

UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA
CAMPUS SANTA BÁRBARA D'OESTE
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**ESTUDO DOS IMPACTOS DA INDÚSTRIA 4.0 NA
IMPLEMENTAÇÃO DO TPM: PILARES MA, MP E ME**

BRUNO EDUARDO CANDIDO DE OLIVEIRA

ORIENTADOR: PROF. DR. FERNANDO CELSO DE CAMPOS

SANTA BÁRBARA D'OESTE

2021

UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA
CAMPUS SANTA BÁRBARA D'OESTE
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**ESTUDO DOS IMPACTOS DA INDÚSTRIA 4.0 NA
IMPLEMENTAÇÃO DO TPM: PILARES MA, MP E ME**

BRUNO EDUARDO CANDIDO DE OLIVEIRA

ORIENTADOR: PROF. DR. FERNANDO CELSO DE CAMPOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, da Universidade Metodista de Piracicaba – UNIMEP, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

SANTA BÁRBARA D'OESTE

2021

Ficha Catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas da UNIMEP
Bibliotecária: Joyce Rodrigues de Freitas - CRB-8/10115.

Oliveira, Bruno Eduardo Candido
O48e Estudos dos impactos da indústria 4.0 na implementação do
TPM: Pilares MA, MP e ME./ Bruno Eduardo Candido de Oliveira –
2021.
102 f. : il. ; 30 cm

Orientador: Prof. Dr. Fernando Celso de Campos.
Mestrado (Dissertação) – Universidade Metodista de
Piracicaba, Pós graduação em Engenharia de Produção, Santa
Barbara D'Oeste, 2021.

1. Indústria 4.0. 2. Gestão da manutenção. 3. Manutenção
preditiva. I. Oliveira, Bruno Eduardo Candido II. Título.

CDD – 607.2

**ESTUDO DOS IMPACTOS DA INDÚSTRIA 4.0 NA
IMPLEMENTAÇÃO DO TPM: PILARES MA, MP, ME**

BRUNO EDUARDO CÂNDIDO DE OLIVEIRA

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada em 18 de fevereiro de 2021,
pela Banca Examinadora constituída pelos Professores:



Prof. Dr. Fernando Celso de Campos - PPGE/UNIMEP
Presidente e Orientador



Prof. Dr. Milton Vieira Júnior - PPGE/UNIMEP



Prof. Dr. Flávio Trojan - PPGE/UTFPR

AGRADECIMENTOS

Início os meus agradecimentos a Deus, pela oportunidade de realizar meu primeiro sonho e, principalmente, por me iluminar com sabedoria transformando este período maravilhoso na realização do mestrado.

Ao Professor Dr. Fernando Celso de Campos, pela orientação durante o período de mestrado, pelas contribuições e incentivos para o meu crescimento pessoal e acadêmico.

A minha mãe, Eliana Cristina Cândido, por ser meu alicerce, minha parceira e motivação de todos os planos e conquistas.

Aos meus amigos da Universidade, em especial Maria Júlia Xavier, Gleison Melhado Matana, Bianca Bette, Bruna Barcelos, Lorena Mastrapa, Daniel Tasé e Marta Helena Bragaglia, que contribuíram para a realização desta etapa.

Aos meus amigos da ABEPRO e ABEPRO Jovem que me motivaram o tempo todo para seguir em frente com a pesquisa, em especial Gabriela Olivato, Renato Monaro e Guilherme Alcântara.

Aos meus amigos e membros do Centro de Estudos Avançados em Gestão de Ativos e Manutenção (CEAGRAM), em nome de Milton Zen e Haroldo Ribeiro agradeço a confiança e oportunidade.

A todos os professores que, incansavelmente, me passaram valiosos conhecimentos e me mostraram as oportunidades dessa jornada.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) - *Código de Financiamento 001*.

OLIVEIRA, Bruno Eduardo Candido, **ESTUDO DOS IMPACTOS DA INDÚSTRIA 4.0 NA IMPLEMENTAÇÃO DO TPM: PILARES MA, MP E ME**. 2021. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara d'Oeste, SP.

RESUMO

A Indústria 4.0 impulsiona avanços tecnológicos em sistemas conectados que adaptam produtos e processos para aumentar a permanência de uma empresa no mercado com a integração e coordenação de informações dos ambientes físicos e cibernéticos em tempo real, por meio de tecnologias como *Internet of Things (IoT)*, *Cyber Physical Systems (CPS)*, *Cloud Computing*, entre outros, que estimula o aumento da disputa entre as organizações e a necessidade de buscar por inovações em processos produtivos. A conexão entre os meios físico e digital possibilita a coleta de dados e a tomada de decisão de forma assertiva. Entretanto, observa-se que adaptar a gestão da manutenção pode ser uma tarefa desafiadora para as empresas que devem incluir novas estratégias de manutenção com a inserção de tecnologias que permitem intervenções rápidas e monitoramento remoto. Assim, é fundamental melhorar os resultados da empresa por meio da eliminação de grandes perdas e, portanto, as empresas buscam adaptar o TPM as mudanças do mercado. Este trabalho teve como objetivo analisar os impactos de tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 aplicáveis na manutenção, assim como o que causam nos pilares do TPM (*Total Productive Maintenance*). Para atingir os objetivos da pesquisa foi realizada uma revisão sistemática da literatura destacando as tecnologias na manutenção e incluindo as etapas de implementação do método do TPM, com destaque nos pilares de melhoria específica, manutenção autônoma e manutenção planejada. Estudos apontam cenários com máquinas inteligentes que se concentram no desempenho e nas aplicações com previsão de quebras e detecção de quaisquer não conformidade por meio de tecnologias e através da manutenção preditiva que potencializa a gestão virtual com ação imediata de correção e melhores práticas.

Palavras chave: Indústria 4.0, Gestão da Manutenção, Manutenção Preditiva, TPM.

OLIVEIRA, Bruno Eduardo Candido, **STUDY OF THE IMPACTS OF INDUSTRY 4.0 ON TPM IMPLEMENTATION: PILLARS MA, MP AND ME**. 2021. 102 f. Dissertation (Production Engineering Master's Degree) – Campus Santa Bárbara D'Oeste, University Methodist of Piracicaba, Santa Bárbara D'Oeste.

ABSTRACT

Industry 4.0 drives technological advances in connected systems that adapt products and processes to increase a company's permanence in the market with the integration and coordination of information from physical and cyber environments in real time, through technologies such as Internet of Things (IoT), Cyber Physical Systems (CPS), Cloud Computing, among others, which stimulates the increase in the dispute between organizations and the need to seek innovations in production processes. The connection between the physical and digital media makes it possible to collect data and make an assertive decision. However, it is observed that adapting maintenance management can be a challenging task for companies and must include new maintenance strategies with the insertion of technologies that allow for quick interventions and remote monitoring. Thus, it is essential to improve the company's results by eliminating large losses and, therefore, companies seek to adapt the TPM to market changes. This work aimed to analyze the impacts of enabling technologies of Industry 4.0 applicable in maintenance, as well as what they cause in the pillars of TPM (Total Productive Maintenance). In order to achieve the research objectives, a systematic literature review was carried out, highlighting the technologies in maintenance and including the stages of implementation of the TPM method, with emphasis on the pillars of specific improvement, autonomous maintenance and planned maintenance. Studies point out scenarios with intelligent machines that focus on performance and applications with forecast of breaks and detection of any non-conformity through technologies and through predictive maintenance that enhances virtual management with immediate action of correction and best practices.

Keywords: *Industry 4.0, Maintenance Management, Predictive Maintenance, TPM.*

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| LISTA DE FIGURAS | 10x |
| LISTA DE QUADROS | 11xi |
| LISTA DE TABELAS | 12xii |
| LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS..... | 13xiii |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO..... | 1 |
| 1.2. JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA..... | 4 |
| 1.3. QUESTÃO DE PESQUISA | 5 |
| 1.4. OBJETIVOS..... | 6 |
| 1.4.1. OBJETIVO GERAL..... | 6 |
| 1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 6 |
| 1.5. VISÃO GERAL DA PESQUISA | 6 |
| 1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO | 8 |
| 2. REVISÃO DA LITERATURA | 9 |
| 2.1. INDÚSTRIA 4.0 | 9 |
| 2.2. EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO NO CONTEXTO DA INDÚSTRIA 4.0..... | 12 |
| 2.2.1. COMPUTAÇÃO NA NUVEM (<i>CLOUD COMPUTING</i>) NA MANUTENÇÃO | 13 |
| 2.2.2. INTEGRAÇÃO HORIZONTAL E VERTICAL DE SISTEMAS (<i>SYSTEMS INTEGRATION</i>) NA MANUTENÇÃO | 13 |
| 2.2.3. MANUFATURA ADITIVA (<i>ADDITIVE MANUFACTURING</i>) NA MANUTENÇÃO | 14 |
| 2.2.4. ROBÔ AUTÔNOMO (<i>AUTONOMOUS ROBOT</i>) NA MANUTENÇÃO | 15 |
| 2.2.5. SEGURANÇA CIBERNÉTICA (<i>CYBERSECURITY</i>) NA MANUTENÇÃO | 15 |
| 2.2.6. APRENDIZADO DE MÁQUINA (<i>MACHINE LEARNING</i>) NA MANUTENÇÃO | 16 |
| 2.2.7. SISTEMAS CIBERFÍSICOS (<i>CYBER-PHYSICAL SYSTEM - CPS</i>) NA MANUTENÇÃO | 16 |
| 2.2.8. INTERNET DAS COISAS (<i>INTERNET OF THINGS - IOT</i>) NA MANUTENÇÃO | 17 |
| 2.2.9. BIG DATA (<i>BD</i>) NA MANUTENÇÃO | 18 |
| 2.2.10. EXTRAÇÃO DE DADOS (<i>DATA MINING - DM</i>) NA MANUTENÇÃO..... | 19 |
| 2.2.11. REALIDADE AUMENTADA (<i>AUGMENTED REALITY - AR</i>) | 19 |

| | |
|---|-----------|
| 2.3. MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL (TPM) | 20 |
| 2.3.1. ORIGEM E FUNDAMENTOS DO TPM | 20 |
| 2.3.2. PERDAS E EFICIÊNCIA GLOBAL DO EQUIPAMENTO (OEE)..... | 22 |
| 2.4. ESTRUTURA DOS PILARES DO MÉTODO DO TPM | 25 |
| 2.4.1. PILAR MELHORIAS ESPECÍFICAS..... | 25 |
| 2.4.2. PILAR MANUTENÇÃO AUTÔNOMA | 29 |
| 2.4.3. PILAR MANUTENÇÃO PLANEJADA | 33 |
| 2.4.4. PILAR DE EDUCAÇÃO E TREINAMENTO | 35 |
| 2.4.5. PILAR DE CONTROLE INICIAL | 38 |
| 2.4.6. PILAR DA QUALIDADE | 40 |
| 2.4.7. PILAR TPM EM ÁREAS DE APOIO (OFFICE) | 42 |
| 2.4.8. PILAR DE SEGURANÇA, SAÚDE E MEIO AMBIENTE..... | 44 |
| 3. ABORDAGEM METODOLÓGICA | 47 |
| 3.1. CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA | 47 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES | 65 |
| 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS | 75 |
| 5.1. CONTRIBUIÇÕES TEÓRICAS E PRÁTICAS | 75 |
| 5.2. LIMITAÇÕES E ESTUDOS FUTUROS | 76 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 77 |
| ANEXOS..... | 88 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| FIGURA 1. ESTRUTURA GERAL DA PESQUISA | 7 |
| FIGURA 2 - ESTRUTURAÇÃO DA PESQUISA | 47 |
| FIGURA 3 - ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA | 48 |
| FIGURA 4 - ETAPAS DA REVISÃO DA LITERATURA..... | 50 |
| FIGURA 5 - NÚMERO DE ARTIGOS ENCONTRADOS POR BASE DE DADOS | 50 |
| FIGURA 6 - FLUXOGRAMA DA PESQUISA..... | 52 |
| FIGURA 7 - NÚMERO DE ARTIGOS ANALISADOS POR ANO | 53 |
| FIGURA 8 - GRÁFICO RADIAL DE PUBLICAÇÕES POR ANO | 54 |
| FIGURA 9 - O MÉTODO DO TPM NO CONTEXTO DA INDÚSTRIA 4.0 | 63 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| QUADRO 1 - SÍNTESE DAS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 | 11 |
| QUADRO 2 - OBJETIVO PRINCIPAL DOS PILARES DO TPM | 21 |
| QUADRO 3 - CLASSIFICAÇÃO DAS PRINCIPAIS PERDAS | 23 |
| QUADRO 4 - ETAPAS DE IMPLEMENTAÇÃO DO PILAR MELHORIA ESPECÍFICA..... | 28 |
| QUADRO 5 - ETAPAS DE IMPLEMENTAÇÃO DE MANUTENÇÃO AUTÔNOMA..... | 32 |
| QUADRO 6 - FASES DA IMPLEMENTAÇÃO DA MANUTENÇÃO PLANEJADA | 35 |
| QUADRO 7 - FASES DA IMPLEMENTAÇÃO DA EDUCAÇÃO E TREINAMENTO | 37 |
| QUADRO 8 - FASES DA IMPLEMENTAÇÃO DO CONTROLE INICIAL..... | 39 |
| QUADRO 9 - FASES DA IMPLEMENTAÇÃO DO PILAR QUALIDADE | 41 |
| QUADRO 10 - FASES DA IMPLEMENTAÇÃO DO TPM EM ÁREAS DE APOIO | 44 |
| QUADRO 11 - FASES DA IMPLEMENTAÇÃO DE SEGURANÇA, SAÚDE E MEIO AMBIENTE | 46 |
| QUADRO 12 - ABORDAGEM DA MANUTENÇÃO POR AUTOR | 56 |
| QUADRO 13 - ABORDAGEM DAS TECNOLOGIAS POR AUTOR | 57 |
| QUADRO 14 - ETAPAS DE IMPLEMENTAÇÃO DO PILAR ME NO CONTEXTO 4.0..... | 69 |
| QUADRO 15 - ETAPAS DE IMPLEMENTAÇÃO DO PILAR MP NO CONTEXTO 4.0..... | 71 |
| QUADRO 16 - ETAPAS DE IMPLEMENTAÇÃO DO PILAR MA NO CONTEXTO 4.0..... | 73 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| TABELA 1 – PROTOCOLO DE PESQUISA | 49 |
| TABELA 2 - IDENTIFICAÇÃO DE ARTIGOS | 51 |
| TABELA 3 - ARTIGOS SELECIONADOS PARA REVISÃO DA LITERATURA | 88 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|------|---|
| AR | <i>Augmented Reality</i> |
| BDA | <i>Big Data Analytics</i> |
| CBM | <i>Condition Based Maintenance</i> |
| CMMS | <i>Computerized Maintenance Management System</i> |
| CNC | <i>Computer Numeric Control</i> |
| CPS | <i>Cyber Physical Systems</i> |
| DM | <i>Data Mining</i> |
| IoS | <i>Internet of Service</i> |
| IoT | <i>Internet of Things</i> |
| MA | Manutenção Autônoma |
| ME | Melhoria Específica |
| MP | Manutenção Planejada |
| OEE | <i>Overall Equipment Effectiveness</i> |
| PSS | <i>Product-Service System</i> |
| RCM | <i>Reliability Centered Maintenance</i> |
| TPM | <i>Total Productive Maintenance</i> |
| WCM | <i>World Class Manufacturing</i> |

1. INTRODUÇÃO

Esse capítulo apresenta o contexto no qual a pesquisa está inserida, justificando a relevância do estudo. Na sequência, identifica-se uma oportunidade de aprofundamento do tema estudado norteado pelos objetivos e um panorama da pesquisa é apresentado com o conteúdo abordado em cada capítulo do trabalho desenvolvido.

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Diante do desafio gerado pela economia e a competição do mercado global, a manutenção passou a ser considerada uma questão crucial para o aumento da eficiência do sistema de produção, considerando que as falhas inesperadas podem reduzir o desempenho resultando em perda de produtividade e de oportunidades de negócios. Sendo assim, as atividades de manutenção, que antes eram executadas somente quando estritamente necessárias, passam a ser consideradas oportunidades para o alcance do diferencial competitivo (CACHADA *et al.*, 2018).

No entanto, para atingir a competitividade do sistema de produção é necessário monitorar e avaliar atividades operacionais, e torna-se possível a partir da gestão da manutenção. Desta forma, o método do TPM - *Total Productive Maintenance* ou, em português, Manutenção Produtiva Total, contribui com o aumento da disponibilidade, manutenibilidade e confiabilidade dos equipamentos das empresas que buscam, por meio da gestão da manutenção, posição de destaque perante o mercado global.

Em essência, o método TPM é utilizado para maximizar o uso de equipamentos e reduzir os custos de manutenção, para que a máquina seja mantida em condições ideais para lidar com danos inesperados, perda de tempo e qualidade no processamento. Além disso, envolve todos os funcionários, desde o nível operacional até a alta administração.

O método TPM permite aumentar a eficácia pela adoção de estratégias de manutenção que afetam o desempenho de máquinas e equipamentos, relacionando-se à produtividade dos processos de fabricação e ao retorno do capital investido, bem como ao lucro total da empresa (RAKYTA *et al.*, 2016).

Nesse sentido, há um interesse crescente em desenvolver e implementar estratégias de manutenção eficientes que possam melhorar a confiabilidade do sistema, evitar falhas do sistema e reduzir os custos de manutenção (CACHADA *et al.*, 2018). Contudo, conduz a um ambiente de ampla concorrência entre empresas e o diferencial acontece nos pequenos detalhes, com a utilização de sistemas cibernéticos, armazenamento em nuvem, robôs autônomos e *Internet of Things (IoT)*, principalmente no avanço do emprego da manutenção corretiva à manutenção preditiva (POÓR; BASL; ZENISEK, 2019).

Segundo relatório desenvolvido pela *International Federation of Robotics* (2020), denominado “*World Robotics 2020 Industrial Robots*” houve um recorde de 2,7 milhões de robôs industriais operando em fábricas em todo o mundo, um aumento de 12% se comparado ao ano de 2019. Ainda, apontam que as vendas de novos robôs permanecem em um alto nível, com 373.000 unidades enviadas globalmente em 2019 o que corresponde a 12% menos em comparação com 2018, mas ainda assim o terceiro maior volume de vendas já registrado. Destaca que o Brasil possui maior estoque operacional da América do Sul com quase 15,3 mil unidades de robôs industriais operando.

Dentre as diversas tecnologias disponíveis para interligar o ambiente físico com o ambiente virtual, a quarta geração da indústria, também promove mudança na interação entre humanos e máquinas com o desenvolvimento de interfaces inteligentes, o que possibilita a cooperação entre humanos e robôs, e o papel da equipe de manutenção é direcionado ao gerenciamento das atividades de manutenção realizadas por robôs inteligentes (KRASON; MACZEWSKA; POLAK-SOPINSKA, 2019). Esta mudança de paradigma da empresa e a tecnologia de manufatura inteligente levarão à evolução e transformação de estratégias de manutenção corretiva para diagnóstica preditiva (ANSARI; GLAWAR; NEMETH, 2019).

A Quarta Revolução Industrial, ou Indústria 4.0, com suas avançadas tecnologias de manufatura e informação, provoca um processo de mudança para as pessoas que trabalham em áreas diretas e indiretas da manufatura, que terão que ser capazes de se adaptar às novas tecnologias e às mudanças organizacionais que elas implicam (JASIULEWICZ-KACZMAREK; SANIUK; NOWICKI, 2017).

Segundo Borlido (2017), as máquinas, sistemas e componentes permanecem interligados com sensores, emitem informações e permitem detectar tendências de eventos indesejados, neste sentido pode acionar automaticamente as ações de manutenção para evitar a falha da máquina e, assim, reduzir os custos de manutenção e reparo.

A mudança acontece a partir da utilização de robôs autônomos, integração de sistemas, simulação, computação nas nuvens, entre outros (FRANCO *et al.*, 2020) que aplicados à manufatura representam novos desafios para os gerentes de manutenção (XIA; XI, 2019). No entanto, a manutenção correta de máquinas e dispositivos em resultado à otimização econômica da manutenção como um fator de desafio, deve ser analisada de forma individual, frente à realidade da realidade da empresa (GOTI *et al.*, 2019) pois existem equipamentos que podem necessitar de ajustes no projeto antes da inserção de tecnologias, caso contrário o investimento se torna inviável e acarreta em maiores despesas.

Nesse sentido, é importante desenvolver conhecimento para responder imediatamente às situações existentes a fim de adaptar as tarefas de manutenção, pois a aplicação da tecnologia habilitadora da Indústria 4.0 na manutenção implica em mudanças na rotina das atividades de manutenção, bem como em ações diagnósticas preditivas voltadas à gestão virtual e à forma de gerenciamento do ativo. Em consequência, impacta nos pilares do método do TPM implicando em mudanças nas etapas de implementação, e na necessidade de desenvolvimento de competências e habilidades nas áreas de análise, resolução de problemas e tomada de decisão (KRASON; MACZEWSKA; POLAK-SOPINSKA, 2019) para o aumento da competitividade

da empresa e fornecimento de produtos que atendam às necessidades dos clientes.

1.2. JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

Globalmente, a manufatura avança em direção à Quarta Revolução Industrial chamada Indústria 4.0 ou manufatura inteligente com a aplicação de Cyber Physical Systems (CPS), *Internet of Things (IoT)*, entre outras tecnologias que permitem otimização de processos (KUMAR *et al.*, 2020). O potencial de aplicação de manufatura inteligente permite concatenar setores da linha de produção por meio da automatização e robótica possibilitando acompanhamento em tempo real às atividades de produção com recebimento de informações imediatas e ações preditivas.

Nesse ambiente, a gestão da manutenção se tornou fundamental e os funcionários devem desenvolver constantemente suas próprias habilidades de manutenção com potencial para comunicação remota com dispositivos que lhes dêem flexibilidade para gerenciar seu tempo de trabalho com a ajuda de assistentes digitais e simulações de realidade virtual, sendo que, a IoT e IoS (*Internet of Service*) contribuem para a criação de modelos de negócios que viabilizam o monitoramento virtual (KRASON; MACZEWSKA; POLAK-SOPINSKA, 2019).

Estudo aponta que a automação e coleta de informações disponíveis para comunicação entre as máquinas permite que os gestores programam a manutenção corretiva para a preventiva e, finalmente, para tecnologias preditivas que dependem de mais informações e coleta de dados (TOMORROW, 2016). O que é corroborado por Borlido (2017) ressaltando a interligação das máquinas, sistemas e componentes permitindo a detecção de tendências de eventos indesejados, acionando automaticamente as ações de manutenção.

Contudo pode-se afirmar que a gestão da manutenção deve adaptar-se automaticamente para o contexto da Indústria 4.0 sendo necessária a

realização das atividades de forma virtual/remota, uma vez que o correto registro/monitoramento dos dados do processo revela eventuais falhas no sistema, o que eram comumente observados nos quadros de gestão visual (BORLIDO, 2017).

Sendo assim, o método do TPM, por estar inserido neste contexto, necessita de adaptar suas etapas para a consolidação dos pilares, visto que existem processos que, quando automatizados, irão executar atividades de forma automática extinguindo etapas, porém exigindo habilidades para análise de dados e tomada de decisão. Desse modo etapas como etiquetagem manual, gestão visual e medidas de escalonamento de ação por cadeia de ajuda, a partir da combinação de sensores e tecnologias habilitadoras como *CPS*, *IoT*, *Big Data (BD)*, *Data Mining (DM)*, irão avançar para a gestão virtual e para ações preditivas, sobretudo tornando necessário um rigoroso acompanhamento dos dados obtidos para definir as ações corretas, principalmente no emprego do tipo de manutenção e das ações de contenção do problema encontrado.

Por conseguinte, as reuniões de rotina realizadas por linhas de fabricação assumirão tarefas desafiadoras com tendência ao emprego de manutenção preditiva para planejar estratégias e adaptações à gestão da manutenção para permitir intervenções rápidas e monitoramento remoto (BORLIDO, 2017), coordenadas a identificar a causa raiz dos problemas diários seja de caráter técnico ou pessoal.

