos no processo de produção, direcionando a

priorização de equipamentos e otimização das estratégias de manutenção, de forma, a complementar aos outros métodos de manutenção, apresentando aspectos que dentro da área de energia que contribuem para aumento da confiabilidade e estabilidade nos equipamentos elétricos e dentro dos sistemas de potência.

A manutenção preditiva se mostra como uma das bases da estratégia de manutenção 4.0 e gerenciamento. Logo, ao realizar a coleta de dados e análise torna a planta industrial uma planta inteligente facilitando o gerenciamento e a tomada de decisões por gestores. Por outro lado, a manutenção preditiva ainda possui um custo elevado de implementação e custo operacional. Contudo, a necessidade de treinamentos em segurança, coleta e análise de dados, softwares e deslocamento tornam a implementação da manutenção preditiva ainda tendo menor percentual de participação no cenário brasileiro.

Adicionalmente, outra vantagem da manutenção preditiva é a oportunidade de realizar intervenções pontuais nos equipamentos com o mínimo de tempo de máquina parada possível, programando atividades para gerar o menor impacto admissível. Dessa forma, abrangendo equipamentos de missão crítica e de maior impacto econômico em uma produção com análises individualizada e precisa, sobressaindo assim as formas de manutenção preventiva e corretiva.

Referências Bibliográficas

ABREU, T. R. de. Principais conceitos na implantação da sistemática de manutenção nas indústrias. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 1, p. e23911124652–e23911124652, 2022.

BRISTOT, V. M. Estudo para implementação de sistema de gestão de manutenção em indústrias de conformação de revestimentos cerâmicos. 2012.

CARNEIRO, A. D. A. Estudo de técnicas de manutenção preditiva em transformadores de potência e motores de indução trifásicos. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais-CEFET. Belo Horizonte, jul. de 2015.

CARVALHO, A. M. et al. Implantação de sistema informatizado para planejamento e controle da manutenção–empresa vileflex. Universidade Vale do Rio Doce (UNIVALE) e Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas (FAENG). Governador Valadares–MG, 2009.

HANNES, A. W.; LEUNING, N.; HAMEYER, K.; HOFFMANN, H; VOLK, W. Manufacturing efficient electrical motors with a predictive maintenance approach. CIRP Annals, Germany, v.68, n. 1, p.253-256, 2019.

HERPICH, C.; FOGLIATTO, F. S. Aplicação de fmea para definição de estratégias de manutenção em um sistema de controle e instrumentação de turbogeradores. Semana de Engenharia de Produção Sul Americana (13.: 2013 jun. 9-11: Gramado, RS). Anais. [recurso eletrônico]. Porto Alegre: FEENG, 2013.

KARDEC, A.; NASCIF, J. Manutenção-função estratégica. [S.l.]: Qualitymark Editora Ltda, 2009.

LIMA, André Luis da Cunha Dantas; Aranha, Vítor Moraes; Nascimento, Erick Giovani Sperandio; Manutenção preditiva aplicada a ambientes de missão crítica de supercomputação utilizando inteligência artificial: uma revisão sistemática de literatura, p. 657-664. In: Anais do V Simpósio Internacional de Inovação e Tecnologia. São Paulo: Blucher, 2019.

MARQUES, A. C.; BRITO, J. N. Importância da manutenção preditiva para diminuir o custo em manutenção e aumentar a vida útil dos equipamentos / Importance of predictive maintenance to reduce maintenance costs and increase equipment life. Brazilian Journal of Development, [S. l.], v. 5, n. 7, p. 8913–8923, 2019. DOI: 10.34117/bjdv5n7-095.

MECÂNICA APLICADA. ANÁLISE DE VIBRAÇÕES. Disponível em: <<https://mecanicaplicad.blogspot.com/2018/08/analise-de-vibracao.html>>. Acesso em: 24 jun. de 2023.

MÉDIA VOLTAGEM. Disponível em:

<<https://www.mediavoltagem.com.br/galeria.10#images-7>>. Acesso em: 24 jun. de

2023.

MONCHY, F. A função manutenção: Formação para a gerência da manutenção industrial. São Paulo: Editora Durban Ltda, p. 3, 1989.

NBR 5462: 1994. Confiabilidade e Mantenabilidade. Rio de Janeiro: ABNT, 1994. Associação Brasileira de Normas e Técnicas.

NEPOMUCENO, L. X. Técnicas de manutenção preditiva-vol. 1. [S.I.]: Editora Blucher, 2014. v. 1.

OLIVEIRA, M. Análise de métodos estatísticos em planejamento e controle de manutenção. Rio de Janeiro: UFRJ, 2014.

PINTO, A. K.; XAVIER, J. A. N. Manutenção: função estratégica. [S.I.]: Qualitymark, 2009.

REIS, Jelber Muniz dos. Gestão estratégica de manutenção aplicada a sistemas elétricos de potência. 2018. 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

SALERMO, L. S. Aplicação de ferramentas da mentalidade enxuta e da manutenção autônoma aos serviços de manutenção dos sistemas prediais de água. Application of lean thinking tools and autonomous maintenance in maintenance services of water building systems. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Dissertação de Mestrado, 2005.

SALES-JÚNIOR, R. A.; FREITAS, J.R.D; VIDAL-FILHO, J.B. IoT no Monitoramento de Transformadores de Distribuição de Energia Elétrica: uma revisão sistemática. Anais do I Encontro de Computação do Oeste Potiguar-ECOP, Tabuleiro do Norte, out./2020.

SHERWIN, D. A review of overall models for maintenance management. Journal of quality in maintenance engineering, MCB UP Ltd, 2000.

VIB MASTER. Disponível em: < <https://www.vibmaster.com.br/termografia-para-inspecoes-eletricas-conheca-os-beneficios/>>. Acesso em: 24 jun. de 2023.