

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO  
GRANDE DO SUL - CAMPUS ERECHIM  
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA MECÂNICA

LISIANE PAULA MAYESKI

**Análise da melhoria da disponibilidade operacional em empresas brasileiras e  
portuguesas com a adoção da manutenção preditiva**

Erechim - RS

2023

LISIANE PAULA MAYESKI

**Análise da melhoria da disponibilidade operacional em empresas brasileiras e portuguesas com a adoção da manutenção preditiva**

Trabalho Conclusão de Curso realizado no Campus Erechim do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Me. Demian Boaroli.

Erechim - RS

2023

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Celestino e Lizabete, meu maior exemplo de garra e determinação, que me deram apoio e incentivo nas horas de dificuldade, cansaço e desânimo, me fortalecendo, apesar de todas as adversidades, e compreendendo o motivo de muitas vezes não me fazer tão presente. Obrigado por tudo.

Meu companheiro de vida, Roberto, pela dedicação, compreensão e apoio nessa longa jornada, compartilhando comigo momentos de ansiedade e estresse, sendo calma nos dias mais difíceis, sem você não teria chegado tão longe.

Meu eterno agradecimento a minha irmã, Celiza, por toda colaboração, incentivo e por acreditar em mim, quando eu mesma desacreditava. Você sempre foi inspiração e luz, nos meus dias mais escuros, caminhando ao meu lado, quando não me sentia capaz.

Ao meu orientador Prof. Me. Demian Boaroli, por todo empenho dedicado para que eu pudesse elaborar esse trabalho, esclarecendo minhas dúvidas e me orientando impecavelmente, sendo extremamente gentil e paciente, e de forma formidável, transmitiu seus ensinamentos, não apenas nas disciplinas, mas também na vida, um ser humano espetacular.

Ao Professor Luiz Gustavo Barbosa, por ministrar a disciplina de trabalho de conclusão de curso de forma leve, colaborando para o sucesso da conclusão do meu trabalho. Obrigado por ser tão dedicado e perfeccionista na forma de nos ensinar no decorrer de toda a faculdade. Pessoa incrível, que levarei boas lembranças para o resto da minha vida.

Obrigado a todos os professores, aos quais sem nominar, me acompanharam ao longo do curso e se dedicaram a arte de ensinar.

E por último, porém não menos importante, agradeço as amizades que cultivei durante toda essa caminhada, as quais eu levarei para a vida, Andressa Lorenzoni, Gustavo Pohlig, Jean Pierozan e Rúbia Favretto. Obrigado pela ajuda, incentivo, por não deixar desistir nas horas de desespero, e por toda motivação durante o percurso acadêmico. E um agradecimento especial ao nosso colega Jonatas Prado de Jesus (*in memoriam*), que nos deixou antes que pudesse concluir essa etapa, um pouco de você sempre estará em cada um de nós. Que possamos seguir seu exemplo de humildade, alegria e dedicação em tudo que fazia.

## RESUMO

Este trabalho tem como principal objetivo analisar a melhoria da disponibilidade operacional em empresas brasileiras e portuguesas com a adoção da manutenção preditiva, e teve como metodologia a revisão bibliográfica quantitativa, qualitativa e descritiva. Essa metodologia envolveu a coleta e análise de um conjunto de artigos científicos relevantes sobre o tema. A abordagem quantitativa permitiu a quantificação e análise estatística dos resultados apresentados nos artigos selecionados, fornecendo uma visão geral dos índices e indicadores abordados. Já a abordagem qualitativa permitiu uma compreensão mais aprofundada dos aspectos teóricos e práticos da melhoria da disponibilidade operacional com a adoção da manutenção preditiva. Os resultados obtidos indicaram a importância da implementação da manutenção preditiva. Observou-se um aumento de disponibilidade operacional em quase 100% dos artigos analisados, evidenciando a eficácia dessa abordagem. Além disso, houve uma significativa redução nos custos devido às manutenções realizadas. Os indicadores MTTR (Mean Time to Repair) e MTBF (Mean Time Between Failures) apresentaram uma relação direta com a disponibilidade operacional. O aumento do MTBF e a redução do MTTR contribuíram para elevar a disponibilidade dos equipamentos, resultando também no aumento da confiabilidade. Esses resultados reforçam a importância da manutenção preditiva na busca por uma maior disponibilidade operacional, redução de custos e aumento da confiabilidade dos equipamentos.

**Palavra-chave:** Manutenção Preditiva. Disponibilidade Operacional. Empresas.

## **ABSTRACT**

The main objective of this work is to analyze the improvement of operational availability in Brazilian and Portuguese companies with the adoption of predictive maintenance, and its methodology was a quantitative, qualitative and descriptive bibliographical review. This methodology involved the collection and analysis of a set of relevant scientific articles on the subject. The quantitative approach allowed the quantification and statistical analysis of the results presented in the selected articles, providing an overview of the indices and indicators addressed. The qualitative approach allowed a deeper understanding of the theoretical and practical aspects of improving operational availability with the adoption of predictive maintenance. The results obtained indicated the importance of implementing predictive maintenance. There was an increase in operational availability in almost 100% of the articles analyzed, demonstrating the effectiveness of this approach. In addition, there was a significant reduction in costs due to the maintenance carried out. The MTTR (Mean Time to Repair) and MTBF (Mean Time Between Failures) indicators showed a direct relationship with operational availability. The increase in MTBF and the reduction in MTTR contributed to increase equipment availability, also resulting in increased reliability. These results reinforce the importance of predictive maintenance in the search for greater operational availability, cost reduction and increased equipment reliability.

**Keyword:** Predictive Maintenance. Operational Availability. Companies.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1- ÍNDICES E INDICADORES MAIS UTILIZADOS NO ANO DE 2005. ....	18
FIGURA 2- ÍNDICES E INDICADORES MAIS UTILIZADOS NO ANO DE 2009. ....	19
FIGURA 3- ÍNDICES E INDICADORES MAIS UTILIZADOS NO ANO DE 2013. ....	19
FIGURA 4 - ANÁLISE DE VIBRAÇÃO EM UM MOTOR DE INDUÇÃO. ....	24
FIGURA 5 - AMOSTRAS DE ÓLEO LUBRIFICANTE PARA ANÁLISE. ....	24
FIGURA 6 - TERMÔMETRO INFRAVERMELHO REALIZANDO ANÁLISE TERMOGRÁFICA. ....	25
FIGURA 7 - MEDIÇÃO DE RUÍDOS ATRAVÉS DE UM EQUIPAMENTO DE ULTRASSOM. ....	25
FIGURA 8 - MONITORAMENTO DE CONDIÇÃO. ....	26

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1- INDICADORES E ÍNDICES DE CLASSE MUNDIAL .....	15
QUADRO 2 - INFORMAÇÕES OBTIDAS NOS ARTIGOS ESTUDADOS (CONTINUA).....	39
QUADRO 3- RELAÇÃO DAS TÉCNICAS PREDITIVAS E NÚMERO DE ARTIGOS. ....	43
QUADRO 4- TÉCNICAS UTILIZADAS NO GERAL DOS ARTIGOS ESTUDADOS. ....	44
QUADRO 5 - MONITORAMENTO DA CONDIÇÃO E A INFLUÊNCIA SOBRE OS ÍNDICES E INDICADORES. (CONTINUA).....	44
QUADRO 6- ANÁLISE DE ÓLEO E A INFLUÊNCIA SOBRE OS ÍNDICES E INDICADORES.....	46
QUADRO 7- ANÁLISE DE VIBRAÇÃO E A INFLUÊNCIA SOBRE OS ÍNDICES E INDICADORES. ....	47
QUADRO 8- ANÁLISE DE VIBRAÇÃO COMBINADA COM A TERMOGRAFIA E A INFLUÊNCIA SOBRE OS ÍNDICES E INDICADORES.....	48
QUADRO 9- ANÁLISE DE VIBRAÇÃO COMBINADA COM A TERMOGRAFIA, FERROGRAFIA E INSPEÇÃO VISUAL, E A INFLUÊNCIA SOBRE OS ÍNDICES E INDICADORES.....	49
QUADRO 10- INSPEÇÃO VISUAL, COMBINADA COM ANÁLISE DE VIBRAÇÃO, DE RUÍDOS E TERMOGRAFIA, E A INFLUÊNCIA SOBRE OS ÍNDICES E INDICADORES.....	50
QUADRO 11- ANÁLISE DE VIBRAÇÕES, DE ÓLEO, TERMOGRAFIA E FERROGRAFIA, E A INFLUÊNCIA SOBRE OS ÍNDICES E INDICADORES. ....	51
QUADRO 12- INSPEÇÃO VISUAL, ANÁLISE DE ÓLEO E VIBRAÇÕES, DE RUÍDOS, TERMOGRAFIA E A INFLUÊNCIA SOBRE OS ÍNDICES E INDICADORES. ....	52
QUADRO 13- TERMOGRAFIA E A INFLUÊNCIA SOBRE OS ÍNDICES E INDICADORES.....	53
QUADRO 14 - PERCENTUAL CITADO NOS ARTIGOS REFERENTE AOS ÍNDICES E INDICADORES .....	54
QUADRO 15- ÍNDICES E INDICADORES QUE NÃO FORAM DIVULGADOS DE FORMA QUANTITATIVA (CONTINUA).....	55
QUADRO 16 - CATEGORIAS QUALITATIVAS.....	56

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>11</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo Geral</b> .....	<b>11</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos Específicos</b> .....	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>12</b>
<b>3.1</b>	<b>Tipos de Manutenção</b> .....	<b>12</b>
<b>3.2</b>	<b>Manutenção Moderna</b> .....	<b>13</b>
<b>3.2.1</b>	<b>Indicadores e índices de manutenção</b> .....	<b>14</b>
<b>3.3</b>	<b>Manutenção Preditiva</b> .....	<b>20</b>
<b>3.3.1</b>	<b>Tipos de Manutenção Preditiva</b> .....	<b>21</b>
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>27</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>28</b>
<b>5.1</b>	<b>Análise descritiva dos artigos estudados</b> .....	<b>28</b>
<b>5.2</b>	<b>Análise geral dos dados contidos nos artigos estudados</b> .....	<b>39</b>
<b>5.3</b>	<b>Análise quantitativa dos dados obtidos nos estudos de caso</b> .....	<b>42</b>
<b>5.4</b>	<b>Análise qualitativa obtidas nos estudos de caso</b> .....	<b>55</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>61</b>
<b>7</b>	<b>PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS</b> .....	<b>64</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>65</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A manutenção tem passado por uma grande evolução nos últimos anos devido ao aumento da demanda e utilização de maquinários que se mostram cada vez mais modernos e de alta complexidade. Antigamente a missão da manutenção era consertar um equipamento após sua quebra, atualmente o objetivo é evitar que o equipamento pare de funcionar (KARDEC; NASCIF, 2012).

Para o bom desempenho de uma planta industrial, cabe à manutenção zelar pela conservação, em especial de equipamentos e máquinas, antecipando-se aos problemas (NEPOMUCENO, 1989). Muitas empresas ainda veem a manutenção industrial como fator gerador de despesas, mas, com a globalização da economia e aumento da competitividade na manufatura, a necessidade de melhorias e redução de custos nos processos produtivos eleva a sua importância (SIQUEIRA, 2012).

Como a manutenção tem ligação direta com os custos, é necessário definir estratégias para conter gastos e, ao mesmo tempo, aumentar a produção, qualidade dos produtos e maximização da linha produtiva, evitando paradas desnecessárias que influenciariam diretamente na sua lucratividade (LAFRAIA, 2014).

A manutenção preditiva, também conhecida como controlada, baseia-se no estado do equipamento para indicar a necessidade de intervenção. A avaliação é feita através de medições, acompanhamento e monitoração de parâmetros (CARDOSO *et al.*, 2019). A escolha da técnica de manutenção preditiva adequada para cada tipo de máquina, leva em conta o quanto a mesma é importante para o processo produtivo, a taxa de falha e o custo para adquirir o aparato necessário para a medição e monitoramento. O monitoramento dos equipamentos vai gerar dados informativos para uma análise mensurável (NEPOMUCENO, 1989).

Uma estratégia de manutenção quando bem aplicada, estende a vida útil dos equipamentos e mantém as condições básicas para o funcionamento. A utilização da manutenção preditiva mostra-se uma ferramenta eficaz, então, é necessário analisar de que forma a aplicação das técnicas preditivas podem influenciar e auxiliar na melhoria dos índices de desempenho, visando o aumento da disponibilidade operacional em uma planta industrial (TAVARES; NONATO, 2018).

Na área da manutenção, os indicadores são fundamentais para o sucesso das empresas e devem ser utilizados de forma correta nas tomadas de decisões. Entre os indicadores, a confiabilidade, a manutenibilidade e a disponibilidade possuem uma alta relevância, e alinhadas entre si, garantem a competitividade e o sucesso de uma indústria (BRANCO FILHO 2016). Esses indicadores são obtidos através de uma base de dados e de análise estatística do histórico do equipamento. São implantados com o objetivo de identificar e corrigir desvios, buscando a melhoria contínua, alinhados com um plano de ação adequado (LAFRAIA, 2014).

A disponibilidade de um equipamento é definida como a capacidade de estar em condições de executar certa função em um instante ou em um intervalo de tempo determinado (TAVARES; NONATO, 2018). A disponibilidade impacta na produção e influencia nos resultados, assim, esse índice é verificado constantemente visando o melhor desempenho das máquinas, evitando perda de tempo e produtividade, diminuindo desperdícios, prejuízos e redução da qualidade dos produtos produzidos (BRANCO FILHO, 2016).

As atividades de manutenção, no entanto, possuem relação direta com a lucratividade das indústrias, de maneira que, ao analisar uma situação problema por uma perspectiva no tempo presente, apenas o desperdício de tempo e o prejuízo financeiro associados à sua realização se tornam visíveis (SIQUEIRA, 2012). Então, mesmo que seja difícil, se faz necessário conduzir investigações e desenvolver estratégias operacionais adequadas, para que seja possível realizar as atividades de manutenção, com interferência mínima nas linhas de produção, aumentando a disponibilidade operacional dos equipamentos (LAFRAIA, 2014).

A análise do aumento da disponibilidade operacional dos equipamentos nas empresas explanadas nesse trabalho possui grande relevância, pois os resultados apresentados nos estudos de caso, onde foi aplicada a técnica de manutenção preditiva, podem ser mensurados. O aumento da disponibilidade das máquinas e equipamentos exibe-se não apenas de forma quantitativa, mas também qualitativa em apenas um local. É possível então, deixar em evidência os benefícios apresentados através da manutenção preditiva, principalmente, com base no indicador de disponibilidade, para aplicação na área da manutenção de plantas industriais.

Portanto, para que futuros gestores de manutenção possam monitorar como a implementação da manutenção preditiva pode trazer resultados significativos, esse trabalho tem o propósito de fazer uma análise da melhoria dos indicadores, principalmente o indicador da disponibilidade operacional, quando é adotada a técnica de manutenção preditiva, com um recorte de empresas situadas no Brasil e Portugal.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Analisar como a adoção da manutenção preditiva impacta na melhoria do índice de disponibilidade operacional e outros indicadores de manutenção, e comparar os resultados obtidos.