Nesse sentido, estudos apontam a evolução de publicações sobre a manutenção no cenário da Indústria 4.0 o que justifica a relevância da pesquisa, entretanto observa-se que ainda existem oportunidades a serem exploradas no que diz respeito às mudanças que ocorrerão nas etapas que consolidam os passos do método do TPM nesse novo contexto.

1.3. QUESTÃO DE PESQUISA

A Indústria 4.0 está empenhada em acelerar o processo de tomada de decisão e adaptar atividades. As tecnologias aperfeiçoam o gerenciamento de

processos, a tomada de decisões e a atividade de produção para tornar a manufatura flexível, garantindo maior qualidade e antecipando necessidades de manutenção. Neste contexto, a pesquisa investiga os impactos da Indústria 4.0 na gestão da manutenção, tendo como foco o método do TPM. A questão de pesquisa a ser colocada é:

“Considerando a aplicação de tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 na manutenção, em quais etapas as tecnologias impactam nos pilares melhoria específica (ME), manutenção autônoma (MA) e manutenção planejada (MP), do método TPM?”

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo geral analisar os impactos das tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 na implementação dos pilares ME, MA e MP, do método do TPM.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Esta pesquisa tem como objetivos específicos:

- Avaliar os impactos das tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 aplicáveis na manutenção;
- Avaliar a influência das tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 nos pilares ME, MA e MP.

1.5. VISÃO GERAL DA PESQUISA

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos, conforme panorama apresentado na Figura 1 direcionado para atingir os objetivos da pesquisa.

A primeira parte do estudo é formado pela Fundamentação Teórica detalhada em três temas pesquisados para composição do Capítulo 2. Neste capítulo apresentam-se os resultados da revisão sistemática da literatura que enfatizam as tecnologias habilitadoras da indústria 4.0, em destaque as aplicáveis na manutenção e por fim, a estrutura dos pilares do método do TPM.

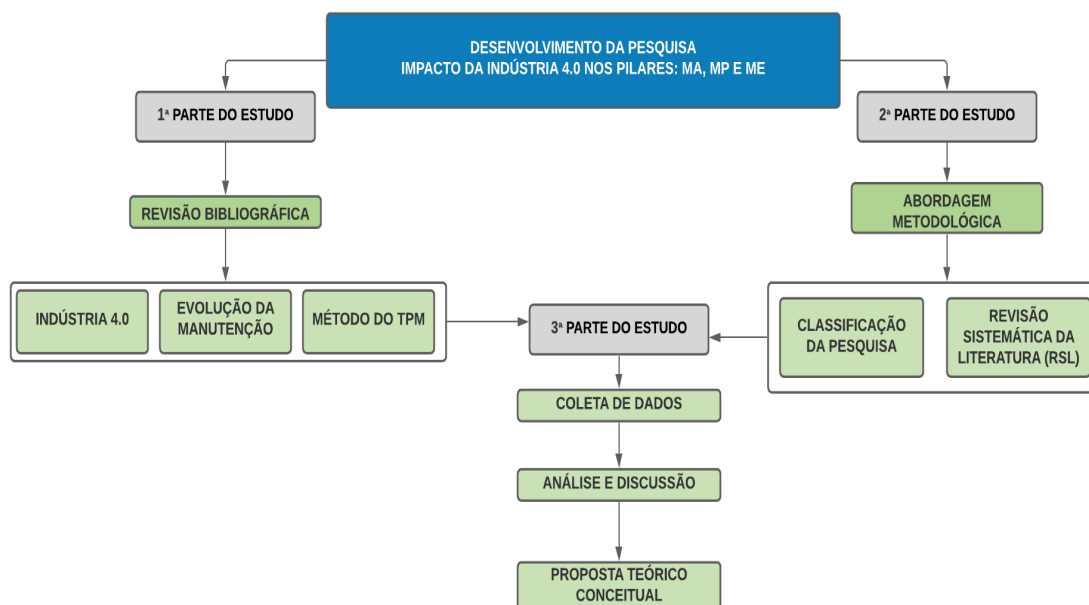


FIGURA 1. ESTRUTURA GERAL DA PESQUISA

FONTE: ELABORADO PELO AUTOR

O detalhamento do Método da Pesquisa será feito no Capítulo 3, intitulado Abordagem Metodológica descrito na segunda parte do estudo, apresenta a encadeamento da revisão sistemática da literatura destacando as principais mudanças do TPM no contexto da Indústria 4.0.

Por fim, a terceira parte do estudo é composto pela coleta e análise dos dados e apresentação da proposta de um modelo com as etapas para implementação dos pilares ME, MA, MP do método do TPM no contexto da Indústria 4.0.

1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está estruturado em cinco capítulos.

O Capítulo 1, Introdução, apresenta a contextualização do tema, justificativa e relevância, objetivos gerais e específicos e visão geral da estrutura da pesquisa.

O Capítulo 2, Fundamentação Teórica, apresenta-se toda a fundamentação necessária para o desenvolvimento do trabalho e esta organizada em três partes, a primeira aborda a Indústria 4.0, a segunda parte a evolução da manutenção no contexto da Indústria 4.0 e por fim, o método do TPM.

O Capítulo 3, Método da Pesquisa, descreve a abordagem metodológica utilizada para o desenvolvimento da pesquisa, depois detalha-se a pesquisa bibliográfica e, por fim, a coleta dos dados bibliográficos.

No Capítulo 4, Resultados e Discussões, são descritos os dados coletados e suas relações, princípios, detalhes, entre si bem como com pontos teóricos a serem contrapostos. A intenção é relacionar e promover discussões sobre os dados apresentados.

O Capítulo 5, Conclusão, é o fechamento da pesquisa com o detalhamento de suas contribuições e proposta para trabalhos futuros.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo apresenta os principais conceitos disponíveis na literatura que irão servir como suporte teórico para a compreensão do método do TPM no contexto da Indústria 4.0, bem como a manutenção e as tecnologias aplicáveis, incluindo as etapas para a implementação.

2.1. INDÚSTRIA 4.0

O termo Indústria 4.0 foi apresentado inicialmente na Alemanha como uma proposta de política econômica, na Feira de Automação Industrial *Hannover Messe International* (HMI) em 2011, e é caracterizado pela inserção de tecnologias avançadas de manufatura e de sistemas com inteligência artificial conectadas por rede, intensificando a relação entre homem e máquina via rede/internet (VASJA; MAJA; ALOJZ, 2016). Propõe a transformação de uma relação ativa no controle manual e operacional para monitoramento, análise de dados e acompanhamento, fortalecendo o vínculo de parceria (MEISTER, 2018).

A Indústria 4.0 refere-se aos avanços tecnológicos em sistemas conectados que adaptam produtos e processos para aumentar a permanência de uma empresa no mercado (BRETTEL *et al.*, 2014). Integra e coordena as informações dos ambientes físicos e cibernéticos em tempo real (XU; XU; LI, 2018) com a inserção de tecnologias que aperfeiçoam os processos, promove um aumento na disputa entre as organizações na necessidade de buscar continuamente por inovações que tragam aos processos maior velocidade e agilidade (SCHWAB, 2017; TADEU, 2016).

No âmbito da Indústria 4.0, o conceito de fábricas inteligentes ou *Smart Factories* representa a automação de sistemas industriais que controlam e monitoram processos físicos por meio de tecnologias inteligentes e de gêmeos digitais com IoT (*Internet of Things*) e com a atuação dos sistemas ciberfísicos

que consiste na conexão entre os meios físicos e digitais permitindo a coleta de dados e a tomada de decisão a partir de informações acuradas (LASI, 2014; HERMANN; PENTEK; OTTO, 2016; LANDHERR *et al.*, 2016).

A Indústria 4.0 visa criar uma rede de valor horizontalmente integrada com outras empresas e processos do negócio de ponta-a-ponta ao longo da cadeia de valor (KAGERMANN, WAHLSTER e HELBIG, 2013; MATANA, 2019), tendo como base a incorporação da digitalização à atividade industrial, por meio da utilização de sensores e equipamentos conectados e combinando o real ao virtual por meio da inteligência artificial para controlar a produção (CNI, 2016).

Nesse sentido, uma nova maneira de gerenciar o chão de fábrica é proposta com a interconecção de tecnologias da informação que formam o conceito de plantas inteligentes abordadas pela 4ª Revolução Industrial (CORRADI *et al.*, 2018), e que objetivam coletar dados e informações em tempo real, por meio de rede, para reduzir a complexidade das operações e, conseqüentemente, levar à eficácia e à eficiência da produção e redução de custos (KOTYMKOVA, 2017).

Segundo Franco *et al.* (2020) as tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 são: *Big Data and analytics* (BDA), Computação na Nuvem, Integração Horizontal e Vertical de Sistemas, Internet das Coisas (IoT), Manufatura Aditiva (MA), Realidade Aumentada (AR), Robôs Autônomos, Segurança Cibernética e Simulação, conforme apresentado de forma sintética no Quadro 1.

| Tecnologias da Indústria 4.0 | Definições |
|------------------------------|--|
| Big data and analytics (BDA) | Conjunto de processos para recuperar dados corretos a partir de altos volumes, alta velocidade e grande variedade de dados; identificando padrões e melhorando as decisões de negócios com base nos resultados (LEE; KAO; YANG, 2014; LEE; YOON; KIM, 2017). |
| Computação na nuvem | É um modelo que permite acesso onipresente, conveniente e de rede, sob demanda, a um conjunto compartilhado de recursos de computação configuráveis (por exemplo, redes, servidores, armazenamento, aplicativos e serviços), que podem rapidamente provisionados e liberados com o mínimo de esforço de gerenciamento ou interação do provedor de serviços (MELL; GRANCE, 2011). |

| Tecnologias da Indústria 4.0 | Definições |
|--|---|
| Integração horizontal e vertical de sistemas | A integração horizontal envolve a integração de vários sistemas de TI usados em diferentes estágios da manufatura e do negócio, envolvendo troca de materiais e informações. A integração vertical e os sistemas de manufatura em rede descrevem a ligação cruzada e a digitação inteligente nos diferentes níveis hierárquicos e agregados de um módulo de criação de valor a partir de estações de manufatura através de células, linhas e fábricas de manufatura, integrando também as atividades da cadeia de valor associadas (STOCK; SELIGER, 2016; WANG <i>et al.</i> , 2016). |
| Internet das coisas (IoT) | Tem suas raízes no MTI (<i>Massachusetts Institute of Technology</i>), quando em 1999 um grupo desenvolveu trabalho na área da identificação por radiofrequência conectada (<i>RFID - Radio-frequency Identification</i>). Desde então, tem sido impulsionada pelo aparecimento e uso generalizado de sensores cada vez menores e mais baratos, assim como um avanço nos dispositivos móveis de comunicações wireless e tecnologias cloud (COELHO, 2016). |
| Manufatura aditiva (MA) | A MA emprega o processo de impressão 3D para unir materiais, em que os produtos são construídos, camada sobre camada, em uma base, através de uma série de cortes transversais, a partir de dados de um modelo 3D (AHUJA; KARG; SCHMIDT, 2015; KIETZNANN; PITT; BERTHON, 2015). |
| Realidade aumentada | Caracteriza-se por um conjunto de tecnologias que fazem uso de um dispositivo eletrônico para visualizar, direta ou indiretamente, um ambiente físico do mundo real combinado com elementos virtuais (FRAGA-LAMAS <i>et al.</i> , 2018). |
| Robôs autônomos | Um robô autônomo é usado para executar o método de produção autônomo com mais precisão e também trabalhar nos locais onde trabalhadores humanos estão restritos ao trabalho (VAIDYAA; AMBADB; BHOSLE, 2018). |
| Segurança cibernética | É a proteção contra roubo ou dano ao hardware, software e dados TI nos sistemas, ou seja, ameaças cibernéticas (LEZZI; LAZOI; CORALLO; 2018). As comunicações confiáveis e seguras, bem como identidades sofisticadas e gestão de acesso às máquinas e de usuários são essenciais no contexto da indústria 4.0 (VAIDYAA; AMBADB; BHOSLE, 2018) |
| Simulação | Imitação da operação de um processo ou sistema da vida real ao longo do tempo envolvendo a geração de uma história artificial do sistema onde, a partir da observação dessa história possa extrair inferências sobre as características operacionais do sistema real que está sendo representado (BANKS, 1998). Permite que dados em tempo real sejam utilizados para espelhar o mundo físico em um modelo virtual, o qual pode incluir máquinas, produtos e humanos (NERADILOVAA; FEDORKO, 2017). |

QUADRO 1 - SÍNTESE DAS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0

FONTE: FRANCO *ET AL.* (2020)

2.2. EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO NO CONTEXTO DA INDÚSTRIA 4.0

A manutenção consiste em revisar, reparar e substituir componentes de uma máquina ou equipamento, a fim de permitir que ele retorne à operação dentro das especificações do projeto (KELLY; HARRIS, 1978). No entanto, a manutenção corretiva é executada após uma parada indesejada e tem como objetivo executar uma ação de reparo na máquina para que retorne à operação (SMITH, 2011). De acordo com Palmer (2005), a manutenção preventiva é realizada com base na variável tempo, com intervalos predefinidos e com o objetivo de reduzir o número de paradas indesejadas que degradam o equipamento.

Segundo Mobley (2002), a manutenção preditiva é realizada coletando informações, amostrando e monitorando o equipamento, a fim de reduzir ou minimizar o número de paradas indesejadas que levam à falha do equipamento. No entanto, a manutenção pró-ativa é um processo contínuo de atividades que visam estender a vida útil do equipamento por meio de ações para monitorar e gerenciar as principais causas de falhas (RAKYTA, 2016).

Estudo aponta que a Indústria 4.0 revoluciona a interação entre humanos e máquinas, e a cooperação entre homem e robô possibilitará alcançar melhores resultados devido ao desenvolvimento de interfaces inteligentes. Sendo assim, o papel da equipe de manutenção direciona-se para o gerenciamento das atividades de manutenção realizadas por robôs inteligentes, e os colaboradores devem estar abertos às mudanças e assimilação contínua de conhecimentos de diferentes disciplinas (KRASON; MACZEWSKA; POLAK-SOPINSKA, 2019).

Nesse ambiente, a manutenção é monitorada por *Cyber Physical Systems* (CPS) que geram dados estatísticos sobre os processos físicos com recursos para tomada de decisões com base em *feedback* medido por sensores, microcontroladores e software. Concentra-se nos recursos de máquinas "inteligentes" que fornecem, autonomamente, informações que permitem monitorar o processo. As fábricas que possuem máquinas inteligentes utilizam tecnologias avançadas, como redes, dispositivos conectados, análise de dados

e inteligência artificial para alcançar a manutenção preditiva mais eficiente, com objetivo de reduzir falhas e melhorar a segurança, confiabilidade, disponibilidade e eficiência (ADU-AMANKWA *et al.*, 2019).

Com este cenário caminha-se de um ambiente em que as máquinas se comunicam com o homem, para máquinas se comunicando com máquinas e tomando decisões a todo instante, com o mínimo envolvimento humano.

2.2.1. COMPUTAÇÃO NA NUVEM (*CLOUD COMPUTING*) NA MANUTENÇÃO

A tecnologia avançada de computação em nuvem beneficia a eficiência da manutenção por meio da redução de custos do produto ao longo do tempo. Desta forma, desempenha um papel fundamental no contexto da Indústria 4.0 principalmente para o futuro da manutenção (ROY *et al.*, 2016).

Neste sentido, Aransyah *et al.* (2020) apresentaram um sistema de computação em nuvem para demonstrar o potencial de manutenção e a importância no aumento da lucratividade e vantagem competitiva das empresas por meio do fornecimento de informações dos ativos e ações de melhores práticas de manutenção permitindo com que um operador consiga diagnosticar imediatamente ou mesmo consertar o equipamento com falha para minimizar o tempo de inatividade com o auxílio de dados e informações.

Shihundla *et al.* (2019) desenvolveram um estudo para implementar o gerenciamento da manutenção de dados baseado na computação nas nuvens e reforçaram que é inevitável aproveitar a flexibilidade e os recursos oferecidos pela computação em nuvem, principalmente a facilidade de adaptar prognósticos e algoritmos.

2.2.2. INTEGRAÇÃO HORIZONTAL E VERTICAL DE SISTEMAS (*SYSTEMS INTEGRATION*) NA MANUTENÇÃO

O desafio associado à integração de sistemas horizontais e verticais cada vez mais automatizados é a inserção das funções cognitivas humanas em ciclos de processos relacionados à produção (Emmanouilidis *et al.*, 2019).

Nesse sentido, Jager *et al.* (2018) discutiram a integração de sistemas para avaliar modelos de falha de informações compartilhadas em relação à tolerância a falhas por meio de aplicativos, prometendo assim a sustentabilidade da segurança da integração.

Bokrantz *et al.* (2019) descreveram observações e interpretações teóricas de manutenção inteligente e suas quatro dimensões subjacentes: tomada de decisão baseada em dados, recursos de capital humano, integração interna e integração externa de sistemas horizontais e verticais.

Segundo Kumar *et al.* (2020) a combinação da computação horizontal e vertical de sistemas aumentam a inteligência no chão de fábrica a partir da comunicação sem fio que permite cada vez mais automação nas práticas industriais e possibilita mudanças no planejamento de operações e descentralização na tomada de decisão.

2.2.3. MANUFATURA ADITIVA (*ADDITIVE MANUFACTURING*) NA MANUTENÇÃO

Em essência, a MA consiste na produção de peças por camadas por meio de impressão 3D para serem utilizadas no processo produtivo de forma planejada e facilitada pelo baixo custo do investimento.

Neste sentido, Rusu *et al.* (2019) apresentaram considerações a respeito de processos de manufatura inteligentes com foco na MA utilizando técnicas de modelagem matemática e probabilística para alcançar a manutenção centrada em confiabilidade, e reforçaram que os desafios da manufatura aditiva em sistemas inteligentes consistem na promoção do design de sistemas fáceis de usar, seguros e autônomos, flexíveis e integrados, que possam fornecer prototipagem rápida, métodos de engenharia reversa e velocidade, duplicados pela qualidade, resolução e acabamento em 3D.

Sendo assim, a MA pode ser considerada uma grande aliada da manutenção suprimindo eventuais demandas de peças para a realização de intervenções rápidas e não planejadas, principalmente quando envolver problemas e anomalias não previstas pelo fornecedor do equipamento.

2.2.4. ROBÔ AUTÔNOMO (*AUTONOMOUS ROBOT*) NA MANUTENÇÃO

Os robôs estão se tornando cada vez mais eficientes, entretanto ainda existe a necessidade das pessoas realizarem diferentes operações, como procedimentos de treinamento e manutenção (PACE *et al.*, 2019).

No entanto, mesmo com a manutenção alicerçada em prognósticos e considerações do ciclo de vida do equipamento, os robôs autônomos possibilitam a visão holística a partir do uso da inteligência artificial direcionado para manufatura automatizada e autônoma, o que permite agir de forma antecipada ao evento inesperado (TURNER *et al.*, 2019).

Pace *et al.* (2019) apresentaram uma proposta para avaliar um sistema de interação remota em um ambiente de realidade colaborativa de treinamento industrial por meio da utilização de robôs autônomos, em que os usuários que acessavam de forma remota conseguiam explicar os procedimentos de treinamento para usuários locais que até então não haviam sido capacitados.

Nesse sentido, com a inserção de robôs inteligentes aumenta além da capacitação técnica dos profissionais ligados a manutenção, a frequência de manutenção planejada com base em diagnósticos preditivos e reduzir a manutenção corretiva planejada.

2.2.5. SEGURANÇA CIBERNÉTICA (*CYBERSECURITY*) NA MANUTENÇÃO

A melhoria da manutenção no contexto da Indústria 4.0 consiste em identificar oportunidades e padrões de segurança cibernética para melhorar a computação e eficiência da manutenção reduzindo o custo ao longo do ciclo de vida do produto (Roy *et al.*, 2016).

Neste sentido, torna-se possível reduzir o falseamento de dados e informações praticados por pessoas ligadas diretamente ao processo produtivo em favor do resultado positivo, porém comprometendo a confiabilidade do equipamento e as tratativas programadas para cada situação, assim como correção e sinais de alerta aos responsáveis.

Além de proteção contra roubo ou dano ao *hardware*, software e aos dados do sistema torna-se possível confiar nas correções automáticas como sendo seguras, sem que aconteçam verificações induzindo a paradas não planejadas por conta do acesso às máquinas por usuários não autorizados.

2.2.6. APRENDIZADO DE MÁQUINA (*MACHINE LEARNING*) NA MANUTENÇÃO

O aprendizado de máquina desempenha um papel fundamental em sistemas de tomada de decisão de manutenção automatizados e com suporte inteligente (TURNER *et al.*, 2019). Nesse sentido, Ruiz-Sarmiento *et al.* (2020) descreveram um modelo preditivo de aprendizado de máquina para estimar e prever a deterioração gradual de equipamentos e permitir que os operadores tomem decisões sobre as operações de manutenção.

Emmanouilidis *et al.* (2019) enfatizaram que a inserção de pessoas em rotas de treinamento beneficia o gerenciamento das informações e conhecimento de manutenção, e expande o poder de aprendizado de máquina ao detectar eventos incorporados em ativos que facilitam a análise orientada ao modo online.

Em essência, o aprendizado de máquina permite analisar recursos que explicam dados relacionados a eventos, baseado em informações e histórico, para prever possíveis falhas e problemas do produto (PROTO *et al.*, 2020).

2.2.7. SISTEMAS FÍSICOS CIBERFÍSICOS (*CYBER-PHYSICAL SYSTEM - CPS*) NA MANUTENÇÃO

Os CPS são formados pela integração tanto do meio físico para o cibernético, como do meio cibernético para o físico, com interação mútua através de processos físicos e processos computacionais (MATANA, 2019).

Neste sentido, beneficiam a introdução de uma variedade de facilitadores de tecnologias por meio da computação baseada na conexão e semântica por meio de sensores, internet das coisas, computação avançada e plataformas digitais que realizam o trabalho em conjunto com o gerenciamento e análise de

dados para propor melhorias na manufatura e manutenção (EMMANOUILIDIS *et al.*, 2019).

Sendo assim, enriquece as comunicações entre os espaços físico, cibernético e social no ambiente de produção, e quando centrado no ser humano em fábricas inteligentes resulta em uma transição mútua da cooperação homem-máquina para a colaboração ativa, que é caracterizada por interações ciberfísico-sociais, troca de conhecimento e por aprendizado recíproco, e permite solucionar os problemas relacionados à manutenção do equipamento de maneira ágil (ANSARI *et al.*, 2018).

Contudo, os sistemas de produção físico-cibernético, como uma tecnologia emergente da Indústria 4.0, provocam uma mudança de paradigma de manutenção e transforma um sistema automatizado de suporte à decisão em conhecimento (ANSARI *et al.*, 2019). É considerada a tecnologia habilitadora da Indústria 4.0 mais explorada porque engloba a integração entre máquinas e recursos de computação, alavancados em parte pela IoT (TURNER *et al.*, 2019).

2.2.8. INTERNET DAS COISAS (*INTERNET OF THINGS* - IoT) NA MANUTENÇÃO

A transformação das demandas da sociedade em produtos e serviços tecnológicos pode ser considerada um forte de estímulo para melhorias nos processos industriais a partir do desenvolvimento de dispositivos conectados e ambientes instrumentados combinados com as técnicas disponíveis de análise de dados e cognição proporcionando condições para consolidar o que hoje se conhece como IoT (SILVA *et al.*, 2016).

Por conseguinte, a disponibilidade de dados proveniente do efeito de dispositivos IoT é um fator de influência que impulsiona a pesquisa no campo da manutenção, uma vez que as soluções existentes com tecnologias da informação simplificam a coleta em campo de uma grande quantidade de dados, principalmente com a facilidade da comunicação via nuvem e inteligência artificial, e contribui para manutenção centrada em confiabilidade

(GOTI *et al.*, 2019).

