



UNIRB - CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ALAGOINHAS
BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

JOÃO GILBERTO REIS DOS SANTOS

**A UTILIZAÇÃO DE SENSORES DE MONITORAMENTO *ONLINE* COMO
ESTRATÉGIA DE MANUTENÇÃO PREDITIVA DE MOTORES DE INDUÇÃO**

Alagoinhas

2021

JOÃO GILBERTO REIS DOS SANTOS

**A UTILIZAÇÃO DE SENSORES DE MONITORAMENTO ONLINE COMO
ESTRATÉGIA DE MANUTENÇÃO PREDITIVA DE MOTORES DE INDUÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Mecânica da
UNIRB-Centro Universitário de Alagoinhas.

Orientadora: Profa^a. Ma Suzane
Macêdo Araújo

Alagoinhas

2021

BIBLIOTECA ZUZA PEREIRA/FACULDADE REGIONAL DE ALAGOINHAS-UNIRB

SANTOS, João Gilberto Reis dos

A utilização de sensores de monitoramento online como estratégia de manutenção preditiva de motores de indução / João Gilberto Reis dos Santos. – Alagoinhas, 2021.

47f.

Monografia (Graduação) Curso de Bacharel em Engenharia Mecânica – Faculdade Regional de Alagoinhas – UNIRB

Orientadora: Profa^a. Ma Suzane Macêdo Araújo.

1. Indústria 4.0. 2. Manutenção Preditiva. 3. Motores de indução. 4. Sensores de monitoramento.

CDD.: 621

JOÃO GILBERTO REIS DOS SANTOS

**A UTILIZAÇÃO DE SENSORES DE MONITORAMENTO *ONLINE* COMO
ESTRATÉGIA DE MANUTENÇÃO PREDITIVA DE MOTORES DE INDUÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso, aprovado como requisito para obtenção de título de Bacharel em Engenharia Mecânica da UNIRB - Centro Universitário de Alagoinhas.

Data de Aprovação

___/___/___

Banca Examinadora:

Profa^a. Ma Suzane Macêdo Araújo (Orientadora)
UNIRB-Centro Universitário Alagoinhas

Esp. Osny Dantas de Oliveira Silva
Avaliador 1

Esp. Elmo dos Santos Ferreira
Avaliador 2

RESUMO

Com o intuito de aumentar a produtividade e reduzir custos com a produção, as empresas estão tentando se enquadrar as novas tendências de transformação digital, amadurecendo processos voltados a indústria 4.0. Dentro desse conceito, a utilização de novas ferramentas de inovação para a área de manutenção pode causar um impacto muito positivo, garantindo assim o funcionamento de equipamentos imprescindíveis como os motores de indução que são amplamente utilizados em diversos seguimentos na indústria, exercendo funções indispensáveis para o processo produtivo. Dada sua relevância, a falha funcional de um motor pode causar perdas econômicas bastante relevantes, fazendo com que cada vez mais as empresas busquem novos métodos para garantir as condições de funcionamento pleno deste ativo. Diante desse cenário, esse trabalho tem como principal objetivo, abordar as possibilidades de utilização de sensores de monitoramento *online* como estratégia de manutenção preditiva de motores de indução, através de uma pesquisa bibliográfica onde foram discutidos os resultados de diversos autores que aplicaram metodologias variadas. Os resultados obtidos com base na metodologia, apontam diversas aplicações de sensores que são capazes de monitorar as variáveis de motores elétricos de forma remota, possibilitando análises que podem determinar estratégias de intervenção no equipamento.

Palavras chave: Indústria 4.0. Manutenção preditiva. Motores de indução. Sensores de monitoramento.

ABSTRACT

As an intuition to increase a product and reduce production costs, companies are trying to fit in with new trends in digital transformation, maturing processes aimed at industry 4.0. Within this concept, the use of new innovation tools for the maintenance area can have a very positive impact, thus keeping the function of essential equipment such as induction motors that are used in various segments in the industry, an essential production process. Given its relevance, an engine failure can cause a conscious reduction, making companies increasingly look for new methods to guarantee the conditions for the full functioning of this asset. Given this scenario, the main objective of the work is to approach the possibilities of using online monitoring sensors as an extrategy of predictive maintenance of induction motors, through a search of bibliographic waves, the results of several authors that applyamare were discussed. The results obtained based on the methodology, point to several applications of sensors that are capable of remotely monitoring the variables of electric motors, allowing analyzes that can determine extra-tegies for intervention in the equipment.

Keywords: Industry 4.0. Predictive maintenance. Induction motors. Monitoring sensors.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CSV	<i>Comma Separated Values</i> - Valores Separados por Vírgulas
ERPI	Instituto de Pesquisa de Energia Elétrica
GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i>
IEEE-IAS	Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos – Sociedade de

Aplicações industriais

IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
IOT	<i>Internet Of Things</i>
LCD	<i>Liquid Cristal Display</i>
MITF	Motor de Indução Trifásico
NBR	Norma Brasileira
KW	Quilowatts
SCIELO	<i>Scientific Electronic Library Online</i>
3D	Três Dimensões

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Os Quatro Tipos de Indústria.....	16
Figura 2 - Fluxograma do processo de manutenção preditiva de motores.....	21
Figura 3 - Vista explodida do MITF com rotor em gaiola de esquilo.....	23
Figura 4 - Categorias de falhas em motores de indução.....	24
Figura 5 - Motor excêntrico	25
Figura 6 - Rolamento (A) de rolos cilíndricos e (B) de esferas	26
Figura 7 - Rotor com uma barra danificada.....;	27
Figura 8 - Rotor com duas barra danificada.....	27
Figura 9 - Tipos de falhas no enrolamento do estator.....	28
Figura 10 – Dados do motor no app WEG MOTOR SCAN.....	32
Figura 11 – Diagnóstico do motor no app WEG MOTOR SCAN.....	34
Figura 12 - Painel de informações do motor na interface web.....	34
Figura 13 - Protótipo de coleta de dados instalado no motor.....	35
Figura 14 – Sensor WEG acoplado Motor.....	35
Figura 15 - Dados de temperatura coletados.....	36
Figura 16 - Dados de vibração nos 3 eixos do motor, com base no tempo.....	40
Figura 17 - Dados visualizados no mobile.....	41
Figura 18 - Variação de temperatura do motor.....	42
Figura 19- Vibrações axiais, horizontais e verticais com base no tempo.....	45

LISTA DE QUADRO E TABELAS

Quadro 1 – Documentos selecionados conforme critérios.....	31
Tabela 1 – Dados de frequência de falha nos motores elétricos de indução.....	28
Tabela 2 – Distribuição de falhas por componente levando em conta aplicação.....	29
Tabela 3 – Dados coletados de temperatura em relação ao estado.....	37
Tabela 4 - Valores de precisão dos dados com base na condição do motor.....	38
Tabela 5 - Dados dos testes.....	39

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	OBJETIVOS	12
1.1.1	Objetivos gerais	12
1.1.2	Objetivos específicos	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1	HISTÓRICO DA MANUTENÇÃO NA INDÚSTRIA	13
2.2	CONCEITOS E TIPOS DE MANUTENÇÃO	15
2.2.1	Manutenção corretiva	15
2.2.2	Manutenção preventiva	16
2.2.3	Manutenção preditiva	16
2.3	INDÚSTRIA 4.0	17
2.4	SENSORES DE MONITORAMENTO ONLINE	19
2.5	MOTORES DE INDUÇÃO E SUAS FALHAS	22
2.5.1	Classificação de falhas	22
2.5.2	Falhas mais ocorrentes	28
3	METODOLOGIA	29
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	31
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
	REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

Para permanecerem em um alto nível de competitividade no mercado, as empresas vêm buscando cada vez mais de desenvolvimento. Com isso, a procura por transformações tornaram-se imprescindíveis, essas que vão desde o aumento de ativos físicos e aquisição de sistemas de equipamentos mais complexos até uma solicitação mais exigente dos clientes (HUERTA, et.al, 2018). O fato de estarem enquadradas como indústria 4.0 é um grande fator competitivo, fazendo com que haja uma busca pela melhora na produtividade e eficiência na fabricação industrial, abrangendo os últimos avanços tecnológicos da informação e comunicação (BAENA, et.al, 2017).

A indústria 4.0, refere-se à transformação vivida no meio industrial na última década e pode ser definido como a integração e digitalização das máquinas, produtos e processos, realização de diagnósticos com base em informações adquiridas em tempo real durante a operação de máquinas, é agenda para indústria de todos os setores (BALOGH,2018).

Devido a seu relativo baixo custo e simplicidade, os motores elétricos são amplamente utilizados na indústria e no comércio, consumindo aproximadamente 68% da eletricidade do setor industrial em todo o mundo. Além disso, 46% do consumo de energia global, advém de sistemas de motores elétricos e confiabilidade e eficiência de funcionamento desses motores, são parâmetros importantes para otimizar seu consumo energético industrial, bem como os custos de produção (WAIDE; BRUNNER, 2011). Uma das principais forças motrizes nos ambientes produtivos, são os motores elétricos aplicados na indústria, incluindo máquinas robustas utilizadas inclusive em atividades perigosas e ambientes severos. Em geral, os motores são aplicados em bombas de sucção e de elevação de pressão, equipamentos centrífugos, prensas, elevadores, máquinas-ferramentas, transportadores horizontais e verticais, entre outras aplicações (LAMIN FILHO, et.al 2014).

Ao se tratar de manutenção de motores elétricos, deve-se levar em consideração fatores externos como responsáveis por causar possíveis falhas, de além questões como sobrecorrente, desbalanceamento, desalinhamento, super aquecimento entre outros motivos que influenciam no processo produtivo e na vida

útil do equipamento. Capelli (2013), afirma que toda empresa necessita de um sistema de monitoramento contínuo para se obter maior controle do processo, tornando-se mais competitiva com o desenvolvimento dos os “três pilares” de processo: qualidade, redução de custo operacional e melhor desempenho de produção.

Diante de um cenário competitivo no meio industrial e da vasta aplicação de motores elétricos nesse ambiente, quais possibilidades a utilização dos sensores de monitoramento online, podem proporcionar a?