### **2.2 Objetivos Específicos**

a) Pesquisar nas bases de dados artigos relevantes sobre a adoção da manutenção preditiva e seu impacto nos indicadores de desempenho;

b) Selecionar os artigos encontrados, buscando os que relacionam a melhoria dos indicadores, principalmente a disponibilidade operacional, dentro da manutenção preditiva;

c) Fazer um estudo comparativo dos resultados, para evidenciar como a adoção de práticas preditivas melhora os índices de manutenção e principalmente a disponibilidade operacional;

d) Analisar os dados obtidos nos estudos comparativos, separando-os em qualitativos e quantitativos, fazer a correlação entre a adoção da manutenção preditiva e a melhoria dos indicadores, focando na disponibilidade operacional.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Tipos de Manutenção

Segundo Kardec; Nascif (2012), a manutenção pode ser dividida em vários tipos, entre eles estão:

a) *Manutenção Corretiva*: é o tipo de manutenção que ocorre após a ocorrência de uma falha. O objetivo é reparar o equipamento para que ele possa voltar a funcionar.

b) *Manutenção Preventiva*: é uma abordagem sistemática para evitar falhas, realizando intervenções de manutenção de forma programada com base em um calendário ou número de horas de operação.

c) *Manutenção Preditiva*: é uma abordagem para identificar e corrigir problemas antes que ocorram. Isso é feito através da análise de dados obtidos por meio de técnicas de monitoramento, como análise de vibração, termografia, análise de óleo, entre outras.

d) *Manutenção Proativa*: é uma abordagem para prevenir problemas antes que eles ocorram. Isso é feito através de ações de melhoria contínua, incluindo a manutenção preventiva e preditiva, bem como outras atividades, como treinamento de pessoal, melhoria de processos, entre outras.

e) *Manutenção Subjetiva*: é a manutenção realizada com base na experiência e julgamento dos profissionais de manutenção. Geralmente é aplicada em equipamentos mais simples ou em situações emergenciais.

f) *Manutenção Planejada*: é uma abordagem em que as intervenções de manutenção são planejadas com antecedência, com base em um calendário ou número de horas de operação. É realizada para prevenir falhas e maximizar a vida útil dos equipamentos.

Esses são alguns dos tipos de manutenção existentes, e a escolha da melhor abordagem dependerá das necessidades específicas de cada equipamento e da estratégia de manutenção adotada pela empresa (FERREIRA, 2019).

### 3.2 Manutenção Moderna

Segundo Souza (2022) a manutenção moderna é uma abordagem mais eficiente e eficaz para o gerenciamento da manutenção de equipamentos e máquinas em empresas. Ela se concentra em utilizar tecnologias avançadas, como a manutenção preditiva, para monitorar continuamente os equipamentos e identificar problemas antes que eles se tornem falhas.

A manutenção moderna também envolve a adoção de uma abordagem mais proativa para a manutenção. Em vez de esperar que as máquinas falhem e requeiram reparos corretivos, busca identificar e corrigir problemas antes que eles afetem a produção. Isso reduz o tempo de inatividade não programado, aumenta a disponibilidade operacional e prolonga a vida útil dos equipamentos (KARDEC; NASCIF, 2012).

Além disso, a manutenção moderna envolve o uso de tecnologias de gestão de dados para gerenciar a manutenção. Isso inclui sistemas de gestão de manutenção computadorizados (CMMS – do inglês *Computerized Maintenance Management System*) e outras ferramentas de *software* que permitem que as empresas gerenciem a manutenção de forma mais eficiente, planejando a manutenção preventiva e preditiva, rastreando o desempenho dos equipamentos e gerenciando estoques de peças de reposição (LAFRAIA, 2014).

Outra característica da manutenção moderna é o uso de equipes multifuncionais de manutenção. Em vez de ter uma equipe de manutenção dedicada a cada tipo de equipamento, as empresas podem ter equipes que são especializadas em uma variedade de tarefas de manutenção. Isso permite que as empresas sejam mais flexíveis e responsivas às necessidades de manutenção, bem como reduzir os custos de mão de obra (SOUZA, 2022).

Em resumo, a manutenção moderna é uma abordagem mais proativa e eficiente para a gestão da manutenção de equipamentos e máquinas em empresas. Ela envolve o uso de tecnologias avançadas, equipes multifuncionais de manutenção e ferramentas de gestão de dados para melhorar a eficiência da manutenção, aumentar a disponibilidade operacional e reduzir os custos.

Para Botelho (2017) no contexto da manutenção moderna, as equipes multifuncionais desempenham um papel fundamental no gerenciamento e manutenção de equipamentos e máquinas em empresas. Essas equipes são compostas por profissionais de diferentes áreas e disciplinas, como engenharia, produção, manutenção, qualidade, entre outras, e trabalham juntas para garantir que os equipamentos estejam operando de forma confiável e eficiente.

As equipes multifuncionais na manutenção são responsáveis por realizar inspeções regulares, monitorar continuamente os equipamentos, realizar manutenção preventiva e corretiva, além de planejar melhorias e modificações necessárias para aperfeiçoar os equipamentos e processos. Ao trabalhar juntas, essas equipes podem garantir que os equipamentos estejam sempre em boas condições de operação, reduzindo custos e tempo de inatividade não programado (BOTELHO, 2017).

Além disso, as equipes multifuncionais na manutenção também auxiliam na otimização do uso de recursos, como mão de obra e peças de reposição. Por exemplo, uma equipe pode ser designada para lidar com problemas mecânicos, enquanto outra equipe pode ser responsável por lidar com problemas elétricos. (LAFRAIA, 2014).

### 3.2.1 Indicadores e índices de manutenção

Para Ferreira (2019) os indicadores e índices de classe mundial são medidas que ajudam as empresas a avaliar o desempenho de seus processos e resultados em comparação com as melhores práticas e padrões internacionais. Esses indicadores e índices podem ser aplicados em diferentes áreas de negócios, incluindo manutenção, produção, qualidade, segurança, meio ambiente, entre outras.

Na área de manutenção, podemos destacar alguns dos indicadores e índices de classes mundiais mais utilizados, conforme descritos no Quadro 1 que segue abaixo:

Quadro 1- Indicadores e Índices de Classe Mundial

<b>Tempo Médio entre Falhas (MTBF)</b>	É o tempo médio em que um equipamento ou sistema funciona sem apresentar falhas.
<b>Tempo Médio para Reparo (MTTR)</b>	É o tempo médio que leva para reparar um equipamento ou sistema após uma falha.
<b>Disponibilidade</b>	Disponibilidade é um indicador utilizado para medir a eficiência da produção em relação ao tempo disponível para a operação dos equipamentos.
<b>Confiabilidade</b>	É utilizada para identificar oportunidades de melhoria na manutenção preventiva e preditiva.
<b>Custo de Manutenção</b>	É o valor total gasto com manutenção em relação ao valor do ativo.
<b>Taxa de Reincidência de Falhas</b>	É a proporção de falhas que ocorrem novamente após serem reparadas.

Fonte: Adaptado de Tavares; Nonato 2018.

Esses são apenas alguns exemplos de indicadores e índices de classe mundial na área de manutenção. A escolha dos indicadores e índices a serem utilizados dependerá das necessidades e objetivos da empresa. É importante selecionar os indicadores e índices que ajudem a empresa a medir e melhorar seu desempenho em relação às melhores práticas e padrões internacionais (TAVARES; NONATO, 2018).

Tempo Médio entre Falhas (MTBF- do inglês *mean time between failures*) é um indicador utilizado na área de manutenção, calculado pela divisão do tempo total de operação pela quantidade de falhas ocorridas nesse período (BRANCO FILHO, 1996).

Por exemplo, se um equipamento operou por um total de 100 horas e apresentou 2 falhas, o MTBF será de 50 horas ( $100/2$ ). O MTBF é um indicador importante para avaliar a confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos, pois quanto maior for o MTBF, menor será a probabilidade de falhas e maior será a disponibilidade do equipamento (BRANCO FILHO, 2016).

O MTBF pode ser utilizado para planejar a manutenção preventiva e preditiva dos equipamentos, de forma a reduzir a incidência de falhas e aumentar a disponibilidade dos equipamentos (BRANCO FILHO, 2016).

Tempo Médio para Reparo (MTTR - do inglês *mean time to repair*) é um indicador utilizado na área de manutenção, calculado pela divisão do tempo total de reparo pela quantidade de ocorrências de falhas nesse período (BRANCO FILHO, 1996).

Tomando como exemplo, se um equipamento apresentou uma falha que levou 4 horas para ser reparada, e durante um período de tempo ele apresentou 3 falhas, o MTTR será de 4 horas ( $12 \text{ horas de reparo}/3 \text{ falhas}$ ). O MTTR é um indicador importante para avaliar a eficiência da manutenção corretiva, pois quanto menor for o MTTR, menor será o tempo de parada do equipamento e menor será o impacto na produção (BRANCO FILHO, 2016).

O MTTR pode ser utilizado para identificar oportunidades de melhoria na manutenção corretiva, como a redução do tempo de diagnóstico e reparo, aumento do estoque de peças de reposição, entre outros (BRANCO FILHO, 2016).

O Índice de Disponibilidade é calculado pela divisão do tempo total em que o equipamento esteve disponível para operação pelo tempo total do período analisado (LAFRAIA, 2014).

Neste caso, se um equipamento esteve disponível para operação durante 400 horas de um total de 500 horas do período analisado, o Índice de Disponibilidade será de 80% ( $400/500 \times 100$ ). Esse indicador é importante para avaliar a capacidade

de produção dos equipamentos e a eficiência do processo produtivo (BRANCO FILHO, 2016).

O Índice de Disponibilidade pode ser utilizado para identificar oportunidades de melhoria na manutenção preventiva e corretiva, como a redução do tempo de reparo e a realização de manutenção preditiva (TAVARES; NONATO, 2018).

O Índice de Confiabilidade é um indicador utilizado para medir a capacidade de um equipamento ou sistema de operar continuamente sem falhas ou interrupções. É calculado pela divisão do tempo total em que o equipamento ou sistema operou sem falhas pelo tempo total de operação (LAFRAIA, 2014).

Em exemplo, se um equipamento operou continuamente sem falhas durante 200 horas de um total de 250 horas de operação, o Índice de Confiabilidade será de 80% ( $200/250 \times 100$ ). Esse indicador é importante para avaliar a capacidade do equipamento ou sistema em atender as necessidades da produção e a confiabilidade do processo produtivo (BRANCO FILHO, 2016).

O Índice de Confiabilidade pode ser utilizado para identificar oportunidades de melhoria na manutenção preventiva e preditiva, como a realização de inspeções regulares e a substituição de peças antes que falhem (BOTELHO, 2017).

O Custo de Manutenção é um indicador utilizado para medir os gastos de uma empresa com a manutenção de seus equipamentos e sistemas. É calculado pela soma de todos os custos diretos e indiretos relacionados à manutenção em um determinado período, como mão de obra, peças de reposição, equipamentos e serviços contratados (TAVARES; NONATO, 2018).

Por exemplo, se uma empresa gastou R\$100.000,00 em um período de um ano com manutenção, o Custo de Manutenção será de R\$100.000,00. Esse indicador é importante para avaliar a eficiência da gestão de manutenção e os impactos financeiros das ações tomadas (BRANCO FILHO, 2016).

O Custo de Manutenção pode ser utilizado para identificar oportunidades de redução de custos, como a realização de manutenção preventiva e preditiva, a melhoria da gestão de estoques de peças de reposição e a otimização da alocação de recursos e equipes de manutenção (TAVARES; NONATO, 2018).

A Taxa de Reincidência de Falhas é um indicador utilizado para medir a frequência com que uma falha específica ocorre em um equipamento ou sistema

após ter sido reparada. É calculada pela divisão do número de falhas recorrentes pelo número total de falhas registradas (LAFRAIA, 2014).

No caso, se um equipamento apresentou 10 falhas em um período de um ano, sendo que 3 dessas falhas ocorreram novamente após o reparo, a Taxa de Reincidência de Falhas será de 30% ( $3/10 \times 100$ ). Esse indicador é importante para avaliar a eficácia das ações tomadas para corrigir a falha e evitar que ela ocorra novamente (BRANCO FILHO, 2016).

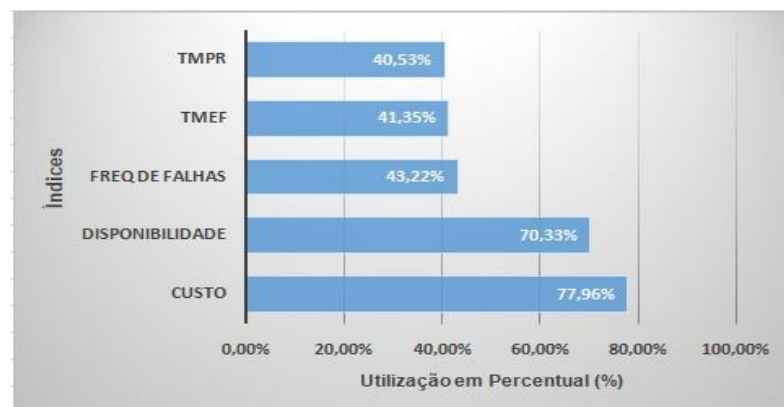
A Taxa de Reincidência de Falhas pode ser utilizada para identificar oportunidades de melhoria na gestão de manutenção, como a realização de análises mais detalhadas das causas raiz das falhas, a implementação de ações corretivas mais efetivas e a revisão dos procedimentos de manutenção (LAFRAIA, 2014).

É importante lembrar que os indicadores e índices de manutenção devem ser utilizados em conjunto, para avaliar de forma completa, o desempenho dos equipamentos e do processo de manutenção como um todo (BRANCO FILHO, 2008).

Conforme apresenta Branco Filho (2016), através dos dados disponibilizados no Documento Nacional da Abraman, podemos verificar alguns índices e indicadores de desempenho de manutenção mais utilizados nas empresas no ano de 2005, 2009 e 2013.

A Figura 1 demonstra que o índice mais utilizado no ano de 2005 foi de custos, seguido da disponibilidade, frequência de falhas, tempo médio entre falhas e tempo médio para reparo.

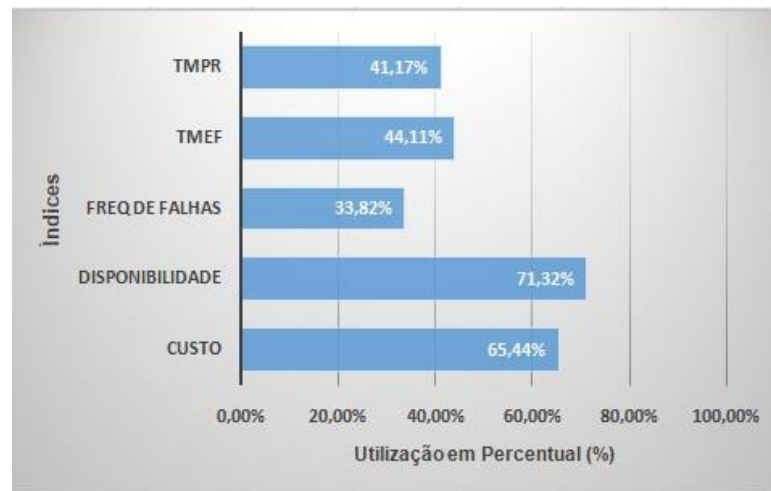
Figura 1- Índices e indicadores mais utilizados no ano de 2005.



Fonte: Adaptado de Branco Filho, 2016.

Na Figura 2, podemos ver que o índice de disponibilidade foi o mais utilizado no ano de 2009, porém não descuidando dos custos, seguido dos índices de tempo médio entre falhas, tempo médio para reparos e frequência de falhas.