Neste sentido, Silva *et al.* (2016) propõem uma estrutura baseada em nuvem para aplicativos por meio da IoT para melhorar a implantação de sistemas industriais inteligentes baseado em monitoramento e controle remoto.

Sendo assim, a integração entre IoT e *Big Data*, tornou-se eficaz a forma de gerenciar os processos industriais e prever falhas nos produtos ou possíveis paradas de produção (PROTO *et al.*, 2020) porque os aparelhos serão capazes de se autodiagnosticar e determinar o momento da troca de componentes para a manutenção adequada (MARKOWSKI *et al.*, 2020).

2.2.9. *BIG DATA (BD)* NA MANUTENÇÃO

O valor dos dados pode ser considerado o diferencial das organizações, no entanto, os tornam cada vez mais dependentes da eficiência com que transformam as informações coletadas em *insights* acionáveis. Nesse sentido, a validade dos dados é um fator crítico de sucesso a ser considerado na implementação de soluções eficazes para detecção de anomalias que podem ser identificadas com a utilização de BD para solucionar problemas invisíveis, ajudando analistas e operadores industriais na resolução (BAGOZI *et al.*, 2017).

Nesse sentido, as empresas começaram a utilizar a análise de *BD* para atingir seus objetivos desempenhando um papel fundamental na construção de aplicativos orientados a extração de dados principalmente voltados à manutenção preditiva (SAHAL *et al.*, 2020).

A manutenção, no contexto da Indústria 4.0, trata de prever falhas futuras em ativos e, em última análise, prescrever a medida preventiva mais eficaz, aplicando análises avançadas em BD sobre condição técnica, uso, ambiente, histórico de manutenção e equipamentos semelhantes em outros lugares e, de fato, qualquer coisa que possa se correlacionar com o desempenho de um ativo (JASIULEWICZ-KACZMAREK *et al.*, 2019).

Assim, Proto *et al.* (2020), reforçaram que a necessidade de sistemas de logística inteligentes eficazes aumentou a integração entre *BD* e IoT e possibilitou o gerenciamento dos processos industriais, prevendo falhas de produtos e paradas não planejadas.

2.2.10. EXTRAÇÃO DE DADOS (*DATA MINING - DM*) NA MANUTENÇÃO

Os BDs possibilitam fornecer informações rápidas para a tomada de decisão com o uso de análises inteligentes; no entanto, a crescente disponibilidade de dados gerados a partir do uso das tecnologias da Indústria 4.0 torna obsoletas as informações se não exploradas. Assim, para lidar com tamanha quantidade de dados, é necessário o uso de DM (MÁRQUEZ *et al.*, 2019).

Nesse sentido, Kohli *et al.* (2018), aplicaram DM e manipulações de informações para preparar um sistema de classificação que consiste em parâmetros de registros de manutenção, como uso de peças sobressalentes, tempo decorrido desde a última manutenção concluída e o período até a próxima manutenção programada.

2.2.11. REALIDADE AUMENTADA (*AUGMENTED REALITY - AR*)

A tecnologia de AR permite combinar informação digital e física em tempo real por meio de diferentes meios tecnológicos como tablets, smartphones ou óculos de Realidade Aumentada, proporcionando assim a chance de criar uma nova realidade, o que possibilita utilização de códigos, uso de imagens, a exploração de objetos 3D e a mobilização de coordenadas (CABERO-ALMENARA *et al.*, 2019). Nesse sentido, contribui para acelerar o processo de manutenção e otimizar o trabalho realizado pelo operador (ARANSYAH *et al.*, 2020).

Estudos apontam que a manutenção tem sido um dos principais domínios para o uso da AR; os aplicativos permitem que os técnicos recebam ajudas visuais e de áudio geradas por computador enquanto executam diferentes atividades, como montagem, reparo ou procedimentos de manutenção (MANURI *et al.*, 2019; MÁIRQUEZ *et al.*, 2019; PACE *et al.*, 2019).

Em essência, a AR compreende o conjunto formado por tecnologias de software e hardware que conferem a capacidade de experimentar o mundo real e os conteúdos gerados por computador ao mesmo tempo; na medida em que objetos artificiais e físicos são misturados, o usuário pode se mover em um espaço híbrido sem restrições (MANURI *et al.*, 2019).

2.3. MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL (TPM)

2.3.1. ORIGEM E FUNDAMENTOS DO TPM

Segundo Ribeiro (2014), o TPM iniciou com um esforço de indústrias japonesas em aprimorar a manutenção que nasceu nos Estados Unidos na década de 50. Entretanto, posteriormente o Japão evoluiu para o sistema de manutenção da produção que consiste na busca por zero perda no processo por meio de zero falha, zero quebra e zero defeitos, e com as seguintes características:

- Engloba o ciclo de vida completo das máquinas e equipamentos;
- Envolve participação de áreas como a engenharia, a produção (incluindo a logística) e a manutenção;
- Permite a participação de variados níveis hierárquicos da empresa;
- Pode ser considerado um processo motivacional por envolver trabalho em equipe.

De acordo com Suzuki (1994), o TPM promove mudanças na mentalidade dos envolvidos, nos indicadores da empresa e no estado físico das máquinas e está estruturado em oito pilares, sendo:

- Melhoria Específica ou Melhorias Focadas
- Manutenção Autônoma
- Manutenção Planejada
- Controle Inicial ou Melhoria no Projeto
- Pilar Qualidade ou Manutenção da Qualidade
- Educação e Treinamento

- Segurança Saúde e Meio Ambiente
- TPM em Áreas de Apoio ou TPM *Office*

Os pilares são classificados em técnicos (confiabilidade) e complementares (sustentabilidade), detalhados no Quadro 2. Os pilares técnicos estão relacionados à busca do máximo de eficiência do processo produtivo, e classificam-se em: melhorias específicas, manutenção autônoma, manutenção planejada e educação e treinamento. No entanto, os complementares buscam por apoiar a confiabilidade através da prestação de serviços de maneira eficiente por meio da educação e treinamento, saúde segurança e meio ambiente e TPM em áreas administrativas (RIBEIRO, 2014).

| Pilares do TPM | | Objetivos Principais dos Pilares |
|------------------|--|--|
| TÉCNICO | Melhoria Específica | Incorporação de melhorias específicas e individualizadas nas máquinas e nos processos. |
| | Manutenção Autônoma | Estruturação para condução da manutenção voluntária ou autônoma pelos operadores. |
| | Manutenção Planejada | Estruturação da Função Manutenção. |
| | Educação e Treinamento | Capacitação técnica de busca de novas habilidades dos profissionais da Produção e da Manutenção. |
| SUSTENTABILIDADE | Melhorias no Projeto ou Inicial Controle | Estruturação para a gestão do Ciclo de Vida do Equipamento desde o projeto até a desativação. |
| | Manutenção da Qualidade | Abordagem do gerenciamento dos equipamentos para garantir a qualidade intrínseca do produto e reduzir custos com retrabalho/reprocessamento. |
| | Segurança Saúde e Meio ambiente | Abordagem dos impactos do processo produtivo na segurança e saúde das pessoas, e vice-versa e o meio ambiente da vizinhança da planta. |
| | TPM em áreas de apoio | Introdução de ataque às perdas em processos não produtivos. |

QUADRO 2 - OBJETIVO PRINCIPAL DOS PILARES DO TPM

FONTE: RIBEIRO (2014)

De acordo com Borlido (2017) a implementação dos pilares do método do TPM promove benefícios que possibilitam o desenvolvimento do senso crítico por parte do colaborador por conta do aumento do conhecimento acerca do equipamento. Neste sentido, problemas recorrentes serão identificados com maior facilidade e, por conseguinte, redução do número de defeitos de equipamentos, por conta da identificação antecipada de anomalias.

2.3.2. PERDAS E EFICIÊNCIA GLOBAL DO EQUIPAMENTO (OEE)

O TPM visa aumentar o desempenho e a utilização dos ativos de produção e para alcançar seus objetivos deve-se reduzir ou eliminar perdas que impactam no desempenho do equipamento para evitar deficiência na máquina (Quadro 3).

Estas perdas são classificadas em três grandes grupos, sendo: as perdas que influenciam a Eficiência do Equipamento, as perdas que influenciam na Eficiência das Pessoas e as perdas que influenciam a Eficiência da Utilização de Materiais e Energia (RIBEIRO, 2014).

| CLASSIFICAÇÃO DA PERDA | DESCRIÇÃO DA PERDA |
|--|---|
| As Perdas que influenciam a Eficiência dos Equipamentos | 1. Manutenção programada. |
| | 2. Defeito/falha do equipamento. |
| | 3. Ajustes do equipamento |
| | 4. Troca de ferramental/gabarito/molde/estampo. |
| | 5. Pequenas paradas e ociosidade. |
| | 6. Redução do desempenho |
| | 7. Correção de defeitos |
| | 8. Defeito no início de funcionamento |
| As Perdas que Influenciam a Eficiência das Pessoas | 9. Falhas administrativas (espera por instruções e por materiais) |
| | 10. Falhas operacionais |
| | 11. Desorganização da linha de produção |
| | 12. Falhas da logística |
| | 13. Medições e ajustes excessivos |

| CLASSIFICAÇÃO DA PERDA | DESCRIÇÃO DA PERDA |
|--|--|
| As Perdas que influenciam a Eficiência da Utilização de Materiais e Energia | 14. Desperdício de energia |
| | 15. Perdas de materiais (defeitos durante a operação, defeitos e refugos no início de operação, cortes de materiais adicionais, peso, excessos). |
| | 16. Matrizes, ferramentas, gabaritos, moldes, estampos. |

QUADRO 3 - CLASSIFICAÇÃO DAS PRINCIPAIS PERDAS

FONTE: RIBEIRO (2014)

Segundo Ribeiro (2014), analisando apenas as perdas operacionais, ou seja, aquelas que estão ligadas diretamente à operação dos equipamentos, elas variam entre produção seriada e produção contínua. São levantadas para o cálculo da Eficiência Global do Equipamento, e classificadas em:

- **PERDA POR PARADA ACIDENTAL**

Oferece grande impacto no rendimento dos equipamentos, e pode ser ocasionado de duas maneiras: o primeiro pode ser referente à quebra repentina do equipamento ou quebra precedida do desgaste gradativo dos componentes.

- **PERDA DURANTE A MUDANÇA DE LINHA**

Acontece quando é feita a mudança de linha, com a suspensão do ciclo e, geralmente, tempo necessário para os ajustes e regulagem é maior que o tempo necessário para realização da mudança da linha.

- **PERDA POR PEQUENAS PARADAS OU OPERAÇÃO EM VAZIO**

Consiste em uma operação em vazio, ou ativação de um mecanismo de parada decorrente de algum desvio ou anormalidade, e não pode ser considerado uma quebra, devido à interrupção ser por um período determinado e momentâneo.

- **PERDA POR QUEDA DA VELOCIDADE DE PRODUÇÃO**

São provocados por situações relativas à qualidade, problemas mecânicos, matéria prima fora de especificação técnica e habilidade do operador.

- **PERDA POR DEFEITO DE PROCESSO**

Está associada ao volume de retrabalho ou descarte de produtos com defeito e deve levar em consideração as atividades de suporte que foram necessárias para realização do produto, como mão de obra, energia, entre outros.

- **PERDA POR DEFEITO NO INÍCIO DO PROCESSO**

São provoados por instabilidade da operação, utilização inadequada de ferramentas, inexistência de um plano efetivo de manutenção, falta de matéria prima e, em alguns casos, pode estar associado diretamente com a habilidade do operador.

Ao solucionar as “seis grandes perdas” citadas anteriormente, maximiza-se o OEE (Eficiência Global do Equipamento); portanto, deve ser realizado continuamente o controle das perdas para então favorecer a capacidade competitiva da empresa.

Neste sentido, uma maneira de avaliar a eficácia do método do TPM é por meio dos resultados do OEE, que registra as perdas incorridas no processo de produção. Para este fim, a disponibilidade do equipamento é levada em consideração, juntamente com sua qualidade e desempenho (NAKAJIMA, 1989).

De acordo com Silva (2009), OEE é obtido multiplicando-se três fatores:

- disponibilidade do equipamento;
- eficiência demonstrada durante a produção;
- qualidade do produto resultante.

Segundo Jonsson e Lesshmmar (1999), o OEE quantifica o desempenho dos

equipamentos, células ou linhas de produção ao longo do tempo possibilitando identificar oportunidades de melhoria através dos resultados obtidos principalmente por recursos de menor eficiência para que sejam priorizados esforços quanto ao seu funcionamento.

Nesse sentido, os dados necessários para o cálculo do OEE devem ser coletados a partir de sistemas capazes de gerar indicadores possibilitando a identificação de tendência, seja crescente ou decrescente. Posteriormente, um indicador com tendência negativa pode se tornar uma informação de alerta para empresa que de alguma forma direcionará esforços para correções. Entretanto, quando o gráfico apresentar tendência positiva poderá se tornar motivo para compartilhamento e replicação de boas práticas de produção.

2.4. ESTRUTURA DOS PILARES DO MÉTODO DO TPM

2.4.1. PILAR MELHORIAS ESPECÍFICAS

O pilar de melhoria específica enfoca a gestão de equipamentos e processos, principalmente sua melhoria, e busca tratar os desvios e não conformidades de forma técnica (RIBEIRO, 2014).

Uma vez que os problemas básicos do local de fabricação sejam resolvidos, melhorias mais avançadas são possíveis. Aumentar a capacidade dos processos gargalo é uma grande preocupação da indústria, um tópico importante para certas melhorias, e traz excelentes resultados (SUZUKI, 1994).

O Quadro 4 descreve as etapas para implementação do pilar de melhoria específica composto por 7 passos que consiste em: “selecionar tópico de melhoria”; “entender a situação”; “expor e analisar causas das anomalias”; “planejar melhoria”; “implementar melhoria”; “verificar resultados” e “consolidar ganhos”.

| PASSO | ETAPA | DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE |
|---|---|---|
| 1. Selecionar tópico de melhoria | 1.1. Seleção dos Equipamentos/Processos. | 1.1.1. Identificar os Equipamentos/Processos que possuam maiores perdas, gargalos e/ou possibilitem replicação horizontal (relatórios de produção, perdas, financeiros, investimentos e outros). |
| | 1.2. Constituição e Capacitação dos Grupos de Trabalho. | 1.2.1. Formar grupo de Melhorias Específicas (Engenharia de Fábrica ou de Processos, Engenharia de Manutenção ou Equipamentos, Manutenção e outros) e definir o líder de cada equipamento/time ou célula. |
| | | 1.2.2. Treinar o grupo na estrutura do Pilar de Melhorias Específicas. |
| 1. Selecionar tópico de melhoria | 1.2. Constituição e Capacitação dos Grupos de Trabalho. | 1.2.3. Treinar o grupo sobre o Cálculo de Eficiência Global do Equipamento (OEE), Índices de desempenho operacional. |
| 2. Entender a situação | 2.1. Levantamento das Perdas Atuais. | 1.2.4. Treinar o grupo na metodologia das 16 grandes perdas. |
| | | 2.1.1. Elaborar uma planilha para levantamento de todas as perdas associadas às paradas/reparos dos equipamentos/processos. |
| | | 2.1.2. Determinar por meio do cálculo da eficiência global do(s) equipamento(s), os índices por perdas por falhas operacionais, por perdas de tempo geradas por defeitos do equipamento, por setup (perdas de tempo para troca de facas, formato, cargas e outros), por perdas oriundas de matéria-prima e embalagens, etc. |
| 2.1.3. Classificar e separar as perdas do processo/equipamentos dentro do conceito das 16 perdas. | | |

| PASSO | ETAPA | DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE |
|---|--|---|
| 2. Entender a situação (Continuação) | 2.1. Levantamento das Perdas Atuais. | 2.1.4. Elaborar gráfico de Pareto com as principais perdas classificadas. |
| 3. Expor e analisar causas das anomalias | 3.1. Definição dos Temas e Metas para Melhoria. | <p>3.1.1. Definir o(s) tema(s) que representa(m) a(s) maior (es) perda(s), utilizando o gráfico de Pareto.</p> <p>3.1.2. Reunir a equipe envolvida e treiná-los nos conceitos da Eficiência Global do Equipamento (OEE) e na metodologia das 16 grandes perdas.</p> <p>3.1.3. Definir com a equipe cronograma de reuniões para análise das perdas.</p> <p>3.1.4. Definir metas para os temas levantados com objetivo de eliminar ou reduzir ao máximo as perdas.</p> |
| 4. Planejar Melhoria | 4.1. Elaboração do Plano de Melhorias. | <p>4.1.1. Reunir a equipe para analisar a causa raiz da(s) perda(s) identificada(s) por intermédio de ferramentas da metodologia (análise dos por quês, análise de falhas e outras).</p> <p>4.1.2. Elaborar árvore de causa para as possíveis causas identificadas.</p> <p>4.1.3. Priorizar a melhoria a ser implementada, identificando o possível ganho em relação a eficiência global (percentual de ganho).</p> <p>4.1.4. Estabelecer metas para implementação das melhorias.</p> <p>4.1.5. Elaborar um cronograma detalhado com os prazos previstos para o início e término das atividades.</p> <p>4.1.6. Enviar os rascunhos do plano para análise do Grupo de Melhorias Específicas.</p> |
| | 4.2. Mapeamento das Análises e das Medidas Defensivas. | 4.2.1. Definir recursos necessários para a implementação das melhorias. |

| PASSO | ETAPA | DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE |
|---|--|---|
| 4. Planejar Melhoria (Continuação) | 4.2. Mapeamento das Análises e das Medidas Defensivas. | 4.2.2. Elaborar procedimento provisório até que a melhoria seja implementada. |
| | | 4.2.3. Definir as ações propostas com a turma, precedendo a ajustes necessários. |
| | | 4.2.4. Apresentar o plano de ação para equipe, validando as ações propostas. |
| | | 4.2.5. Elaborar gráficos com os indicadores (produtividade, qualidade, custo, atendimento, segurança e motivação). |
| 5. Implementar Melhoria | 5.1. Implementação da Melhoria. | 5.1.1. Acompanhar a implementação da melhoria e corrigir possíveis desvios (prazos, recursos e outros). |
| 6. Verificar resultados | 6.1. Comprovação dos resultados. | 6.1.1. Levantar dados suficientes para análise da situação atual da perda(s) selecionada(s) após implementação da melhoria. |
| | | 6.1.2. Comprovar os resultados obtidos com as metas estabelecidas. |
| | | 6.1.3. Comprovar o ganho obtido com o Índice de Eficiência Global do Equipamento (OEE). |
| 7. Consolidar ganhos | 7.1. Tomada de Providência para Evitar a Recorrência. | 7.1.1. Estabelecer procedimentos e padrões operacionais/manutenção que definam as atividades a serem seguidas evitando a recorrência. |
| | | 7.1.2. Elaborar cronograma para disseminação de melhorias em equipamentos/processos. |
| | | 7.1.3. Realizar diagnóstico periódico para garantir a aplicação da metodologia. |
| | 7.2. Disseminação das Melhorias Implementadas em Equipamentos/Processos. | 7.2.1. Replicar a melhoria implantada em equipamentos/processos semelhantes. |

QUADRO 4 - ETAPAS DE IMPLEMENTAÇÃO DO PILAR MELHORIA ESPECÍFICA

FONTE: SUZUKI (1994); RIBEIRO (2014)

Em essência, a implementação destas etapas servem para avaliar se existe uma estrutura adequada para discutir os problemas dos equipamentos, principalmente se são definidos adequadamente os temas e as respectivas metas para as melhorias por meio do acompanhamento das implementações verificando se estão de acordo com o previsto e se as causas-raízes foram realmente atacadas. Por fim, se as melhorias estão sendo replicadas.

Nesse ambiente, pode ser adquirido conhecimento crítico que possibilita identificar e tratar problemas recorrentes a partir de ideias geradas por grupos multidisciplinares.

2.4.2. PILAR MANUTENÇÃO AUTÔNOMA

A base da manutenção autônoma é o desenvolvimento do senso de propriedade e entusiasmo do operador pelo equipamento, incluindo a capacidade de inspecionar e encontrar problemas (RIBEIRO, 2014).

De acordo com Suzuki (1994), o objetivo do pilar de manutenção autônoma é evitar a deterioração do equipamento por meio do funcionamento correto e da inspeção diária, aproximando o equipamento de sua condição ideal pela restauração, e criando as condições básicas necessárias para promover o funcionamento adequado. Outro fator que influencia diretamente este pilar é a nova forma de pensar e ensinar a trabalhar, de forma a preparar o funcionário com conhecimento de máquina e senso de criticidade.

O Quadro 5 descreve as etapas para implementação do pilar de manutenção autônoma composto por 7 passos que consiste em: “limpeza inicial”; “combate às fontes de sujeira e contaminação e locais de difícil acesso”; “elaboração dos padrões de limpeza e lubrificação”; “inspeção geral”; “inspeção autônoma”, “sistematização” e “autocontrole”.

| PASSO | ETAPA | DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE |
|--|--|--|
| 1. Limpeza Inicial | 1.1. Conscientizar os operadores de que as sujeiras, detritos, impregnação dos óleos, vazamentos de lubrificantes e produtos, parafusos e porcas soltas provocam desajustes, funcionamento inadequado, poluição e condições inseguras e identificar todos os problemas dos equipamentos (etiquetagem). | 1.1.1. Eliminar pó e sujeira do corpo principal do equipamento. |
| | | 1.1.2. Expor irregularidade como pequenos defeitos, fontes de contaminação, lugares inacessíveis e fontes de defeitos de qualidade. |
| | | 1.1.3. Eliminar itens desnecessários ou raramente usados e simplificar o equipamento. |
| 2. Combate às Fontes de Sujeira e Contaminação e Locais de difícil acesso | 2.1. Atacar as fontes geradoras de sujeiras e contaminação mais frequentes e crônicas, como também tratar diferenciadamente os locais de acesso com o objetivo de diminuir os problemas que afetam o desempenho do equipamento, além de facilitar os serviços de operação e manutenção. | 2.1.1. Reduzir o tempo de limpeza através da eliminação das fontes de poeira e sujeira, prevenindo a dispersão e melhorando as partes que são difíceis de limpar, verificar, apertar ou manipular. |
| 3. Elaboração dos Padrões de limpeza e lubrificação | 3.1. Garantir os ganhos das etapas anteriores (manutenção das condições básicas e ideais) buscando o "estado ideal" do local de trabalho através da padronização da inspeção e lubrificação (introdução de controle visual). | 3.1.1. Formular os padrões de trabalho que ajudem a manter os níveis de limpeza, lubrificação e de aperto com tempo e esforço mínimo. |
| | | 3.1.2. Melhorar a eficiência do trabalho de verificação pela introdução de controles visuais. |

| PASSO | ETAPA | DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE |
|---|--|---|
| <p>4. Inspeção Geral</p> | <p>4.1. Apresentar atividades que permitem o bloqueio dos desgastes e a recuperação das partes afetadas, ao mesmo tempo em que se busca a formação dos operadores polivalentes, com pleno conhecimento do seu trabalho e dos equipamentos que operam para contribuir com a criação de Lição Ponto a Ponto.</p> | <p>4.1.1. Fornecer treinamento em técnicas de inspeção baseado em manuais de inspeção.</p> |
| | | <p>4.1.2. Conseguir que itens do equipamento individual fiquem em condições de apogeu pela sujeição delas à inspeção geral.</p> |
| | | <p>4.1.3. Modificar o equipamento para facilitar a inspeção. Fazer uso extensivo de controles visuais.</p> |
| <p>5. Inspeção Autônoma</p> | <p>5.1. Elaborar folhas de verificação (check-lists) para que o operador monitore o equipamento utilizando o conhecimento ganho com os treinamentos realizados, e principalmente adquira habilidade de pequenos reparos com o acompanhamento da equipe de manutenção.</p> | <p>5.1.1. Fornecer instrução no desempenho do processo, na operação do processo, e no ajuste e em métodos de manipulação de anomalias para melhorar a confiabilidade operacional pelo desenvolvimento da competência do processo do operador.</p> |
| <p>5.1.2. Prevenir duplicidade e omissões na inspeção pela incorporação para padrões provisórios de limpeza e inspeção de equipamentos individuais na inspeção periódica e padrões de substituição para áreas e processos inteiros.</p> | | |
| <p>6. Sistematização</p> | <p>6.1. Conscientizar e capacitar os operadores a relacionar as atividades de inspeção e pequenos reparos à confiabilidade do equipamento e a qualidade do produto processado, obtido por meio de atividades de padronização, melhoria do fluxo do trabalho e entendimento entre outras condições do equipamento e a qualidade do produto.</p> | <p>6.1.1. Alcançar uma manutenção de qualidade e segurança pelo estabelecimento de procedimentos claros e de padrões para manutenção autônoma confiável.</p> |
| | | <p>6.1.2. Melhorar os procedimentos de reinício e reduzir o trabalho no processo.</p> |

| PASSO | ETAPA | DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE |
|--|--|--|
| 6. Sistematização (continuação) | 6.1. Conscientizar e capacitar os operadores a relacionar as atividades de inspeção e pequenos reparos à confiabilidade do equipamento e a qualidade do produto processado, obtido por meio de atividades de padronização, melhoria do fluxo do trabalho e entendimento entre outras condições do equipamento e a qualidade do produto. | 6.1.3. Estabelecer um sistema de autogestão para o fluxo do local de trabalho, sobressalentes, ferramentas, processos de trabalho, produtos, informação, etc. |
| 7. Autocontrole | 7.1. Consolidar a implantação da Manutenção Autônoma, propiciando uma maior sensibilidade para revisão dos critérios e estágio de maturidade, onde o operador é o elemento chave para manter a confiabilidade do equipamento. A manutenção deverá, até a conclusão da etapa, elaborar o calendário anual de manutenção e os padrões de serviços (inspeção, verificação, substituição e desmontagem). | 7.1.1. Melhorar atividades e padronizar as melhorias em linha com as políticas da planta e com seus objetivos, e reduzir custos através da eliminação do desperdício do local de trabalho. 7.1.2. Melhorar o equipamento mantendo os registros de manutenção precisos (ex: MTBF e analisando a informação neles). |

QUADRO 5 - ETAPAS DE IMPLEMENTAÇÃO DE MANUTENÇÃO AUTÔNOMA

FONTE: SUZUKI (1994), RIBEIRO (2014).