O presente trabalho torna-se relevante em razão da busca de redução de custos e aumento da confiabilidade dos equipamentos no cenário industrial, onde uma estratégia de manutenção bem definida significa a antecipação de falhas e conseqüentemente a disponibilidade de máquinas, gerando impactos positivos para empresa. Com isso, a estratégia de monitorar em tempo real as variáveis de motores elétricos que podem predizer falhas, é uma opção bastante relevante, visto que motores de indução são amplamente aplicados na indústria.

1.1 OBJETIVO

1.1.1 Objetivo geral

Abordar as possibilidades da utilização de sensores de monitoramento *online*, aplicada como estratégia de manutenção preditiva.

1.1.2 Objetivos específicos

- Comprovar o funcionamento de sensores que monitoram em tempo real, variáveis de motores de indução;
- Comparar diferentes metodologias e aplicações de sensores de monitoramento online de motores de indução;
- Identificar os resultados objetivos através de dados coletados a partir de sensores de monitoramento online de motores de indução.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 HISTÓRICO DA MANUTENÇÃO NA INDÚSTRIA

A manutenção está presente desde os primeiros primórdios da humanidade, nas situações que sentiam a necessidade por exemplo, de realizar trocas ou consertos nas suas armas de caça. Com a evolução tecnológica, as estratégias de manutenção foram sendo modificadas ao passar dos anos, iniciando sua primeira geração antes da segunda guerra mundial numa indústria pouco mecanizada onde praticamente não havia planejamento nas atividades de manutenção (SILVA, 2018). Na primeira revolução industrial, a manutenção, teve como característica uma forma improvisada e desorganizada onde só existia a manutenção conhecida como “quebra-repara”, e durou até princípios do século XX (BARBOZA, 2018).

A segunda revolução industrial, teve marcos bastante relevantes para o processo de evolução produtivo, onde houve a descoberta da eletricidade, o surgimento e modernização dos meios de transporte, a conversão de ferro em aço, o fortalecimento das comunicações, o crescimento da indústria química e de outros setores, em que se destacou a busca de maiores lucros por meio de especialização de mão de obra e ampliação da produção (SILVA; GASPARI, 2013).

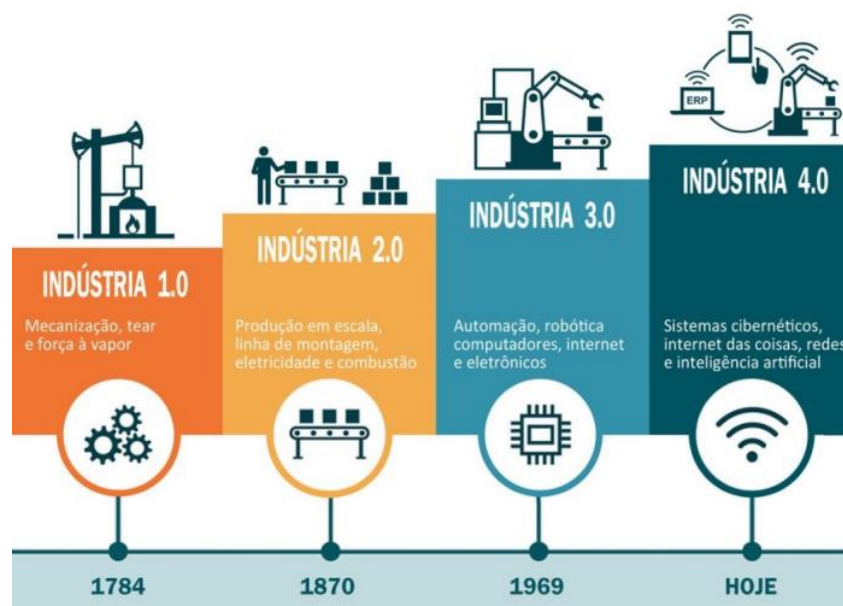
Em 1914, iniciou-se um novo sistema de manufatura: O fordismo, termo criado por Henry Ford em 1914, que tinha como foco a produção em massa por meio de inovações técnicas, que também estimulava o consumo em massa (BOETTCHER, 2015). Iniciou-se processos com maquinários mais complexos onde o foco da manutenção, era amenizar as consequências causadas pelas falhas (SILVA, 2018). Houve a necessidade da criação de grupos técnicos especialistas em manutenção, para que os reparos tivessem maior qualidade e velocidade (BARBOZA, 2018).

Ainda na Segunda Revolução industrial, a manutenção evoluiu para a manutenção preventiva insipiente não sistemática, entre 1920 e 1930, onde eram realizados reaperto e algumas lubrificações periódicas. No período de 1930 à 1950, surgiram as demandas da Segunda Guerra Mundial, e as indústrias sentiram a necessidade de não apenas sanar as falhas das máquinas, mas também retardá-las ou evita-las, e desse modo surgiu uma manutenção preventiva sistemática buscando a falha zero, com procedimentos formais e tempo entre atuações, definido (BARBOZA, 2018).

Inovações nas áreas da robótica, informática, telecomunicações, transporte, biotecnologia, química fina e nanotecnologia, marcaram a 3ª Revolução Industrial (SAKURAI; ZUCHI, 2018). A manutenção é caracterizada pela alta exigência, visando a manutenção centrada na confiabilidade, estratégia desenvolvida na aeronáutica em 1965, e se espalhou pelas áreas nucleares, militar e de geração elétrica (BARBOZA, 2018).

Atualmente, nos encontramos meio a quarta geração tecnológica, em uma era digital conhecida como indústria 4.0. Há uma interação de vários sistemas interligados, agregando sensores, máquinas e softwares, conhecidos também por *cyberphysical systems*, que utilizam protocolos standards da internet e analisam dados para prevenção de anomalias, moldando-se a diversas mudanças (SILVA, 2016). A figura 01, mostra a linha do tempo da evolução industrial.

Figura 1. Os quatro tipos de indústria.



Fonte: RIGHETTO (2020)

O desenvolvimento progressivo nas tecnologias em automação, robótica, computação e eletrônicos trazidos na indústria 3.0 a partir de 1969, possibilitou o avanço dos conceitos visto na indústria 4.0 através da ampliação dos sistemas cibernéticos que conecta organizações, processos produtivos, máquinas, pessoas, objetos e logística. Esses avanços criaram as bases para a evolução da Internet das

coisas(IOT), redes neurais, inteligência artificial e aprendizado de máquinas, visto na nova geração das plantas fabris.

2.2 CONCEITO E TIPOS DE MANUTENÇÃO

O conceito de manutenção é atribuído ao conjunto de atividades e recursos associados aos sistemas e equipamentos de uma determinada instalação, visando o aumento da sua vida útil, garantindo suas funções dentro dos parâmetros estabelecidos, como o de disponibilidade, qualidade, prazo, e de custos (FLORIAN, 2019).

A Norma Brasileira (NBR), NBR 5462 define manutenção como:

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,1994, p. 6).

Os tipos de manutenção mais utilizados dentro da indústria são as manutenções corretivas, preventivas e preditivas (SILVA et al. 2015).

2.2.1 MANUTENÇÃO CORRETIVA

Considerando que um equipamento parado devido a uma falha pode comprometer toda a produção de uma planta industrial, a manutenção corretiva é a primeira ação a ser tomada para reestabelecer a normalidade, sendo uma técnica reativa e o método mais caro por ter como consequência a necessidade de altos custos de estoque de peças sobressalentes, alto custo de trabalho extra e lucros cessantes (PEREIRA, 2011).

A manutenção corretiva tem por objetivo, restaurar a condição padrão de um item ao executar a sua função determinada, e é utilizada após a ocorrência da falha. Não necessariamente, é uma manutenção a ser realizada de forma emergencial, e pode ser aplicada em uma máquina, equipamento ou instrumento que esteja com sua atividade comprometida por algum tipo de avaria (SILVA, 2018).

Segundo Stefanini (2011), fatores como foco na qualificação do pessoal, treinamentos e uma gestão eficaz das peças de reposição, garante a redução do tempo de diagnóstico e correção de uma falha, fazendo com que o ativo retorne a seu estado

funcional o mais rápido possível, assegurando a otimização de todos os recursos necessários.

2.2.2 MANUTENÇÃO PREVENTIVA

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 (ABNT, 1994).

Tem por objetivo diminuir ou zera a probabilidade de falhas de equipamentos, através de manutenções como limpezas, inspeções, lubrificações e trocas de componentes, em períodos de tempos definidos (SILVA, 2018).

Mesmo com a atuação antes da ocorrência da falha, a manutenção preventiva pode gerar indisponibilidade no processo, devido as paradas para correção, necessitando de uma análise estratégica de alguns fatores como a combinação da periodicidade de todos os equipamentos, o conhecimento da vida útil dos componentes a serem substituídos e o dimensionamento de mão de obra técnica nas manutenções (CORRÊA, 2016).

2.2.3 MANUTENÇÃO PREDITIVA

Também conhecida como manutenção baseada na condição, a manutenção preditiva, torna o processo mais preciso e acessível, pois tem a capacidade de detectar as falhas potenciais previamente, utilizando recursos baseados em métodos estatísticos, práticas de engenharia e históricos, reduzindo as ocorrências de manutenções corretivas (BEHRENS et al 2016).

Entre as principais vantagens da utilização da manutenção preditiva, podemos citar (SILVA, 2018):

- A redução das paradas imprevistas nos equipamentos, aumentando a sua disponibilidade;
- A redução dos acidentes, devido a confiabilidade operacional dos ativos;
- A redução dos custos devido a paradas inesperadas;

- A assertiva previsão dos prazos de parada, por ciência do problema a ser corrigido;
- A redução de problemas em componentes secundários, pelas falhas causadas do equipamento em operação.

Algumas técnicas de monitoramento preditiva, ou seja, baseadas em condições, incluem (ARAUJO, 2018):

- Ultrassom;
- Vibração;
- Fenômenos de viscosidade (líquidos penetrantes);
- Emissão Acústica;
- Ferrografia;
- Análise rápida de óleo;
- Inspeção Sensorial;
- Ensaio Físicos de químicos;
- Insolúveis e sedimento;
- Espectrografia de emissão;
- Análise Infravermelho;
- Índice de Neutralização;
- Contagem de Partículas;
- Outras técnicas de análise não-destrutivas.

2.3 INDÚSTRIA 4.0

Velocidade e inteligência a partir da associação do físico, virtual e biológico é o que propõe a indústria 4.0. Em resumo, é a total mudança no planejamento e execução da parte operacional corporativas, trazendo novos desafios nas organizações das equipes, evolução dos produtos e visões gerais do mercado.