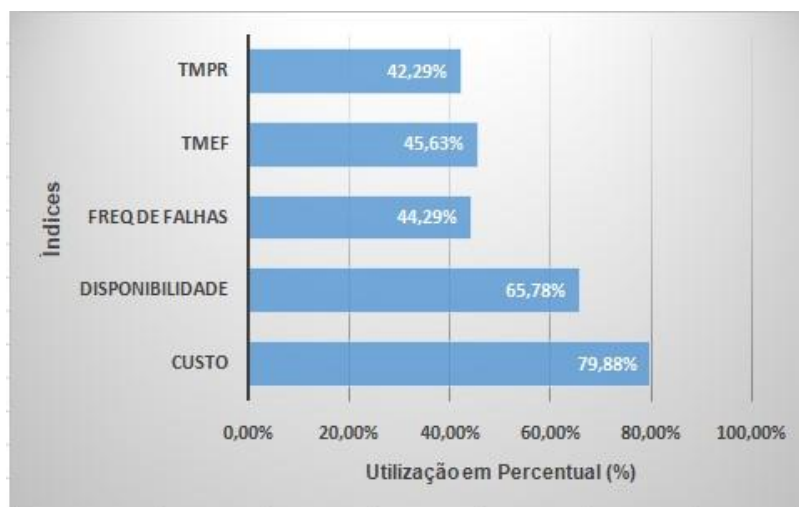
Figura 2- Índices e indicadores mais utilizados no ano de 2009.



Fonte: Adaptado de Branco Filho, 2016.

Ao observar a Figura 3, notamos que o índice de maior utilização voltou a ser o índice de custos, e em seqüência, o índice de disponibilidade, o tempo médio entre falhas, a frequência de falhas, e por último, porém não menos importante, o tempo médio para reparos.

Figura 3- Índices e indicadores mais utilizados no ano de 2013.



Fonte: Adaptado de Branco Filho, 2016.

Em conclusão, os indicadores e índices da manutenção preditiva são ferramentas valiosas para avaliar a eficácia da manutenção, identificar áreas de melhoria e tomar decisões informadas sobre a manutenção preventiva. A escolha dos indicadores e índices mais relevantes depende do tipo de equipamento ou sistema, das metas de desempenho e das necessidades específicas da organização.

### **3.3 Manutenção Preditiva**

A manutenção preditiva envolve a utilização de tecnologias e técnicas de monitoramento para identificar problemas em equipamentos antes que eles se tornem graves o suficiente para afetar a produção. Ao identificar e corrigir problemas antes que eles causem falhas, as empresas podem evitar interrupções não programadas na produção e reduzir o tempo de inatividade de equipamentos. Isso resulta em um aumento na disponibilidade operacional (BRANCO FILHO, 2008).

No entanto, a adoção da manutenção preditiva pode ser um desafio para muitas empresas, especialmente para aquelas que têm equipamentos mais antigos ou que operam em ambientes mais adversos. A implementação de tecnologias de monitoramento pode ser cara e requerer treinamento especializado para a equipe de manutenção (CARDOSO *et al.*, 2019).

Além disso, é importante lembrar que a manutenção preditiva não é uma solução única para melhorar a disponibilidade operacional. É necessário adotar uma abordagem holística para a manutenção e a gestão de equipamentos, considerando fatores como a qualidade do equipamento, a capacitação da equipe de manutenção e a gestão adequada de peças de reposição e estoques (NEPUMOCENO, 1989).

A manutenção preditiva é uma técnica importante que pode ajudar as empresas brasileiras e portuguesas a melhorarem sua disponibilidade operacional. No entanto, é necessário considerar uma série de fatores para implementá-la com sucesso e garantir a eficiência da manutenção de equipamentos e máquinas.

Para Cardoso *et al.* (2019), adoção da manutenção preditiva pode trazer uma série de benefícios para empresas, especialmente aquelas que dependem

fortemente de máquinas e equipamentos para suas operações. Dentre esses benefícios, podemos destacar:

a) *Redução de custos*: Com a manutenção preditiva, é possível identificar falhas antes que elas se tornem problemas graves, evitando a necessidade de reparos mais caros ou até mesmo a substituição de equipamentos inteiros.

b) *Aumento da disponibilidade operacional*: Ao prever falhas e agir antes que elas ocorram, é possível minimizar o tempo de inatividade dos equipamentos, aumentando a disponibilidade operacional da empresa.

c) *Melhoria da eficiência*: Com a manutenção preditiva, é possível planejar as atividades de manutenção de forma mais eficiente, evitando paradas desnecessárias e reduzindo o tempo de reparo.

d) *Melhoria da segurança*: A manutenção preditiva também pode ajudar a identificar problemas de segurança antes que eles ocorram, reduzindo o risco de acidentes e danos a pessoas e equipamentos.

e) *Aumento da vida útil dos equipamentos*: Ao monitorar constantemente o desempenho dos equipamentos, é possível identificar e corrigir problemas de desgaste e danos, prolongando a vida útil dos equipamentos.

No entanto, a adoção da manutenção preditiva também apresenta desafios, como o investimento em tecnologias de monitoramento e a necessidade de profissionais capacitados para realizar as análises e interpretações dos dados (KARDEC; NASCIF, 2012).

Em geral, empresas brasileiras e portuguesas têm adotado cada vez mais a manutenção preditiva como parte de sua estratégia de manutenção, buscando aumentar a eficiência, reduzir custos e melhorar a disponibilidade operacional. A tendência é que essa prática se torne cada vez mais comum e avançada com o desenvolvimento.

### 3.3.1 Tipos de Manutenção Preditiva

As análises na Manutenção Preditiva são realizadas por meio da coleta de dados obtidos através das técnicas de monitoramento, como análise de vibração, análise de óleo, termografia, ultrassom, análise de corrente elétrica, entre outras.

Esses dados são então processados e analisados por profissionais especializados em manutenção, que utilizam ferramentas de análise de dados e algoritmos para identificar tendências e anomalias nos equipamentos (NEPUMOCENO, 1989).

A análise de dados pode ser feita de forma manual ou automática, dependendo da complexidade dos equipamentos e da quantidade de dados coletados. Em geral, a análise manual é utilizada quando a quantidade de dados é relativamente pequena e os equipamentos são relativamente simples, enquanto a análise automática é mais comum em equipamentos mais complexos e com grandes volumes de dados (BRANCO FILHO, 2008).

Após a análise dos dados, os resultados são interpretados pelos profissionais responsáveis pela manutenção, que podem identificar as causas das falhas e definir ações corretivas para solucionar os problemas. Essas ações podem incluir reparos imediatos, substituição de componentes, reprogramação de manutenção preventiva, entre outras medidas (NEPUMOCENO, 1989).

O nível de alarme é uma das etapas importantes na análise de dados da Manutenção Preditiva. É um limite estabelecido para os valores medidos em uma técnica de monitoramento específica, como análise de vibração ou termografia, por exemplo. Esse limite é definido com base em normas técnicas, manuais de fabricantes e experiências anteriores, e serve para alertar os profissionais de manutenção sobre a necessidade de realizar ações corretivas em um equipamento (NEPUMOCENO, 1989).

Segundo Nepumoceno (1989), quando um valor medido ultrapassa o nível de alarme, é emitido um alerta para que a equipe de manutenção possa tomar as medidas necessárias para evitar falhas. Por exemplo, se na análise de vibração for detectada uma vibração acima do nível de alarme em uma máquina, a equipe de manutenção pode agendar uma inspeção mais detalhada para identificar a causa do problema e realizar reparos antes que ocorra uma falha grave.

É importante ressaltar que o nível de alarme não é o mesmo que o nível de falha. O nível de falha é o limite em que um equipamento deixa de funcionar corretamente, enquanto o nível de alarme é um indicador de que o equipamento está apresentando anomalias e pode estar caminhando para uma falha, mas ainda não atingiu o limite crítico (FERREIRA, 2019).

A manutenção corretiva planejada é uma das estratégias utilizadas na Manutenção Preditiva para maximizar a disponibilidade operacional dos equipamentos. Essa estratégia consiste em identificar possíveis falhas por meio da análise de dados obtidos por técnicas de monitoramento e programar intervenções de manutenção antes que ocorram as falhas (NEPOMUCENO, 1989).

Uma das principais vantagens da manutenção corretiva planejada é que ela permite que as intervenções de manutenção sejam realizadas de forma programada, o que minimiza o tempo de parada não planejada dos equipamentos. Além disso, como as intervenções são planejadas com base em análises de dados, é possível reduzir o número de intervenções desnecessárias, o que resulta em redução de custos e aumento da disponibilidade dos equipamentos (KARDEC; NASCIF, 2012).

Outra vantagem da manutenção corretiva planejada é que ela permite que os reparos sejam realizados com mais qualidade e segurança, já que os profissionais de manutenção têm mais tempo para planejar as intervenções, obter peças e ferramentas necessárias, e estudar as melhores práticas de manutenção para cada equipamento (KARDEC; NASCIF, 2012).

Conforme Nepumoceno (1989) existe diferentes tipos de Manutenção Preditiva que podem ser aplicados de acordo com as características dos equipamentos e sistemas, sendo eles:

a) *Análise de Vibração*: é uma das técnicas mais utilizada na Manutenção Preditiva. Ela consiste na medição das vibrações mecânicas de um equipamento, permitindo identificar sinais de desgaste e falhas em rolamentos, engrenagens e outras peças. A vibração é medida em pontos de fácil acesso do equipamento, não sendo necessário interromper o funcionamento. Na Figura 4 está representado um procedimento de análise de vibração em um motor de indução.

Figura 4 - Análise de vibração em um motor de indução.



Fonte: MMTEC, 2020.

b) *Análise de Óleo*: é uma técnica que consiste na análise da composição do óleo lubrificante utilizado nos equipamentos, permitindo identificar sinais de desgaste e contaminação. Na Figura 5, podemos ver amostras de óleo lubrificante coletados de equipamentos para ser realizada a análise.

Figura 5- Amostras de óleo lubrificante para análise.



Fonte: Mecânica Industrial, 2023.

c) *Termografia*: é uma técnica que utiliza câmeras termográficas para medir a temperatura dos equipamentos e identificar pontos de aquecimento excessivo, indicando problemas de lubrificação, problemas elétricos e outras falhas. A Figura 6 apresenta a imagem de um termômetro infravermelho realizando a medição da temperatura em disjuntores.

Figura 6 - Termômetro infravermelho realizando análise termográfica.



Fonte: Edifes, 2019.

d) *Ultrassom*: é uma técnica que utiliza um aparelho ultrassônico para medir o nível de ruído emitido pelos equipamentos, permitindo identificar sinais de desgaste em rolamentos e outros componentes mecânicos. Podemos observar na Figura 7, um operador realizando procedimento de medição de ruídos através de um equipamento ultrassônico.

Figura 7 - Medição de ruídos através de um equipamento de ultrassom.



Fonte: Vib Master, 2019.

e) *Monitoramento de Condição*: é uma técnica que consiste no monitoramento contínuo dos equipamentos, coletando, processando e comparando dados em tempo real, permitindo identificar sinais de desgaste, falhas, desbalanceamento e desalinhamentos de forma mais precisa. A Figura 8 representa como é feito o monitoramento de condição em tempo real de equipamentos.

Figura 8 - Monitoramento de condição.



Fonte: Dewe Soft, 2021.

Cada tipo de Manutenção Preditiva tem suas próprias vantagens e desvantagens, e a escolha da técnica mais adequada depende das características dos equipamentos e dos objetivos da empresa em relação à manutenção. Em geral, a combinação de diferentes técnicas de monitoramento é a abordagem mais eficaz para a Manutenção Preditiva (CARDOSO *et al.*, 2019).

## 4 METODOLOGIA

A pesquisa a ser realizada neste trabalho pode ser classificada como Revisão Bibliográfica quantitativa, qualitativa e descritiva inerente à temática proposta para o estudo. O presente trabalho visa realizar uma revisão bibliográfica para ampliar o conhecimento sobre a análise da melhoria da disponibilidade operacional em empresas brasileiras e portuguesas com a adoção da manutenção preditiva.

Neste sentido, a pesquisa pode ser caracterizada como bibliográfica, constituindo uma etapa inicial de toda pesquisa (GIL, 2017), pois é uma estratégia necessária para conduzir uma pesquisa exploratória tendo como objetivo fundamentar o tema tratado (MARTINS; THEÓPHILO, 2016).

O procedimento técnico utilizado foi a revisão da literatura nacional e internacional, aplicando critérios para a seleção. As fontes de pesquisa utilizadas para dar embasamento foram publicadas dentro do período dos últimos 12 anos.

Para buscar o ranqueamento dos materiais de relevância, utilizou-se as plataformas *scielo* e *google scholar*. Como critério de corte temporal, pesquisou-se trabalhos publicados de 2011 a 2023. As palavras pesquisadas foram: *disponibilidade operacional, manutenção preditiva, índices e indicadores de manutenção, técnicas de manutenção preditiva, melhora da disponibilidade operacional em empresas brasileiras e portuguesas*, aparecendo mais de 100 trabalhos para ser analisados. Em seguida, foi realizada a análise qualitativa do material, identificando os trabalhos que se enquadravam nos objetivos da pesquisa, após, foram escolhidos 50 trabalhos que possuíam em seu resumo informações sobre o impacto nos índices e indicadores de manutenção, principalmente da disponibilidade operacional, e então, selecionados 30 trabalhos que abordavam de forma direta a melhoria dos indicadores, para fazer o levantamento e a análise dos dados apresentados.

Para a análise dos estudos de caso, foram avaliados os dados quantitativos e qualitativos apresentados nos trabalhos selecionados. Para os locais de estudo e as técnicas preditivas utilizadas, foi realizado um levantamento dos dados disponibilizados, e análise dos índices que combinados, apresentaram melhorias para a disponibilidade operacional nas empresas brasileiras e portuguesas.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta os resultados obtidos no presente estudo e oferece uma análise e discussão aprofundada dos mesmos. Os resultados são apresentados de acordo com os objetivos específicos do estudo, permitindo uma compreensão abrangente das descobertas e sua relação com a literatura existente. Além disso, a discussão busca interpretar e contextualizar os resultados, abordando suas implicações teóricas e práticas, bem como suas limitações.

É importante ressaltar que este capítulo tem como objetivo principal apresentar os resultados e proporcionar uma análise crítica dos mesmos. A discussão não se limitará apenas a uma descrição dos resultados, mas também buscará explorar as implicações teóricas e práticas, fornecendo *insights* valiosos para a área de estudo.

### 5.1 Análise descritiva dos artigos estudados

O artigo de Pires e Okada (2020) apresenta uma pesquisa bibliográfica sobre a importância e benefícios da Manutenção Preditiva em indústrias. Através de estudos realizados em 500 fábricas que adotaram esse método de gestão de manutenção, foi possível observar redução de custos, falhas e tempo de parada de máquinas, aumento da vida útil e produtividade, além de aumento nos lucros.

Nota-se que a Manutenção Preditiva é apresentada como uma estratégia de manutenção que auxilia nas tomadas de decisões da gerência em casos de necessidade de parada de equipamentos com defeitos, através do monitoramento das condições dos componentes das máquinas, proporcionando previsibilidade de falhas e reduzindo o custo de manutenção. Para implantação desse método é necessária uma equipe de técnicos, *softwares* e instrumentos (PIRES, OKADA, 2020).