Em essência, a implementação destas etapas servem para avaliar a eficácia da limpeza do equipamento como oportunidade para introdução de melhorias, assim como a capacitação dos operadores para executarem as atividades de manutenção autônoma quanto à capacidade de inspecionar e diagnosticar os equipamentos. Por fim, compreender se os equipamentos são autocontrolados pelos operadores, principalmente para identificar anomalias.

Nesse ambiente, atribui-se ao operador a responsabilidade de manter condições básicas, como limpeza, inspeção de lubrificação, possibilitando com que o mesmo adquira conhecimentos sobre o funcionamento do equipamento e conseqüentemente, reduza paradas indesejadas.

2.4.3. PILAR MANUTENÇÃO PLANEJADA

O pilar da manutenção planejada consiste em detectar e tratar anormalidades e desvios nos equipamentos antes que eles causem falhas e perdas (Ribeiro, 2014).

Suzuki (1994) aponta que o pilar da manutenção planejada deve reconhecer que a manutenção não é uma “loja de consertos” que restaura o equipamento somente em condições de pré quebra.

Como uma organização, o verdadeiro desafio é identificar o estado ideal do equipamento e melhorar a capacidade de manutenção, operabilidade e segurança através de atividades projetadas para atingir esse estado. Isto exige o desenvolvimento de tecnologias avançadas de manutenção e equipamento (SUZUKI, 1994).

O Quadro 6 descreve as etapas para implementação do pilar de manutenção planejada composto por 6 passos que consiste em: “avaliação do equipamento e reconhecimento da situação atual”; “estabelecimento de uma organização de melhorias restaurando as deteriorações”; “estabelecimento de um sistema de controle de informação”; “estabelecimento de um sistema de manutenção preventiva baseada no tempo”; “estabelecimento de um sistema de manutenção preventiva baseada nas condições (inspeções preditivas)” e “mensuração dos resultados da manutenção”.

| PASSO | ETAPA | DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE |
|--|--|---|
| 1. Avaliação do Equipamento e reconhecimento da situação atual. | 1.1. Avaliar o equipamento e entender a situação. | 1.1.1. Preparar planilha para levantar dados técnicos do equipamento, tais como: número do inventário, nome, modelo, desenho, local da instalação, fabricante, data da fabricação, data de instalação, data teste, data de partida, registro de alterações, registros de manutenção ou atualizar. |
| | | 1.1.2. Preencher a planilha usando registros e entrevistando especialistas. |

| PASSO | ETAPA | DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE |
|---|---|--|
| 1. Avaliação do Equipamento e reconhecimento da situação atual. (continuação) | 1.1. Avaliar o equipamento e entender a situação. | 1.1.3. Avaliar desempenho do equipamento (número de falhas, número de pequenas paradas, problemas causados (qualidade, atrasos, acidentes de trabalho, impactos ambientais, prejuízos financeiros), MTBF, custo de manutenção). |
| | | 1.1.4. Estabelecer ranking de falhas (críticas, normais e insignificante dependendo dos efeitos no equipamento). |
| | | 1.1.5. Estabelecer metas de manutenção, como por exemplo falha do equipamento: redução de 90%, falhas de processo: redução de 50%. |
| 2. Estabelecimento de uma organização de melhorias restaurando as deteriorações. | 2.1. Inverta a deterioração e corrija as fraquezas. | 2.1.1. Solucionar anormalidades detectadas pelos operadores. |
| | | 2.1.2. Preparar Lição Ponto a Ponto e treinar os operadores de acordo com a frequência e consequências das anomalias, incluindo onde e como inspecionar e fazer pequenos reparos e melhorias. |
| | | 2.1.3. Orientar operadores para tratar adequadamente a sujeira e contaminação e criar meios de eliminar a fonte de contaminações mais críticas. |
| | | 2.1.4. Instalar controle visuais para facilitar o monitoramento pelo operador. |
| | | 2.1.5. Preparar check lists com apoio dos operadores e treiná-los. |
| | | 2.1.6. Treinar os operadores para monitorar a lubrificação, incluindo a reposição quando viável. |
| 3. Estabelecimento de um sistema de controle de informação. | 3.1. Construa um sistema de gerenciamento de informação. | 3.1.1. Elaborar um sistema de controle de dados das falhas que facilite o acesso à informações. Este sistema deve conter o registro de todas as intervenções, o plano de manutenção, o plano de sobressalentes e um controle dos custos relacionados a cada equipamento. |
| 4. Estabelecimento de um sistema de manutenção preventiva baseada no tempo. | 4.1. Construa um sistema de manutenção periódica. | 4.1.1. Criar um fluxo de trabalho do sistema de manutenção preventiva. |
| | | 4.1.2. Selecionar os equipamentos sujeitos a manutenção preventiva. |
| | | 4.1.3. Estabelecer um sistema de controle de medidas de componentes chave de cada equipamento. |
| | | 4.1.4. Estabelecer um sistema de controle de peças, projetos e dados técnicos. |
| | | 4.1.5. Reforçar procedimentos operacionais (materiais, construção, aceitação). |

| PASSO | ETAPA | DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE |
|--|--|---|
| 5. Estabelecimento de um sistema de manutenção preventiva baseada nas condições (inspeções preditivas). | 5.1. Construa um sistema de manutenção preditiva. | 5.1.1. Selecionar os equipamentos e classificá-los pela importância no processo e nos aspectos de segurança, normas e/ou legislação. |
| | | 5.1.2. Elaborar o plano de diagnóstico e se necessário contratar pessoas especializadas e ou contratar serviços. |
| | | 5.1.3. Executar o diagnóstico e verificar os dados a serem mensurados com os critérios e considerá-los conforme ou não conforme, além das tendências verificadas ao longo das medições. |
| | | 5.1.4. Executar serviços necessários a partir dos resultados e planejar de que maneira o serviço será executado, seja em operação, em parada simples ou juntamente com a preventiva. |
| 6. Mensuração dos resultados da Manutenção. | 6.1. Avalie o sistema de manutenção planejada. | 6.1.1. Comparar os dados obtidos com a Etapa 1 |

QUADRO 6 - FASES DA IMPLEMENTAÇÃO DA MANUTENÇÃO PLANEJADA

FONTE: SUZUKI (1994), RIBEIRO (2014)

Em essência, a implementação destas etapas servem para avaliar se a manutenção está estruturada para garantir melhor desempenho dos equipamentos, principalmente se o sistema de controle de informações possibilita o gerenciamento da manutenção. Por fim, compreender se os resultados da manutenção atendem às necessidades da empresa.

Neste sentido, a partir do planejamento é possível otimizar o tempo de parada planejada, aproveitando-o para restauração de condições básicas, como limpeza e inspeções, e conseqüentemente adiar ou reduzir ao máximo a possibilidade de eventos como enrosco, quebra e falhas. Também é possível identificar peças para substituição e reparo por meio da inspeção, antes mesmo que o evento indesejado aconteça.

2.4.4. PILAR DE EDUCAÇÃO E TREINAMENTO

O pilar de educação e treinamento apóia os outros pilares que afetam

diretamente a disponibilidade, confiabilidade e capacidade de manutenção para que as pessoas envolvidas estejam cientes e treinadas (RIBEIRO, 2014).

O acúmulo sistemático de treinamento, experiência e informação permite que as pessoas exerçam um bom julgamento e ajam adequadamente. Quanto mais cedo uma pessoa for capaz de lidar com uma anomalia, maior será o nível de prática (SUZUKI, 1994).

O Quadro 7 descreve as etapas para implementação do pilar de educação e treinamento composto por 6 passos que consiste em: “analisar o atual programa e estabelecer política e prioridades”; “desenvolver um programa para melhorar habilidades da manutenção e da operação”; “implementar os treinamentos programados”; “desenvolver o programa de capacitação”; “promover ambiente que estimule o autodesenvolvimento” e “avaliar as atividades e planos para o futuro”.

| PASSO/ETAPA | DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE |
|--|--|
| 1. Analisar o atual programa e estabelecer política e prioridades. | 1.1. Garantir que a equipe de manutenção tenha a habilidade adequada para atividades mais complexas e capacidade analítica para resolver os problemas atuando em suas causas raízes. |
| | 1.2. Desenvolver meios para treinar operadores em diagnósticos e pequenos reparos. |
| | 1.3. Elaborar um programa de desenvolvimento para habilidades técnicas e administrativas de operadores e mantenedores. |
| | 1.4. Garantir que a empresa terceirizada tenha uma estrutura adequada para fornecer serviços de qualidade e com profissionais qualificados. |
| 2. Desenvolver um Programa para melhorar habilidades da Manutenção e da Operação. | 2.1. Envolver todos os níveis das pessoas relacionadas aos equipamentos, em treinamentos de desenvolvimento de equipes. |
| 3. Implementar os Treinamentos programados. | 3.1. Implementar os treinamentos de habilidades nos diversos níveis, por meio da elaboração de um programa detalhado de cada habilidade requerida. |
| | 3.2. Comparar a grade de treinamento com a habilidade de cada profissional da Manutenção e Operação e de acordo com o "gap" verificado elabora-se o plano de treinamento. |

| PASSO/ETAPA | DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE |
|---|---|
| 4. Desenvolver o Programa de Capacitação. | 4.1. Iniciar uma autoavaliação de habilidades pelo próprio profissional baseado nas necessidades da empresa, e posteriormente esta avaliação é feita pelo seu líder imediato. |
| | 4.2. Verificar se o aprendizado está atualizado com as tecnologias e os métodos mais modernos e se tem condições e técnicas necessárias para o desempenho de sua função, seja cuidar da máquina ou ministrar treinamento interno (teórico/prático). |
| | 4.3. Prever uma avaliação de eficácia, não somente imediatamente após o treinamento, mas ao longo do tempo em que treinando executa as tarefas relacionadas ao aprendizado. |
| 5. Promover ambiente que estimule o autodesenvolvimento. | 5.1. Comparação entre as formações e habilidades exigidas pelo cargo, inclusive na contratação de novos colaboradores e habilidades atuais de cada um. |
| | 5.2. Sinalizar que a empresa valoriza, em termos de promoção, aqueles que melhor atendem às exigências para o cargo. |
| | 5.3. Esclarecer que quanto maior for à habilidade ele é mais valorizado e tem mais empregabilidade dentro e fora da empresa. |
| 6. Avaliar as atividades e planos para o futuro. | 6.1. Discutir critérios de escolha do treinamento. |
| | 6.2. Verificar necessidade de modificar o programa (temas, carga horária, metodologia, atividades práticas) e o material didático. |
| | 6.3. Verificar a necessidade de discutir com os instrutores as melhorias propostas e, se for o caso, substituir os instrutores e/ou a entidade responsável. |

QUADRO 7 - FASES DA IMPLEMENTAÇÃO DE EDUCAÇÃO E TREINAMENTO

FONTE: RIBEIRO (2014)

Em essência, a implementação destas etapas servem para avaliar a preparação para os treinamentos da manutenção e da produção, principalmente o nível real de evolução dos treinamentos. Por fim, se a empresa reconhece os ganhos de habilidades obtidos após os treinamentos.

Neste ambiente, o foco concentra-se na preparação de pessoas para a rotina de manutenção, no entanto, também são inclusos setores indiretos a produção como financeiro, almoxarifado, segurança, principalmente porque em caso de ineficácia do serviço prestado por falta de capacitação técnica, serão

impactados: o volume de produção, a qualidade do produto, a integridade física do funcionário (segurança), entre outros.

2.4.5. PILAR DE CONTROLE INICIAL

O pilar de controle inicial, também conhecido como melhoria no projeto e gestão antecipada, consiste no fortalecimento da interface entre a engenharia de projeto e a engenharia de manutenção através de atividades que ocorrem nas fases de projeto, fabricação, instalação e testes (RIBEIRO, 2014).

Para Suzuki (1994), as empresas que não implementam o pilar de controle inicial tendem a apresentar problemas de equipamento nos estágios iniciais de operação com muitos defeitos ocultos.

O Quadro 8 descreve as etapas para implementação do pilar de controle inicial composto por 4 passos que consiste em: “analisar a situação atual”; “estabelecer um sistema de melhorias no projeto”; “iniciar o novo sistema e promover treinamento” e “aplicar o novo sistema definitivamente”.

| PASSO/ETAPA | DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE |
|---|--|
| 1. Analisar a situação atual. | 1.1. Elaborar fluxograma da situação atual, desde a decisão em se adquirir um novo equipamento até o último nível que se possa avaliar (se possível até alienação e destinação do ativo). |
| | 1.2. Identificar problemas no fluxo e comparar o que foi feito com o que deveria ser feito a partir do conhecimento apresentado no início deste pilar. |
| | 1.3. Levantar o que vem sendo feito para prevenir problemas no estágio de cotação do equipamento para impedir que os problemas volte ocorrer. |
| | 1.4. Estabelecer quais problemas ocorrem na produção piloto, teste de operação, início de operação e quais ações corretivas foram tomadas. |
| | 1.5. Identificar alguns atrasos que ocorrem durante a produção piloto, teste de operação e início de operação. |
| | 1.6. Pesquisar quais as informações que estão sendo coletadas para o objetivo de projeto de produto ou equipamento com altos níveis de utilidade, fabricabilidade, facilidade de garantia de qualidade, manutenibilidade, confiabilidade, segurança e competitividade. |
| 2. Estabelecer um sistema de melhorias no Projeto. | 2.1. Projetar a estrutura básica requerida e definir seu escopo de aplicação. |

| PASSO/ETAPA | DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE |
|---|---|
| 2. Estabelecer um sistema de melhorias no Projeto. (continuação) | 2.2. Propor ações e responsabilidade de cada área para garantir que os próximos equipamentos sejam adquiridos de acordo com custo do ciclo de vida (LCC), baseado nos desvios verificados na análise anterior. |
| | 2.3. Estabelecer um sistema para acumular e usar as informações requeridas. |
| | 2.4. Prever um sistema de banco de dados para acumular informações das diversas áreas para evitar que as informações fiquem dispersas, na memória das pessoas e com difícil rastreabilidade. |
| | 2.5. Desenhar ou revisar os padrões e formulários necessários para operar o sistema. |
| | 2.6. Estabelecer um procedimento para cada área, de simples entendimento e aplicar e formulários para facilitar a entrada de dados. |
| | 2.7. Alimentar o banco de dados com as informações que estejam dispersas em outros locais como "Histórico de Equipamentos"; "Diários de Produção"; "Diários de Obras"; "Planilha de Compras", "Folha de Cálculos", etc. |
| | 3. Iniciar o novo sistema e promover treinamento. |
| 3.2. Treinar as pessoas nos padrões técnicos requeridos para implementar o novo sistema. | |
| 3.3. Avaliar o novo modelo e verificar se as pessoas estão entendendo, como estão suas habilidades e disciplina no uso da técnica. | |
| 3.4. Utilizar os resultados desta avaliação para manter ou modificar o sistema e os vários padrões e documentos. | |
| 3.5. Registrar os ganhos com o uso do sistema o que motivará a empresa e as pessoas em usar ou melhorar o sistema com os resultados obtidos com o mesmo modelo. | |
| 4. Aplicar o novo sistema definitivamente. | 4.1. Aplicar a aquisição de outros equipamentos e até sobressalentes que exijam maior confiabilidade ou de alto custo, após constatados ganhos na execução do novo modelo para os primeiros equipamentos. |
| | 4.2. Alimentar o sistema dia-a-dia para obtenção da melhoria contínua passando a fazer parte da rotina de todas as áreas envolvidas, identificando e solucionando problemas em cada estágio, desde a concepção do projeto ou do equipamento até a fase da sua substituição. |

QUADRO 8 - FASES DA IMPLEMENTAÇÃO DO CONTROLE INICIAL

FONTE: RIBEIRO (2014)

Em essência, a implementação destas etapas servem para compreender a situação da empresa com relação à aquisição de novos equipamentos e compartilhamento de aprendizados dentro do sistema, no sentido de

experiências negativas de compras de equipamentos.

Neste ambiente pode ser adquirido “know how” para projeção de novos projetos e equipamentos que sejam produtivos e que principalmente atenda a realidade da empresa com relação a custo e benefício.

2.4.6. PILAR DA QUALIDADE

O pilar da qualidade consiste de atividades que estabelecem condições adequadas dos equipamentos para não comprometer a qualidade intrínseca dos produtos visando o “defeito zero”, ou seja, eliminação de refugos, retrabalhados e produtos fora da especificação inicialmente desejada (RIBEIRO, 2014).

Em ambientes onde a intervenção humana está diminuindo, os objetivos da manutenção da qualidade são de manter e, constantemente, melhorar a qualidade por meio de uma manutenção eficaz do equipamento (SUZUKI, 1994).

O Quadro 9 descreve as etapas para implementação do pilar da qualidade composto por 10 passos que consiste em: “preparar uma matriz de garantia da qualidade”; “preparar uma tabela de análise das condições das entradas (input) da produção”; “planejar a solução do problema”; “avaliar seriedade dos problemas”; “análise para bloquear as causas dos problemas”; “verificar impacto com as medidas propostas”; “implementar melhorias”; “consolidar e confirmar pontos de verificação”; “controlar a relação qualidade e equipamento” e “controle da qualidade das variáveis e garantia da qualidade por meio de um rigoroso controle das condições”.

| PASSO/ETAPA | DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE |
|---|--|
| 1. Preparar uma matriz de Garantia da Qualidade. | 1.1. Analisar a relação entre qualidade e processos/equipamentos verificando as características da qualidade, investigando os modos de falhas e subprocessos onde os defeitos ocorrem e atuar severamente nos modos de falhas. |

| PASSO/ETAPA | DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE |
|--|---|
| 2. Preparar uma tabela de análise das condições das entradas (input) da produção. | 2.1. Levantar para cada variável (matéria prima, máquina, método e mão de obra), os respectivos padrões. |
| | 2.2. Verificar possíveis deficiências comparando estes padrões com os resultados e, na ausência destes, com as informações de profissionais mais experientes envolvidos com o problema. |
| 3. Planejar a solução do problema. | 3.1. Esclarecer condições de entradas de produção para os problemas de cada processo, atuando rapidamente contra os problemas que podem ser resolvidos individualmente. |
| | 3.2. Estratificar modos de falhas, usar técnicas de análise e planejar soluções, usando o bom senso para priorizar a execução baseado no nível de complexidade e ganho (metodologia 5W2H). |
| 4. Avaliar seriedade dos problemas. | 4.1. Utilizar técnicas de FMEA para direcionar esforços rumo às melhorias do equipamento priorizando os problemas de acordo com o impacto provocado no modo de defeitos. |
| 5. Análise para bloquear as causas dos problemas. | 5.1. Analisar fenômenos como modo de falhas ou defeitos de processo em termos de seus princípios físicos e elucidar mecanismos que regem estes fenômenos em relação as quatro "entradas" na produção (equipamento, materiais, pessoas e métodos). |
| 6. Verificar impacto com as medidas propostas. | 6.1. Verificar a eficácia das ações propostas por meio da análise dos modos de falha (FMEA). |
| 7. Implementar melhorias. | 7.1. Implementar as ações de melhorias, após análises das soluções propostas. |
| 8. Consolidar e confirmar pontos de verificação. | 8.1. Definir os itens de inspeção e preparar ou revisar a matriz de verificação da qualidade com base nos resultados do passo anterior. |
| | 8.2. Verificar a possibilidade de disseminar a solução para ações similares, inclusive em outros processos ou unidades. |
| 9. Controlar a relação Qualidade e Equipamento. | 9.1. Definir uma tabela definitiva mostrando a relação entre problemas de qualidade e problemas de equipamentos, incluindo as soluções nos casos de futuras observações de problemas, atendendo aos padrões definidos. |
| 10. Controle da qualidade das variáveis e garantia da qualidade por meio de um rigoroso controle das condições. | 10.1. Determinar as variáveis que afetam a qualidade e elaboração de procedimentos práticos. |

QUADRO 9 - FASES DA IMPLEMENTAÇÃO DO PILAR QUALIDADE

FONTE: RIBEIRO (2014)

Em essência, a implementação destas etapas servem para avaliar se os problemas de qualidade afetados pelos equipamentos são devidamente

levantados e avaliados, e posteriormente garantir a criação de procedimentos. Para corrigir os modos de falhas encontrados e, por fim, manter os padrões de inspeção de qualidade revisados após implementação de melhorias.

Neste ambiente são desenvolvidos projetos para evitar os desvios que impactam a qualidade do produto, e conseqüentemente promovem redução de custos, pois o objetivo central é encontrar a causa raiz do problema por meio da aplicação de ferramentas como FMEA, 5W2H, 5 *Porquês*, entre outras ferramentas, de maneira a evitar retrabalhos e reclamações de clientes por não conformidade.

2.4.7. PILAR TPM EM ÁREAS DE APOIO (OFFICE)

O pilar do TPM na área de apoio se concentra em todas as áreas da empresa que têm uma relação indireta com a área de produção, identificando oportunidades e planejando melhorias para que os serviços de apoio se tornem mais eficazes (RIBEIRO, 2014).

É possível aumentar a eficácia do sistema de produção melhorando cada tipo de atividade organizada que apóia a produção. Sua contribuição para a direção do negócio deve ser mensurável (SUZUKI, 1994).