Para o efetivo funcionamento dos objetivos da indústria 4.0, a tecnologia é indispensável nesse novo modelo de manufatura, tendo seu sucesso atribuído a utilização dos seguintes pilares (MAURA, 2020):

- *Big Data* e análises: Análises realizadas através com base em um grande volume de informações adquiridas por diferentes fontes.
- Robôs autônomos: Capazes de absorver novos conhecimentos através da interação com humanos e outros robôs.
- Simulação: Utilização com maior proporção das tecnologias das simulações em 3D, permitindo a tomada de decisão com base nas informações previamente obtidas pelos testes.
- Internet das coisas (*Internet of things* – IOT) : Sistemas atrelados entre si, utilizando tecnologias standard, permitindo a interação de vários aparelhos de forma centralizada.
- Segurança da informação: Sistemas industriais com maior proteção das informações, para controlar as possíveis ameaças, devido ao aumento da conectividade de comunicação.
- Cloud: Softwares com dados compartilhados e acessíveis para mais de uma pessoa.
- Manufatura aditiva: métodos de produção como a impressão 3D. Em pequenos volumes, reduz por exemplo a velocidade da obtenção de um produto que seria adquirido de outra empresa.
- Realidade Aumentada: Oferece diversas possibilidades dentro do ambiente industrial, como a interação a distância, com envio e recebimento de informações visuais em tempo real (SILVA, 2016).

2.4 SENSORES DE MONITORAMENTO *ONLINE*

A produção inteligente, requer um alto grau de autonomia das máquinas e nível de comunicação entre o sistema de produção, onde podem ser utilizadas tecnologias como serviços de nuvem de big data e Internet das coisas. Algo importante a se observar ao utilizar sensores inteligentes, é o campo onde eles serão inseridos, que deve ser escolhido, levando em consideração a viabilidade econômica e técnica (ANDREY, 2018).

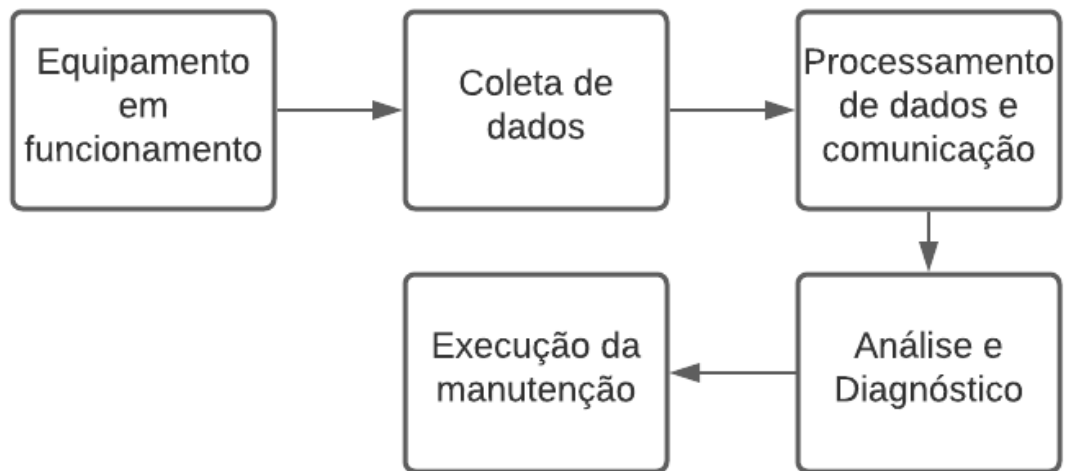
Uma das possibilidades da indústria 4.0, é realizar o monitoramento online em tempo real, através de um conjunto de sensores inteligentes formado por uma rede direcionada a acompanhar parâmetros de informações como vibração, temperatura, deformação, pressão, entre outros (ANDREY, 2018). A conexão entre todos os sistemas exige desempenho em tempo real, com parâmetros de controles definidos, e tolerâncias a falhas de comunicação (RAMAMURTHY, 2007).

A utilização dos sensores de monitoramento online, desperta o interesse industrial, devido a redução de custos, melhor gerenciamento de mão de obra e energia, e facilidade de implementação em áreas de difícil alcance (RAMAMURTHY, 2007).

O sistema é composto basicamente por dois principais componentes – uma interface de hardware do sensor sem fio, e um sistema de interação entre sensores/atuadores com base nas necessidades do processo. A necessidade de comunicação “coisa – processo – ambiente – humano”, acontece através da rede IoT, que recebe e envia informações pela comunicação multilateral, entregando coleta remota de dados, monitoramento de processos de fabricação, agendamento de decisões e diagnósticos remoto de falhas (GAO, 2012).

O processo aplicado a manutenção preditiva de motores elétricos, acontecem conforme a figura 2. (PESSATTI, 2020):

Figura 2. Fluxograma do processo de manutenção preditiva de motores.



Fonte: PESSATTI (2020)

A princípio, deve haver uma medição de parâmetros de interesse, aplicada a um determinado equipamento. É imprescindível que exista uma aferição satisfatória dos sensores utilizados, para que se tenha uma correta conclusão sobre o estado de operação do motor, e que também seja uma instalação pouco invasiva, levando em consideração o tempo e a desmontagem do motor para instalação dos sensores, oferecendo risco ao mesmo. Além disso, a resolução dos sensores deve atender aos requisitos para leituras apropriadas das condições de operação.

No caso do monitoramento preditivo de vibração, a maioria dos acelerômetros comerciais, funcionam a partir do efeito piezoelétrico, onde uma tensão elétrica surge em cristais no encapsulamento ao ocorrer um esforço mecânico (MEDIÇÃO DE VIBRAÇÃO COM ACELERÔMETROS, 2020).

A próxima etapa se resume no processamento de dados e comunicação, onde através do sensoriamento online, a equipe de monitoramento pode acompanhar os parâmetros a serem avaliados, sem necessariamente estar próximo ao equipamento, reduzindo o tempo da coleta dos dados. Existem módulos de comunicação sem fio integrados aos sensores que são instalados nas máquinas, permitindo assim o diagnóstico a distância, conceito que também reduz a quantidade de cabos instalados em volta das máquinas (NAKAZAWA, 2013).

Wi-Fi, Bluetooth e Zigbee são exemplos de protocolos de comunicação, utilizados na integração dos sensores. Para uma grande quantidade de dados (acima de 200000 bytes), o WIFI é a opção mais econômica em termo de consumo de energia. Já o Zigbee, se destaca ao ser utilizado para baixa quantidade de dados (até 500 bytes aproximadamente). Quando falamos de largura de faixa, o Bluetooth apresenta-se como a melhor opção, devido a compatibilidade com os dados típicos de um sistema de monitoramento de máquinas (SHAHZAD, 2014). Para o contexto de fábricas que se estendem por vários metros, uma das soluções apresentadas pela WEG, é a utilização de gateways, que tem o papel de coletar os dados transmitidos pelos sensores, e armazena-los em nuvem (WEG, 2019).

O quarto passo, é analisar e diagnosticar os dados processados. Nos casos de análises de vibrações, por exemplo, normalmente os fabricantes fornecem as especificações técnicas com padrões de falhas do componente. É importante, que se considere todas as variáveis das condições de operação do equipamento, para se ter uma coleta e diagnósticos precisos para possíveis falhas. As técnicas de diagnósticos originam-se, em sua maioria, do acervo científico produzido através de muitos estudos e especializações dos profissionais. Com o rápido processamento e armazenamento de dados em nuvem, diagnósticos podem ser realizados de forma bastante acelerada e de longa distância, podendo ainda ser efetuado através de algoritmos e inteligência artificial treinados para identificar falhas nos componentes (PESSATI, 2020).

Com base na análise e diagnóstico dos dados obtidos, é o momento de decidir a atuação direta da manutenção sob o equipamento monitorado (PESSATI, 2020).

2.5 MOTORES DE INDUÇÃO E SUAS FALHAS

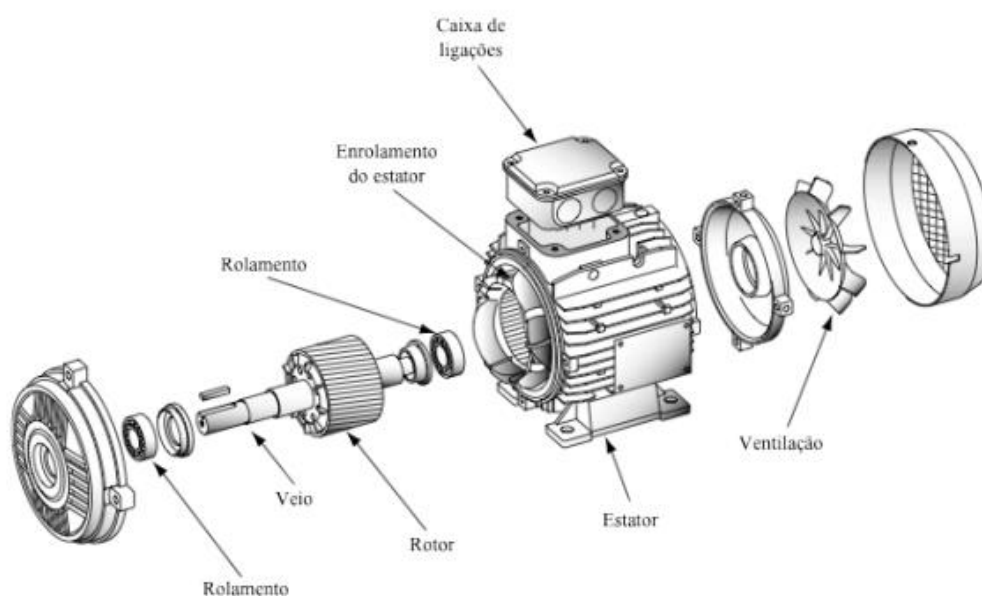
Devido a seu relativo baixo custo e simplicidade, os motores elétricos são amplamente utilizados na indústria e no comércio, consumindo aproximadamente 68% da eletricidade do setor industrial em todo o mundo. Além disso, 46% do consumo de energia global, advém de sistemas de motores elétricos e confiabilidade e eficiência de funcionamento desses motores, são parâmetros importantes para otimizar seu consumo energético industrial, bem como os custos de produção (WAIDE, 2011). As forças motrizes principais nos ambientes produtivos, são os motores elétricos aplicados na indústria, incluindo máquinas robustas utilizadas inclusive em atividades perigosas e ambientes severos. Em geral, os motores são

aplicados em bombas de sucção e de elevação de pressão, equipamentos centrífugos, prensas, elevadores, máquinas-ferramentas, transportadores horizontais e verticais, entre outras aplicações (LAMIM FILHO, 2014).