Silva e Nascimento (2020) apresentam uma análise da importância da manutenção de máquinas e equipamentos em uma indústria. São abordados conceitos teóricos sobre vibração mecânica, parâmetros de monitoramento e manutenção em bombas centrífugas.

O estudo de caso apresentado mostra a importância da análise de vibração para a manutenção preventiva de bombas de absorção em uma indústria química. O artigo conclui que a manutenção preditiva é essencial para garantir a disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos, e que a análise de vibração é uma ferramenta importante para a manutenção preventiva (SILVA; NASCIMENTO, 2020).

Soares (2011) aborda sobre a importância da manutenção preditiva em uma empresa de mineração de cal na região centro-oeste de Minas Gerais. O objetivo geral é analisar como a manutenção preditiva pode contribuir para a eficiência e eficácia dos equipamentos da empresa. O trabalho apresenta uma revisão teórica sobre os tipos de manutenção, ciclo PDCA<sup>1</sup> (do inglês- *Plan, Do, Check, Act*), conceito de manutenibilidade e manutenção, falhas, causas de falhas, eficácia da manutenção, planos de manutenção e ensaio cromatográfico.

A conclusão do trabalho é que a manutenção preditiva é fundamental e garante a disponibilidade e aumenta a produtividade da empresa.

Cerveira e Sellitto (2015) apresentam um estudo sobre a confiabilidade e manutenibilidade de equipamentos industriais, com foco na estratégia de manutenção mais adequada para cada fase do ciclo de vida do equipamento. Foram revisados conceitos teóricos e distribuições de probabilidade relevantes para a manutenção, além de ser apresentado um estudo de caso aplicado a um forno de fusão por indução elétrica em uma fundição de aços especiais.

Os resultados indicaram que o equipamento estava na fase de maturidade, o que remete à estratégia de manutenção preditiva, enquanto a estratégia preventiva utilizada pela empresa não era adequada para essa fase. O estudo ressalta a importância da manutenção preditiva na indústria e a necessidade de se adaptar as estratégias de acordo com o ciclo de vida do equipamento (CERVEIRA; SELLITTO, 2015).

Lourenço (2020) aborda a importância da manutenção preditiva em máquinas industriais, com foco na análise de vibração em rolamentos de prensas mecânicas em uma indústria automobilística. A manutenção preditiva consiste em coletar dados

---

<sup>1</sup> PDCA: ferramenta utilizada para solucionar problemas, controlar e promover uma melhoria contínua de processos e produtos.

durante a atividade produtiva dos equipamentos, com o objetivo de prever falhas futuras e evitar paradas inesperadas. A análise de vibração é uma das técnicas utilizadas nesse processo, permitindo identificar falhas incipientes nos rolamentos e planejar manutenções adequadas.

O trabalho propõe a utilização de sensores de vibração em tempo real, conectados a um Controlador Lógico Programável (CLP), para monitorar constantemente o estado dos rolamentos e aumentar a disponibilidade produtiva das máquinas (LOURENÇO, 2020).

O trabalho de Ribeiro (2015) apresenta uma proposta de melhoria do plano de manutenção preventiva e otimização do armazém de peças de substituição da empresa Fater Portugal. O objetivo é reduzir o número de avarias mensais e melhorar a disponibilidade de peças no *store room*. A metodologia utilizada incluiu o acompanhamento diário da equipe de manutenção, análise do histórico de avarias, reorganização do arquivo de avarias, filtragem de tarefas que não geravam valor e inclusão de novas tarefas.

Também foi realizado um trabalho de preparação para a utilização do SAP PM<sup>2</sup> no *store room*, com a redução de 5% do capital investido e eliminação de referências obsoletas. O trabalho foi dividido em quatro capítulos principais, incluindo introdução, estado da arte, apresentação da realidade da empresa e proposta de solução (RIBEIRO, 2015).

Vilhena *et al.* (2017) apresenta a aplicação de técnicas de manutenção preditiva na Usina Hidrelétrica Coaracy Nunes (UHCN), utilizando sistemas de monitoramento como o SIMME<sup>3</sup> e o IMA-DP<sup>4</sup>. O objetivo é demonstrar a eficiência da manutenção preditiva na conservação e confiabilidade dos equipamentos, além de reduzir o tempo de paradas desnecessárias e aumentar a disponibilidade dos equipamentos.

O artigo também apresenta resultados de medições dos sistemas de monitoramento e a identificação de defeitos e possíveis falhas nas unidades geradoras. O trabalho conclui que a manutenção preditiva é uma solução eficaz para

---

<sup>2</sup> SAP PM *software* utilizado para controlar os equipamentos na manutenção preventiva.

<sup>3</sup> SIMME: sistema de monitoramento de máquinas elétricas.

<sup>4</sup> IMA-DP: Instrumentação para monitorização e análise de descargas parciais.

a conservação dos equipamentos e aumento da produtividade (VILHENA, *et al.*, 2017).

Sant Ana e Silva (2020) têm como objetivo estudar o setor de manutenção em uma empresa de produção de sementes de milho, identificando suas características e particularidades para propor melhorias na gestão da manutenção baseadas em indicadores. O milho é uma *commodity* importante para a alimentação humana e animal, além de ser utilizado na produção de etanol. A manufatura de sementes de milho é caracterizada por grande concorrência e um processo sistemático.

A manutenção estratégica é indispensável para garantir a confiabilidade e disponibilidade das instalações, colaborando para a excelência da organização. O estudo de caso é conduzido na estrutura organizacional da manutenção da empresa estudada, composta por sete funcionários diretos e trinta e seis funcionários terceiros. A partir das características, é feita uma proposta de novos indicadores para acompanhamento, como o MTBF e MTTR, que garantem estabilidade no índice de disponibilidade (SANT ANA; SILVA, 2020).

Gonçalves (2020) apresenta o uso de sensoriamento em transformadores de potência associado à manutenção preditiva. A realização da manutenção preditiva com auxílio de sensor de monitoramento online instalado no ativo, o quarto capítulo é dedicado à análise da viabilidade financeira da implementação da tecnologia no transformador e, por fim, o Capítulo 5 apresenta as conclusões do trabalho.

Para Gonçalves (2020) o sensoriamento em transformadores de potência é uma técnica importante para a manutenção preditiva, permitindo a detecção de falhas e a realização de análises no óleo mineral isolante. A viabilidade financeira de empreender na tecnologia no transformador é analisada, mostrando que a utilização do sensoriamento pode trazer benefícios econômicos e técnicos.

O trabalho de Varão (2021) é um projeto de graduação que analisa os procedimentos de manutenção das máquinas rotativas da Corteva Agriscience, unidade Formosa/GO. O trabalho é composto por quatro capítulos, além da introdução e conclusão. No Capítulo dois, é apresentada uma revisão bibliográfica sobre os principais tipos de manutenção, matriz de criticidade, características de rolamentos e análise de vibrações. No Capítulo três, é feita a definição do problema e uma breve descrição do fluxo do processo produtivo da empresa.

No Capítulo quatro, são apresentados os resultados do projeto e a análise do plano dos procedimentos de manutenção. No Capítulo cinco, são apresentadas duas propostas. No Capítulo seis, são apresentadas as conclusões e comentários gerais sobre o projeto. O trabalho não aborda profundamente a análise de vibração utilizada na manutenção preditiva, mas sugere que isso possa ser continuado em um trabalho futuro (VARÃO, 2021).

Cardoso (2020) tem como objetivo propor e aplicar a atualização dos planos de manutenção preditiva em uma indústria, visando à redução de quebras, paradas de produção não planejadas e diminuição dos custos de manutenção. O estudo é baseado em análises de vibração e termografia, e busca reduzir o tempo de execução das análises preditivas de 720 horas para 360 horas nos conjuntos de ventiladores de máquinas, em caráter experimental, num período de 12 meses.

Martins *et al.* (2020) apresenta uma sistemática de pesquisa-ação aplicada em uma empresa multinacional de telecomunicações, com o objetivo de melhorar a disponibilidade do serviço de telefonia móvel. A pesquisa é classificada como aplicada, com abordagem quantitativa e qualitativa, e é dividida em seis etapas seqüenciais. A metodologia inclui a escolha do cenário, levantamento de dados para priorização de problemas e identificação de equipes e ações para a solução dos problemas. O referencial teórico aborda metodologias para otimização de equipamentos, políticas de manutenção e indicadores de desempenho. O estudo propõe uma solução para melhorar a qualidade do sinal de telefonia móvel, com base em análises de dados e entrevistas com técnicos de campo.

Batista (2020) apresenta uma comparação dos indicadores de manutenção de um setor de fabricação de borracha de uma indústria do ramo automobilístico, onde seus equipamentos são submetidos a manutenções preditivas. O objetivo é apresentar a evolução do setor após a implantação da manutenção preditiva. O trabalho começa com pesquisas sobre a manutenção em geral e a manutenção preditiva em particular, e depois apresenta os dados coletados em uma empresa da cidade de Varginha/MG, onde foi realizado o estudo do setor a partir do ano de 2017, que foi o ano de início da utilização deste tipo de manutenção, até o primeiro semestre de 2020, apresentando a viabilidade da manutenção preditiva para a indústria, segurança e meio ambiente.

Silva (2020) expõe que o acompanhamento da termografia é a utilização da técnica de termografia infravermelha para monitorar a temperatura superficial de um objeto ou estrutura ao longo do tempo. Essa técnica permite identificar variações de temperatura que podem indicar falhas ou anomalias no objeto ou estrutura, permitindo a tomada de decisões para manutenção preventiva ou corretiva. O acompanhamento sistemático da termografia pode ser utilizado como método de inspeção e manutenção preditiva em diversas áreas, como na indústria, construção civil, energia elétrica, entre outras.

Santos (2019) desenvolve um trabalho sobre manutenção aeronáutica preditiva, que apresenta conclusões e recomendações sobre os desafios e oportunidades dessa abordagem. O autor destaca a importância da manutenção preditiva para os fabricantes, operadores e centros de manutenção aeronáutica, e sugere processos para agregar valor às atividades de manutenção dos operadores aéreos.

O trabalho também apresenta um modelo de negócio baseado em técnicas preditivas de análise de vibração e termografia, e discute ferramentas desenvolvidas pelos principais fabricantes de aeronaves e operadores aéreos. A metodologia utilizada inclui revisão de literatura e entrevistas com especialistas no assunto. O trabalho é exploratório e sugere a necessidade de mais pesquisas sobre manutenção preditiva (SANTOS, 2019).

Silva *et al.* (2022) destacam a manutenção mecânica em motoniveladoras, que refere-se ao processo de manutenção e reparo dos componentes mecânicos do equipamento para garantir seu bom funcionamento. Isso inclui inspeções regulares, lubrificação e substituição de peças desgastadas, como correias, mangueiras, filtros e rolamentos. O objetivo do monitoramento de condição na manutenção mecânica é prevenir quebras e prolongar a vida útil dos equipamentos, bem como garantir sua segurança e eficiência na operação.

Lagares *et al.* (2022) abordam um estudo de caso sobre a melhoria do funcionamento de uma correia transportadora em uma indústria siderúrgica. O estudo teve como objetivo identificar as principais causas das paradas e desenvolver ações para eliminá-las. O capítulo aborda a análise dos registros de manutenção, a identificação das principais causas de paradas não planejadas e a conclusão de que

o principal problema estava relacionado à falta de lubrificação e dimensionamento incorreto do acoplamento.

O capítulo também apresenta a utilização de um plano de lubrificação e a modificação do acoplamento, que resultou em aumento de produtividade, redução de horas de manutenção corretiva e aumento da disponibilidade dos equipamentos. O capítulo inclui referências a normas relevantes e literatura sobre manutenção e confiabilidade (LAGARES *et al.*, 2022).

Silva (2018) apresenta um estudo sobre a importância da manutenção preditiva na indústria têxtil, com foco em um compressor de ar. O referencial teórico aborda conceitos relacionados à tribologia, manutenção industrial, manutenção preditiva por análise de vibração e indústria têxtil.

A metodologia adotada incluiu a coleta de dados e escolha de parâmetros para a elaboração de um plano de manutenção preditiva, que foi cadastrado no sistema da empresa estudada junto com o setor de Planejamento e Controle da Manutenção (PCM). O trabalho justifica-se pela possibilidade de intervenção que aumenta o número de intervalo entre manutenções corretivas e preventivas, causando uma menor incidência de paradas não programadas e, conseqüentemente menores índices de indisponibilidade e maior escala de produção (SILVA, 2018).

Junior *et al.* (2022) realizaram um estudo que teve como objetivo rastrear a vida útil de equipamentos agrícolas por meio de manutenção preditiva, utilizando análise de óleo para identificar contaminação de fontes internas e externas. Os resultados foram positivos, permitindo intervenções antes que o equipamento apresentasse falha funcional, reduzindo custos e aumentando a disponibilidade. A manutenção é crucial para garantir a integridade e o funcionamento do equipamento, evitando perdas de produção e prevenindo acidentes.

Clemente (2018) explora o impacto dos indicadores de manutenção na disponibilidade física de equipamentos de mineração. A autora destaca que a gestão da manutenção é um grande desafio para empresas do ramo da mineração, mas que quando bem aplicada, avaliando principalmente os indicadores de *performance* da manutenção, faz toda a diferença na competitividade. Os principais indicadores de *performance* são o MTBF, o MTTR e a Disponibilidade Física, que podem ser adotados por diferentes empresas, de acordo com seus objetivos e estratégias.

A autora também destaca que geralmente não é possível identificar o estado geral dos equipamentos com apenas um indicador quantitativo, tendo em vista que diversos fatores influenciam no processo, podendo apresentar erroneamente a qualidade final da manutenção. Deste modo, analisar como os indicadores influenciam na disponibilidade seria um diferencial para obter sucesso na gestão da manutenção. A autora conclui que a utilização das equações de impacto dos indicadores na disponibilidade, é uma importante ferramenta no auxílio da avaliação da real da manutenção de equipamentos de mina (CLEMENTE, 2018).

Fernandes (2022) discorre sobre a implementação de manutenção preditiva em uma indústria de semicondutores, apresentando as conclusões retiradas após a implementação de manutenção preditiva nas bombas de vácuo de anel líquido, bem como as propostas de melhoria e os trabalhos futuros a desenvolver.

Goulart (2022) realiza um estudo de criticidade e análise da disponibilidade em uma fábrica de utensílios domésticos na cidade de Pato Branco/PR. O objetivo é utilizar uma metodologia conhecida para organizar todo o setor de manutenção e assim diminuir o gargalo relacionado ao problema e pensando que futuramente seja possível diminuir os custos relacionados a paradas desnecessárias por falta de uma manutenção organizada.

O trabalho apresenta uma revisão bibliográfica sobre conceitos de manutenção, gestão de manutenção, manutenção corretiva, manutenção preventiva, manutenção preditiva, criticidade dos equipamentos e indicadores de manutenção. Os materiais e métodos utilizados incluem a caracterização da empresa, estudo de disponibilidade e estudo de criticidade. Os resultados e discussões apresentam a caracterização da empresa, a disponibilidade e a análise de criticidade dos equipamentos (GOULART, 2022).

Pinheiro *et al.* (2017) analisa a política de manutenção adotada por uma empresa de mineração e sua influência na disponibilidade física dos equipamentos de moagem. A manutenção é vista como uma função estratégica, com o objetivo de garantir a disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos, preservando a segurança e integridade das plantas e instalações. A política de manutenção deve ser dimensionada para cada caso e realidade da empresa, envolvendo políticas corretivas, preventivas e preditivas.