O Quadro 10 descreve as etapas para implementação do pilar do TPM em áreas de apoio, composto por 8 passos que consiste em: “anúncio de Implantação”; “definição da estrutura de implantação”; “definição de áreas piloto”; “diagnóstico”; “elaboração do plano de implementação”; “capacitação de facilitadores”; “treinamento dos grupos de melhorias” e “implementação das melhorias”.

| PASSO/ETAPA | DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE |
|----------------------------------|---|
| 1. Anúncio de Implantação | 1.1. Apresentar visão ampliada dos benefícios do TPM em suas respectivas áreas (clareza da definição da relevância das atividades, informações, reports, interfaces; eliminação de atividades ou informações desnecessárias; realização de atividades necessárias pendentes; eliminação de retrabalhos, redundâncias, improvisos, faltas ou desperdícios, etc). |

| PASSO/ETAPA | DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE |
|---|---|
| 2. Definição da Estrutura de Implantação | 2.1. Fortalecer nos conceitos de responsabilidade pela condução de uma comissão do TPM. |
| | 2.2. Pesquisar e visitar empresas que já estejam em um estágio mais avançado é uma forma de aprofundar-se no tema. |
| | 2.3. Pesquisar literaturas e/ou buscar prestadores de serviços para assessoria no assunto. |
| 3. Definição de Áreas Piloto | 3.1. Escolher uma área piloto que seja representativa, isto significa que se devem escolher áreas que tenham similaridades com outras, para que a aplicação não fique restrita a uma determinada área. |
| | 3.2. Escolher áreas compactas para serem áreas pilotos para que o tempo de desenvolvimento do TPM seja relativamente curto e a um custo compatível com os resultados obtidos. |
| | 3.3. Identificar a adesão espontânea do responsável, porque o nível de comprometimento do responsável irá repercutir diretamente nos resultados da Manutenção Autônoma e conseqüentemente sensibilizará outras áreas que ainda não iniciaram a implantação. |
| | 3.4. Procurar selecionar áreas que sejam facilmente localizadas e em pontos frequentados por outras áreas. |
| 4. Diagnóstico | 4.1. Realizar com toda a comissão uma visita a todas as áreas selecionadas. |
| | 4.2. Verificar evidências de atividades de apoio que merecem melhorias e as que merecem destaque, observando o nível de limpeza, organização, layout, controle visual e humanização do ambiente, além de informações relacionadas ao processo fornecidas pelo responsável do ambiente visitado. |
| | 4.3. Elaborar um relatório mostrando os pontos fortes e de melhorias de cada área visitada, através de fotografias que podem servir como ferramentas de divulgação, de sensibilização e de comparação futura ("antes e depois"). |
| 5. Elaboração do Plano de Implementação | 5.1. Definir as diretrizes de implementação deste pilar com as etapas (o que fazer) e respectivos objetivos (porque fazer), locais (onde fazer), responsáveis (quem), procedimentos (como fazer) e cronograma (quando fazer). |
| | 5.2. Revisar as diretrizes com os multiplicadores do TPM nas áreas para que seja aperfeiçoado, principalmente o cronograma de atividades. |
| 6. Capacitação de Facilitadores | 6.1. Selecionar pessoas que serão responsáveis em treinar e coordenar grupos de melhorias, que serão chamadas de facilitadores ou multiplicadores do TPM e capacitar nos conceitos e práticas. |
| | 6.2. Incluir na capacitação a leitura de literatura sobre o TPM e visitas a empresas e unidades que estejam em estágio mais avançado e se necessário, reforçar aprendizagem com prestadores de serviços. (consultorias). |
| 7. Treinamento dos Grupos de Melhorias | 7.1. Prever a elaboração do material de treinamento que será utilizado e do material didático que será distribuído aos grupos de melhorias. |
| | 7.2. Apresentar no treinamento, exemplos práticos, de acordo com as características dos ambientes da equipe que está sendo treinada, podendo ser realizadas visitas em empresas ou unidades que estejam adiantadas na aplicação do TPM em áreas de apoio. |

| PASSO/ETAPA | DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE |
|---|---|
| 7. Treinamento dos Grupos de Melhorias (continuação) | 7.3. Desenvolver plano de ação, após o treinamento, contemplando atividades práticas na respectiva área, incluindo metas e estratégias de atingimento, sendo que as metas de todos os planos devem contribuir para a obtenção das metas da empresa. |
| 8. Implementação das Melhorias | 8.1. Realizar a aplicação do projeto de melhoria que pode ser classificado em três dimensões, sendo: melhorias do ambiente físico e comportamental, melhorias do ambiente eletrônico e melhorias da função. |

QUADRO 10 - FASES DA IMPLEMENTAÇÃO DO TPM EM ÁREAS DE APOIO

FONTE: RIBEIRO (2014)

Em essência, a implementação destas etapas servem para avaliar se existe uma sistemática para direcionar as ações de melhorias em cada departamento de apoio, principalmente se os funcionários cuidam dos seus ambientes e do fluxo de arquivos e informações físicas e virtuais. Por fim, se os departamentos medem e melhoram a sua performance com indicador de, por exemplo, consumo de papel, copos descartáveis, assiduidade, rotatividade, entre outros.

Nesse ambiente é importante as pessoas conscientizarem-se de que apesar de não estarem associadas diretamente à produção, suas atividades são essenciais para que a produção consiga desafiar-se e atingir volume de produção com qualidade e custo dentro do esperado com todos os insumos disponíveis, documentos e treinamentos atualizados, entre outros.

2.4.8. PILAR DE SEGURANÇA, SAÚDE E MEIO AMBIENTE

O pilar de saúde, segurança e meio ambiente visa garantir a confiabilidade dos equipamentos, prevenir a falha humana, eliminar acidentes e atender às normas regulatórias relacionadas, principalmente, ao meio ambiente (RIBEIRO, 2014).

Foi desenvolvido para estabelecer educação de segurança como medida de prevenção da recorrência de acidentes e desastres anteriores, análise dos motivos dos quase acidentes, identificação das causas raízes dos desvios comportamentais e ambientais e prevenção da recorrência (SUZUKI, 1994).

O Quadro 11 descreve as etapas para implementação do pilar de Segurança, Saúde e Meio Ambiente, composto por 5 passos que consiste em: “eliminação de condições inseguras e impactos ambientais na limpeza inicial e etiquetagem das anomalias e o resgate das condições básicas dos equipamentos”; “detecção e eliminação de fontes de sujeira, contaminação e locais de difícil acesso”; “procedimentos seguros e eficazes para verificações e limpezas”; “capacitação para inspeção, diagnóstico e pequenos reparos” e “padrões definitivos e praticados adequadamente”.

| PASSO/ETAPA | DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE |
|---|--|
| 1. Eliminação de condições inseguras e impactos ambientais na limpeza inicial, etiquetagem das anomalias e o resgate das condições básicas dos equipamentos. | 1.1. Identificar e solucionar, junto a etapa 1 do Pilar Manutenção Autônoma, os problemas relacionados à conservação do equipamento que podem gerar acidentes. |
| | 1.2. Identificar e solucionar, junto a Etapa 1 do Pilar de Manutenção Autônoma, problemas relacionados à conservação do equipamento que podem gerar impactos ambientais, tais como: vazamentos, derramamentos, produção de refugos, perda de rendimento do equipamento etc. |
| 2. Detecção e eliminação de fontes de sujeira, contaminação e locais de difícil acesso. | 2.1. Eliminar os riscos de acidentes através da eliminação das fontes de sujeira, junto a etapa 2 do Pilar Manutenção Autônoma, independente de problemas de conservação. |
| | 2.2. Eliminar as fontes de contaminação, junto a Etapa 2 do Pilar de Manutenção Autônoma, que podem ser provenientes de deficiência de projeto, de processo, de manuseio, de transporte, etc. |
| 3. Procedimentos seguros e eficazes para verificações e limpezas. | 3.1. Elaborar os primeiros padrões de inspeção, lubrificação e limpeza, junto a Etapa 3 do Pilar Manutenção Autônoma, incorporando aspectos de segurança para eliminar riscos de acidentes e tornar as pessoas conscientes dos cuidados. |
| | 3.2. Elaborar os primeiros padrões de inspeção, lubrificação e limpeza, junto a Etapa 3 do Pilar Manutenção Autônoma, incorporando aspectos ambientais, inclusive evitando a geração de resíduos (limpeza, troca de óleo, etc.) e gradativamente implementando controles visuais, conceitos de 5S e Poka-yoke. |
| PASSO/ETAPA | DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE |

| | |
|--|--|
| 4. Capacitação para inspeção, diagnóstico e pequenos reparos. | 4.1. Apresentar instruções da maneira correta da operação sob o aspecto de saúde do operador com o manuseio de ferramentas, transporte de peças, sequência adequada de montagem, regulagem e desmontagem, limpeza, lubrificação etc. |
| | 4.2. Instruir os operadores com conhecimento técnico dos equipamentos e com a possibilidade de fazer inspeções e pequenos reparos para reduzir a incidência de impactos ambientais, bem como a eliminação ou contenção de vazamentos e redução drástica de pequenas paradas (kit de emergência ambiental). |
| 5. Padrões definitivos e praticados adequadamente. | 5.1. Tornar as atividades previsíveis e seguras, junto a Etapa 6 do Pilar Manutenção Autônoma com treinamentos para operadores utilizando modelos e normas de sistema de gestão de segurança e saúde de acordo com normas regulamentadoras nacionais, e internacionais (OHSAS 18001). |
| | 5.2. Tornar as atividades previsíveis e seguras, junto a Etapa 6 do Pilar Manutenção Autônoma com treinamentos para operadores utilizando modelos e normas de sistema de gestão ambiental de acordo com normas regulamentadoras nacionais, e internacionais (ISSO 14001). |

QUADRO 11 - FASES DA IMPLEMENTAÇÃO DE SEGURANÇA, SAÚDE E MEIO AMBIENTE

FONTE: RIBEIRO (2014)

Em essência, a implementação destas etapas servem para avaliar se as atividades de manutenção autônoma e melhorias no projeto contemplam ações voltadas para a saúde e segurança das pessoas, inclusive para o meio ambiente atentando se se as atividades de rotina tornam o ambiente livre de acidentes e de problemas relacionados à saúde dos funcionários. Por fim, também é responsável por avaliar as atividades para aumentar o nível de consciência dos operadores para o meio ambiente e comportamentos inseguros.

Contudo, torna possível criar harmonia no ambiente de trabalho por conta da redução de acidentes e higienização dos postos de trabalho, além de constante conscientização para promoção de um ambiente seguro.

3. ABORDAGEM METODOLÓGICA

Este capítulo apresenta a estrutura metodológica da pesquisa que inclui a caracterização quanto à natureza, abordagem, os objetivos, ao método e às técnicas de coleta de dados. Na sequência são apresentados os detalhes da revisão da literatura. Por fim, são descritas as etapas referentes às evidências encontradas na pesquisa.

3.1. CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Para atingir os objetivos da pesquisa, faz-se necessário a classificação (Figura 2) para atender ao desejo de conhecer a realidade do campo de estudo (NASCIMENTO, 2002; PRODANOV; FREITAS, 2013).

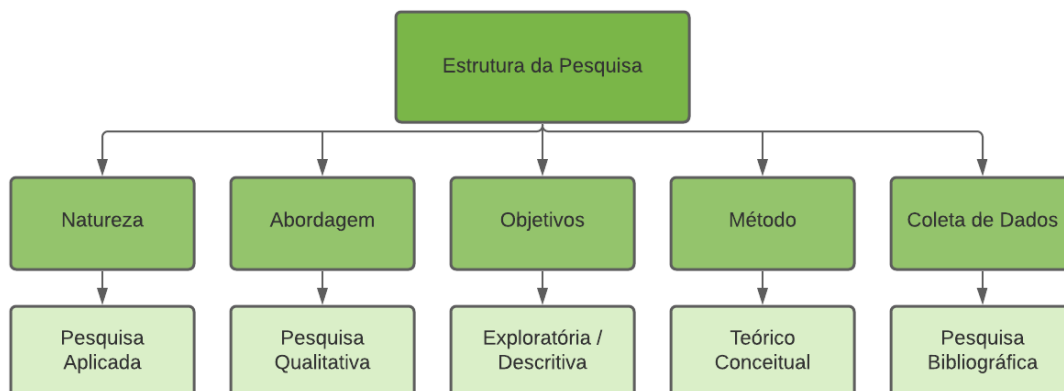


FIGURA 2 - ESTRUTURAÇÃO DA PESQUISA

FONTE: ELABORADO PELO AUTOR

Quanto à natureza, essa pesquisa se apresenta como aplicada, porque possui interesse prático, isto é, que os resultados sejam aplicados ou utilizados imediatamente na solução de problemas que ocorrem na realidade orientada para a necessidade do mercado (TURRIONI; MELLO, 2012).

Quanto à abordagem recebe a classificação de qualitativa porque interpreta fenômenos com a atribuição de significado para inclusão no processo de

pesquisa (TURRIONI; MELLO, 2012).

Seu objetivo recebe a classificação de exploratória devido à pesquisa bibliográfica com objetivo de aumentar o esclarecimento sobre o campo de pesquisa, através da investigação. Também pode ser considerada descritiva porque relaciona fenômenos e envolve observação (TURRIONI; MELLO, 2012).

Segundo Nakano (2012) quanto ao método pode ser classificada como teórico conceitual por promover discussões a partir da revisão sistemática da literatura, revisões bibliográficas.

Quanto às técnicas de coleta de dados recebe a classificação de pesquisa bibliográfica porque envolve investigação a partir de consulta de publicações científicas envolvendo o campo de conhecimento da pesquisa com a finalidade de responder os objetivos do estudo (MARCONI; LAKATOS, 2010).

Para o desenvolvimento desta pesquisa foram adotadas etapas descritas na Figura 3, com um detalhamento do caminho a ser percorrido.

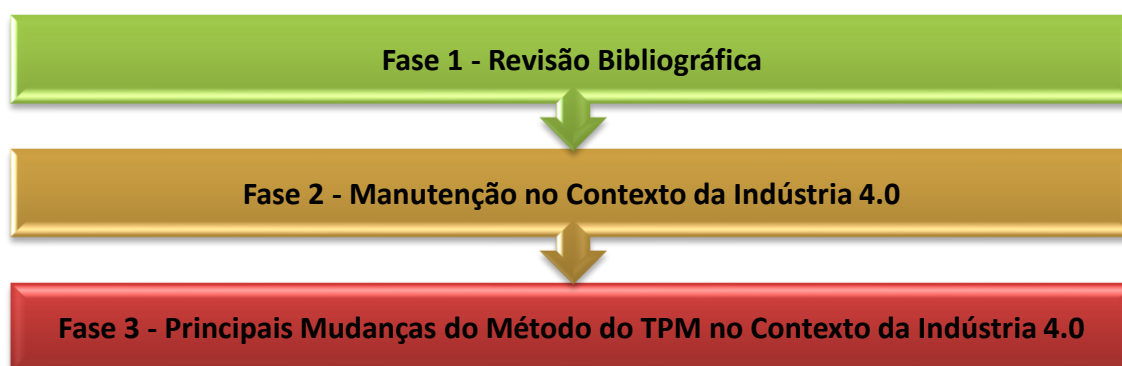


FIGURA 3 - ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

FONTE: ELABORADO PELO AUTOR

A primeira fase consiste na apresentação do detalhamento da revisão bibliográfica e protocolo da pesquisa para seleção dos artigos relevantes. Em seguida, na segunda fase, são apresentados os artigos que abordam a manutenção no contexto da indústria 4.0, destacando os principais

pesquisadores e suas abordagens. Por fim, a terceira fase apresenta os principais aspectos que caracteriza o método do TPM no contexto da Indústria 4.0 com base no referencial teórico e revisão sistemática.

FASE 1 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para o desenvolvimento desta fase da pesquisa, o método adotado foi uma revisão sistemática da literatura (RSL), com busca de artigos no portal de periódicos da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), especificamente nas bases de dados *Scopus*, *Web Of Science* e *Science Direct* e compreendendo um período de 10 anos de publicações.

PROTOCOLO DA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Essa revisão foi realizada com o apoio do *software StArt (State Of The Art Through Systematic Review)* desenvolvido pelo LAPES / UFSCAR, para facilitar a organização e o entendimento do desenvolvimento da pesquisa ao longo dos anos (Tabela 1), incluindo todos os dados relevantes para realizar as análises e seguir o protocolo de pesquisa.

TABELA 1 – PROTOCOLO DE PESQUISA

| Requisitos | Definição |
|----------------------------------|--|
| Palavras-chave | <i>Maintenance 4.0, Total Productive Maintenance, Maintenance Management, Industry 4.0.</i> <i>"Industry 4.0" AND "Maintenance Management"</i> |
| Termos de Busca | <i>"Industry 4.0" AND "Maintenance 4.0"</i> <i>"Industry 4.0" AND "Total Productive Maintenance"</i> |
| Bases Utilizadas | <i>Scopus, Science Direct, Web of Science</i> Artigos Duplicados; Acesso Bloqueado; |
| Critérios de Exclusão (E) | Livros, Resumos, Teses ou Sites; Artigos publicados fora do período (2010-2019); Artigos que nem sequer contêm no título, resumo e palavras-chave as palavras contidas nas “strings” de busca. Acesso aberto; |
| Critérios de Inclusão (I) | Tipo do documento, somente artigo; Artigos em idiomas: Inglês, Português ou Espanhol; Abordagem de manutenção no cenário Indústria 4.0. |

FONTE: ELABORADO PELO AUTOR

O protocolo de pesquisa foi necessário para identificar os estudos científicos relevantes a serem incluídos na revisão sistemática da literatura (RSL), seguindo as etapas propostas por Levy e Ellis (2006) na Figura 4.



FIGURA 4 - ETAPAS DA REVISÃO DA LITERATURA

FONTE: ADAPTADO DE LEVY E ELLIS (2006)

Este estudo compreendeu um total de 65 artigos (Figura 5), sendo 7 artigos encontrados na base de dados *Science Direct*, o que corresponde a 11% dos artigos científicos analisados, 18 artigos na base de dados *Web Of Science* (28%) e a base de dados que com maior número de publicações, 40 artigos, o que corresponde a 61%, mais da metade dos estudos analisados, foi a base *Scopus*.

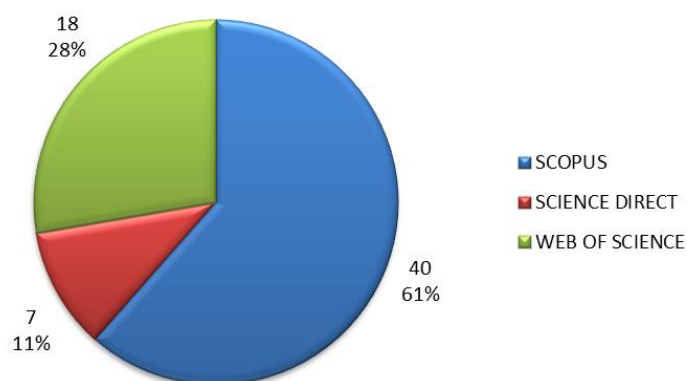


FIGURA 5 - NÚMERO DE ARTIGOS ENCONTRADOS POR BASE DE DADOS

FONTE: ELABORADO PELO AUTOR

De acordo com o protocolo de pesquisa (Tabela 1) foram integradas três combinações para busca dos artigos por bases de dados e observou-se que, ao combinar “Industry 4.0” e “Maintenance Management” foram encontrados 46 artigos, aproximadamente 71% dos estudos científicos. Em contrapartida, foram encontrados 5 artigos nas três bases de dados, combinando “Industry 4.0” e “Total Productive Maintenance”. Somente na base de dados da Scopus foram encontrados 40 artigos (Tabela 2).

TABELA 2 - IDENTIFICAÇÃO DE ARTIGOS

| Termos de Busca / Base de Dados | Scopus | Science Direct | Web of Science |
|---|---------------|-----------------------|-----------------------|
| Industry 4.0 e Maintenance 4.0 | 6 | 2 | 6 |
| Industry 4.0 e Maintenance Management | 31 | 5 | 10 |
| Industry 4.0 e Total Productive Maintenance | 3 | 0 | 2 |

FONTE: ELABORADO PELO AUTOR

Foram integradas as três combinações de palavras-chave "Industry 4.0" e "Maintenance 4.0", "Industry 4.0" e "Maintenance Management" e "Industry 4.0" e "Total Productive Maintenance", com 65 artigos selecionados inicialmente para aplicar os critérios de inclusão e exclusão definidos no protocolo de pesquisa, seguindo o fluxograma da Figura 6.

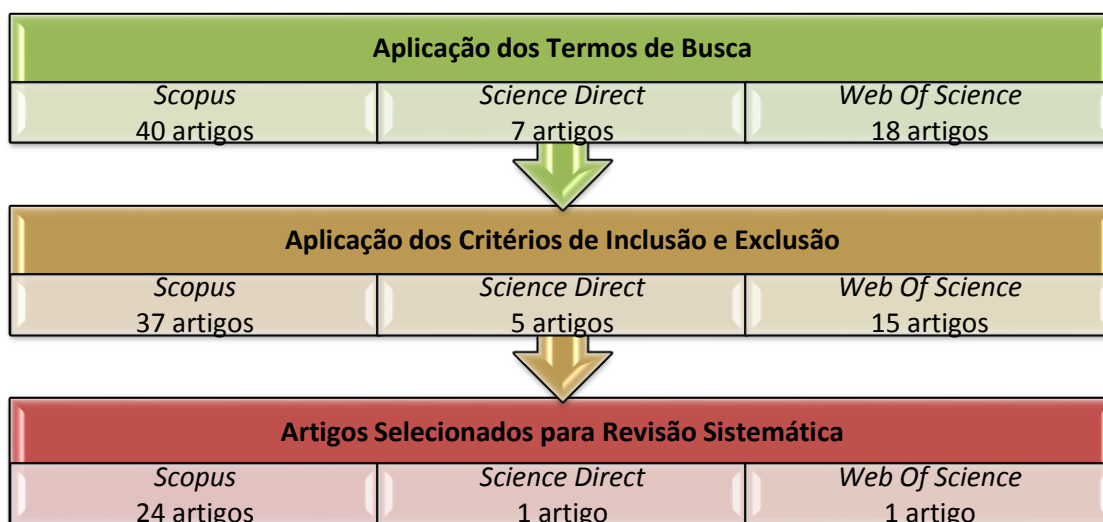


FIGURA 6 - FLUXOGRAMA DA PESQUISA

FONTE: ELABORADO PELO AUTOR

Inicialmente, foram selecionados apenas os artigos publicados entre os anos de 2010 a 2019, aplicados os critérios de inclusão e exclusão, com base na leitura do título, resumo e palavras-chave. Posteriormente, a introdução e a conclusão foram lidas e, finalmente, para realizar a revisão sistemática, foram realizadas as leituras completas de 26 artigos. Após a aplicação dos filtros e critérios, foram excluídos 18 artigos (33% dos artigos) e 13 artigos duplicados, correspondentes a 26% da amostra total dos artigos analisados. A revisão foi realizada com 26 artigos (Anexo 1).

Com base no estudo foi possível perceber a evolução das publicações sobre manutenção no cenário da Indústria 4.0 (Figura 7), o que justifica a relevância da pesquisa, porém observa-se a partir da leitura a existência de oportunidades a serem exploradas pelos pesquisadores e profissionais das empresas, no que diz respeito aos desafios da Indústria 4.0.