A evolução dos motores elétricos ao longo do tempo, baseou-se principalmente na sua forma construtiva, mantendo o mesmo princípio de funcionamento. 66 kg/Kw, era a relação peso/potência de um motor trifásico em 1891, enquanto em 1984 essa relação caiu para apenas 6,8 kg/KW (BARROS, 2010).

O motor de indução trifásico é composto por duas partes principais, uma estacionária e outra rotativa, que são separadas por um entreferro. A figura 3, mostra uma vista explodida com todos os componentes de um motor de indução trifásico.

Figura 3. Vista explodida do MITF com rotor em gaiola de esquilo



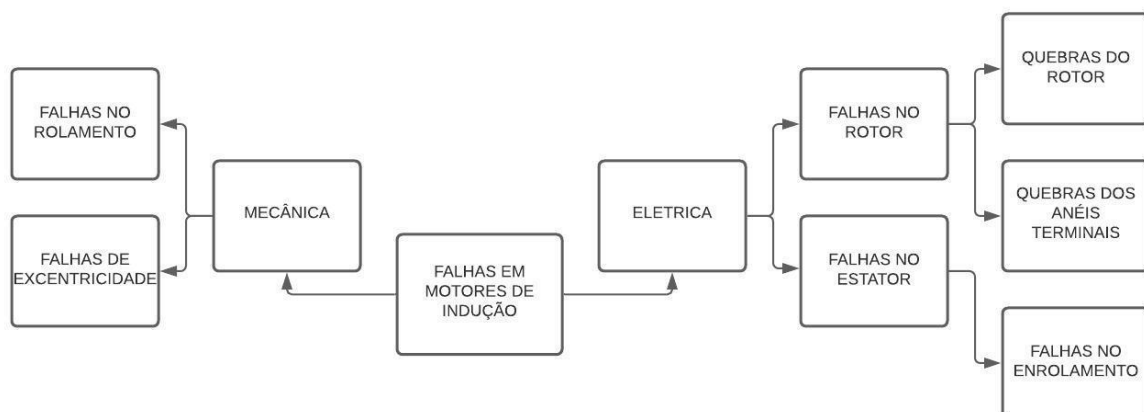
Fonte: SCHNEIDER ELECTRIC (2004)

Assim como outras máquinas rotativas, os motores elétricos podem apresentar falhas, desgaste e envelhecimento, e caso não uma ação durante o qual as condições ambientais e operacionais se degradam, um motor irá eventualmente falhar (LOISELLE, 2015). Devido a seu uso generalizado, alguns autores consideram motores de indução como os “burros de carga” da indústria, tornando-se bastante relevante nas indústrias a utilização de manutenções preditivas nos mesmos (PICARO-RÓDENAS, 2013).

2.5.1 CLASSIFICAÇÃO DAS FALHAS

Para melhor compreender a relação entre a causa e efeito das falhas em motores elétricos, existem diversas formas de abordar como as mesmas podem ser classificadas. A integração da abordagem seguindo as origens das falhas e orientada aos componentes onde ocorrem os problemas, permite identificar diferentes causas de sintomas mensuráveis e avaliar seus efeitos nos diferentes subsistemas do motor (BAZURTO,2016). A figura 4 mostra um exemplo de como podem ser classificadas as falhas.

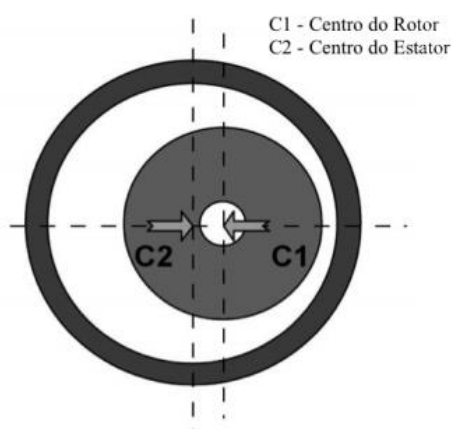
Figura 4. Categorias de falhas em motores de indução.



Fonte: YEAH et al. (2007)

Dentro da categoria das falhas mecânicas, a falha de excentricidade acontece quando o centro de gravidade do rotor está desalinhado com o centro de gravidade do estator. A figura 5 torna mais fenômeno mais claro, indicando a distância entre o centro do rotor no ponto C1 e o centro do estator no ponto C2 onde exista uma excentricidade dentro de uma tolerância pré-estabelecida, o ponto C1, coincide com o ponto C2, e as principais causas são Sistemas trifásicos desalinhados, veio do motor curvado, rolamentos danificados e erro de montagem ou fabricação. Fabricantes estimam um número entre 5% a 10% de tolerância para excentricidade para motores (NANDI, 2011).

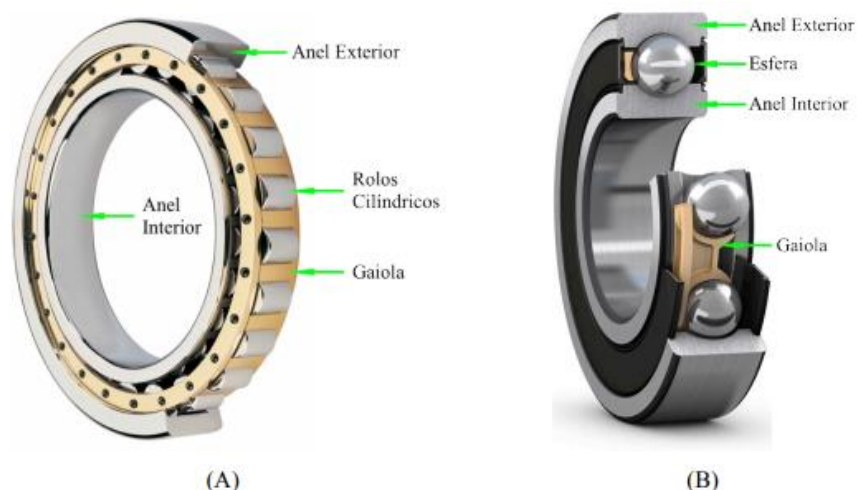
Figura 5 – Motor excêntrico.



Fonte: ÁGUAS (2013)

Já as falhas em rolamentos acontecem, geralmente, por deficiência na lubrificação, excesso de carga aplicada e montagens incorretas (ÁGUAS, 2013). São componentes compostos por anéis internos e externos que aloca esferas ou rolos cilíndricos dentro de uma gaiola que é lubrificada, permitindo a rotação no interior da mesma.

Figura 6. Rolamento (A) de rolos cilíndricos e (B) de esferas



Fonte: ÁGUAS (2013)

Em geral, as falhas elétricas podem ser detectadas em 2 componentes principais: O rotor e o estator. Há dois tipos de rotor para motores elétricos de indução,

o rotor gaiola de esquilo que é construído por barras condutoras inseridas em série e acopladas em ranhuras na superfície do rotor, sendo postas em curto-circuito em suas extremidades pelos anéis. O outro tipo de rotor é o rotor bobinado, possuindo um conjunto enrolado de cobre acoplado semelhante ao estator, que é posto em curto-circuito por meio de escovas (CHAPMAN, 2013).

Segundo Alves (2017), as barras do rotor tipo gaiola de esquilo, podem apresentar quebra, devido a uma série de esforços que o motor pode ser submetido. São eles:

- Esforços térmicos: Causados por sobrecargas e desbalanceamento térmico;
- Esforços magnéticos: Causados por vibrações forças e ruídos eletromagnéticos, desequilíbrio da tração magnética;
- Esforço dinâmicos: tensões cíclicas e dinâmicas, forças centrífugas, resultantes do torque de eixo;
- Esforços ambientais: Contaminações;
- Esforços mecânicos: lâminas soltas, falhas no rolamento, partes fadigadas.

Apesar de conseguir continuar operando, um rotor com as barras danificadas pode ocasionar:

- Arcos elétricos, acarretando sobreaquecimento;
- Novas fraturas: Devido a esforços mecânicos e elevadas correntes impostas nas barras adjacentes;
- Novas barras desprendidas: Podendo ocasionar danos físicos a outros componentes do motor.

A figura 7 e 8, ilustram danos em barra de rotores:

Figura 7 – Rotor com uma barra danificada.



Fonte: ALWODAI, et.al (2012)

Figura 8 – Rotor com duas barras danificadas

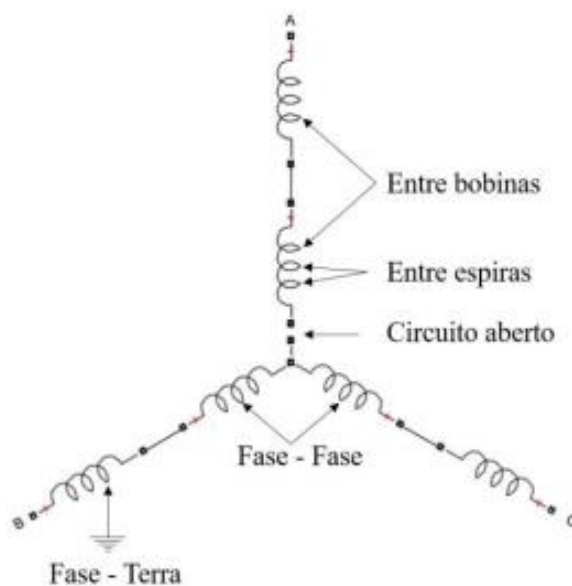


Fonte: ALWODAI, et.al (2012)

O material isolante do condutor presente do enrolamento, geralmente, é o principal responsável por causar falhas no estator (RIERA-GUASP, 2015). Envelhecimento, estresses gerados por sobreaquecimento, vibrações e/ou tensões transitórias, geram uma falha de curto-circuito entre espiras, causando efeito térmico e degradando o material isolante das espiras adjacentes, afetando o isolamento de outras fases. Caso não sejam tomadas ações rápidas, a falha pode evoluir de forma rápida tornando-se irreversível e catastrófica (GUEDES, 2016).