A empresa adota um sistema misto de políticas de manutenção, incluindo a manutenção autônoma. A política de manutenção é avaliada constantemente por meio de análise de MTBF, MTTR, desempenho e disponibilidade física dos equipamentos. A análise dos resultados indica que a manutenção tem cumprido seu papel dentro da estrutura organizacional da empresa avaliada (PINHEIRO, *et al.*, 2017).

Toazza e Sellitto (2015) descrevem a aplicação de uma estratégia de manutenção preditiva no departamento de gráficos de uma empresa de tabaco. O método de pesquisa utilizado foi ação-pesquisa e foram utilizadas técnicas como análise de vibração, termografia, ferrografia e inspeção sensível. O estudo descobriu que apenas a manutenção preventiva combinada com uma técnica de manutenção preditiva, visando manter a confiabilidade desejada, em apenas um departamento crítico da empresa, não foi suficiente. A implementação de uma estratégia de manutenção preditiva pode trazer resultados positivos em indicadores estratégicos, desde que compartilhados com outros setores da empresa, principalmente no setor de produção.

Spolaor *et al.* (2019) discutem a importância da manutenção preditiva em equipamentos críticos de alta qualidade, especificamente em ventiladores centrífugos radiais usados no processo industrial de secagem de levedura. Técnicas de manutenção preditiva, como inspeção visual, análise de vibração, análise de ruído e análise termográfica, são usadas para coletar dados periodicamente e garantir a confiabilidade e disponibilidade do equipamento.

Embora haja um investimento inicial em equipamentos de análise e monitoramento e mão de obra qualificada, a manutenção preditiva pode melhorar as taxas de disponibilidade e prolongar a vida útil do equipamento (SPOLAOR *et al.*, 2019).

Para Coutinho (2017), otimizar recursos por meio da aplicação de técnicas de manutenção preditiva significa utilizar ferramentas e técnicas específicas para avaliar o estado real dos equipamentos e, com base nessa avaliação, ajustar o planejamento da manutenção preventiva, detectar precocemente possíveis falhas, evitar o surgimento de problemas complexos e proporcionar a tomada de decisões com base em dados reais. Isso permite que a empresa direcione seus recursos de

manutenção de forma mais eficiente, evitando gastos desnecessários e garantindo a confiabilidade dos equipamentos.

No artigo de Santos *et al.* (2022), o estudo foi aplicado em uma planta fabril que utiliza equipamentos rotativos. O intuito deste artigo é comprovar a melhora da disponibilidade e da confiabilidade quando utilizada manutenção preditiva.

A conclusão foi de que apesar de ser um investimento alto para implantar as técnicas de monitoramento e análises, o retorno do investimento se dá através da redução de custos e aumento da produtividade, que está diretamente ligada a disponibilidade dos equipamentos e aumento da confiabilidade (SANTOS *et al.*, 2022).

Junior (2020) se concentra em aumentar a disponibilidade de uma máquina corrugadora por meio de manutenção preditiva usando sensores inteligentes, computação em nuvem e conceitos de Indústria 4.0.

Os sensores inteligentes de vibração e temperatura da marca Dynamox®, modelo DynaPredict®, foram instalados nas posições axial, vertical e horizontal da caixa redutora de engrenagem com a finalidade de monitorar o estado dos rolamentos e engrenagens. Os dados coletados pelos sensores são disponibilizados em nuvem através de conexão sem fio, permitindo o monitoramento e análise em tempo real com *dashboard web* e também com dispositivos móveis (*smartphone e tablet*), possibilitando que a manutenção possa atuar de forma preditiva, e aumentar os indicadores de desempenho e a confiabilidade do equipamento. O objetivo é utilizar ferramentas e conceitos da indústria 4.0 para aumentar a disponibilidade da máquina corrugadora (JUNIOR, 2020).

Santos e Sellitto (2016) trazem em seu artigo uma proposta de estratégia de manutenção e ações de melhoria para aumentar a disponibilidade de uma estação de compressão de gás na indústria do petróleo. A metodologia inclui modelagem do tempo de reparo e tempo entre falhas para compressores individuais e a estação de compressão de gás como um todo.

Os dados coletados do sistema de informação da empresa mostram que ambas as máquinas estão na fase de falhas prematuras devido à troca de matérias-primas. O artigo sugere estratégias de manutenção corretiva e apresenta uma lista de projetos de melhoria para aumentar a disponibilidade e encerrar a fase de falhas

prematuras. As palavras-chave incluem Manutenção Centrada na Confiabilidade (RCM, do inglês, *Reliability Centered Maintenance*), confiabilidade, manutenibilidade, análise de *Weibull*, análise de gama, manutenção e compressor alternativo (SANTOS; SELLITTO, 2016).

Moreira (2020) elabora um estudo de uma centrífuga de levedo, equipamento de alta criticidade. Através da implementação da manutenção preditiva utilizando técnica de inspeção visual, termografia, análise de ruídos, vibração e análise de óleo, é feito o monitoramento do equipamento buscando aumentar sua disponibilidade.

O resultado apresentado foi satisfatório. O investimento nas técnicas de manutenção preditiva auxiliou na redução de custos, aumento de vida útil do equipamento e também atingiu o resultado esperado de aumento de disponibilidade operacional (MOREIRA, 2020).

Analisando e estudando estes artigos percebe-se o quão importante é a manutenção preditiva, pois ela se baseia na utilização de dados e análises avançadas para identificar padrões e tendências que possam indicar a ocorrência de problemas futuros.

A prevenção preditiva pode ajudar a reduzir os custos associados a problemas e falhas. Ao detectar antecipadamente problemas em equipamentos ou sistemas, é possível agir preventivamente, realizar manutenções corretivas antes que ocorram falhas graves e evitar custos elevados de reparo ou substituição.

Ao prever problemas potenciais, a manutenção preditiva permite agir proativamente, melhorando a eficiência operacional. Por exemplo, se uma máquina é identificada como apresentando uma tendência de falha em um futuro próximo, pode-se agendar uma manutenção antes que ela pare completamente, minimizando o tempo de inatividade e mantendo a produção em andamento.

Manutenção preditiva também pode ser aplicada para identificar riscos de segurança e tomar medidas preventivas para mitigá-los. Isso é especialmente relevante em setores como o transporte, a saúde e a segurança pública, onde a antecipação de riscos pode salvar vidas e prevenir acidentes graves.

A manutenção preditiva fornece informações valiosas que podem apoiar a tomada de decisões informadas. Ao analisar dados preditivos, os gestores podem

identificar áreas de risco, priorizar recursos, planejar ações preventivas e aperfeiçoar processos, baseando-se em dados sólidos e análises precisas.

É importante ressaltar que a manutenção preditiva depende de uma boa qualidade dos dados utilizados e de algoritmos de análise adequados. Além disso, é fundamental considerar questões éticas e de privacidade na coleta e uso dos dados, garantindo que esses dados sejam tratados de forma responsável e segura.

## 5.2 Análise geral dos dados contidos nos artigos estudados

A partir da análise dos resultados, foi desenvolvido um compilado com os seguintes dados: autores, técnica preditiva, indicadores e índices, e o resultado obtido após implementação da manutenção preditiva. No Quadro 2 é possível visualizar de forma mais objetiva, como os artigos tratam essas questões.

Quadro 2 - Informações obtidas nos artigos estudados (continua)

<b>Autores</b>	<b>Técnica Preditiva</b>	<b>Indicadores e Índices</b>	<b>Resultado obtido após a implementação da manutenção preditiva</b>
Pires e Okada (2020)	Monitoramento de condição	Custos MTTR Disponibilidade Taxa de Reincidência de Falhas	Diminuiu 50% Diminuiu 60% Aumentou 30% Diminuiu 55%
Fernandes (2022)	Análise de óleo	Custos MTTR	Diminuiu 40% Diminuiu 67%
Silva e Nascimento (2020)	Análise de vibração	Custos	Diminuiu 18%
Soares (2011)	Monitoramento de condição	Disponibilidade	Aumentou de 95% para 96%
Cerveira e Sellitto (2015)	Monitoramento de condição	MTTR MTBF Disponibilidade	Diminuiu para 156 min. Aumentou para 8397 min. Aumentou de 95% para 98,18%

Quadro 2 - Informações obtidas nos artigos estudados (continuação)

Lourenço (2020)	Análise de vibração	Custo Disponibilidade	Diminuiu Aumentou 13%
Ribeiro (2015)	Monitoramento de condição	Disponibilidade Custo	Aumentou Diminuiu
Vilhena <i>et al.</i> (2017)	Monitoramento de condição	Disponibilidade	Aumentou de 71,5% para 100%
Sant Ana e Silva (2020)	Monitoramento de condição	MTTR MTBF Disponibilidade	Diminuiu Aumentou Aumentou de 98,05% para 100%
Gonçalves (2020)	Análise de vibração, Termografia	Custos Disponibilidade	Diminuiu Aumentou
Varão (2021)	Análise de vibração	Custos Disponibilidade Confiabilidade Taxa de Reincidência de Falhas	Diminuiu Aumentou Aumentou Diminuiu
Cardoso (2020)	Análise de vibração, Termografia	Custos MTTR Disponibilidade Confiabilidade	Diminuiu Diminuiu 86,18% Aumentou Aumentou
Martins <i>et al</i> (2020)	Monitoramento de condição	Disponibilidade	Aumentou de 92,81% para 97,49%
Batista (2020)	Monitoramento de condição	MTBF MTTR Disponibilidade	Aumentou Diminuiu Aumentou de 96,59% para 98%
Silva (2020)	Termografia	Disponibilidade Confiabilidade	Aumentou Aumentou
Santos (2019)	Análise de vibração, Termografia	Disponibilidade	Aumentou

Quadro 2 - Informações obtidas nos artigos estudados (continuação)

Silva <i>et al.</i> (2022)	Monitoramento de condição	Disponibilidade Taxa de Reincidência de Falhas	Aumentou 7% Diminuiu 41%
Lagares <i>et al.</i> (2022)	Monitoramento de condição	Custos Disponibilidade Confiabilidade	Diminuiu Aumentou Aumentou
Silva (2018)	Análise de vibração	Custos Disponibilidade	Diminuiu Aumentou
Junior <i>et al.</i> (2022)	Análise de óleo	Custos Disponibilidade Confiabilidade	Diminuiu Aumentou Aumentou
Clemente (2018)	Monitoramento de condição	Disponibilidade	Aumentou de 79,87% para 80,18%
Gustavo Goulart	Monitoramento de condição	Disponibilidade	Aumentou de 87,90% para 99%
Pinheiro <i>et al.</i> (2017)	Monitoramento de condição	Disponibilidade	Aumentou de 88,15% para 95,41%
Toazza e Sellitto (2015)	Inspeção visual, Ferrografia, Análise de vibração, Termografia	Custos Disponibilidade	Diminuiu Aumentou
Spolaor <i>et al.</i> (2019)	Inspeção visual, Análise de vibração, Análise de Ruídos, Termografia	Disponibilidade Taxa de Reincidência de Falhas	Aumentou de 96,09% para 100% Diminuiu 100%
Coutinho (2017)	Análise de vibração, Análise de óleo, Termografia, Ferrografia	Disponibilidade	Aumentou de 70% para 90%
Santos <i>et al.</i> (2022)	Monitoramento de condição	Custos Confiabilidade Disponibilidade	Diminuiu Aumentou Aumentou

Quadro 2 - Informações obtidas nos artigos estudados (conclusão).

Junior (2020)	Análise de vibração, Termografia	Custos MTTR MTBF Disponibilidade Confiabilidade	Diminuiu Diminuiu Aumentou Aumentou Aumentou
Santos e Sellitto (2016)	Análise de óleo	MTTR Disponibilidade	Diminuiu para 22,8% Aumentou para 96,7%
Moreira (2020)	Inspeção visual, Análise de óleo, Análise de vibração, Análise de ruídos, Termografia	Custos Disponibilidade	Diminuiu Aumentou de 82% para 99,71%

Fonte: Elaborado pela autora através dos artigos selecionados.

Conforme o quadro acima, podemos verificar a variedade de técnicas preditivas, e também, dos índices e indicadores utilizados nos artigos selecionados. Sobre o resultado obtido após a implementação da manutenção preditiva, nota-se um apontamento positivo em todos os artigos.

Em todos os artigos estudados, foi possível identificar as técnicas que foram aplicadas para obter os resultados. Quanto aos indicadores e índices, também foram identificados em todos os artigos. O percentual obtido após a implementação da manutenção preditiva, não foi mensurado em alguns estudos de caso, somente o resultado.

### 5.3 Análise quantitativa dos dados obtidos nos estudos de caso

No Quadro 3 podemos identificar os tipos de técnicas preditivas e o número de artigos que estão relacionados.

Quadro 3- Relação das técnicas preditivas e número de artigos.

<b>Técnica Preditiva</b>	<b>Número de artigos</b>	<b>Percentual</b>
Monitoramento de condição	14	46,9%
Análise de Vibração	4	13,3%
Análise de Vibração e Termografia	4	13,3%
Análise de Óleo	3	10%
Análise de Óleo, Análise de Vibração, Termografia, Ferrografia	1	3,3%
Termografia	1	3,3%
Análise de Vibração, Termografia, Ferrografia, Inspeção Visual	1	3,3%
Inspeção Visual, Análise de Vibração, Análise de Ruídos, Termografia	1	3,3%
Inspeção Visual, Análise de Óleo, Análise de Vibração, Análise de Ruídos, Termografia	1	3,3%
<b>Total</b>	<b>30</b>	<b>100%</b>

Fonte: Elaborado pela autora através dos artigos selecionados.

Através desta análise de dados, é possível visualizar que o tipo de técnica preditiva mais utilizada nos artigos foi o monitoramento de condição, que consiste no acompanhamento dos dados dos equipamentos de forma contínua. A segunda técnica preditiva mais aplicada foi vibração, em seguida, a combinação da análise de vibração e termografia, e a quarta técnica preditiva mais utilizada foi análise de óleo. É importante ressaltar, que o tipo de técnica preditiva utilizada, depende dos objetivos dos artigos, e do equipamento a ser monitorado.

Foi possível também visualizar quantas vezes cada técnica foi aplicada no geral dos artigos, desconsiderando as combinações de técnicas, conforme o Quadro 4 abaixo.

Quadro 4- Técnicas utilizadas no geral dos artigos estudados.

<b>Técnica Preditiva</b>	<b>Número de artigos</b>	<b>Percentual que foi utilizada a técnica, sobre os trinta artigos estudados</b>
Monitoramento de condição	14	46,66%
Análise de Vibração	9	30%
Termografia	6	20%
Análise de Óleo	5	16,66%
Inspeção Visual	3	10%
Ferrografia	2	6,66%
Análise de Ruídos	2	6,66%

Fonte: Elaborado pela autora através dos artigos selecionados

Podemos verificar nos artigos estudados, como cada técnica preditiva adotada influenciou nos índices e indicadores.

No Quadro 5, é possível visualizar o impacto e o número de artigos que a técnica de monitoramento da condição apresentou sobre os índices e indicadores.

Quadro 5 - Monitoramento da condição e a influência sobre os índices e indicadores.

(continua)

<b>Índices e Indicadores</b>	<b>Impacto</b>	<b>Número de artigos</b>
Disponibilidade	Aumento	14 artigos
Custos	Redução	4 artigos
MTTR	Redução	4 artigos
MTBF	Aumento	3 artigos

Quadro 5 - Monitoramento da condição e a influência sobre os índices e indicadores.  
(conclusão)

Confiabilidade	Aumento	2 artigos
Reincidência de falhas	Redução	2 artigos

Fonte: Elaborado pela autora através dos artigos selecionados.