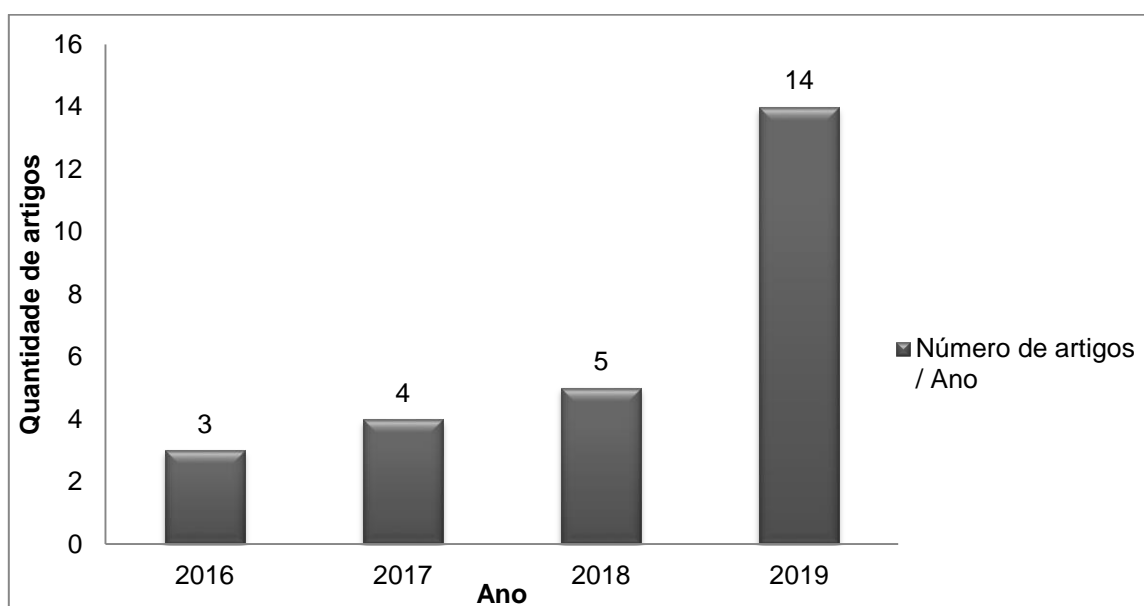


FIGURA 7 - NÚMERO DE ARTIGOS ANALISADOS POR ANO

FONTE: ELABORADO PELO AUTOR

O crescente interesse da academia em desenvolver pesquisa nesta área também foi observado pela análise ao longo dos anos (Figura 8), o que mostra um aumento gradativo com autores que publicam em vários anos e também por autores que divulgam estudos anteriores, representados linhas cruzadas entre anos.

Observou-se que os artigos apresentaram tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 e abordagens para manutenção e tipos de manutenção mais utilizados neste contexto, destacando-se a manutenção preditiva.

No entanto, dentre os artigos analisados, não foram encontradas pesquisas que exploravam o método do TPM quando inserido no contexto da Indústria 4.0. Notou-se que, ao mencionar mudanças nos ambientes em que as tecnologias habilitadoras foram aplicadas, consequentemente o método do TPM foram impactados, principalmente no que diz respeito à implementação dos seus respectivos pilares, passos e por fim, atividades.

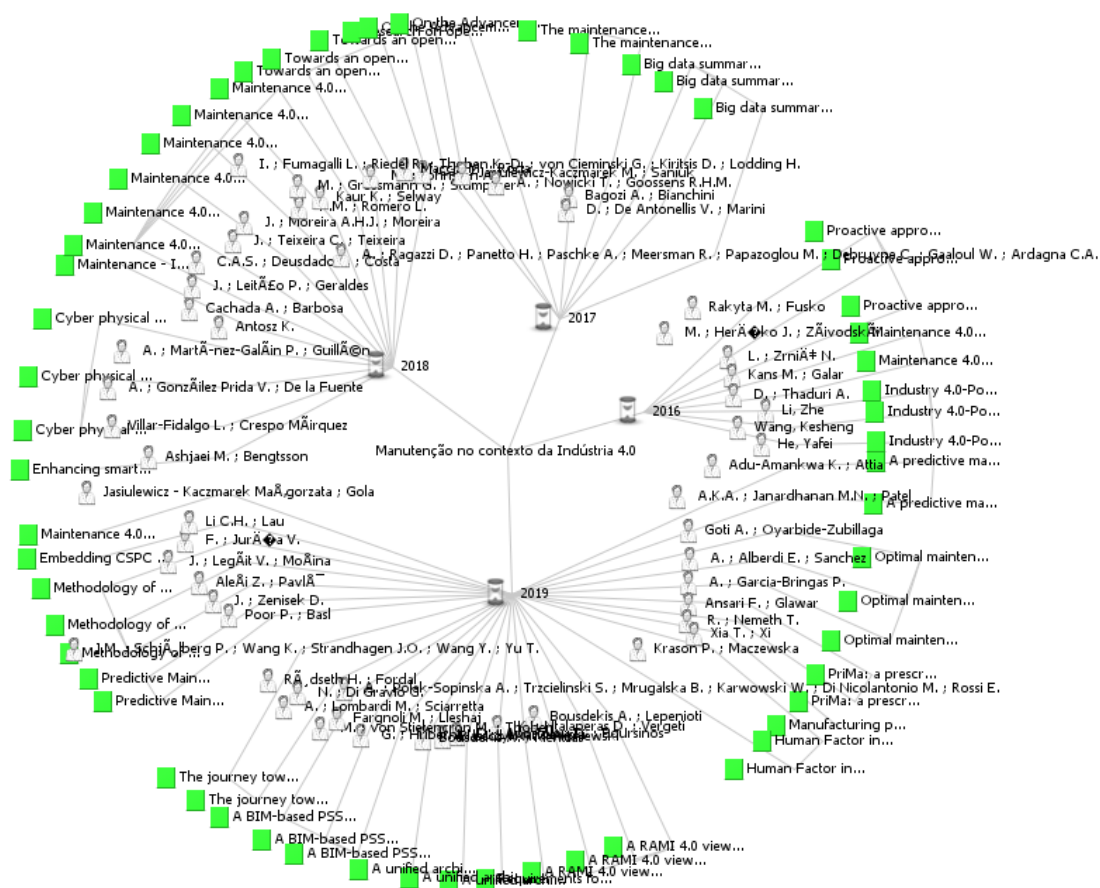


FIGURA 8 - GRÁFICO RADIAL DE PUBLICAÇÕES POR ANO

FONTE: ELABORADO PELO AUTOR

A manutenção pode ser considerada um fator chave para o aumento da vantagem competitiva porque, eliminando atividades que interrompem o processo produtivo, permite que as empresas operem dentro da sua capacidade máxima de produção, fato que justifica o aumento do número de publicações ao longo dos anos, principalmente em 2019.

Devido ao baixo volume de publicações, recomenda-se que mais pesquisas nessa área explorem a aplicação de tecnologias habilitadoras, dando ênfase as mudanças que ocorrerão na gestão da manutenção dentro desse contexto com grande volume de automação, robôs e tecnologias interligadas por sensores, máquinas inteligentes e pessoas analisando dados e tomando decisões.

FASE 2 – MANUTENÇÃO NO CONTEXTO DA INDÚSTRIA 4.0

A manutenção no contexto da Indústria 4.0 concentra-se na capacidade das máquinas "inteligentes" de fornecer autonomamente dados estatísticos de seus processos físicos, monitorados por CPS e equipados para tomar decisões com base no *feedback* medido por sensores, microcontroladores e softwares (ADU-AMANKWA, 2019).

Nesse ambiente, denominado fábricas inteligentes, as máquinas utilizam tecnologias avançadas, como redes, dispositivos conectados, análise de dados e inteligência artificial para obter manutenção preditiva mais eficiente, com o objetivo de reduzir falhas e melhorar a segurança, confiabilidade, disponibilidade e eficiência (ADU-AMANKWA, 2019).

No entanto, a manutenção no contexto da Indústria 4.0 forma um subconjunto de sistemas de manufatura inteligentes, autônomos em sua operação, capazes de prever falhas e desencadear atividades de manutenção. Esses sistemas são compostos de equipamentos inteligentes na forma de sistemas embarcados ou ciber-físicos, formando o gêmeo digital dos ativos físicos. Para atingir quase zero defeitos e reduzir o tempo de inatividade, diagnósticos e prognósticos precisam ser implementados, assim como a tomada de decisão automatizada com base em monitoramento de condição (KAUR *et al.*, 2018).

Em essência, as máquinas que, inicialmente, se comunicarem com o ser humano, começarão a se comunicar com outras máquinas e tomarão decisões o tempo todo, com um número mínimo de pessoas envolvidas monitorando o sistema em tempo real. Verificou-se que aproximadamente 88% dos artigos enfatizaram a manutenção preditiva como uma tendência nesse cenário, seguida pela manutenção preventiva com 7% e manutenção proativa com 3% (Quadro 12). Os artigos analisados não mostraram tendência em relação ao uso de manutenção corretiva no cenário da Indústria 4.0. Também foi observada a metodologia utilizada nos artigos, destacando-se cerca de 65% dos estudos de caso e simulação, seguidos por 27% dos teóricos conceituais e, finalmente, 8% dos estudos foram realizados através de pesquisas.

| Tipo de Manutenção | Abordagem / Tecnologia | Pesquisadores |
|--------------------|--|---|
| Preditiva | CPS, IoT, IoS, Data Mining, Big Data, CNC, CMMS, TPM, E-Maintenance, RCM, OEE, WCM, PSS, CBM | Kans <i>et al.</i> (2016) ; Li <i>et al.</i> (2016) ; Ashjaei & Bengtsson (2017) ; Bagozi <i>et al.</i> (2017) ; Cao (2017) ; Jasiulewicz-Kaczmarek <i>et al.</i> (2017) ; Macchi <i>et al.</i> (2017) ; Antosz (2018) ; Blaszczyk <i>et al.</i> (2018) ; Cachada <i>et al.</i> (2018) ; Kaur <i>et al.</i> (2018) ; Krason <i>et al.</i> (2019) ; Li & Lau <i>et al.</i> (2018) ; Rodseth <i>et al.</i> (2018) ; Villar-Fidalgo <i>et al.</i> (2018) ; Adu-Amankwa <i>et al.</i> (2019) ; Ansari <i>et al.</i> (2019) ; Bousdekis <i>et al.</i> (2019) ; Fagnoli <i>et al.</i> (2019) ; Goti <i>et al.</i> (2019) ; Jasiulewicz-Kaczmarek <i>et al.</i> (2019) ; Poór <i>et al.</i> (2019) ; Xia & Xi (2019) |
| Preventiva | TPM, OEE | Aleš <i>et al.</i> (2019) |
| Proativa | CPS, IoT, Big Data, E-Maintenance | Bousdekis <i>et al.</i> (2019); Rakyta <i>et al.</i> (2016) |

QUADRO 12 - ABORDAGEM DA MANUTENÇÃO POR AUTOR

FONTE: ELABORADO PELO AUTOR

Em relação às tecnologias habilitadoras abordadas nos artigos de manutenção preditiva, destaca-se o emprego de *Cyber-Physical Systems* (CPS), *Internet of Things* (IoT), *Internet of Service* (IoS), *Data Mining* (DM), *Big Data*. Aproximadamente 54% enfatizaram o uso de CPS e IoT para realizar a manutenção.

Na manutenção preventiva, foi identificado o foco no TPM e OEE (Overall Equipment Effectiveness), enquanto na manutenção proativa foram identificados artigos com foco em CPS, IoT, Big Data e *E-Maintenance*.

São apresentadas no Quadro 13 as tecnologias da Indústria 4.0 utilizadas na

manutenção. Observou-se que a maioria dos pesquisadores relatam estudos de caso e simulações envolvendo utilização do *Cyber Physical Systems* (CPS) e *Internet of Things* (IoT), seguidos por *Big Data* (BD), *Internet of Services* (IoS) e *Data Mining* (DM), respectivamente. Três artigos destacam os desafios na preparação de pessoas para trabalhar no cenário de manutenção no contexto da Indústria 4.0.

| Technologias Habilitadoras | Pesquisadores |
|-------------------------------------|--|
| <i>Cyber Physical Systems (CPS)</i> | Kans <i>et al.</i> (2016); Li <i>et al.</i> (2016) ; Bagozi <i>et al.</i> (2017) ; Jasiulewicz-Kaczmarek <i>et al.</i> (2017) ; Macchi <i>et al.</i> (2017) ; Krason <i>et al.</i> (2019) ; Kaur <i>et al.</i> (2018) ; Li & Lau (2018) ; Rodseth <i>et al.</i> (2018) ; Villar-Fidalgo <i>et al.</i> (2018) ; Ansari <i>et al.</i> (2019) ; Bousdekis <i>et al.</i> (2019a) ; Poór <i>et al.</i> (2019) ; Xia & Xi (2019) |
| <i>Internet of Things (IoT)</i> | Kans <i>et al.</i> (2016) ; Li <i>et al.</i> (2016) ; Rakyta <i>et al.</i> (2016) ; Ashjaei & Bengtsson (2017) ; Jasiulewicz-Kaczmarek <i>et al.</i> (2017) ; Cachada <i>et al.</i> (2018) ; Kaur <i>et al.</i> (2018) ; Krason <i>et al.</i> (2019) ; Rodseth <i>et al.</i> (2018) ; Bousdekis <i>et al.</i> (2019a) ; Bousdekis <i>et al.</i> (2019b) ; Goti <i>et al.</i> (2019) ; Jasiulewicz-Kaczmarek <i>et al.</i> (2019) ; Poór <i>et al.</i> (2019) |
| <i>Internet of Services (IoS)</i> | Li <i>et al.</i> (2016) ; Krason <i>et al.</i> (2019) |
| <i>Data Mining (DM)</i> | Li <i>et al.</i> (2016) ; Krason <i>et al.</i> (2019) |
| <i>Big Data (BD)</i> | Li <i>et al.</i> (2016) ; Ashjaei & Bengtsson (2017) ; Bagozi <i>et al.</i> (2017) ; Cao (2017) ; Cachada <i>et al.</i> (2018) ; Kaur <i>et al.</i> (2018) ; Krason <i>et al.</i> (2019) ; Ansari <i>et al.</i> (2019) ; Bousdekis <i>et al.</i> (2019a) ; Bousdekis <i>et al.</i> (2019b) |

QUADRO 13 - ABORDAGEM DAS TECNOLOGIAS POR AUTOR

FONTE: ELABORADO PELO AUTOR

Contudo, a manutenção no contexto da Indústria 4.0 incorpora a aplicação das tecnologias habilitadoras em seus processos com objetivo de obter ganhos relacionados ao tempo de produção, assim como, monitoramento remoto para ação imediata. Também enfatiza a utilização da manutenção preditiva, pois com a predição é possível monitorar a condição dos equipamentos. Nesse

sentido, foram destacadas pesquisas em que abordaram a manutenção preditiva e tecnologias da Indústria 4.0 na manutenção.

No estudo realizado por Ansari, Glawar e Nemeth (2019) foram examinadas as abordagens e os desafios existentes para repensar a manutenção no contexto da Indústria 4.0 e, assim, contribuíram para a literatura de gerenciamento e planejamento da produção, introduzindo um novo modelo de manutenção preditiva, denominado PriMa, composto por quatro camadas (a saber, gerenciamento de dados, caixa de ferramentas de análise preditiva de dados, painel de recomendação e suporte a decisões, bem como uma camada abrangente para aprendizado e raciocínio semânticos).

Cachada *et al.* (2018) apresentaram um sistema de manutenção inteligente e preditivo alinhado aos princípios do setor 4.0 e seguindo a estrutura dos blocos funcionais, considerando a análise avançada e on-line dos dados coletados para a detecção anterior da ocorrência de possíveis falhas na máquina e apoiando os técnicos durante as intervenções de manutenção, fornecendo um suporte inteligente à decisão.

Bousdekis *et al.* (2019) também projetaram uma arquitetura de software de manutenção preditiva, RAMI 4.0, e desenvolveram a plataforma UPTIME para aplicação em um cenário real de fabricação com o objetivo de melhorar a capacidade de manutenção e aumentar a vida útil dos sistemas de produção de produtos de alta qualidade com perdas otimizadas.

De acordo com Rakyta *et al.* (2016) a manutenção passará por um processo de transformação da manutenção clássica, focada em manutenção corretiva para a manutenção digital e por cada etapa do design do processo; também apresentaram a visão das próximas mudanças que precisam ser feitas na área de processos de manutenção das empresas.

Foram apontados que dentre as tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 destacam-se a aplicação de *Cyber Physical Systems* (CPS), *Internet of Things* (IoT), *Big Data* (BD), *Internet of Services* (IoS) e *Data Mining* (DM), por

possibilitarem a identificação de anomalias a partir de grande quantidade de dados coletados, organizados e analisados de forma incremental em tempo real (BAGOZI *et al.*, 2017; CAO, 2017; ASHJAEI e BENGTTSSON, 2018; BOUSDEKIS *et al.*, 2019)

No estudo realizado por Villar *et al.* (2018) apresentaram uma estrutura para incorporar o CPS em um portfólio de ativos com uma visão holística e sob um modelo de gerenciamento de manutenção consolidado com o objetivo de evitar falhas precoces que desencorajam as partes interessadas a dar suporte a essa tecnologia após a primeira falha.

Ashjaei e Bengtsson (2018) identificaram requisitos em aplicativos de gerenciamento de manutenção com aplicação de IoT, incluindo problemas de confiabilidade, entre outros. Também propuseram uma plataforma para atender demandas de máquinas, operadores e uma sala central de monitoramento oferecendo flexibilidade para decidir onde alocar diferentes tarefas de manutenção, dependendo de suas demandas.

No entanto também existem pesquisadores que investigaram os desafios e competências para os funcionários de manutenção na Indústria 4.0 e as perspectivas de treinamentos para aumentar a qualificação profissional (JASIULEWICZ-KACZMAREK *et al.*, 2017; ANTOSZ, 2018; KRASON *et al.* 2019).

No estudo realizado por Antosz (2018) apresenta um modelo para avaliação de competências dos trabalhadores de manutenção que permite a identificação do nível atual de competências dos funcionários e a lacuna de competências, além de avaliar os efeitos de uma falha no atendimento ao nível de competência exigido.

Jasiulewicz-kaczmarek, Saniuk e Nowicki (2017) também ressaltaram que a quarta revolução industrial provoca um processo de mudança para as pessoas que trabalham em áreas diretas e indiretas da manufatura e manutenção, onde terão que ser capazes de se adaptar às novas tecnologias e às mudanças

organizacionais que elas implicam.

Em essência os pesquisadores investigaram o desenvolvimento da manutenção preditiva, seus desafios técnicos e o potencial no ambiente da Indústria 4.0 (Li *et al.* 2016) e propõem oportunidades para o "novo" tipo de manutenção conectado ao setor 4.0, ou seja, manutenção preditiva com objetivo de apresentar definições e abordagens para manutenção e tipos de manutenção mais utilizados neste contexto (POÓR; BASL; ZENISEK, 2019).

Blaszczyk e Wisniewski (2018), Macchi *et al.* (2017), Bagozi *et al.* (2017) e Li *et al.* (2016), destacaram que o gerenciamento de manutenção inclui várias atividades, como planejamento de manutenção, agendamento de tarefas e gerenciamento de peças, para identificação e correção de anomalias.

Bousdekis *et al.* (2019), Jasiulewicz-Kaczmarek *et al.* (2017) e Kans *et al.* (2016), exploraram a tendência de manutenção no contexto da indústria 4.0 por meio da manutenção eletrônica, como uma tecnologia de manutenção preditiva baseada no monitoramento em tempo real via internet.

No entanto, apesar de Li *et al.* (2019) revisarem conceitos fundamentais dos aplicativos CPS no TPM nas indústrias de manufatura, notou-se que existem oportunidades para explorar o método do TPM no contexto da indústria 4.0.

Nesse sentido, Aleš *et al.* (2019) propuseram cálculos de OEE para toda a linha de produção a partir de conhecimentos de máquinas individuais, incluindo seu desempenho nominal e real, que permite uma análise mais aprofundada da eficiência da máquina e cálculo da efetividade geral de diferentes linhas de produção, entretanto não aprofunda nas etapas de implementação do método do TPM no contexto da Indústria 4.0.

Contudo, conforme destacado na literatura, a manutenção no contexto da Indústria 4.0 possui características:

- Predominância do emprego da manutenção preditiva com base na coleta de dados e informações da máquina para monitoramento contínuo.

- Armazenamento de informações e conhecimentos da máquina em um ambiente virtual que permite o acesso e a análise de dados remotamente.
- Surgimento de grupos multidisciplinares e iniciativas que envolvam não apenas o setor de manutenção, mas também produção, finanças, fornecedores, para ações de mitigação de problemas que causam problemas na máquina ou falhas no processo.
- E, finalmente, como resultado do monitoramento em tempo real e da interconexão de sistemas com o envolvimento de pessoas treinadas, o objetivo é que as ações ocorram imediatamente.

Diante das mudanças induzidas pela Indústria 4.0, a cooperação entre homem e robô alcançará um nível mais alto, graças ao desenvolvimento de interfaces inteligentes e papel da equipe de manutenção será direcionado para o gerenciamento das atividades de manutenção realizadas por robôs inteligentes, juntamente com o desenvolvimento dinâmico das modernas tecnologias (KRASON; MACZEWSKA; POLAK-SOPINSKA, 2019).

Nesse sentido, a pesquisa tornou-se relevante para compreender a influência da indústria 4.0 nas etapas de implementação do método do TPM, que será explorado na fase 3, seguinte.

FASE 3 - PRINCIPAIS MUDANÇAS DO MÉTODO DO TPM NO CONTEXTO 4.0

A manutenção pode ser considerada uma atividade histórica que ocorre no ambiente da empresa e por estar associada a eventos críticos são atribuídas responsabilidades para obtenção de sucesso em seu decurso principalmente para garantir a eficácia. Sendo assim, por tratar-se de forma técnica e metodológica, atribuem ao método TPM a responsabilidade para áreas ligadas a produção e a engenharia que envolve diretamente o denominado “departamento de manutenção” ao qual destinam o compromisso para com o sucesso na implementação do método (PATALAS-MALISZEWSKA, 2019).

Em propósito, o método do TPM não consiste somente na redução de custos

de manutenção, mas em proporcionar aumento da produtividade e redução de perdas. No entanto, existem pessoas que distorcem a visão do método, demonstrando desconhecimento, e associam implementação do método com a redução do número de funcionários, quando na verdade, redirecionam-se a atividades que podem proporcionar maior satisfação, conforme competência intelectual (ANTOSZ, 2018; KRASON *et al.*, 2019).

Nesse sentido, por muito tempo acreditaram que o papel da manutenção fosse somente reparo e transferência de atividades do operador para o manutentor e assim, manter condições básicas de funcionamento do equipamento, evitando paradas indesejadas e perdas maiores. Mas, estudo aponta que, no contexto da Indústria 4.0, o TPM irá concentrar-se em diagnósticos e prognósticos, monitoramento e planejamento integrado para automatizar o “*feedback*” da máquina e reduzir práticas manuais com a inserção de tecnologias de manutenção remota para aumento da vida útil do equipamento para oferecer suporte imediato, seja por funcionários capacitados ou fornecedor (Roy *et al.*, 2016). Com isso, surge a idealização de sobrecarga aos operadores.

No entanto, a realidade que marca a transição do TPM para a quarta geração da indústria (Figura 9) consiste em possibilitar que os processos produtivos sejam mais estáveis em função da maior confiabilidade dos equipamentos. Contudo, os processos passam por mapeamento de forma a inserir tecnologias que monitorem pontos críticos de forma remota/virtual (ASHJAEI; BENGTTSSON, 2018), e por seguinte, reduz o tempo de inatividade ocasionado pela quebra ou falha. Nesse sentido, enquanto o operador concentra-se nos eventos que acontecem, os manutentores, por deter maior conhecimento técnico e preparação, focam na possibilidade de automatizar atividades para conter novos eventos indesejados ou recorrência de problemas. Entretanto, somente é possível a partir do histórico de máquina e previsão proporcionado pela manutenção preditiva em destaque nesse cenário.