Curto-circuito entre bobinas, curto-circuito entre bobinas de diferentes fases, curto-circuito entre espiras, curto-circuito entre fase-terra e circuito aberto, são as falhas que ocorrem mais comumente nos enrolamentos do estator. A figura 9, apresenta os tipos de falha supracitadas (SIDDIQUI, 2014).

Figura 9. Tipos de falhas no enrolamento do estator



Fonte: SIDDIQUI et. al. (2014)

2.5.2 FALHAS MAIS OCORRENTES

Para identificar os componentes mais propensos a falha nos motores elétricos, levantou-se os seguintes estudos mostrados na tabela 1:

Tabela 1 -- Dados de frequência de falha nos motores elétricos de indução.

Componente	Percentual de falha(%)		
	Bazurto(2016)	Jigyasy (2018)	Imoru (2014)
Rolamentos	45	44	52
Estator	35	26	24
Rotor	10	8	6
Outros	10	22	18

Fonte: Autoria própria (2021)

Bazurto (2016) e Jigyasy (2018) apresentaram nos seus artigos, os valores das falhas distribuídas por componentes sem se limitar a tipos de motores elétricos específicos. Apesar disto, comparando os resultados com os estudos de Imoru (2014),

que realizou um levantamento em motores aplicados a indústria petroquímica e *offshore*, pode-se observar uma semelhança nos números de percentual de falha.

Zhang (2011) apresenta a tabela 2, comparando dados coletados de estudos em motores com aplicação geral de média tensão do Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos – Sociedade de Aplicações industriais (IEEE-IAS), Instituto de Pesquisa de Energia Elétrica (ERPI) e de dados obtidos por Allianz (empresa multinacional de seguros) com motores de aplicação naval de média a alta tensão.

Tabela 2 - Distribuição de falhas por componente levando em conta aplicação

Falha	% de falhas em motores de indução			
	Aplicações gerais		■	Aplicação em navios
	IEEE-IAS	ERPI		Allianz
Rolamento	44	41	■	13
Estator	26	36	■	66
Rotor	8	9	■	13
Outras	22	14	■	8

Fonte: ZHANG (2011)

Devido a maresia que os motores navais são submetidos, ocorre um aumento drástico na quantidade de falhas relacionadas ao estator, assim como a alta tensão ocasiona um maior estresse nas bobinas no estator, comprometendo toda sua parte isolante (PESSATTI, 2020). Dito isto, é compreensível que o estudo da Allianz (2013) mostra uma maior incidência de falhas nos estator na tabela 2, em relação aos outros estudos.

3. METODOLOGIA

O presente trabalho trata-se de uma pesquisa bibliográfica sobre a utilização de sensores de monitoramento online como estratégia de manutenção preditiva de motores de indução, baseado no método dedutivo. A pesquisa bibliográfica está inserida principalmente no meio acadêmico e tem a finalidade de aprimoramento e atualização do conhecimento, através de uma investigação científica de obras já publicadas. Para Andrade (2010, p. 25):

A pesquisa bibliográfica é habilidade fundamental nos cursos de graduação, uma vez que constitui o primeiro passo para todas as atividades acadêmicas. Uma pesquisa de laboratório ou de campo implica, necessariamente, a pesquisa bibliográfica preliminar. Seminários, painéis, debates, resumos críticos, monográficas não dispensam a pesquisa bibliográfica. Ela é obrigatória nas pesquisas exploratórias, na delimitação do tema de um trabalho ou pesquisa, no desenvolvimento do assunto, nas citações, na apresentação das conclusões. Portanto, se é verdade que nem todos os alunos realizarão pesquisas de laboratório ou de campo, não é menos verdadeiro que todos, sem exceção, para elaborar os diversos trabalhos solicitados, deverão empreender pesquisas bibliográficas.

Os dados levantados foram obtidos no período entre agosto de 2020 à setembro de 2021. O trabalho utilizou a base de dados Scielo, IEEE Xplore, Research gate e Google Acadêmico para a coleta das informações, enfatizando os descritores : “monitoramento”, “sensores” e “preditiva”.

Os critérios de inclusão de dados foram: está de acordo com os descritores determinados; artigos publicados em revista científicas, livros, teses e dissertações com ano de publicação a partir de 2011; trabalhos publicados somente em português ou inglês. Este trabalho teve seus resultados apresentados através de quadro comparativo.

A pesquisa foi escrita livre de plágio, atendendo a todas as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e respeitando a propriedade intelectual dos indivíduos citados, preocupando-se em preservar os valores éticos e morais que regem uma boa conduta.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir, encontram-se os resultados dessa pesquisa, explanados por meio de quadros, figuras, tabelas e da discussões sobre os dados obtidos. O quadro 1, é apresentado abaixo de acordo aos critérios de inclusões determinados na metodologia

Quadro 1 – Documentos selecionados conforme critérios

AUTORIA/ ANO/ LOCAL	OBJETIVO	METODOLOGIA	PRINCIPAIS RESULTADOS
MARTINS; FABRO, 2020. Caxias do Sul.	Realizar a instalação de um sensor sem fio em um motor, para realizar, de forma preventiva, a avaliação da saúde do mesmo, bem como realizar a manutenção antes da possível ocasião de quebra do equipamento	Foi realizado um procedimento experimental para identificar vibrações mecânicas e variações de temperatura no motor de uma extrusora industrial, através do uso de um sensor inteligente sem fio.	O dispositivo possibilitou a visualização e análise dos dados coletados através de um aplicativo de celular ou plataforma web.
GARCÍA; et.al, 2016. Huelva	Apresentar o projeto de um sistema sem fio que mede as vibrações, a temperatura e o consumo de corrente de uma série de motores em tempo real.	Através de um estudo experimental, foi inserido um sistema de sensor sem fio em motores de um grupo de bombas de refrigeração, de empresa local localizada em Sevilha, no sudoeste da Espanha, com uma experiência de cinco décadas na indústria química.	O sistema foi capaz de coletar os dados em tempo real e gerar um alerta quando os valores máximos de temperatura ou vibração, são excedidos.
DOL; BHINGE, 2018. Nova Delhi	Apresentar motores elétricos inteligentes, que são monitorados em tempo real e prevê falhas.	Foi realizado um estudo de caso onde aplicou-se um acelerômetro digital de 9 eixos para medir vibrações, um microfone de baixa frequência, um microcontrolador digital e uma placa de rede wireless, compilando esses dados em um portal que pode ser visualizado em computadores, tablets e celulares.	Através da plataforma do fabricante, o sistema foi capaz de exibir dados de temperatura e vibração, que determinou possíveis predições de falhas em dois motores.
SRIDHAR; et.al, 2016. Bengaluru.	Realizar o monitoramento sem fio dos dados de corrente do estator de um motor de indução, para verificar a saúde do mesmo.	A aquisição dos dados foi feito através do protocolo de rede wireless ZigBee. e após transformada de Wavelet. enviadas para uma rede neural artificial para serem classificadas, como saudáveis, falha em 1 ou 2 barras do rotor..	A precisão média dos testes realizados com a aplicação do dispositivo, foi de 91.6%.

<p>KHAN; et.al, 2019. Pexauar.</p>	<p>Projetar um sistema de monitoramento online de parâmetros de motores elétricos baseado na internet das coisas(IoT).</p>	<p>O sistema foi composto de múltiplos sensores, integrados na entrada de uma placa micro controladora, que envia os dados na saída para um LCD, um módulo de rede Wireless e um módulo GSM. O Módulo Wireless envia os dados para a plataforma nuvem <i>ThinkSpeak</i> e o módulo GSM, envia os dados para celulares via mensagem de texto.</p>	<p>Os dados de vibração foram obtidos e enviados a cada 0,02 segundos na plataforma <i>ThinkSpeak</i>. As leituras de tensão, vibração e espectro de sinal do motor, também puderam ser visualizadas no Labview. Mensagens de texto foram recebidas no celular configurado, informando a temperatura, o status de funcionamento e a corrente do motor, fora.</p>
--	--	--	--

Após a aplicação da metodologia, Martins; Fabro (2020) avaliaram dois principais aspectos: o método de coleta e tratamento dos dados através do sensor e a substituição do método atual. No primeiro aspecto, pode-se observar a praticidade da coleta e transmissão das informações obtidas pelo sensor, onde ele é capaz de coletar a cada 10 minutos os parâmetros de temperatura do motor e a cada 1 hora, o mesmo coleta variáveis de vibração. A sincronização das informações com o aplicativo ou plataforma da WEG, é realizada no momento em que um técnico ou qualquer outra pessoa se aproximar do motor com o aplicativo WEG aberto, *bluetooth* ligado, e conectado na mesma rede. Ainda existe a opção de utilizar um *Gateway* desenvolvido pelo fabricante, extinguindo a necessidade presencial da coleta.

Na Figura 10 e Figura 11 observa-se imagens da tela do *smartphone*, no momento da aproximação ao sensor, e da coleta dos dados.

Figura 10 – Dados do motor no app WEG MOTOR SCAN



Fonte: MARTINS; FABRO(2020)

Pode-se visualizar na figura 10, os valores referentes a coleta de vibração em 3 eixos, e temperatura de um motor elétrico. Nascimento (2016), relata que diversos problemas podem ser previstos por meio de dados de vibração coletados e transformados em informações legíveis para um analista que detenha o conhecimento sobre os elementos que compõe a vibração da máquina. A figura 11, mostra um diagnóstico que é baseado nos dados coletados e informações que são parametrizadas no dispositivo.

O protótipo construído por Junior, et.al (2020), funciona através da conexão entre sensores de temperatura e vibração com uma placa eletrônica que por sua vez, compila os dados em um servidor, que pode ser visualizado por usuários em computadores e *smartphones* por intermédio de uma interface *web*.

Junior, et.al (2020), apresentam nos resultados da sua pesquisa, os dados coletados de um motor, como a temperatura do motor (TempMotor), temperatura interna do sistema (TempESP) e vibração nos três eixos dimensionais, plotando os dados da coleta na interface *web*, conforme figura 11:

Figura 11. Painel de informações do motor na interface web.