Analisando o Quadro 5, referente ao Monitoramento da condição e a influência sobre os índices e indicadores, podemos observar o impacto das medidas tomadas sobre diversos índices e indicadores.

A disponibilidade, um indicador importante para medir a efetividade de um sistema ou processo, apresentou um aumento em todos os 14 artigos. Isso indica que as medidas adotadas contribuíram para aumentar a disponibilidade do sistema, reduzindo o tempo de inatividade e garantindo um melhor desempenho.

Em relação aos índices de custos, houve uma redução em 4 artigos. Isso indica que as medidas adotadas contribuíram para diminuir os custos relacionados ao processo ou sistema em análise.

Quanto ao MTTR (Mean Time to Repair), também foi observada uma redução em 4 artigos. Isso significa que as ações aplicadas resultaram em uma diminuição do tempo médio necessário para reparar falhas ou problemas, o que contribui para aumentar a eficiência e minimizar interrupções.

Em contrapartida, o MTBF (Mean Time Between Failures) apresentou um aumento em 3 artigos. Essa métrica indica o tempo médio entre falhas em um sistema ou processo. O aumento do MTBF sugere que as melhorias implementadas resultaram em um aumento na confiabilidade e no tempo de operação sem falhas.

A confiabilidade também apresentou um aumento em 2 artigos. Isso significa que o monitoramento de condição resultou em um sistema mais confiável, capaz de operar de maneira consistente e previsível.

Por fim, a reincidência de falhas apresentou uma redução em 2 artigos. Isso indica que as medidas adotadas foram eficazes na redução da frequência com que as falhas ocorrem novamente, contribuindo para a estabilidade e a confiabilidade do sistema.

Portanto, a análise do quadro sugere que as medidas utilizadas tiveram um impacto positivo em vários índices e indicadores, resultando em redução de custos, diminuição do tempo médio de reparo, aumento da confiabilidade, disponibilidade e diminuição da reincidência de falhas. Esses resultados indicam uma melhoria geral no desempenho e na eficiência do sistema ou processo em questão após a utilização da técnica de monitoramento de condição.

A técnica preditiva de análise de óleo, utilizada em três artigos, apresentou os seguintes resultados sobre os índices e indicadores, conforme apontado no Quadro 6.

Quadro 6- Análise de óleo e a influência sobre os índices e indicadores.

<b>Índices e Indicadores</b>	<b>Impacto</b>	<b>Número de artigos</b>
Custos	Redução	2 artigos
MTTR	Redução	2 artigos
Disponibilidade	Aumento	2 artigos
Confiabilidade	Aumento	1 artigo

Fonte: Elaborado pela autora através dos artigos selecionados.

Os resultados apresentados no quadro indicam a quantidade de artigos que abordaram a influência da análise de óleo nas melhorias dos índices e indicadores específicos.

Em relação aos custos, houve uma redução mencionada em 2 artigos. Isso sugere que a análise de óleo teve um impacto positivo na redução dos custos relacionados ao processo ou sistema analisado.

O MTTR (Mean Time to Repair) também apresentou uma redução em 2 artigos. Essa métrica indica o tempo médio necessário para realizar reparos em caso de falhas. A redução do MTTR sugere que a análise de óleo contribuiu para a diminuição do tempo necessário para reparar falhas, o que é importante para a eficiência operacional.

Quanto à disponibilidade, houve um aumento mencionado em 2 artigos. A disponibilidade é um indicador crucial para medir a efetividade de um sistema ou processo. O aumento mencionado nos artigos sugere que a análise de óleo teve um

impacto positivo na melhoria da disponibilidade, reduzindo o tempo de inatividade e melhorando o desempenho geral.

É importante ressaltar que essas conclusões são baseadas nos artigos mencionados e que outras considerações ou estudos adicionais podem fornecer uma perspectiva mais abrangente sobre a influência da análise de óleo nos índices e indicadores.

No Quadro 7, pode-se observar como a análise de vibração influenciou nos índices e indicadores em quatro artigos que aplicaram a técnica.

Quadro 7- Análise de vibração e a influência sobre os índices e indicadores.

<b>Índices e Indicadores</b>	<b>Impacto</b>	<b>Número de artigos</b>
Custos	Redução	4 artigos
Disponibilidade	Aumento	3 artigos
Confiabilidade	Aumento	1 artigo
Reincidência de falhas	Redução	1 artigo

Fonte: Elaborado pela autora através dos artigos selecionados.

No que se refere aos custos, houve uma redução mencionada em todos os 4 artigos. Isso sugere que a análise de vibração teve um impacto significativo na redução dos custos associados ao processo ou sistema analisado.

Em relação à disponibilidade, houve um aumento mencionado em 3 artigos. A disponibilidade é um indicador fundamental para medir a eficácia de um sistema ou processo. O aumento mencionado nos artigos sugere que a análise de vibração teve um impacto positivo na melhoria da disponibilidade, reduzindo o tempo de inatividade e melhorando o desempenho geral.

A confiabilidade apresentou um aumento mencionado em 1 artigo. Isso indica que a análise de vibração também teve um efeito positivo na melhoria da confiabilidade do sistema ou processo. A confiabilidade refere-se à capacidade de um sistema operar de forma consistente e previsível, o aumento mencionado sugere que a análise de vibração contribuiu para alcançar esse objetivo.

Com base nos dados do Quadro 7, podemos concluir que a análise de vibração teve uma influência positiva nos índices e indicadores mencionados. Houve

uma redução nos custos e um aumento na disponibilidade e confiabilidade. Esses resultados indicam que a análise de vibração é uma ferramenta valiosa para monitorar e melhorar o desempenho de sistemas e processos, permitindo a identificação precoce de problemas e a implementação de ações corretivas eficientes.

Em quatro artigos que utilizaram as técnicas de análise de vibração e termografia combinadas, o resultado é possível verificar no Quadro 8.

Quadro 8- Análise de vibração combinada com a termografia e a influência sobre os índices e indicadores

<b>Índices e Indicadores</b>	<b>Impacto</b>	<b>Número de artigos</b>
Disponibilidade	Aumento	4 artigos
Custos	Redução	3 artigos
Confiabilidade	Aumento	2 artigos
MTTR	Redução	2 artigos
MTBF	Aumento	1 artigo

Fonte: Elaborado pela autora através dos artigos selecionados.

Em relação à disponibilidade, houve um aumento mencionado em todos os 4 artigos. Isso indica que a combinação da análise de vibração com a termografia teve um impacto positivo na melhoria da disponibilidade do sistema, reduzindo o tempo de inatividade e garantindo um melhor desempenho.

A confiabilidade também apresentou um aumento mencionado em 2 artigos. Isso sugere que a análise combinada, de vibração e termografia, contribuíram para melhorar a confiabilidade do sistema, tornando-o mais consistente e previsível.

Em relação aos custos, houve uma redução mencionada em 3 artigos. Isso indica que a combinação da análise de vibração com a termografia teve um impacto positivo na redução dos custos relacionados ao processo ou sistema analisado.

Quanto ao MTTR (Mean Time to Repair), houve uma redução mencionada em 2 artigos. Essa redução indica que a análise combinada, de vibração e termografia, contribuíram para a diminuição do tempo médio necessário para reparar falhas ou problemas, o que é benéfico para a eficiência operacional.

Em relação ao MTBF (Mean Time Between Failures), houve um aumento mencionado em 1 artigo. Esse aumento sugere que, a análise combinada de vibração e termografia, resultaram em um aumento do tempo médio entre falhas, o que indica uma melhoria na confiabilidade e no tempo de operação sem falhas.

Com base nos dados do Quadro 8, podemos concluir que a combinação da análise de vibração com a termografia teve uma influência positiva nos índices e indicadores mencionados. Houve redução nos custos e no MTTR, aumento no MTBF, na disponibilidade e na confiabilidade. Esses resultados indicam que a combinação dessas técnicas é uma abordagem eficaz para o monitoramento e melhorado desempenho de sistemas e processos, permitindo a detecção precoce de problemas e a implementação de ações corretivas adequadas.

A análise de vibração, combinada com as técnicas de termografia, ferrografia e inspeção visual, utilizadas em um artigo resultou nos seguintes benefícios dos indicadores e índices, conforme o Quadro 9.

Quadro 9- Análise de vibração combinada com a termografia, ferrografia e inspeção visual, e a influência sobre os índices e indicadores.

<b>Índices e Indicadores</b>	<b>Impacto</b>	<b>Número de artigos</b>
Custos	Redução	1 artigo
Disponibilidade	Aumento	1 artigo

Fonte: Elaborado pela autora através dos artigos selecionados.

Ao analisar o Quadro 9 - Análise de vibração combinada com a termografia, ferrografia e inspeção visual, e a influência sobre os índices e indicadores, podemos observar como a combinação dessas técnicas afeta os índices e indicadores mencionados.

Os resultados apresentados no quadro indicam a quantidade de artigos que abordaram a influência da análise de vibração combinada com a termografia, ferrografia e inspeção visual nas melhorias dos índices e indicadores específicos.

Em relação aos custos, houve uma redução mencionada em 1 artigo. Isso indica que a combinação dessas técnicas teve um impacto positivo na redução dos custos relacionados ao processo ou sistema analisado.

Quanto à disponibilidade, houve um aumento mencionado em 1 artigo. Esse aumento sugere que a análise combinada de vibração, termografia, ferrografia e inspeção visual, contribuíram para melhorar a disponibilidade do sistema, reduzindo o tempo de inatividade e garantindo um melhor desempenho.

Com base nos dados do Quadro 9, podemos concluir que a combinação da análise de vibração com a termografia, ferrografia e inspeção visual teve uma influência positiva nos índices e indicadores mencionados. Houve uma redução nos custos e um aumento na disponibilidade. Esses resultados sugerem que a combinação dessas técnicas é uma abordagem eficaz que permite a detecção precoce de problemas e a implementação de ações corretivas adequadas.

Ao observar o quadro 10, podemos ver como a inspeção visual, combinada a análise de vibração, de ruídos e termografia, que foi utilizada em um artigo, influenciou nos índices e indicadores.

Quadro 10- Inspeção visual, combinada com análise de vibração, de ruídos e termografia, e a influência sobre os índices e indicadores.

<b>Índices e Indicadores</b>	<b>Impacto</b>	<b>Número de artigos</b>
Disponibilidade	Aumento	1 artigo
Reincidência de falhas	Redução	1 artigo

Fonte: Elaborado pela autora através dos artigos selecionados.

Ao analisar o Quadro 10 - Inspeção visual combinada com análise de vibração, de ruídos e termografia, e a influência sobre os índices e indicadores, podemos observar como essa combinação de técnicas afeta os índices e indicadores mencionados.

Os resultados apresentados no quadro indicam a quantidade de artigos que abordaram a influência da combinação da inspeção visual com a análise de vibração, ruídos e termografia nas melhorias dos índices e indicadores específicos.

Em relação à disponibilidade, houve um aumento mencionado em 1 artigo. Isso indica que a combinação dessas técnicas teve um impacto positivo na melhoria da disponibilidade do sistema, o tempo de inatividade reduziu e um melhor desempenho foi assegurado.

Quanto à reincidência de falhas, houve uma redução mencionada em 1 artigo. Esse resultado sugere que a combinação da inspeção visual, com a análise de vibração, ruídos e termografia auxiliaram para a redução da frequência de falhas, melhorando a confiabilidade e a estabilidade do sistema.

Com base nos dados do Quadro 10, podemos concluir que a combinação da inspeção visual, com a análise de vibração, ruídos e termografia, tiveram uma influência positiva nos índices e indicadores mencionados. Houve um aumento na disponibilidade e uma redução na reincidência de falhas. Esses resultados sugerem que essa combinação de técnicas é uma abordagem eficaz para monitorar e melhorar o desempenho de equipamentos, sistemas e processos.

Quando as técnicas de análise de vibrações, de óleo, termografia e ferrografia foram aplicadas em um artigo, o resultado obtido, pode-se verificar no Quadro 11.

Quadro 11- Análise de vibrações, de óleo, termografia e ferrografia, e a influência sobre os índices e indicadores.

<b>Índices e Indicadores</b>	<b>Impacto</b>	<b>Número de artigos</b>
Disponibilidade	Aumento	1 artigo

Fonte: Elaborado pela autora através dos artigos selecionados.

Os resultados apresentados no quadro indicam a quantidade de artigos que abordaram a influência da combinação da análise de vibrações, de óleo, termografia e ferrografia na melhoria dos índices e indicadores específicos.

Em relação à disponibilidade, houve um aumento mencionado em 1 artigo. Isso indica que a combinação dessas técnicas teve um impacto positivo na melhoria da disponibilidade do sistema, com isso o desempenho aumentou e reduziu o tempo de inatividade.

Com base nos dados do Quadro 11, podemos concluir que a combinação da análise de vibrações, de óleo, termografia e ferrografia teve uma influência positiva no índice de disponibilidade mencionado. Houve um aumento na disponibilidade, sugerindo que essa combinação de técnicas é eficaz para monitorar e melhorar o desempenho dos sistemas, equipamentos e dos processos, permitindo a detecção

precoce de problemas e a implementação de ações corretivas adequadas conforme planejamento, evitando a indisponibilidade.

Em um artigo, foi utilizada a combinação da inspeção visual, análise de óleo e vibrações, de ruídos e termografia. O resultado é possível observar no Quadro 12.

Quadro 12- Inspeção visual, análise de óleo e vibrações, de ruídos, termografia e a influência sobre os índices e indicadores.

<b>Índices e Indicadores</b>	<b>Impacto</b>	<b>Número de artigos</b>
Custos	Redução	1 artigo
Disponibilidade	Aumento	1 artigo

Fonte: Elaborado pela autora através dos artigos selecionados.

O quadro 12 indica a quantidade de artigos que abordaram a influência da combinação da inspeção visual, análise de óleo, vibrações, ruídos e termografia nas melhorias dos índices e indicadores específicos.

Em relação aos custos, houve uma redução mencionada em 1 artigo. Isso indica que a combinação dessas técnicas teve um impacto positivo na redução dos custos relacionados ao processo ou sistema analisado.

Quanto à disponibilidade, houve um aumento mencionado em 1 artigo. Esse aumento sugere que a combinação da inspeção visual, análise de óleo, vibrações, ruídos e termografia, favoreceram para melhorar a disponibilidade do sistema, sendo eficaz, e garantindo maior tempo operacional.

Com base nos dados do Quadro 12, podemos concluir que a combinação da inspeção visual, análise de óleo, vibrações, ruídos e termografia tiveram uma influência positiva nos índices e indicadores mencionados. Houve uma redução nos custos e um aumento na disponibilidade. Esses resultados sugerem que essa combinação de técnicas é uma abordagem eficaz, o que permite que sejam detectados os problemas antes de ocorrerem, possibilitando que uma implementação de ações corretivas adequadas para o sistema/ equipamento a fim de evitar paradas desnecessárias e não planejadas, que influenciam diretamente na lucratividade das empresas.

No artigo que foi utilizada apenas a termografia, o resultado apresenta-se no Quadro 13.

Quadro 13- Termografia e a influência sobre os índices e indicadores.