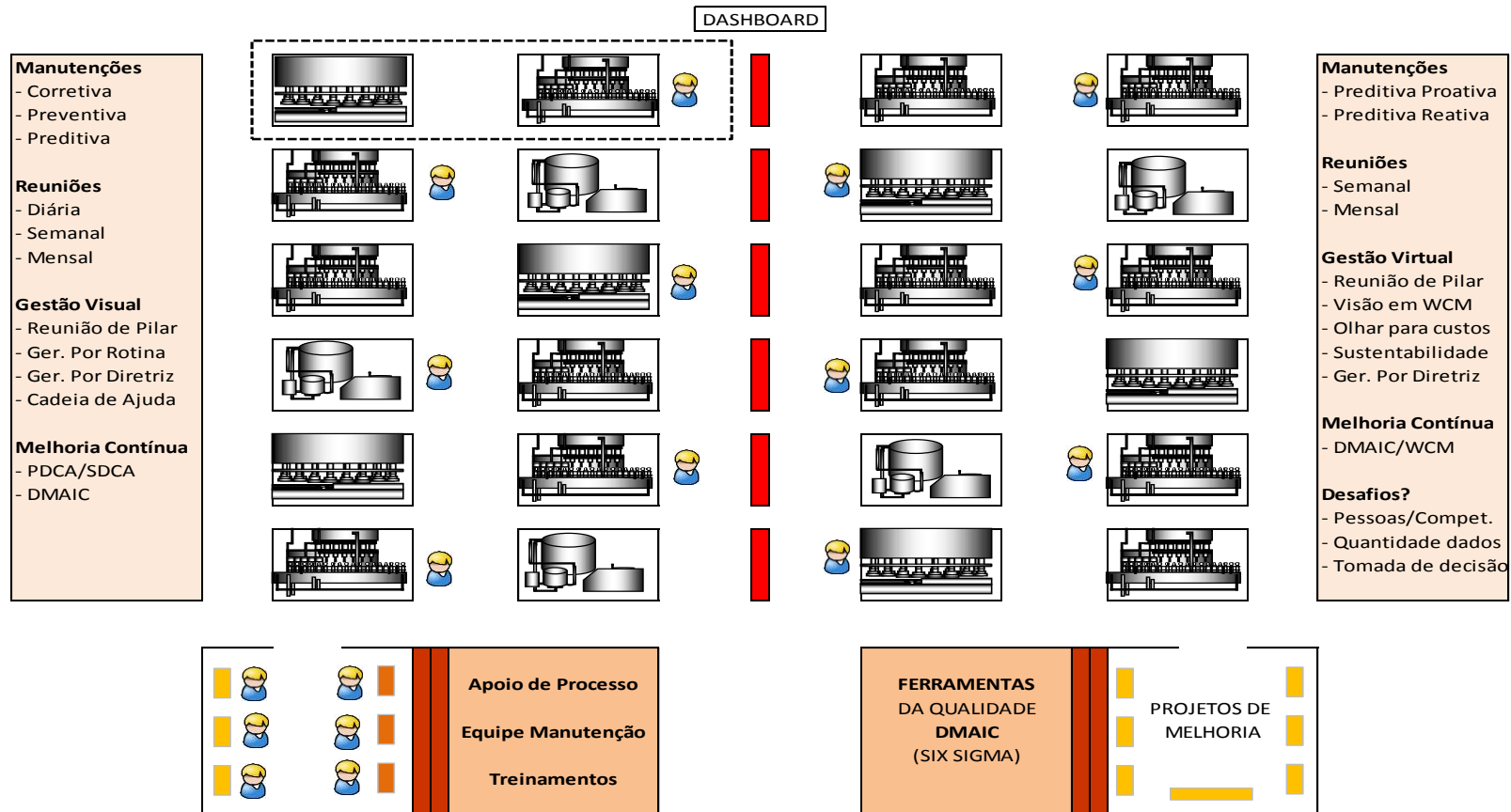


FIGURA 9 - O MÉTODO DO TPM NO CONTEXTO DA INDÚSTRIA 4.0

FONTE: ELABORADO PELO AUTOR

Na realidade, o TPM torna o gerenciamento dos equipamentos mais eficiente, possibilitando processos produtivos controlados por tecnologias que tomem forma de manutenção autônoma para intervir na máquina a partir de comandos remotos que potencializam a manutenção planejada por meio da intervenção baseada na previsão do equipamento e na validação de ideias através de painéis que exploram indicadores chave do processo, comumente conhecidos por *dashbord*. Este monitoramento por gestão virtual potencializa a simulação de eventos e possibilita a assertividade na tomada de decisão (ADU-AMANKWA *et al.*, 2019).

Estudos apontam que cenários com máquinas inteligentes se concentram no desempenho e nas aplicações com previsão de quebras, detecção de quaisquer problemas de qualidade e a necessidade de realizar manutenção preventiva. No entanto, o caso de uso mais proeminente para máquinas inteligentes é a manutenção preditiva. Também existem aplicativos de manutenção preditiva que prevêem falhas com suficiente antecedência para que os tomadores de decisão possam tomar as ações apropriadas, como manutenção, substituição ou até mesmo uma parada planejada, além de facilitar a economia na manutenção da máquina e aumentar a produtividade, possibilitando o máximo tempo de atividade (SAHAL *et al.*, 2020).

Diante de informações e dados disponíveis em sistemas de informação e com detalhamento dos eventos ocorridos envolvendo a produção, torna-se possível à manipulação e geração de gráficos que possibilitam a visualização de tendência, em contrapartida, transforma a estrutura de reuniões com maior aproveitamento do tempo disponível para alinhamento de ações e frequência das reuniões, somente quando necessárias.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Muitos autores (por exemplo, MACCHI *et al.*, 2017; KAUR *et al.*, 2018; GOTI *et al.*, 2019) enfatizaram o papel da manutenção citando a manutenção preditiva voltada para confiabilidade, no entanto é importante reforçar que a busca pela confiabilidade dos equipamentos deve corroborar para o real ganho da empresa, e não somente limitar-se a adoção de tecnologias optando por equipamentos devidamente projetados, pois existem casos em que a confiabilidade acarreta no comprometimento da competitividade da empresa perante o mercado.

Partindo desse princípio é importante que empresas adotem o método do TPM como uma forma de gestão da manutenção aproximando ao máximo das estratégias da empresa e dos recursos disponíveis, atentando-se: (i) a prioridade que deve ser dada ao método em função das necessidades da empresa e do valor agregado aos produtos; (ii) formas de interligar o método com as boas práticas e sistemas já disponíveis na empresa; (iii) possíveis impactos que os métodos vêm gerando na rotina das pessoas em todos os níveis, haja vista que, dependendo da sobrecarga da gerência, algumas prioridades poderão ser adaptadas (RIBEIRO, 2014).

Fatores organizacionais podem influenciar no sucesso na implementação do TPM, em destaque: (1) formação e educação, (2) trabalho em equipe, (3) planejamento e preparação, (4) compromisso da alta administração; (5) resistência a mudança; (6) mudança cultural; (7) envolvimento dos colaboradores, (8) resultados da monitoração e (9) comunicação eficaz (PIECHNICKI; SOLA; TROJAN, 2015).

Entretanto em um contexto de mercado globalmente competitivo as empresas buscam por resultados em curto prazo abstendo-se do gerenciamento que é imprescindível para aperfeiçoar a utilização dos recursos disponíveis, sejam materiais ou pessoas, potencializando capacidades e levando em consideração

as restrições que ocultam as fontes geradoras dos problemas que transparecem resultados favoráveis, quando indicadores apontam contrário.

Contudo também é importante o engajamento das pessoas relacionadas diretamente com os processos produtivos, principalmente com os melhores resultados, e não somente dos seus gestores. Isso significa que todas as pessoas dentro da empresa precisam compreender a importância de realizar determinadas atividades, e que o benefício podem ser absorvidos não somente pelas lideranças, mas sim, por todos os envolvidos nos ambientes em que foram aplicadas as melhorias. No entanto, existem casos em que as empresas buscam por técnicas e ferramentas não reconhecidas cientificamente e atribui responsabilidades a pessoas que em longo prazo pode não estar mais fazendo parte do quadro de funcionários respondendo pelos prejuízos das tentativas e erros, principalmente por todos os impactos negativos gerados na cultura organizacional que contribui para a visão distorcida das pessoas perante o método do TPM, como algo burocrático.

De acordo com Krason *et al.* (2019) a manutenção será direcionada para o gerenciamento das atividades realizadas por robôs inteligentes juntamente com o desenvolvimento dinâmico das tecnologias. Contudo podemos afirmar que, os funcionários deverão estar abertos a mudanças e se acostumar com a aprendizagem contínua e a assimilação de conhecimentos, pois realizarão análises aprofundadas de problemas crônicos dos equipamentos.

Antosz (2018) afirma que a eficácia de um processo de manutenção em uma empresa requer que todos os trabalhadores possuam competência e consciência. Por outro lado, existem empresas que envolvem somente operadores no plano de treinamento de manutenção autônoma, o que acarreta em frustração quanto aos resultados do TPM, visto que devem envolver a todos os departamentos incluindo os mantenedores e líderes de departamentos indiretos, como financeiro, almoxarifado, entre outros.

Contudo, com base na revisão sistemática e também com a contribuição do capítulo da revisão da literatura observou-se que o TPM pode ser considerado

um método para o aumento da produtividade por meio da utilização otimizada do equipamento através da aplicação de tecnologias, uma vez que, quando o TPM foi idealizado não existiam tecnologias da Indústria 4.0, tanto que empresas chamavam de “ferramentas de qualidade”. Entretanto necessita que as empresas adotem o método direcionado a estratégia do negócio e não como um departamento de manutenção isolado.

Ainda assim, no ambiente de Indústria 4.0, com robôs, sensores e outras tecnologias é indispensável que sejam realizados trabalhos para desenvolvimento da capacidade intelectual dos envolvidos nas atividades que demandam análise de informações seguida de tomada de decisão.

No entanto é importante ressaltar que o método do TPM não é “engessado”, o que significa que pode ser adaptado conforme a política da empresa, desde que sejam mantidos os conceitos originais, sem distorção. Para isto, é necessário planejar as etapas de implementação levando em consideração as limitações da empresa e recursos disponíveis.

Para a adequada implementação do TPM às empresas precisam compreender as atividades e passos dos pilares, tal como sua consolidação que variam conforme a estrutura da empresa e capacidade intelectual das pessoas envolvidas. Entretanto um equívoco cometido que pode acarretar em problemas na implementação do método é concentrar-se somente na resolução de problemas que aconteceram e ou são recorrentes, e desta forma limitar o tempo para esforços em reuniões estratégicas com ações preventivas antecipando a ocorrência do evento inesperado que evitam o desgaste físico e psicológico provocado pela quebra, falha ou até acidentes de trabalho.

Sendo assim, o sucesso do método do TPM pode ser considerado um esforço coletivo constituído de iniciativas realizadas por todos os departamentos da empresa que objetivam contribuir com a manutenção e disponibilidade do equipamento, a contar de fornecedor, financeiro, estoque e até a intervenção imediata e remota.

Para isto foram adaptadas às etapas de implementação do método do TPM para a realidade da indústria 4.0 contribuindo para o gerenciamento e comprometimento até consolidação do passo que corrobora para a tomada de decisão.

Conforme revisão da literatura, o Quadro 14 sintetiza as etapas para implementação do Pilar de Melhorias Específicas no contexto da Indústria 4.0.

| ETAPA | DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE |
|--|---|
| Etapa 1 - Seleção dos Equipamentos/Processos | 1.1. Identificar os Equipamentos/Processos que possuam maiores perdas, gargalos e/ou possibilitem replicação horizontal (relatórios de produção, perdas, financeiros, investimentos e outros). |
| Etapa 2 - Constituição e Capacitação dos Grupos de Trabalho | 2.1. Formar grupo de Melhorias Específicas (Engenharia de Fábrica ou de Processos, Engenharia de Manutenção ou Equipamentos, Manutenção e outros) e definir o líder de cada equipamento/time ou célula. |
| | 2.2. Treinar o grupo na estrutura do Pilar de Melhorias Específicas. |
| | 2.3. Treinar o grupo para identificar pontos críticos da máquina considerando o conceito de perdas. |
| Etapa 3 - Classificação das Perdas | 2.4. Treinar o grupo para identificar pontos críticos da máquina para acompanhamento via sistema com base nas 16 grandes perdas. |
| | 3.1. Estabelecer no sistema um critério (16 perdas) de classificação de perdas/reparos dos equipamentos/processos. |
| Etapa 4 - Definição dos Temas e Metas para Melhoria | 3.2. Estabelecer no sistema um ranking de perdas por falhas operacionais. |
| Etapa 4 - Definição dos Temas e Metas para Melhoria (continuação) | 4.1. Identificar o(s) tema(s) que representa(m) a(s) maior(es) perda(s), a partir do histórico do sistema. |
| | 4.2. Definir com a equipe cronograma de reuniões para análise das perdas. |
| | 4.3. Definir metas para os temas levantados com objetivo de eliminar ou reduzir ao máximo as perdas. |

| ETAPA | DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE |
|--|---|
| Etapa 5 - Elaboração do Plano de Melhorias | 5.1. Reunir a equipe para analisar a causa raiz da(s) perda(s) identificada(s) por intermédio de ferramentas da metodologia (análise dos por quês, análise de falhas e outras). |
| | 5.2. Priorizar a melhoria a ser implementada, identificando o possível ganho em relação a eficiência global (percentual de ganho). |
| | 5.3. Estabelecer metas para implementação das melhorias. |
| | 5.4. Elaborar um cronograma detalhado com os prazos previstos para o início e término das atividades. |
| Etapa 6 - Mapeamento das Análise e das Medidas Defensivas | 6.1. Definir intervenção provisória até que a melhoria seja implementada. |
| | 6.2. Apresentar o plano de ação para equipe, validando as ações propostas. |
| | 6.3. Simular os impactos nos indicadores (produtividade, qualidade, custo, atendimento, segurança e motivação) |
| Etapa 7 - Implementação da Melhoria | 7.1. Acompanhar a intervenção da melhoria e possíveis desvios (prazo, recursos e outros) |
| Etapa 8 - Comprovação dos resultados | 8.1. Analisar dados da situação atual da perda(s) selecionada(s) após implementação da melhoria. |
| | 8.2. Comprovar os resultados obtidos com as metas estabelecidas. |
| | 8.3. Comprovar o ganho obtido com o Índice de Eficiência Global do Equipamento (OEE). |
| Etapa 9 - Tomada de Providência para Evitar a Recorrência | 9.1. Estabelecer procedimentos e padrões operacionais/manutenção que definam as atividades a serem seguidas evitando a recorrência. |
| | 9.2. Estabelecer no sistema disseminação de melhorias em equipamentos/processos. |
| Etapa 10 - Disseminação das Melhorias Implementadas em Equipamentos/Processos | 10.1. Replicar o sistema implementado em equipamentos/processos semelhantes. |

QUADRO 14 - ETAPAS DE IMPLEMENTAÇÃO DO PILAR ME NO CONTEXTO 4.0

FONTE: ELABORADO PELO AUTOR

A seguir, foram sintetizadas as etapas de implementação do Pilar de Manutenção Planejada para o contexto da Indústria 4.0, conforme Quadro 15.

| ETAPA | DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE |
|--|--|
| <p>Etapa 1 - Avaliação do Equipamento e reconhecimento da situação atual</p> | <p>1.1. Levantamento de dados técnicos do equipamento, tais como: número do inventário, nome, modelo, desenho, local da instalação, fabricante, data da fabricação, data de instalação, data teste, data de partida, registro de alterações, registros de manutenção, etc por meio de tag eletrônico, QRCode e outras tecnologias disponíveis.</p> |
| | <p>1.2. Complementar o levantamento de dados com informações históricas de intervenções, a partir de manuais e dados técnicos do equipamento e/ou interagindo com especialistas.</p> |
| | <p>1.3. Avaliar desempenho do equipamento (número de falhas, número de pequenas paradas, problemas causados (qualidade, atrasos, acidentes de trabalho, impactos ambientais, prejuízos financeiros), MTBF, custo de manutenção).</p> |
| | <p>1.4. Estabelecer no sistema um ranking de falhas (críticas, normais e insignificantes dependendo dos efeitos no equipamento).</p> |
| | <p>1.5. Estabelecer metas de manutenção, como por exemplo falha do equipamento: redução de 90%, falhas de processo: redução de 50%.</p> |
| <p>Etapa 2 - Estabelecimento de uma organização de melhorias restaurando as deteriorizações</p> | <p>2.1. Estabelecer no sistema soluções a partir de verificações para anormalidades detectadas pelos operadores, possibilitando acionamento de correção automática/ ou intervenções externas por recursos tecnológicos.</p> |
| | <p>2.2. Preparar Lição Ponto a Ponto e treinar os operadores de acordo com a frequência e consequências das anomalias, incluindo onde e como inspecionar e fazer pequenos reparos e melhorias, através de dashboard e/ou recursos tecnológicos.</p> |
| | <p>2.3. Orientar operadores para tratar adequadamente a sujeira e contaminação e criar meios de eliminar a fonte de contaminações mais críticas, via realidade aumentada e/ou recursos tecnológicos.</p> |
| | <p>2.4. Instalar controles visuais/virtuais para facilitar o monitoramento pelo operador, via realidade aumentada e/ou recursos tecnológicos.</p> |
| | <p>2.5. Preparar check lists via sistema com apoio dos operadores e treiná-los.</p> |

| ETAPA | DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE |
|---|---|
| Etapa 2 - Estabelecimento de uma organização de melhorias restaurando as deteriorizações (continuação) | 2.6. Treinar os operadores para monitorar a lubrificação e verificação de sistema, incluindo a reposição quando viável, via realidade aumentada e/ou recursos tecnológicos. |
| Etapa 3 - Estabelecimento de um sistema de controle de informação | 3.1. Elaborar um sistema de controle de dados das falhas que facilite o acesso à informações, sendo que este sistema deve conter o registro de todas as intervenções, o plano de manutenção, o plano de sobressalentes e um controle dos custos relacionados a cada equipamento e acompanhar as habilidades e competências necessárias. |
| Etapa 4 - Estabelecimento de um sistema de manutenção preditiva baseado no monitoramento | 4.1. Criar um fluxo de trabalho do sistema de manutenção preditiva. |
| | 4.2. Selecionar os pontos críticos sujeitos a manutenção preditiva. |
| | 4.3. Estabelecer um sistema de controle de medidas de componentes chave de cada equipamento. |
| | 4.4. Estabelecer um sistema de controle de peças, projetos e dados técnicos. |
| | 4.5. Reforçar procedimentos operacionais (materiais, construção, aceitação). |
| | 4.6. Selecionar os equipamentos e classificá-los pela importância no processo e nos aspectos de segurança, normas e/ou legislação. |
| | 4.7. Sistematizar um plano de diagnóstico, via sistema, que verifique dados a serem mensurados com os critérios e considerá-los conforme ou não conforme. |
| | 4.8. Executar diagnósticos a partir das tendências das medições realizadas ao longo do tempo, via sistema. |
| | 4.9. Executar serviços necessários a partir dos resultados e planejar de que maneira o serviço será executado, seja em operação, em parada simples ou juntamente com a preventiva. |
| Etapa 5 - Mensuração dos resultados da Manutenção | 5.1. Comparar os dados obtidos com a Etapa 1.3 (dashboard). |

QUADRO 15 - ETAPAS DE IMPLEMENTAÇÃO DO PILAR MP NO CONTEXTO 4.0

FONTE: ELABORADO PELO AUTOR

Por fim, foram sintetizadas as etapas de implementação do Pilar de Manutenção Autônoma para o contexto da Indústria 4.0, conforme Quadro 16.

| ETAPA | DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE |
|---|--|
| Etapa 1 - Identificação dos Pontos Críticos | <p>1.1. Conscientizar os operadores dos modos de defeito do equipamento que impactam no funcionamento inadequado, poluição e condições inseguras ensinando-os visualizar através de câmeras, sensores, aplicativos, dentre outras tecnologias disponíveis via sistema, com objetivo de identificar pontos críticos e ou acompanhar os pontos já classificados como críticos.</p> <p>1.2. Expor irregularidade como erros, falhas e correções apresentadas pelo sistema para que sejam redobrados os cuidados para com as fontes de defeitos.</p> <p>1.3. Classificar e identificar no sistema, por equipamento, todos os pontos críticos deixando-os disponíveis a todos os operadores do equipamento.</p> |
| Etapa 2 - Combate às Fontes de Sujeira e Contaminação | <p>2.1. Atacar os pontos críticos via sistema através de tecnologias fornecidas pelo fabricante, como combinação de sensores, por exemplo, utilização de CPS, por meio de atualizações e correções.</p> |
| Etapa 3 - Elaboração dos Padrões de limpeza e lubrificação | <p>3.1. Formular, via sistema, padrão de configuração e correções que ajudem a manter os níveis de limpeza e lubrificação dos equipamentos a ser realizado quando o equipamento emitir um sinal de alerta.</p> <p>3.2. Melhorar a eficiência do trabalho de verificação pela introdução de controles virtuais, baseado-se nas aferições (preditivas) por meio de tecnologias que ativam sinais sonoros, e-mails, mensagens em aplicativos, entre outros.</p> |

| ETAPA | DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE |
|--------------------------------------|--|
| Etapa 4 - Inspeção Geral | 4.1. Fornecer treinamento em técnicas de inspeção baseado em manuais inseridos nos sistemas. |
| | 4.2. Conseguir que itens do equipamento individual fiquem em condições de disposição para casos de inspeção manual. |
| | 4.3. Modificar o equipamento para facilitar a inspeção virtual através de monitoramento do ponto crítico por meio de câmeras, sensores entre outras tecnologias. |
| Etapa 5 - Sistematização | 5.1. Alcançar uma manutenção de qualidade e segurança pelo estabelecimento no sistema procedimentos padrões de fácil identificação e compreensão, bem como as etapas para correções do erro conforme classificação do equipamento e módulos de falhas. |
| | 5.2. Estabelecer no sistema o fluxo do local de trabalho, sobressalentes, ferramentas, processos de trabalho, produtos finais, informação, etc. |
| Etapa 6 - Sistema de Controle | 6.1. Melhorar atividades e padronizar as melhorias em linha com as políticas da planta e com seus objetivos, e reduzir custos através da eliminação do desperdício do local de trabalho. |
| | 6.2. Melhorar o equipamento mantendo os registros de manutenção precisos (ex: MTBF e analisando a informação neles) e atualizando-os no sistema. |

QUADRO 16 - ETAPAS DE IMPLEMENTAÇÃO DO PILAR MA NO CONTEXTO 4.0

FONTE: ELABORADO PELO AUTOR

Em essência o pilar de manutenção autônoma em um contexto de Indústria 4.0 consiste na capacidade de inspecionar a máquina de forma a identificar pontos críticos a serem monitorados por sistemas e tecnologias habilitadoras, para assim, evitar a deterioração do equipamento através da predição, por meio dos relatórios gerados a partir de sistemas integrados que se comunicam por sensores e possibilitam a correção antes que o evento indesejado aconteça.

Deste modo é importante que áreas de processo e de projetos, principalmente a gestão da cadeia de suprimentos estejam alinhadas no TPM para compreender e contribuir para o seu sucesso, não somente em reuniões

estratégicas e de planejamento, mas para evitar a recorrência dos problemas viabilizando a aquisição de tecnologias que detectam erros e falhas em máquinas e que permite agir de forma antecipada ao problema e assim, evitar custos maiores relacionados à compra de equipamentos e/ou peças sobressalentes, além dos impactos negativos na cultura da empresa.

Por conseguinte, o pilar de manutenção planejada concentra-se em tratar desvios previamente detectados nos processos produtivos para restituir o estado ideal da máquina, melhorando seu funcionamento, dentro das atividades para o qual foi projetada. Por outro lado, perde-se a imagem de que a manutenção planejada atua somente em quebras e falhas e restitui um novo objetivo que é centrar-se em não deixar acontecer, principalmente para valorizar os ativos disponíveis na empresa, porque acontecem casos em que, seguindo a variável “tempo” da manutenção planejada, ainda assim é possível o equipamento ser utilizado por um tempo considerável, por fim, reduz custos.

Por fim, o desempenho da manutenção deve ser avaliado pela agregação de valor ao processo produtivo, comparando a disponibilidade dos equipamentos e produção efetiva, principalmente porque investir em manutenção é, sobretudo proporcionar redução do custo unitário do produto, principalmente porque quando rateado as despesas fixas para produzir, quanto maior a quantidade menor será o impacto no custo unitário, por conseguinte aumenta o lucro da empresa e motiva manter-se competitiva no mercado.

Também promove contribuição em termos de indicadores econômicos, sociais e ambientais resultantes do sucesso na implementação do método do TPM, tais como, paradas planejadas, não planejadas, ação insegura/ condição insegura (acidente de trabalho), reclamação de cliente, redução de retrabalho, aumento da parcela de mercado, controle do consumo de água e energia, descarte/substituição de máquinas e equipamentos por avarias por conta do estado de conservação do equipamento/máquinas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresenta as principais contribuições teóricas desta pesquisa, como também limitações e recomendações para estudos futuros.