Fonte: JUNIOR, et.al(2020)

Os dados também puderam ser obtidos através do formato de arquivo *Comma Separated Values (CSV)*:

Figura 12. Dados coletados no formato CSV

Timestamp	TempMotor	TempESP	AccX	AccY	AccZ
2019-12-10 22:28:32	28,125	34,812	-0,032	0,007	-0,013
2019-12-10 22:28:33	28,125	35,000	-0,032	0,004	-0,019
2019-12-10 22:28:35	28,125	34,906	-0,034	0,013	-0,011
2019-12-10 22:28:36	28,125	34,906	-0,030	0,012	-0,009
2019-12-10 22:28:37	28,125	34,859	-0,028	0,008	-0,031
2019-12-10 22:28:38	28,125	34,906	-0,028	0,019	-0,013
2019-12-10 22:28:39	28,125	34,953	-0,028	0,011	-0,013
2019-12-10 22:28:40	28,125	34,906	-0,023	0,012	-0,015
2019-12-10 22:28:41	28,125	34,906	-0,034	0,010	-0,018
2019-12-10 22:28:43	28,125	34,906	-0,024	0,011	-0,005

Fonte: JUNIOR, et.al(2020)

O protótipo proposto por Júnior, et.al (2020), se destaca em relação ao estudo de Martins; Fabro(2020), pois é capaz de coletar os dados temperatura e vibração a cada 1 segundo, enquanto o de Martins; Fabro(2020), apresenta os dados a cada 10 minutos e 1 hora, respectivamente. A figura 13 e 14, mostram a aplicação dos dispositivos de Júnior, et.al (2020) e Martins; Fabro(2020), respectivamente:

Figura 13. Protótipo de coleta de dados instalado no motor.



Fonte: JUNIOR, et.al(2020)

Figura 14. Sensor WEG acoplado a Motor



Fonte: MARTINS; FABRO 2020)

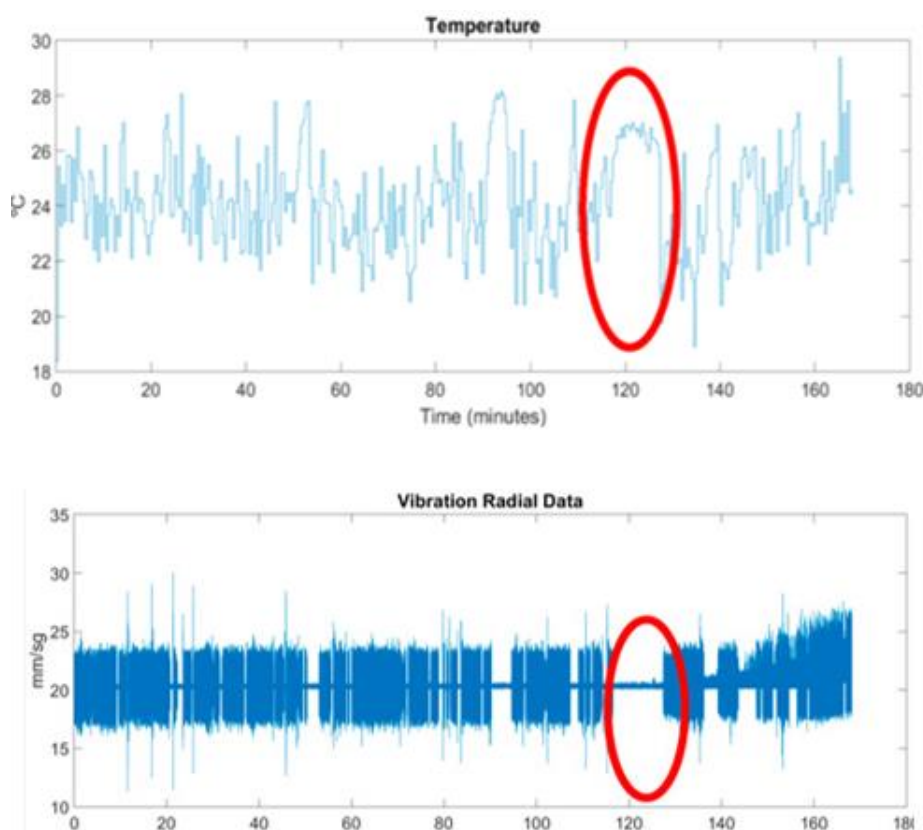
O protótipo de Júnior, et.al(2020), se apresenta com uma estrutura mais robusta e menos compacta em relação ao WEG Motor Scan, que é utilizado no estudo de Martins; Fabro(2020), conforme apresentando nas figuras 14 e 15. Além disso, o sensor WEG MOTOR SCAN pode ser encontrado no mercado já pronto para uso,

enquanto o protótipo desenvolvido por Júnior, et.al (2020), foi um dispositivo montado exclusivamente para o estudo.

García, et.al (2016), apresenta no seu trabalho um projeto de monitoramento *wireless* de motores elétricos em tempo real, que entregou como um dos resultados em testes de campo, o funcionamento deste dispositivo, enfatizando o comportamento dos dados de temperatura e vibração com o motor em funcionamento e sua variação no momento de possíveis interrupções.

A figura 15 mostra os resultados de um período de coleta de informações de temperatura de um motor, a partir do sistema de monitoramento online realizado no estudo de García, et.al (2016).

Figura 15. Dados de temperatura e vibração coletados.



Fonte: GARCÍA, et.al (2016)

Pode-se verificar que os dois espectros têm seu eixo horizontal, determinando o tempo em minutos. O eixo vertical do espectro de temperatura é dado em graus celsius (C°), enquanto o da vibração radial é dado em milímetros por segundo(mm/s). No período sinalizado em vermelho, entre 117 minutos à 127 minutos, nota-se que o

espectro de vibração tem sua onda reduzida a um valor praticamente nulo significando a inexistência de vibrações naturais que causadas pelo funcionamento do motor, ou seja foi o momento que a sua atuação foi interrompida. No espectro de temperatura, foi o momento em que o valor ficou o maior tempo estabilizado, voltando a cair somente no instante em que o motor retomou seu funcionamento junto com seu sistema de refrigeração.

Singh, et.al (2016), pôde constatar nos resultados do seu estudo experimental, que a variação de temperatura de um motor trifásico funcionando, em relação à temperatura ambiente, pode indicar falha na ventilação do mesmo. No seu estudo, o mesmo apresentou a tabela 3 como resultados de coleta de temperatura, no momento em que o motor estava em falha de refrigeração, e em condição saudável, sob o carregamento de 50% e sem carregamento. Os dados evidenciam um aumento de 23 °C no momento de falha do motor atuando sem carregamento, e o aumento de 24 °C com o carregamento de 50%. A tabela 3, mostra os valores de temperatura de um motor, considerando o carregamento do motor e o estado do mesmo:

Tabela 3 – Dados coletados de temperatura em relação ao estado.

ESTADO	CARREGAMENTO	TEMPERATURA DO MOTOR
SAUDÁVEL	SEM CARREGAMENTO	40
	50% DE CARREGAMENTO	53
EM FALHA DE REFRIGERAÇÃO	SEM CARREGAMENTO	63
	50% DE CARREGAMENTO	77

Fonte: SINGH, et.al(2016)

O motor apresentado no estudo de García, et.al (2016), tem uma variação máxima de aproximadamente 10 °C, enquanto o motor em estado de falha de refrigeração apresentado no estudo de Singh, et.al (2016), variou 24 °C, com carregamento de 50%. Este fato destaca a viabilidade da utilização de um sistema de monitoramento online como o de García, et.al (2016), que exibe valores de temperatura de um motor em tempo real e de forma contínua, capturado através do sistema de monitoramento online, permitindo a possibilidade de uma previsão da falha com base na variação térmica do motor.

Sridhar.S, et.al(2016), pôde observar em seus resultados mostrados na tabela 4, a precisão dos dados coletados através de um sensoriamento online e indicados através de uma rede neural de aprendizado, sobre 3 condições impostas a um motor elétrico: O motor com a condição saudável, o motor com a 1 barra do rotor danificada e o motor com 2 barras do estator danificadas.

Tabela 4. Valores de precisão dos dados com base na condição do motor.

Condição de operação do motor		Dados de treinamento	Dados de testes	Total	Precisão
1	Saudável	28/28	9/12	37/40	92.5%
2	1 Barra danificadas	28/28	9/12	37/40	92.5%
3	2 Barras danificadas	28/28	8/12	36/40	90%
Total		84/84	26/36	110/120	91.6%

Fonte: Adaptada de SRIDHAR.S, et.al(2016)

A rede neural foi treinada com o total de 84 entradas padrões de dados, obtendo 100% de assertividade no processo de aprendizagem. Ao ser submetido aos testes, a precisão foi de 72,2%. Para o motor em condições saudáveis e em caso de quebra de uma barra do rotor, o sistema conseguiu atingir uma precisão média entre os dados de aprendizado e os dados de teste, de 92.5%. Já para para o motor em condição de falha por quebra de barras do rotor, a precisão foi de 92.5% para quebra de 1 barra, e 90% para quebra de 2 barras.

O estudo desenvolvido por Suetake (2012) por sua vez, obteve resultados ainda mais precisos quanto a assertividade da detecção nas barras dos rotores por meio de uma análise de redes neurais dos dados coletados em um monitoramento

online de um motor elétrico. A tabela 5, mostra o percentual de precisão nos testes realizados:

Tabela 5. Dados dos testes.

	Treinamento	Testes
Precisão média	100%	98,68%

Fonte: SUETAKE (2012)

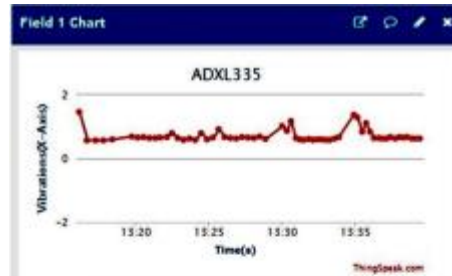
Os dois estudos demonstraram a possibilidade da utilização de um sistema de monitoramento online de motores elétricos associados a redes neurais artificiais, alcançando uma precisão bastante elevada, com uma variação de cerca de 7% nos seus resultados. Possivelmente essa variação se deve a quantidade de variáveis distintas entre os dois trabalhos, como por exemplo a configuração da rede neural, os modelos dos sensores utilizados e o modelo de motor aplicado as pesquisas. Contudo, os dois sistemas mostraram-se bastante eficazes em seus testes.