<b>Índices e Indicadores</b>	<b>Impacto</b>	<b>Número de artigos</b>
Disponibilidade	Aumento	1 artigo
Confiabilidade	Aumento	1 artigo

Fonte: Elaborado pela autora através dos artigos selecionados.

Em relação à disponibilidade, houve um aumento mencionado em 1 artigo. Isso indica que a utilização da termografia teve um impacto positivo na melhoria da disponibilidade do sistema, reduzindo o tempo de inatividade e garantindo um melhor desempenho.

Quanto à confiabilidade, houve um aumento mencionado em 1 artigo. Esse resultado sugere que a termografia contribuiu para aumentar a confiabilidade do sistema, possibilitando a detecção precoce de falhas ou anomalias que poderiam comprometer seu desempenho.

Com base nos dados do Quadro 13, podemos concluir que a termografia teve uma influência positiva nos índices e indicadores mencionados. Houve um aumento na disponibilidade e na confiabilidade do sistema. Esses resultados sugerem que a termografia é uma técnica eficaz para a identificação e análise de problemas térmicos, permitindo a tomada de medidas corretivas e a melhoria da operação dos sistemas.

Além do aumento da disponibilidade citado na grande maioria dos artigos, através desse estudo, foi possível visualizar o comportamento dos outros índices em destaque, como a redução dos custos, seguido do MTTR, confiabilidade, MTBF, e taxa de reincidência de falhas. Para compreender melhor podemos visualizar o Quadro 14.

Quadro 14 - Percentual citado nos artigos referente aos índices e indicadores

<b>Índices e Indicadores</b>	<b>Número de artigos</b>	<b>Percentual</b>
Disponibilidade Operacional	28	Melhoria citada em 93,33% dos artigos
Custos	15	Redução citada em 50% dos artigos
MTTR	8	Redução citada em 26,67% dos artigos
Confiabilidade	7	Melhoria citada em 23,33% dos artigos
MTBF	4	Melhoria citada em 13,33% dos artigos
Taxa de reincidência de falhas	4	Redução citada em 13,33% dos artigos

Fonte: Elaborado pela autora, através dos artigos selecionados.

A disponibilidade operacional foi mencionada como melhorada em 93,33% dos artigos, após a implementação da manutenção preditiva, destacando sua importância na garantia de um sistema confiável e disponível para uso.

Em relação aos custos, foi mencionada a redução em 50% dos artigos, indicando que a preocupação com a redução de custos é um tema recorrente e relevante nos estudos analisados.

O MTTR (Mean Time to Repair) foi mencionado como reduzido em 26,67% dos artigos, o que indica a importância da eficiência na resolução de problemas e na redução do tempo de reparo.

A confiabilidade foi mencionada como melhorada em 23,33% dos artigos, destacando sua relevância na garantia da operação estável e confiável do sistema.

O MTBF (Mean Time Between Failures) foi mencionado como melhorado em 13,33% dos artigos, indicando a relevância de aumentar o tempo médio entre falhas para melhorar o desempenho do sistema.

A taxa de reincidência de falhas foi mencionada como reduzida em 13,33% dos artigos, indicando a preocupação com a redução de falhas recorrentes e a busca por maior estabilidade no sistema.

Com base nos dados do Quadro 14, podemos observar que a disponibilidade operacional é o índice mais freqüentemente mencionado, seguido pelos custos e o MTTR. Isso sugere que esses são aspectos críticos que os pesquisadores e profissionais consideram relevantes ao avaliar a eficiência e o desempenho dos sistemas.

O MTTR e MTBF estão diretamente ligados a disponibilidade operacional, tendo em vista que são utilizados para realizar o cálculo da mesma. Quando há um aumento no MTBF e uma redução no MTTR, conseqüentemente a disponibilidade é elevada, e resulta também no aumento da confiabilidade dos equipamentos. Também é possível ver que houve redução da taxa de reincidência de falhas, esse indicador foi apresentado em quatro artigos.

#### 5.4 Análise qualitativa obtidas nos estudos de caso

Foi possível notar no decorrer do estudo de caso dos artigos selecionados, que alguns dados quantitativos não foram apresentados, apenas informando se houve aumento ou redução, sem um percentual quantitativo, outros foram omitidos a pedido das empresas no qual a manutenção preditiva foi aplicada. Podemos verificar esses dados através do Quadro 15.

Quadro 15- Índices e indicadores que não foram divulgados de forma quantitativa (continua).

<b>Índices e Indicadores</b>	<b>Número de artigos</b>	<b>Percentual sobre o total dos trinta artigos estudados</b>
Custos	12	40%
Disponibilidade	11	36,66%
Confiabilidade	7	23,33%
MTTR	3	10%

Quadro 15 - Índices e indicadores que não foram divulgados de forma quantitativa (conclusão).

MTBF	3	10%
Reincidência de falhas	1	3,33%

Fonte: Elaborado pela autora, através dos artigos selecionados.

Alguns artigos estudados mencionaram também outros benefícios, que foram separados em categorias que ajudam a agrupar as informações relacionadas com base nos nossos objetivos correspondentes. Nota-se que algumas informações podem se sobrepor em diferentes categorias, pois os resultados alcançados geralmente estão interligados.

Pensando em compreender de forma qualitativa esses dados, destacam-se algumas categorias para fazer as análises através dos artigos selecionados e o referencial teórico que embasou esse trabalho. As categorias se deram da seguinte forma:

Quadro 16 - Categorias Qualitativas.

Categoria 1: Redução de Custos	Redução de Custos Preditiva
Categoria 2: Eficiência de Produção	Redução de Refugo e Desperdício Maior Tempo Operando em Capacidade Máxima
Categoria 3: Segurança e Sustentabilidade	Redução de Acidentes Redução de Impactos Ambientais
Categoria 4: Melhoria dos Indicadores	Foco na Disponibilidade

Fonte: Elaborado pela autora, através dos artigos selecionados.

Na primeira categoria sobre Redução de Custos, interligado com a redução de custos preditiva, destacamos que segundo Nepumoceno (1989), essa subcategoria refere-se à utilização de técnicas preditivas, como análise de dados, inteligência artificial e aprendizado de máquina, para identificar e prever oportunidades de redução de custos. Isso envolve a análise de padrões, tendências e dados históricos para antecipar problemas potenciais e otimizar processos, resultando em economia de recursos, minimização de desperdícios e melhor alocação de recursos financeiros.

Essa abordagem proativa permite que as empresas identifiquem ineficiências e áreas de alto custo com antecedência, possibilitando a implementação de medidas corretivas e estratégias de redução de custos antes que se tornem problemas significativos. Além disso, a redução de custos preditiva também pode ajudar a otimizar a cadeia de suprimentos, melhorar a eficiência operacional e identificar oportunidades de economia em várias áreas da organização (NEPUMOCENO, 1989).

Essa subcategoria é uma abordagem mais proativa e baseada em dados para a redução de custos, permitindo que as empresas tomem decisões assertivas e implementem ações preventivas para melhorar sua saúde financeira e competitividade.

Na segunda categoria sobre Eficiência de Produção, nota-se que na subcategoria: Redução de Refugo e Desperdício, refere-se à implementação de medidas e estratégias para reduzir a quantidade de refugo e desperdício gerados durante o processo de produção. Isso pode envolver a melhoria dos processos de fabricação, o controle de qualidade mais rigoroso, a identificação e correção de falhas nos fluxos de trabalho, o treinamento dos funcionários em práticas adequadas de manipulação de materiais e a adoção de tecnologias avançadas para otimizar a produção (TAVARES; NONATO, 2018).

A redução de refugo e desperdício tem o objetivo de maximizar a eficiência dos recursos utilizados na produção, minimizando perdas e melhorando a qualidade dos produtos finais. Isso não apenas resulta em economia de custos ao reduzir a necessidade de matéria-prima adicional, mas também contribui para uma operação mais sustentável e responsável.

Na mesma categoria, há ainda a subcategoria de Maior Tempo Operando em Capacidade Máxima, refere-se a maximizar o tempo de operação de equipamentos e instalações produtivas em sua capacidade máxima. Isso pode ser alcançado por meio de práticas de manutenção preventiva, programação eficiente de produção, gestão de estoque adequada, alocação eficaz de recursos e otimização do fluxo de trabalho.

Ao garantir que os equipamentos estejam em pleno funcionamento e operando no máximo de sua capacidade, as empresas podem aumentar sua capacidade produtiva, reduzir tempos de inatividade não planejados e aproveitar ao máximo seus ativos. Isso resulta em maior produtividade, melhor utilização de recursos e redução de custos operacionais (TAVARES; NONATO, 2018).

Essas subcategorias se concentram em melhorar a eficiência dos processos de produção, reduzir desperdícios e aumentar a capacidade produtiva, contribuindo para uma operação mais rentável e competitiva.

Na terceira categoria Segurança e Sustentabilidade, há a Redução de Acidentes.

Essa subcategoria está relacionada à aplicação de medidas e políticas visando à redução de acidentes no ambiente de trabalho. Isso envolve a promoção de práticas seguras, o treinamento adequado dos funcionários, a identificação e correção de potenciais riscos, a manutenção regular de equipamentos e a criação de uma cultura de segurança.

A redução de acidentes não apenas protege a saúde e o bem-estar dos funcionários, mas também contribui para a redução de custos associados a lesões, afastamentos e interrupções na produção. Além disso, demonstra o compromisso da empresa com a segurança e pode melhorar a reputação e a confiança dos clientes (LAFRAIA, 2014).

Na mesma categoria há a Redução de Impactos Ambientais, essa subcategoria está relacionada às ações e estratégias adotadas para minimizar os impactos ambientais causados pelas operações da empresa. Isso pode envolver a adoção de práticas sustentáveis, a redução do consumo de recursos naturais, a gestão eficiente de resíduos, o uso de energias renováveis, implementação de tecnologias limpas e a conformidade com regulamentações ambientais.

Segundo Lafraia (2014), a redução de impactos ambientais não apenas contribui para a preservação do meio ambiente, mas também pode gerar economia de custos em longo prazo. Ao adotar práticas sustentáveis, as empresas podem reduzir gastos com energia, água e matérias-primas, além de evitar penalidades e multas decorrentes de não conformidade com regulamentações ambientais.

Essas subcategorias destacam a importância da segurança no trabalho e da responsabilidade ambiental. Ao focar em reduzir acidentes e impactos ambientais, as empresas podem garantir um ambiente de trabalho seguro, sustentável e em conformidade com as regulamentações aplicáveis.

A última, e a quarta categoria, Melhoria dos Indicadores, busca trazer o Foco na Disponibilidade. Essa subcategoria refere-se à ênfase na melhoria da disponibilidade de recursos e sistemas essenciais para a operação da empresa. Isso pode envolver a utilização de estratégias de manutenção preventiva, o monitoramento contínuo de equipamentos e sistemas, o aprimoramento dos processos de produção e a redução de tempos de inatividade não planejados.

Ao aumentar a disponibilidade dos recursos e sistemas-chave, as empresas podem maximizar sua capacidade produtiva, garantir um fluxo contínuo de produção e atender às demandas dos clientes de forma mais eficiente. Isso também contribui para a redução de custos associados a atrasos na produção, perda de vendas e insatisfação dos clientes.

Essa subcategoria se concentra em melhorar os indicadores relacionados à disponibilidade dos recursos e sistemas, buscando ampliar a eficiência operacional e melhorar a experiência do cliente.

Mesmo não possuindo dados quantitativos visíveis de alguns índices e indicadores, os artigos concluíram que a manutenção preditiva melhorou o desempenho nos locais onde foi implementada, pois ofereceu benefícios significativos, incluindo redução de custos, aumento da vida útil dos ativos, maior confiabilidade, otimização do tempo de manutenção, segurança aprimorada, eficiência operacional, diminuição da substituição de peças sem a devida necessidade, redução de peças sobressalentes, diminuição de desperdícios na produção.

É possível concluir que, quando a gestão da manutenção é feita de forma eficaz, utilizando as vantagens da manutenção preditiva, ao antecipar problemas e agir proativamente, as organizações podem obter vantagens competitivas e melhorar seu desempenho geral.

## 6 CONCLUSÃO

Foi possível concluir através do desenvolvimento desse trabalho que a análise da melhoria da disponibilidade operacional em empresas brasileiras e portuguesas com a adoção da manutenção preditiva é um tema relevante e de interesse no campo da gestão da manutenção. A manutenção preditiva envolve a utilização de diversas técnicas de monitoramento e diagnóstico para identificar falhas e antecipar a necessidade de intervenções corretivas, a fim de evitar paradas não programadas e aumentar a disponibilidade dos equipamentos.

Os quadros apresentados fornecem uma visão geral dos principais índices e indicadores relacionados à melhoria da disponibilidade operacional, bem como outras áreas de interesse, como custos, confiabilidade e taxas de reincidência de falhas. Eles destacam a influência de diferentes técnicas de análise, como monitoramento de condição, análise de vibração, análise de óleo, termografia, ferrografia, inspeção visual e análise de ruídos, nos resultados obtidos.

Pode-se destacar o Quadro 14, que apresenta o número de artigos e o percentual de citações relacionadas a diferentes índices e indicadores, nos permitindo observar algumas tendências interessantes após a aplicação da manutenção preditiva.

Em relação à Disponibilidade Operacional, ficou evidente que é um aspecto muito abordado e de suma importância para as empresas. Após inserir a manutenção preditiva e suas técnicas, a melhoria da disponibilidade operacional foi citada em 93,33% dos artigos. Isso sugere que os autores reconhecem que a disponibilidade operacional é um fator crucial para o desempenho eficiente dos equipamentos, sistemas ou processos analisados, e quando implementada de forma eficaz, a manutenção preditiva traz um resultado assertivo.

Quanto aos Custos, embora o número de artigos seja menor em comparação a Disponibilidade Operacional, sua redução é mencionada em 50% dos artigos após implementar a manutenção preditiva. Isso indica que a preocupação com a otimização dos custos é uma consideração relevante nos estudos abordados.

No que diz respeito ao MTTR (Mean Time to Repair), ele é mencionado em 26,67% dos artigos, mas ainda assim representa um índice importante, pois é

utilizado para o cálculo da disponibilidade operacional. A redução do tempo necessário para reparos é um objetivo buscado por muitas organizações, pois está diretamente relacionada à eficiência e à minimização de interrupções.

Pode-se concluir que a Confiabilidade dos equipamentos e sistemas aumentou após utilizar a manutenção preditiva. A melhoria desse índice foi mencionada em 23,33% dos artigos, o que indica que é uma preocupação presente nas discussões. A confiabilidade é fundamental para garantir a consistência e a qualidade dos resultados obtidos, além de transmitir confiança aos usuários ou clientes.

O MTBF (Mean Time Between Failures), mencionado em 13,33% dos artigos, representa outra métrica relacionada à disponibilidade e confiabilidade. Embora tenha sido menos abordado visivelmente nos artigos, a melhoria do MTBF indica um interesse em aumentar o tempo médio entre falhas, contribuindo para uma operação mais estável, contínua e disponível. A melhoria desse índice foi possível devido à utilização das técnicas de manutenção preditiva.

A Taxa de Reincidência de Falhas, também mencionada em 13,33% dos artigos, demonstra a importância de reduzir a recorrência de falhas. Isso significa que os autores estão preocupados em identificar as causas raiz dos problemas e aplicar soluções efetivas para evitar a reincidência, esse índice pode ser diretamente afetado através da aplicação da manutenção preditiva.