Uma ampla gama de dados de motores elétricos em funcionamento, podem ser coletadas em tempo real, é apresentado nos resultados do trabalho de Khan, et.al(2019). Diagnósticos de falha podem ser obtidos por meio de variações de vibração, temperatura e corrente disponibilizados na plataforma *online ThinkSpeak* e por meio de mensagens enviadas para celular.

Khan, et.al (2019), conclui que qualquer falha que ocorre em motores elétricos, existe uma faixa específica de vibrações, corrente e temperatura que sinalizará antecipadamente a quebra de um componente. Usando os sensores e monitorando remotamente, uma análise assertiva dos dados irá garantir que uma ação seja realizada previamente, evitando uma falha inesperada e paradas nos processos produtivos.

A figura 16 mostra os valores de vibração dos 3 eixos axiais, com base no tempo , coletados através de acelerômetros.

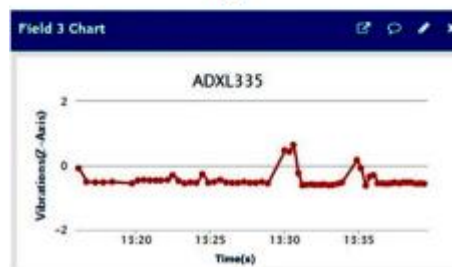
Figura 16. Dados de vibração nos 3 eixos do motor, com base no tempo.



(a)



(b)



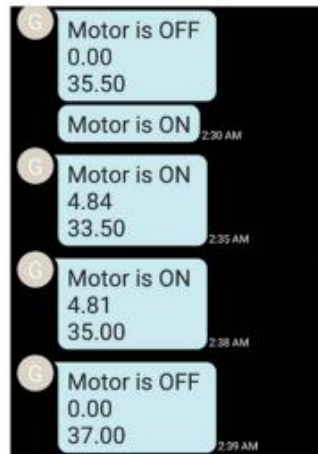
(c)

Fonte: Khan, et.al(2019)

A plataforma online do *Thinkspeak*, recebe os dados que são transmitido de uma placa receptora GSM, a qual detém os valores captados por acelerômetros, sensor de corrente e temperatura. O usuário pode analisar as variações praticamente em tempo real e em qualquer lugar que consiga acessar a plataforma através de internet, por meio de computadores, tablets ou *smartphones*.

Na figura 17, é exibido as mensagens de celulas com os dados do status de funcionamento do motor *ON/OFF* na primeira linha, valor atual da corrente em âmperes na segunda linha e temperatura em graus celsius na terceira linha.

Figura 17. Dados visualizados no *mobile*.

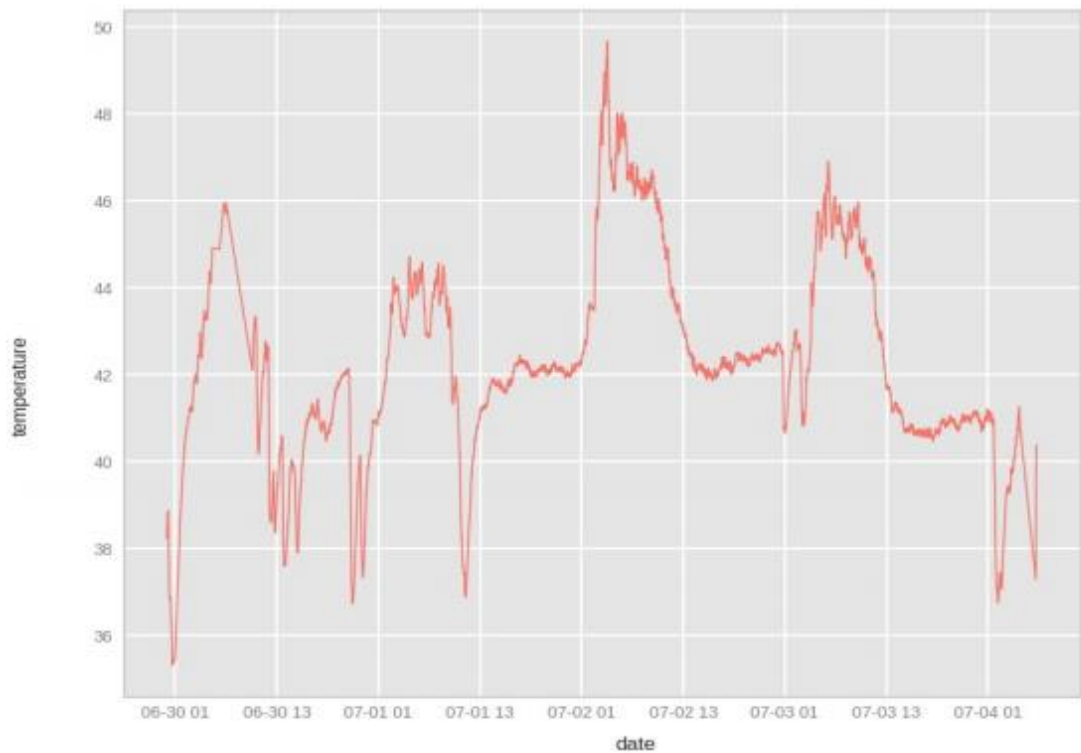


Fonte: Khan, et.al(2019)

Dol e Bhinge(2018), aplicaram uma metodologia para um sensoriamento online em tempo real de motores elétricos e obtiveram resultados experimentais em dois estudos de caso, onde pode-se visualizar dados como os de temperatura e vibração de motores, transmitidos por meio de uma plataforma IOT desenvolvida pelo fabricante ,que disponibilizou todo o sistema de monitoramento. Além disso, o sistema é capaz de coletar ruídos, espectro de frequência, rotação por minuto, número de horas por funcionamento, parâmetros de produtividade do equipamento, configurações para alertas para anomalias e relatórios diários automatizados.

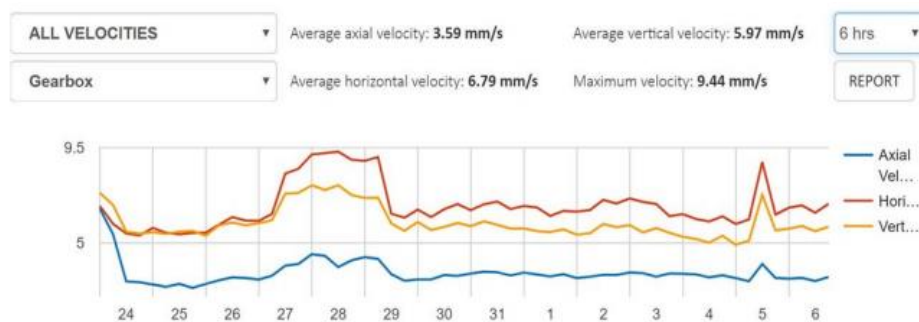
Na figura 18 e 19, são apresentados dados de variação de temperatura e vibração de uma das aplicações apresentadas pelo autor.

Figura 18. Variação de temperatura do motor.



Fonte: DOL; BHINGE(2018)

Figura 19. Vibrações axiais, horizontais e verticais com base no tempo.



Fonte: DOL; BHINGE(2018)

Tanto o estudo apresentado por Khan, et.al(2019), quanto o estudo de Dol e Bhinge(2018), apresentam resultados satisfatórios quanto ao sucesso de aplicação de uma metodologia para o monitoramento online de motores elétricos. A diferença dos dados de temperatura e vibração entre os dois estudos, possivelmente deve-se as diferentes condições onde os motores estavam submetidos e por terem modelos distintos.

Dol e Bhinge(2018), entrega uma quantidade de informações dos motores maior em relação ao trabalho de Khan, et.al(2019), atribuindo valores de ruídos, rotação por minuto, número de horas por funcionamento e parâmetros de produtividade do equipamento, que não são citados no trabalho de Kahn, et.al(2018). O sistema de Khan, et.al(2019), entrega a possibilidade de visualizações dos dados de temperatura, status do motor e corrente, por meio de transmissão de mensagens mobile. Essa característica não é mencionada no trabalho de Dol e Bhinge(2018).

5.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

É notório que devido a relevância dos motores elétricos na indústria, a busca por estratégias eficazes para garantir a confiabilidade e disponibilidade deste equipamento, é algo almejado por muitas empresas. Com os avanços tecnológicos trazidos pela indústria 4.0, a manutenção preditiva deve estar ainda mais presente nos parques fabris, incorporando empresas de pequeno, médio e grande porte.

Os estudos apresentados neste trabalho, trazem uma gama de aplicações experimentais de sensores que monitoram remotamente as condições de funcionamento de motores elétricos, que possibilitam a exibição de variáveis que são capazes de serem utilizados para predição de falhas. Dentro da indústria, esses sistemas de monitoração, podem determinar uma estratégia de atuação para que devidos reparos sejam realizados antecipadamente, evitando desta forma quebras indesejadas, perdas na produtividade e redução de lucros. Além disso, monitorando de forma online, a necessidade de coleta presencial é descartada, gerando redução de custos com mão de obra, erros humanos cometidos nas coletas, exposição de pessoas a possíveis riscos próximos a máquinas rotativas e ambientes insalubres.

Por ainda existir poucos estudos de caso demonstrando as vantagens quantitativas e qualitativas, torna-se necessário o desenvolvimento de trabalhos mais abrangentes que mensurem os ganhos na prática em indicadores como custo, disponibilidade do equipamento, confiabilidade, mão de obra utilizada e tempo médio entre falhas..

REFERÊNCIAS

ÁGUAS, ANDRÉ. **Otimização de um sistema online de detecção de falhas em motores de indução**. 2013. Dissertação (Licenciado em Ciências da Engenharia Eletrotécnica e de Computadores) - Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa, [S. I.], 2013.

ALVES, DAIANE. **Técnicas de detecção de falhas em barras do rotor nos motores de indução trifásicos**. 2017. Dissertação (MESTRADO em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de São João del-Rei e Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, [S. I.], 2017.

ANDREY, I. et al. **Smart management of technologies: predictive maintenance of industrial equipment using wireless sensor networks**. Entrepreneurship and Sustainability Issues, Entrepreneurship and Sustainability Center, 6 (2), pp.489-502, 2018.