Em resumo, os índices e indicadores mencionados nos artigos refletem uma variedade de preocupações e interesses nas áreas de disponibilidade operacional, custos, tempo de reparo, confiabilidade e taxa de falhas, que podem ser melhorados através da aplicação das técnicas de manutenção preditiva. Essas considerações indicam um esforço contínuo para melhorar a eficiência, a qualidade, confiabilidade, segurança e a vida útil dos equipamentos, sistemas e processos abordados nos estudos analisados.

Os quadros apresentados nos resultados, também evidenciam que, quando utilizadas as técnicas de manutenção preditiva, como a combinação do monitoramento de condição, análise de vibração, termografia, ferrografia, inspeção visual, análise de óleo e de ruídos, os impactos são positivos na redução de custos, diminuição do tempo médio para reparo (MTTR), aumento do tempo médio entre

falhas (MTBF), melhoria da confiabilidade, redução da reincidência de falhas e, principalmente, no aumento da disponibilidade operacional.

Os resultados também mostram que, mesmo quando são aplicadas as técnicas de manutenção preditiva de forma individual, sem suas combinações, é possível atingir um alto percentual de melhorias tanto na disponibilidade operacional, quanto na confiabilidade e custos. Além disso, a análise dos índices e indicadores mencionados nos quadros destaca a importância da disponibilidade operacional como um dos principais objetivos a serem alcançados pelas empresas.

É importante ressaltar que os dados apresentados nos quadros são baseados em uma seleção limitada de artigos e devem ser interpretados com cautela. No entanto, eles fornecem *insights* relevantes sobre a influência das técnicas de manutenção preditiva na melhoria da disponibilidade operacional em empresas brasileiras e portuguesas.

A adoção da manutenção preditiva, por meio da combinação de diferentes técnicas de análise, pode trazer benefícios significativos, consistentes e positivos para as empresas. Essas conclusões podem ser úteis para empresas interessadas em implementar estratégias de manutenção preditiva e buscar melhores resultados em suas operações.

Esses resultados reforçam a importância estratégica da manutenção preditiva como uma ferramenta eficaz para aprimorar o desempenho operacional e maximizar a eficiência dos processos de manutenção. A implementação dessa abordagem nas empresas brasileiras e portuguesas pode trazer vantagens competitivas, portanto, é recomendado que as organizações considerem a adoção da manutenção preditiva como parte de suas estratégias de gestão de ativos e manutenção.

## 7 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

A fim de dar continuidade neste trabalho e ou melhorá-lo, sugere-se como proposta para trabalhos futuros:

- Evoluir o escopo do trabalho, do formato revisão bibliográfica e/ou estudo de caso para pesquisa de campo, explorando como principal tema as práticas de manutenção preditiva referente à modalidade de “monitoramento de condição”;
- Analisar os casos de sucesso, buscando identificar pontos-chave em comum, adotados pelas empresas;
- Desenvolver técnicas de manutenção preditiva por monitoramento de condição, de acordo com as necessidades de determinada empresa, que atua em determinado setor econômico;
- Demonstrar a viabilidade técnica e econômica da proposta (ou propostas) elaborada (s);
- Promover a implementação da solução desenvolvida;
- Comparar os perfis operacionais da indústria analisada, antes e depois da implementação da técnica preditiva de monitoramento de condição.

## REFERÊNCIAS

BATISTA, Plínio Lauro. **Análise de impactos da implantação da manutenção preditiva em setor de fabricação de borracha: estudo de caso em indústria do ramo automobilístico.** Varginha, 2020. Disponível em: <<http://repositorio.unis.edu.br/handle/prefix/1514>> Acesso em 15 de fevereiro de 2023.

BOTELHO, Felipe Pagotti Martins. **A importância da confiabilidade dos equipamentos para tomadas de decisões em um ambiente fabril.** 2017.

BRANCO FILHO, Gil. **Indicadores e índices de manutenção.** Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2016.

BRANCO FILHO, Gil. **A organização, o planejamento e o controle da manutenção.** Ciência Moderna, 2008.

BRANCO FILHO, Gil. **Dicionário de termos de manutenção, confiabilidade e qualidade.** ABRAMAN, 1996.

CARDOSO, Edgard Gonçalves; *et al.* **Manutenção mecânica industrial: técnicas preditivas e de análises de falhas.** São Paulo: Senai SP Editora, 2019. 216p.

CARDOSO, Ketlyn Aparecida Dourado. **Manutenção preditiva – Análise de vibração e análise termográficas alinhadas na redução de quebras e custos em uma indústria–** UBERLÂNDIA, 2020- 50 f Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/36308>>. Acesso em 15 de fevereiro de 2023.

CERVEIRA, Diego Santos; SELLITTO, Miguel Afonso. **Manutenção centrada em confiabilidade (mcc): análise quantitativa de um forno elétrico a indução.** Revista Produção Online, Florianópolis, SC, v.15, n. 2, p.405-432, abr./jun. 2015

CLEMENTE, Joyce Lohrainny Pimenta. **Impacto dos indicadores de manutenção no indicador disponibilidade física de equipamentos de mina.** 2018. 53 f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018.

COUTINHO. Ronaldo José. **Otimização de recursos com a aplicação de técnicas de manutenção preditiva.** Curitiba. 2017. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/19240> Acesso em 20 de fevereiro de 2023.

EDIFES; **Termografia infravermelha aplicada.** Disponível em: <[https://edifes.ifes.edu.br/images/stories/livros/02\\_PDF\\_Termografia\\_infravermelha\\_aplicada\\_%C3%A0\\_manuten%C3%A7%C3%A3o\\_el%C3%A9trica.pdf](https://edifes.ifes.edu.br/images/stories/livros/02_PDF_Termografia_infravermelha_aplicada_%C3%A0_manuten%C3%A7%C3%A3o_el%C3%A9trica.pdf)>. Acesso em 27 de maio de 2023.

FERNANDES, Tiago Narciso da Costa. **Implementação de manutenção preditiva numa indústria de semicondutores**. Instituto Superior de Engenharia do Porto. 2022. Disponível em: <https://recipp.ipp.pt/handle/10400.22/20698>Acesso em 22 de fevereiro de 2023.

FERREIRA, Monique Ianne Jordão. **Planejamento da Manutenção de Sistemas de Distribuição Baseado em índices de Confiabilidade**. 2019.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6 ed. São Paulo: Atlas, 2017.

GONÇALVES, Stefany da Silva. **Sensoriamento de transformador de potência associado à manutenção preditiva**. 2020. 38 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica ) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.

GOULART, Gustavo. Estudo de criticidade e análise da disponibilidade em fábrica de utensílios domésticos na cidade de Pato Branco. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2022.

INDUSTRIAL, Mecânica; **Como interpretar relatórios de análise de óleo**. Disponível em:<<https://www.mecanicaindustrial.com.br/como-interpretar-relatorios-de-analise-de-oleo/>>. Acesso em 27 de maio de 2023.

JUNIOR, Dário Sandre Oliveira; CRUZ, Guilherme Antônio Irineu, FILHO, Renato Cordeiro Vasconcelos. **O impacto da utilização da manutenção preditiva em máquinas agrícolas. Engenharia Mecânica. UNA / Bom Despacho. 2022**. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/29366>>.

JUNIOR, Gilmar AntonioAdada. **Aumento de Disponibilidade de Máquina Onduladeira com Manutenção Preditiva através de sensores Inteligentes, Computação em nuvem e conceitos da indústria 4.0**. Ponta Grossa. 2020. Disponível em: <<http://riut.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/25947>>. Acesso em 18 de fevereiro de 2023.

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. **Manutenção Preditiva: fator de sucesso na gestão empresarial. Alan Kardec, Júlio Nascif.–1. ed.–Rio de Janeiro.: Qualitymark Editora, 2012**.

LAFRAIA, João Ricardo Barusso. **Manual De Confiabilidade, Manutenibilidade: E DISPONIBILIDADE**. Qualitymark Editora Ltda, 2014.

LAGARES, Adriano Aparecido; FRANCO, Luciano José Vieira; LEITE, Jussara Fernandes; FERREIRA, Alexandre Magno Franco; MARINHO, Fernando. **Manutenção mecânica em motoniveladoras: Um estudo de caso para elevar a disponibilidade física da frota de motoniveladora**. Gestão da Manutenção Industrial e Mineração - Volume 1, cap. 8. 2022

LOURENÇO, Ana Luiza Magalhães. **Estudo de Aumento de Disponibilidade Produtiva com Aplicação de Análise de Vibração em Tempo Real de Rolamentos em Prensas Mecânicas em uma Indústria Automobilística.** Unisal – Lorena, 2020. Disponível em: <[http://www.lo.unisal.br/sistemas/sipet2020/trabalhos/magalhaes4080231020@outlook.com\\_213330.pdf](http://www.lo.unisal.br/sistemas/sipet2020/trabalhos/magalhaes4080231020@outlook.com_213330.pdf)>. Acesso em 23 de fevereiro de 2023

MARTINS, G.A; THEÓPHILO, C. R. **Metodologia da investigação científica para ciênciassociais aplicadas.** 3 ed. São Paulo: Atlas, 2016

MARTINS, Rodrigo de Oliveira Bastos; PASA, Giovana Savitri; CORTIMIGLIA, Marcelo Nogueira. **Sistemática para a melhoria da disponibilidade de rede de telefonia móvel.** 2020. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/147520/000999289.pdf?sequencia=1>> Acesso em 25 de fevereiro de 2023.

MASTER, Vib; **Vazamento de ar comprimido. Saiba como eliminá-los.** Disponível em: <<https://www.vibmaster.com.br/voce-sabia-ao-eliminar-vazamentos-de-ar-comprido-em-sua-empresa-tera-grandes-beneficios-economicos/>>. Acesso em 27 de maio de 2023.

MMTEC.; **Qual a importância da análise de vibração?** Disponível em: <<http://www.mmtec.com.br/importancia-da-analise-de-vibracao/>>. Acesso em 27 de maio de 2023.

MOREIRA, Noel Antonio. **Manutenção preditiva em equipamento de alta criticidade: centrífuga de levedo hfb 130 s31.** 2020.12 pag. Monografia (Especialista em Gestão de Negócios com Ênfase em Gerenciamento de Projetos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2020.

NEPOMUCENO, Lauro Xavier (Coord.). **Técnicas de manutenção preditiva.** São Paulo, SP: Blücher, 1989. 2 v.

PINHEIRO, Flávio Campos; SOEIRO, Marcus Vinícius de Abreu; COELHO, Renato Ramos. **Influência das estratégias de manutenção na disponibilidade física de equipamentos de moagem de uma mineradora.** Bauru, SP, Brasil, 8 a 10 de novembro de 2017

PIRES, Caique Aparecido; OKADA, Hirochi. **Manutenção Preditiva: estratégia de produção e redução de custos** Interface Tecnológica -v. 17 n. 1, Faculdade de Tecnologia de Taquaritinga (Fatec)-Taquaritinga 2020. DOI: 10.31510/infa.v17i1.781

RIBEIRO, José Diogo Cabral Castelo Branco. **Desenvolvimento de estratégia de Manutenção Preditiva e otimização do Armazém de Peças.** Mestrado Integrado em Engenharia Industrial e Gestão. 2015. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/79330>>. Acesso em 01 de março de 2023

SANT ANA, Gisele Dessoles; SILVA, Hebert Roberto. **Análise do setor de manutenção em uma indústria de beneficiamento de semente de milho**. Braz. Ap. Sci. Rev, Curitiba, v. 4, n. 6, p. 3864-3887nov./dez.2020

SANTOS, Alisson de Lima Carvalho; SANTOS, Everton Pedro dos; SANTOS, Hugo Cesar dos. **Aumento da disponibilidade de equipamentos rotativos industriais através da aplicação da manutenção preditiva**. Recife, PE. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/24135>>. Acesso em 23 de fevereiro de 2023.

SANTOS, Eduardo Filipe Gregório. **Manutenção aeronáutica preditiva – procedimentos, técnicas e business models**. Departamento de Marketing, Operações e Gestão Geral. Setembro 2019. Disponível em <<http://hdl.handle.net/10071/19019>> Acesso em 01 de março de 2023.

SANTOS, Nilis Adriano dos; SELLITTO, Miguel Afonso. **Estratégia de Manutenção e Aumento da Disponibilidade de um Posto de Compressão de Gases na Indústria Petrolífera**. RevistaProduçãoOnline, Florianópolis, SC, v.16, n.1, p. 77-103, jan./mar.2016

SILVA, Everton Rodrigues. **Estudo do uso da técnica de termografia associada ao medidor de espessura ultrassônico como método de manutenção preditiva em tubulações industriais de carregamento de grãos**. Rio Grande, RS. 2020

SILVA, Jeizon Gesnes Gripe; PAIVA, Everton Moreira; LEITE, Jussara Fernandes; FRANCO, Luciano José Vieira; SOUZA, Edilberto da Silva Souza. **Manutenção mecânica em motoniveladoras: Um estudo de caso para elevar a disponibilidade física da frota de motoniveladora**. Gestão da Manutenção Industrial e Mineração - Volume 1, cap. 3. 2022

SILVA, José Magdiel. **Elaboração e implementação de um plano de manutenção preditiva de compressor de ar em uma empresa têxtil do rio grande do norte**. Natal- RN, 2018. Disponível em: <<https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/42892>> Acesso em 01 de março de 2023.

SILVA, Tiago Avelino Flávio, NASCIMENTO, Guilherme Marquezan. **Importância da Manutenção preditiva por análise de vibração num conjuntomotor e bomba aplicado (um estudo de caso)**. Anais do Simpósio Nacional de Ciências e Engenharias - v.5, n.2, 2020 • p. 112-131

SIQUEIRA, I. P. **Manutenção Centrada na Confiabilidade: Manual de Implementação**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2012.

SOARES, Ricardo Luiz Soares. **Estudo de caso sobre a importância da manutenção preditiva em uma empresa de cal na região Centro Oeste-MG**. Trabalho de Conclusão de Curso. Formiga, MG, 30 de junho de 2011

SOFT, Dewe; **Como interpretar dados de monitoramento e condição**. Disponível em: <<https://dewesoft.com/pt/blog/como-interpretar-dados-de-monitoramento-de-condicao>>. Acesso em 27 de maio de 2023.

SOUZA, Ednilso Martimiano de. **A importância da manutenção preditiva no SistemaASTROS**.2022.

SPOLAOR, Bianca Oliveira; DALTO, José Luis; LOPES, Tiago; MOREIRA, Noel Antônio. **A manutenção preditiva em equipamento de alta criticidade: ventiladores centrifugo radial**. Ponta Grossa – PR. 2019

TAVARES, Lourival; NONATO, Franklin da Silva. **Índices Brasileiros de Manutenção: Um benchmarking para o mundo**. 1° ed. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2018

TOAZZA, Guilherme Francez; SELLITTO, Miguel Afonso. **Estratégia de Manutenção Preditiva no Departamento Gráfico de uma Empresa do ramo Fumageiro**. Revista ProduçãoOnline, Florianópolis, SC, v.15, n. 3, p.783-806, jul./set. 2015

VARÃO, Marcos Vinicius Sousa. **Análise dos procedimentos de manutenção das máquinas rotativas da cortevaagriscience** - Unidade Formosa, GO. Universidade de Brasília. 2021.

VILHENA, P. R. M.; COSTA, A. F.; BRASIL, F.S.; DMITRIEV, V. **Manutenção preditiva: aplicação e resultados em uma usina hidráulica**. Comité de Estudio CE – Título del Comité de Estudio CE. 2017.