ARAÚJO, M. M.; LIMA, A. R.; SANTOS, M. **Manutenção Preditiva: Contribuindo para a melhoria dos processos e para a redução dos custos de operação**. X Simprod, São Cristovão- SE, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462: Confiabilidade e Manutenibilidade**. Rio de Janeiro, 1994.

BALOGH, Z., GATIAL, E., BARBOSA, J., LEITAO, P., & MATEJKA, T. **Reference Architecture for a Collaborative Predictive Platform for Smart Maintenance in Manufacturing**. I.EEE 22nd International Conference on Intelligent Engineering Systems (INES), 2018.

BARROS, B.F.; BORELLI, R.; GEDRA, R.L. **Gerenciamento de Energia**. 1ª ed., São Paulo: Érica, 2010.

BEHRENS, F.; BIANCHINI, D.; FABRICIO, M. A. **Monitoramento de Equipamentos Elétricos para Manutenção Preditiva utilizando IoT**. Brazilian Technology Symposium, Campinas, v.1, p. 2447-8326, 2016.

BAENA, F. ; GUARIN, A. ; MORA, J. ; SAUZA, J. ; RETAT, J. **Learning Factory: The Path to Industry 4.0**. Procedia Manuf., vol. 9, pp. 73–80, 2017.

BARBOZA, T. L. **Um histórico da manutenção e conceitos sobre sua função**. Revista Marítima Brasileira. Rio de Janeiro, p.84-87, 2018.

CAPELLI, A. **Automação Industrial: controle do movimento e processos contínuos**. 3. ed. Sao Paulo: Érica, 2013.

CHAPMAN, S. J. **Fundamentos de Máquinas elétricas**. Tradução de Anatólio Laschuk. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

CORRÊA, R.; DIAS, A. **Modelagem matemática para otimização de periodicidade nos planos de manutenção preventiva.** Gest. Prod., São Carlos, v. 23, n. 2, p. 267-278, 2016.

DOL, S. ; BHINGE, R. **SMART motor for industry 4.0.** In: 2018 IEEMA Engineer Infinite Conference (eTechNxt). IEEE, 2018. p. 1-6.

FLORIAN, F.; OLIVEIRA, M.; PESTANA, F.A. **Termografia aplicada a manutenção preditiva em subestações de alta tensão desabrigadas.** IV Encontro de Iniciação Científica e Tecnológica, São Paulo, 2019.

GAO, Q.W. **Research and application of risk and condition based maintenance task optimization technology in an oil transferstation,** J. Loss Prev. Process Ind., vol. 25, no. 6, pp. 1018–1027, 2012.

GUEDES, J. J. **Identificação de Falhas de Curto-Circuito de Estator em Motores de Indução Trifásicos Utilizando Evolução Diferencial.** Dissertação (Mestrado), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016.

HUERTA, Marco et al. **RCM implementation on plastic injection molding machine considering correlated failure modes and small size sample.** The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, p. 95, 1 abr. 2018.

JUNIOR, GILBERTO et al. **Indústria 4.0: estudo de caso em monitoramento remoto de vibração e temperatura em máquinas elétricas girantes.** 1. ed. Paraná: Uniedusul, 2020. 43-51 p. v. 1. Disponível em: <https://www.uniedusul.com.br/wp-content/uploads/2021/02/E-BOOK-GESTAO-DO-CONHECIMENTO-NA-INDUSTRIA-4.0.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2021.

KHAN, NAVEED et al. **IoT Based Health Monitoring System for Electrical Motors.** 15th International Conference on Emerging Technologies (ICET). IEEE, 2019. p. 1-6.

KAPLAN, A. **A conduta na pesquisa: metodologia para as ciências do comportamento.** São Paulo: Herder, 1972.

LAMIM FILHO, P.C.M.; PEDERIVA, R.; BRITO, J.N. **Detection of stator winding faults in induction machines using flux and vibration analysis.** Mechanical System and Signal Processing, v. 42, p. 377-387, 2014.

LEOPARDI MT. **Metodologia da pesquisa em saúde.** 2ª ed. Florianópolis: UFCS/ Pós-Graduação em Enfermagem; 2002.

LOISELLE, R.; XU, Z.; VOLOH, I. **Essential motor health monitoring.** IEEE Petroleum and Chemical Industry Committee Conference, p. 1-5, 2015.

MANUAL GERAL DE INSTALAÇÃO E OPERAÇÃO. **Gateway WEG Motor Scan.** Disponível em: <https://www.weg.net/institucional/BR/pt/news/produtos-esolucoes/gateway-weg-motor-scan-chega-ao-mercado>. Acesso em 18 nov, 2020.

MARCONI, M.A.; LAKATOS, E.M. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 8.ed. São Paulo: Atlas, 2019

MARTINS, FLAVIA JUSTINA; FABRO, ELTON. **Uso do sensor inteligente na manutenção preditiva do motor de uma extrusora**. Scientia cum Industria, v. 8, n. 2, p. 1-9, 2020.

MAURA, S. **Os caminhos para a transformação das empresas no futuro**. In: Indústria 4.0. [S.l.], Disponível em: <https://www.industria40.ind.br/artigo/18906-industria-40-os-caminhospara-a-transformacao-das-empresas-para-o-futuro>. Acesso em: 16 mar. 2020.

MEDIÇÃO DE VIBRAÇÃO COM ACELERÔMETROS. **National Instruments**, 2019. Disponível em: <https://www.ni.com/pt-br/innovations/white-papers/06/measuring-vibration-with-accelerometers.html>. Acesso em: 15 out, 2020.

MEDINA-GARCÍA, JONATHAN et al. **A wireless sensor system for real-time monitoring and fault detection of motor arrays**. Sensors, v. 17, n. 3, p. 469, 2017.

NAKAZAWA, F. et al. **A wireless motor-condition, precise analysis system using a highly efficient vibration-energy harvester**. 2013 11th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN), Bochum, pp. 402-407, 2013.

NANDI, S. ;ILAMPARITHI, TC. ; LEE, S. ; HYUN, D. **Detection of Eccentricity Faults in Induction Machines Based on Nameplate Parameters**. IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 58, no. 5, pp. 1673–1683, 2011.

NASCIMENTO, B. A. do. **Eixo empenado em máquinas rotativas, mais uma maneira de detecção**. Trabalho de conclusão de curso – Centro Universitário Maurício de Nassau, Recife, 45p., 2016.

P. WAIDE, C. U. Brunner. **Energy-Efficiency Policy Opportunities for Electric Motors-Driven Systems. Working Paper of International Energy Agency, Energy Efficiency Series**, OECD/IEA 2011.

PEREIRA, Mário Jorge; Engenharia de Manutenção, Rio de Janeiro: Ciência Moderna Ltda, 2011.

PESSATTI, O.B. **Um panorama sobre o monitoramento de condições de operação de motores elétricos**. Trabalho de Conclusão de Curso Graduação em Engenharia Elétrica, Florianópolis, 2020.

PICAZO-RÓDENAS, M.J.; ROYO, R.; ANTONINO-DAVIU, J.; ROGER-FOLCH, J. **Use of the infrared data for heating curve computation in induction motors: Application to fault diagnosis**. Engineering Failure Analysis, v. 35, p. 178-192, 2013.

RIERA-GUASP, M.; Antonino-Daviu, J. A.; Capolino, G. A. **Advances in electrical machine, power electronic, and drive condition monitoring and fault detection: State of the art**. IEEE Transactions on Industrial Electronics, v. 62, n. 3, p. 1746–1759, 2015.

RIGHETTO, S.B. **Manutenção Preditiva 4.0: Conceito, Arquitetura e Estratégias de Implementação**. Trabalho de conclusão de curso Graduação de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020.

RAMAMURTHY, H. et al. **Wireless Industrial Monitoring and Control Using a Smart Sensor Platform**. IEEE Sensors Journal, vol. 7, no. 5, maio 2007.

SAKURAI, Ruudi; ZUCHI, Jederson Donizete. **As revoluções industriais até a indústria 4.0**. Interface Tecnológica, SP - BRASIL, ano 2018, v. 15, n. 2, 30 dez. 2018. Pós-Graduação em Gestão da Produção Industrial, p. 480-491.

SHAHZAD, K. **A comparative study of insensor processing vs. raw data transmission using ZigBee**, BLE and WiFi for data intensive monitoring applications, 2014.

SRIDHAR, S. et al. **Real time wireless condition monitoring of induction motor**. In: 2016 IEEE Industrial Electronics and Applications Conference (IEACon). IEEE, 2016. p. 173-178.

SIDDIQUI, K. M.; SAHAY, K.; GIRI, V. K. **Health Monitoring and Fault Diagnosis in Induction Motor- A Review**. International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, v. 3, n. 1, p. 2320–3765, 2014.

SILVA, Caroline et al. **Estudo de manutenção de bomba centrífuga com uso em indústria**. South American Development SocietyJournal, São Paulo – Brasil, 2015, v.1, n.1.

SILVA, J.A. **Gestão da Manutenção em Máquinas, Equipamentos e Instrumentos de Medição**. Trabalho de Conclusão de Curso Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade Pitágoras, Uberlândia, 2018.

SILVA, M. C. A. da; GASPARI, J. L. **A Segunda Revolução Industrial e suas influências sobre a Educação Escolar Brasileira**. Histedbr, 2015. Disponível em: http://www.histedbr.fe.unicamp.br/acer_histedbr/seminario/seminario7/TRABALHOS/M/Marcia%20CA%20Silva%20e%20%20Joao%20L%20Gasparin2.pdf. Acesso em: 17 ago. de 2021.

SILVA, M.I. **Melhoria de Processos e Manutenção inteligente de Ferramentas no âmbito da Indústria 4.0**, 2016. Mestrado Integrado em Engenharia Industrial e Gestão da Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, Portugal, 2016.

SILVA, R.M.K. **Bancada didática para manutenção preditiva utilizando análise de vibrações**. Trabalho de Conclusão de Curso Graduação Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

STEFANINI, P. **Metodi di Ricerca e Prevenzione dei Guasti**. Milano: Tecniche Nuove II Edizione, 2011.

SUETAKE, Marcelo. **Sistemas inteligentes para monitoramento e diagnósticos de falhas em motores de indução trifásicos**. 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.