5.1. CONTRIBUIÇÕES TEÓRICAS E PRÁTICAS

Este trabalho teve como objetivo geral avaliar os impactos das tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 na implementação dos pilares: melhoria específica, manutenção autônoma e manutenção planejada do método do TPM, para este fim foram utilizados os objetivos específicos: avaliar os impactos das tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 aplicáveis na manutenção e o que pode causar as tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 nos pilares: ME, MA e MP.

Como contribuição teórica, esta pesquisa cumpriu o primeiro objetivo específico por meio do referencial teórico, em que foi utilizada uma revisão da literatura enfatizando as tecnologias habilitadoras aplicáveis na manutenção, assim como abordadas as principais etapas para implementação dos pilares do método do TPM, destacando passos e atividades até sua consolidação. Com relação às tecnologias também foi direcionado uma revisão sistemática da literatura cumprindo o objetivo e enfatizando os estudos em que foram abordados Indústria 4.0 e manutenção, através de uma pesquisa ampla nas três bases de dados reconhecidas dentro da Engenharia III, sendo: *Scopus*, *Science Direct* e *Web of Science*. A partir do aprofundamento da literatura, e cumprindo o segundo objetivo específico, foram propostas etapas para os pilares: ME, MA e MP a serem aplicados no contexto da Indústria 4.0. A pesquisa também contribuiu para destacar principais características do método do TPM, quando implementado em um contexto da quarta geração, destacando: tipo de manutenção predominante, característica das reuniões, gestão virtual, assim como ênfase nas pesquisas em que abordaram a necessidade do desenvolvimento de competências dos profissionais ligados à

produção e manutenção que irão atuar diretamente neste ambiente.

A partir da conexão da pesquisa teórica com as etapas dos pilares destacados na revisão da literatura, obteve-se contribuição para a prática, originando nas etapas adaptadas de três pilares do método do TPM, sendo eles: melhoria específica, manutenção autônoma e manutenção planejada para aplicação em um contexto de Indústria 4.0.

5.2. LIMITAÇÕES E ESTUDOS FUTUROS

A limitação do estudo se dá pela contribuição teórica que resulta nas etapas embasadas na revisão sistemática da literatura, sendo que apesar da possibilidade de aplicação prática, limita-se por somente possibilitar aplicações coleta de dados acerca de empresas que estão em processo de adaptação obtenção de sucesso na implementação do método do TPM.

Estudos futuros podem testar as etapas propostas para os respectivos pilares: ME, MA e MP, por meio da aplicação de um levantamento tipo survey em indústrias que já possuem o método do TPM implementado, explorando os conceitos e tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 em favor da gestão da manutenção. Além disso, também podem surgir novas pesquisas a partir da relação das competências exigidas para as pessoas ligadas diretamente com os processos produtivos, assim como apresentar o grau de maturidade de todos os pilares do TPM a serem implementados como uma proposta de modelo para aderência por parte das empresas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADU-AMANKWA, K.; ATTIA, A. K.; JANARDHANAN, M. N.; PATEL, I. A predictive maintenance cost model for CNC SMEs in the era of industry 4.0. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 104, n. 9-12, p. 3567-3587, 2019.

AHUJA, B.; KARG, M.; SCHMIDT, M. Additive manufacturing in production: challenges and opportunities. SPIE - **Laser 3D Manufacturing II**. Anais...San Francisco, USA: 2015.

ALEŠ, Z.; PAVLŮ, J.; LEGÁT, V.; MOŠNA, F.; JURČA, V. Methodology of overall equipment effectiveness calculation in the context of Industry 4.0 environment. **Eksploatacja i Niezawodność**, v. 21, 2019.

ANSARI, F.; GLAWAR, R.; NEMETH, T. PriMa: a prescriptive maintenance model for cyber-physical production systems. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 32, n. 4-5, p. 482-503, 2019.

ANSARI, F.; KHOBREH, M.; SEIDENBERG, U.; SIHN, W. A. problem-solving ontology for human-centered cyber physical production systems. **CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology**, v. 22, p. 91-106, 2018.

ANTOSZ, K. Maintenance–identification and analysis of the competency gap. **Eksploatacja i Niezawodność**, v. 20, p. 484–494, 2018.

ARANSYAH, D.; ROSA, F.; COLOMBO, G. Smart maintenance: A wearable augmented reality application integrated with CMMS to minimize unscheduled downtime. **Computer-Aided Design and Applications**, v. 17, n. 4, p. 740-751, 2020.

ASHJAEI, M.; BENGTTSSON, M. Enhancing smart maintenance management using fog computing technology. In: **2017 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)**. IEEE, 2017.

p. 1561-1565.

BAGOZI, A.; BIANCHINI, D.; DE ANTONELLIS, V.; MARINI, A.; RAGAZZI, D. Big data summarisation and relevance evaluation for anomaly detection in cyber physical systems. In: **OTM Confederated International Conferences" On the Move to Meaningful Internet Systems"**. Springer, Cham, 2017. p. 429-447.

BANKS, J. **Handbook of Simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice**. John Wiley & Sons, 1998.

BLASZCZYK, A.; WISNIEWSKI, Z. Requirements for IT systems of maintenance management. In: **International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics**. Springer, Cham, 2018. p. 531-539.

BOKRANTZ, J.; SKOOGH, A.; BERLIN, C.; WUEST, T.; STAHERE, J. Smart Maintenance: an empirically grounded conceptualization. **International Journal of Production Economics**, v. 223, p. 107534, 2020.

BORLIDO, D. J. A. **Indústria 4.0: Aplicação a Sistemas de Manutenção**. 2017. 77f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, Portugal.

BOUSDEKIS, A.; LEPENIOTI, K.; NTALAPERAS, D.; VERGETI, D.; APOSTOLOU, D.; BOURSINOS, V. A RAMI 4.0 View of Predictive Maintenance: Software Architecture, Platform and Case Study in Steel Industry. In: **International Conference on Advanced Information Systems Engineering**. Springer, Cham, 2019a. p. 95-106.

BOUSDEKIS, A.; MENTZAS, G.; HRIBERNIK, K.; LEWANDOWSKI, M.; VON STIETENCRON, M.; THOBEN, K. D. A Unified Architecture for Proactive Maintenance in Manufacturing Enterprises. In: **Enterprise Interoperability VIII**. Springer, Cham, 2019b. p. 307-317.

BRETTEL, M.; FRIEDERICHSEN, N.; KELLER, M.; ROSENBERG, M. How virtualization, decentralization and network building change the manufacturing

landscape: An Industry 4.0 Perspective. **International Journal of Mechanical, Industrial Science and Engineering**, v.8, n.1, p.37-44, 2014.

CABERO-ALMENARA, J. ; ROIG-VILA, R. The motivation of technological scenarios in augmented reality (AR): Results of different experiments. **Applied Sciences**, v. 9, n. 14, p. 2907, 2019.

CACHADA, A.; BARBOSA, J.; LEITÑO, P.; GCRALDCS, C. A.; DEUSDADO, L.; COSTA, J.; ROMERO, L. Maintenance 4.0: Intelligent and Predictive Maintenance System Architecture. In: **2018 IEEE 23rd International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)**. IEEE, 2018. p. 139-146.

CAO, J. Research on operation and maintenance management of equipment under intelligent manufacturing. In: **2017 Chinese Automation Congress (CAC)**. IEEE, 2017. p. 5188-5191.

CNI - Confederação Nacional da Indústria. Desafios para a indústria 4.0 no Brasil. Brasília, 2016. Disponível em: <https://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/2016/8/desafios-para-industria-40-no-brasil/>. Acesso em 10 abr. 2020.

COELHO, P. M. N. **Rumo à Indústria 4.0**. 2016. 65f. Dissertação de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial. Universidade de Coimbra, Portugal.

CORRADI, A.; FOSCHINI, L.; GIANNELLI, C.; LAZZARINI, R.; STEFANELLI, C.; TORTONESI, M.; VIRGILLI, G. Smart appliances and RAMI 4.0: management and servitization of ice cream machines. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 15, n. 2, p. 1007-1016, 2018.

DA SILVA, A. F.; OHTA, R. L.; DOS SANTOS, M. N.; BINOTTO, A. P. A cloud-based architecture for the internet of things targeting industrial devices remote monitoring and control. **IFAC-PapersOnLine**, v. 49, n. 30, p. 108-113, 2016.

DA SILVA, J. P. **OEE—A forma de medir a eficácia dos equipamentos**. 2009. Disponível em: <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/35121320/OEE_forma_

de_medir_eficacia_equipamento-Rev1.pdf. Acesso em: 10 out. 2020.

DE PACE, F.; MANURI, F.; SANNA, A.; ZAPPIA, D. A comparison between two different approaches for a collaborative mixed-virtual environment in industrial maintenance. **Frontiers in Robotics and AI**, v. 6, p. 18, 2019.

EMMANOUILIDIS, C.; PISTOFIDIS, P.; BERTONCELJ, L.; KATSOUROS, V.; FOURNARIS, A.; KOULAMAS, C.; RUIZ-CARCEL, C. Enabling the human in the loop: Linked data and knowledge in industrial cyber-physical systems. **Annual Reviews in Control**, v. 47, p. 249-265, 2019.

FARGNOLI, M.; LLESHAJ, A.; LOMBARDI, M.; SCIARRETTA, N.; DI GRAVIO, G. A BIM-based PSS Approach for the Management of Maintenance Operations of Building Equipment. **Buildings**, v. 9, n. 6, p. 139, 2019.

FRAGA-LAMAS, P.; FERNANDEZ-CARAMES, T. M.; BLANCO-NOVOA, O.; VILAR-MONTESINOS, M. A. A Review on Industrial Augmented Reality Systems for the Industry 4.0 Shipyard. **IEEE Access**, v. 6, p. 13358–13375, 2018.

FRANCO, D.; QUEIROZ, G. A.; MOTA, R. O.; MEDEIROS, N.C.; FILHO, M. G. Aplicação das tecnologias da Indústria 4.0 na Engenharia de produção: uma revisão sistemática da literatura. In: **Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP)**, XI, 2020. Anais... Rio de Janeiro: ABEPRO, 2020.

GOTI, A.; OYARBIDE-ZUBILLAGA, A.; ALBERDI, E.; SANCHEZ, A.; GARCIA-BRINGAS, P. Optimal Maintenance Thresholds to Perform Preventive Actions by Using Multi-Objective Evolutionary Algorithms. **Applied Sciences**, v. 9, n. 15, p. 3068, 2019.

HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. **Design principles for Industrie 4.0 scenarios**. 49th Hawaii International Conference on System Sciences. Koloa: IEEE. p. 3928-3937, 2016.

JÄGER, G.; ZUG, S.; CASIMIRO, A. Generic sensor failure modeling for cooperative systems. **Sensors**, v. 18, n. 3, p. 925, 2018.

JASIULEWICZ-KACZMAREK, M.; GOLLA, A. Maintenance 4.0 Technologies for Sustainable Manufacturing-an Overview. **IFAC-PapersOnLine**, v. 52, n. 10, p. 91-96, 2019.

JASIULEWICZ-KACZMAREK, M.; SANIUK, A.; NOWICKI, T. The maintenance management in the macro-ergonomics context. In: **Advances in Social & Occupational Ergonomics**. Springer, Cham, 2017. p. 35-46.

JONSSON, P.; LESSHAMMAR, M. Evaluation and improvement of manufacturing performance measurement systems-the role of OEE. **International Journal of Operations & Production Management**, 1999.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. **Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0**. Frankfurt: Acatech, 2013.

KANS, M.; GALAR, D.; THADURI, A. Maintenance 4.0 in railway transportation industry. In: **Proceedings of the 10th World Congress on Engineering Asset Management (WCEAM 2015)**. Springer, Cham, 2016. p. 317-331.

KAUR, K.; SELWAY, M.; GROSSMANN, G.; STUMPTNER, M.; JOHNSTON, A. Towards an open-standards based framework for achieving condition-based predictive maintenance. In: **Proceedings of the 8th International Conference on the Internet of Things**. 2018. p. 16.

KELLY, A.; HARRIS, M. **Management of Industrial Maintenance**; Butterworth-Heinemann Ltd: Oxford, 1978.

KIETZMANN, J.; PITT, L.; BERTHON, P. Disruptions, decisions, and destinations: Enter the age of 3-D printing and additive manufacturing. **Business Horizons**, v. 58, n. 2, p. 209–215, 2015.

KOHLI, M. Using Machine Learning Algorithms on data residing in SAP ERP Application to predict equipment failures. **International Journal of Engineering & Technology**, v. 7, n. 2.28, p. 312-319, 2017.

KOTYNKOVA, M. Re-Industrialization of Europe: Industry4.0 and the Future of

Work. **European Scientific Journal**, v. 7881, 2017.

KRASON, P.; MACZEWSKA, A.; POLAK-SOPINSKA, A. Human factor in maintenance management. In: **International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics**. Springer, Cham, 2019. p. 49-56.

KUMAR, S.; MANJREKAR, V.; SINGH, V.; LAD, B. K. Integrated yet distributed operations planning approach: A next generation manufacturing planning system. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 54, p. 103-122, 2020.

LANDHERR, M.; SCHNEIDER, U.; BAUERNHANSL, T. The Application Center Industrie 4.0-Industrydriven manufacturing, research and development. **Procedia CIRP**, v.57, p.26-31, 2016.

LASI, H.; FETTKE, P.; KEMPER, H. G.; FELD, T.; HOFFMANN, M. Industry 4.0. **Business & Information Systems Engineering**, v.6, n.4, p.239-242, 2014.

LEE, J. Y.; YOON, J. S.; KIM, B. H. A big data analytics platform for smart factories in small and medium-sized manufacturing enterprises: An empirical case study of a die casting factory. **International Journal of Precision Engineering and Manufacturing**, v. 18, n. 10, p. 1353-1361, 2017.

LEE, J.; KAO, H. A.; YANG, S. Service innovation and smart analytics for Industry 4.0 and big data environment. **Procedia CIRP**, v. 16, p. 3–8, 2014.

LEVY, Y.; Ellis, T.J. A system approach to conduct an effective literature review in support of information systems research. **Informing Science Journal**, v.9, p.181-212, 2006.

LEZZI, M.; LAZOI, M.; CORALLO, A. Cybersecurity for Industry 4.0 in the current literature: A reference framework. **Computers in Industry**, v. 103, p. 97–110, 2018.

LI, C. H.; LAU, H. K. Embedding CPSC database with CPS to enhance toy product safety. In: **The 20th IEEE International Conference on Industrial**

Technology IEEE-ICIT 2019. IEEE, 2018.

LI, Z.; WANG, K.; HE, Y. Industry 4.0-potentials for predictive maintenance. **Advances in Economics, Business and Management Research**, 2016.

MACCHI, M.; RODA, I.; FUMAGALLI, L. On the advancement of maintenance management towards smart maintenance in manufacturing. In: **IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems**. Springer, Cham, 2017. p. 383-390.

MANURI, F.; PIZZIGALLI, A.; SANNA, A. A State Validation System for Augmented Reality Based Maintenance Procedures. **Applied Sciences**, v. 9, n. 10, p. 2115, 2019.

MARCONI, M.A.; LAKATOS, E.M. Fundamentos de metodologia científica. 7. ed. **São Paulo, Atlas**, 2010.

MARKOWSKI, K.; WOJAKOWSKI, K.; POKROPEK, E.; MARZECKI, M. Numerical and experimental performance analysis of the chirped fiber Bragg grating based abrasion sensor for the maintenance applications in the industry 4.0. **Sensors**, v. 20, n. 3, p. 770, 2020.

MÁRQUEZ, A. C.; DE LA FUENTE CARMONA, A.; AN TOMARIONI, S. A process to implement an artificial neural network and association rules techniques to improve asset performance and energy efficiency. **Energies**, v. 12, n. 18, p. 3454, 2019.

MATANA, G. M. **Indústria 4.0: proposta de um método de avaliação do grau de aderência de equipamentos de logística interna ao conceito de sistemas físico cibernéticos**. 2019. 179f. Tese de Doutorado em Engenharia de Produção – Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara d'Oeste.

MEISTER, D. **The history of human factors and ergonomics**. CRC Press, 2018.

MELL, P.; GRANCE, T. The NIST Definition of Cloud Computing National

Institute of Standards and Technology (NIST) - U. S. Department of Commerce.
Disponível em:
<<https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/SP/nistspecialpublication800-145.pdf>>.

MOBLEY, R. **An Introduction to Predictive Maintenance**; Elsevier: New York, 2002.

NAKAJIMA, S. PREFÁCIOS NAKAJIMA, Seiichi. Introdução ao TPM Total Productive Maintenance. **São Paulo: IMC**, 1989. 106 p. PREFÁCIO DA EDIÇÃO JAPONESA. p. 1–2, 1989.

NAKANO, D. Métodos de pesquisa adotados na Engenharia de Produção e gestão de operações. In: MIGUEL, P.A.C. (Coord.). Metodologia de pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações. 2. ed. **São Paulo: Elsevier**, 2012.

NASCIMENTO, D. Metodologia do trabalho científico: teoria e prática. **Rio de Janeiro: Forense**, 2002.

NERADILOVA, H.; FEDORKO, G. Simulation of the Supply of Workplaces by the AGV in the Digital Factory. **Procedia Engineering**, v. 192, p. 638–643, 2017.

PALMER, R. **Maintenance planning and scheduling handbook**; McGraw-Hill Professional Publishing: New York, 2005.

PATALAS-MALISZEWSKA, J.; KŁOS, S. An approach to supporting the selection of maintenance experts in the context of Industry 4.0. **Applied Sciences**, v. 9, n. 9, p. 1848, 2019.

PIECHNICKI, A. S.; SOLA, A. V. H.; TROJAN, F. Decision-making towards achieving world-class total productive maintenance. **International Journal of Operations & Production Management**, 2015.

POÓR, P.; BASL, J.; ZENISEK, D. Predictive Maintenance 4.0 as next evolution

step in industrial maintenance development. In: **2019 International Research Conference on Smart Computing and Systems Engineering (SCSE)**. IEEE, 2019. p. 245-253.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. 2. ed. **Novo Hamburgo: Feevale**, 2013.

PROTO, S.; DI CORSO, E.; APILETTI, D.; CAGLIERO, L.; CERQUITELLI, T.; MALNATI, G.; MAZZUCCHI, D. REDTag: A Predictive Maintenance Framework for Parcel Delivery Services. **IEEE Access**, v. 8, p. 14953-14964, 2020.

RAKYTA, M.; FUSKO, M.; HERČKO, J.; ZÁVODSKÁ, Ľ.; ZRNIĆ, N. Proactive approach to smart maintenance and logistics as a auxiliary and service processes in a company. **Journal of Applied Engineering Science**, v. 14, n. 4, p. 433-442, 2016.

RIBEIRO, H. A biblia do TPM: Como maximizar a produtividade na empresa. Santa Cruz do Rio Pardo, SP: **Editora Viena**, 2014.

RØDSETH, H.; FORDAL, J. M.; SCHJØLBERG, P. The Journey Towards World Class Maintenance with Profit Loss Indicator. In: **International Workshop of Advanced Manufacturing and Automation**. Springer, Singapore, 2018. p. 192-199.

ROY, R.; STARK, R.; TRACHT, K.; TAKATA, S.; MORI, M. Continuous maintenance and the future—Foundations and technological challenges. **CIRP Annals**, v. 65, n. 2, p. 667-688, 2016.

RUIZ-SARMIENTO, J. R.; MONROY, J.; MORENO, F. A.; GALINDO, C.; BONELO, J. M.; GONZALEZ-JIMENEZ, J. A predictive model for the maintenance of industrial machinery in the context of industry 4.0. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, v. 87, p. 103289, 2020.

RUSU, C. C.; BELAID, S.; MISTODIE, L. R.; ADJERID, S. Condition-Based Maintenance Model for the Optimization of Smart Manufacturing Processes.

Annals of “Dunarea de Jos” University of Galati. Fascicle XII, Welding Equipment and Technology, v. 30, p. 34-42, 2019.

SAHAL, R.; BRESLIN, J. G.; ALI, M. I. Big data and stream processing platforms for Industry 4.0 requirements mapping for a predictive maintenance use case. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 54, p. 138-151, 2020.

SCHWAB, K. The fourth industrial revolution. New York: Crown business, 2017.

SHIHUNDLA, T. B.; MPOFU, K.; ADENUGA, O. T. Integrating Product-Service Systems into the manufacturing industry: Industry 4.0 perspectives. **Procedia CIRP**, v. 83, p. 8-13, 2019.

SMITH, D. Reliability, maintainability and risk: practical methods for engineers; **Elsevier: Oxford**, 2011.

STOCK, T.; SELIGER, G. Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0. **Procedia CIRP**, v. 40, n. lcc, p. 536–541, 2016.

SUZUKI, Tokutaro. **TPM in process industries**. CRC Press, 1994.

TADEU, H. F. B. Impactos da indústria 4.0. Fundação Dom Cabral, Nova Lima, p.1-6, mar. 2016.

TOMORROW MANUFACTURING. Disponível em: <<https://www.manufacturingtomorrow.com/article/2016/09/factory-equipmentmaintenance-and-industry-40/8482>>. Acesso em: 10 out. 2020.

TURNER, C. J.; EMMANOUILIDIS, C.; TOMIYAMA, T.; TIWARI, A.; ROY, R. Intelligent decision support for maintenance: an overview and future trends. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 32, n. 10, p. 936-959, 2019.

TURRIONI, J. B.; MELLO, C. H. P. Metodologia de pesquisa em engenharia de produção: estratégias, métodos e técnicas para condução de pesquisas quantitativas e qualitativas. **Itajubá: Unifei**, 2012.

VAIDYA, S.; AMBAD, P.; BHOSLE, S. Industry 4.0 - A Glimpse. **Procedia Manufacturing**, v. 20, p. 233– 238, 2018.

VASJA, R.; MAJA, M.; ALOJZ, K. A complex view of industry 4.0. (2016). V. 6 issue: 2. **Sage Journals**, june – april, 2016. Disponível em: <<http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/2158244016653987#>>. Acesso em: 17 jun. 2020.

VILLAR-FIDALGO, L.; CRESPO MÁRQUEZ, A.; GONZÁLEZ-PRIDA, V.; DE LA FUENTE, A.; MARTÍNEZ-GALÁN, P.; GUILLÉN LÓPEZ, A. J. Cyber physical systems implementation for asset management improvement: A framework for the transition. In: **Safety and Reliability–Safe Societies in a Changing World**. CRC Press, 2018. p. 3063-3069.

WANG, G.; GUNASEKARAN, A.; NGAI, E. W.; PAPADOPOULOS, T. Big data analytics in logistics and supply chain management: Certain investigations for research and applications. **International Journal of Production Economics**, v. 176, p. 98–110, 2016.

XIA, T.; XI, L. Manufacturing paradigm-oriented PHM methodologies for cyber-physical systems. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 30, n. 4, p. 1659-1672, 2019.

XU, L.; XU, E.; LI, L. Industry 4.0: state of the art and future trends. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 8, p. 2941-2962, 2018.

ANEXOS

ANEXO 1

TABELA 3 - ARTIGOS SELECIONADOS PARA REVISÃO DA LITERATURA

| Título do Artigo | Pesquisadores | Ano |
|---|------------------------------|------------|
| A predictive maintenance cost model for CNC SMEs in the era of industry 4.0 | Adu-amankwa | 2019 |
| Optimal maintenance thresholds to perform preventive actions by using multi-objective evolutionary algorithms | Goti <i>et al.</i> | 2019 |
| PriMa: a prescriptive maintenance model for cyber-physical production systems | Ansari <i>et al.</i> | 2019 |
| Manufacturing paradigm-oriented PHM methodologies for cyber-physical systems | Xia e Xi | 2019 |
| Human Factor in Maintenance Management | Krason <i>et al.</i> | 2019 |
| A RAMI 4.0 view of predictive maintenance: Software architecture, platform and case study in steel industry | Bousdekis <i>et al.</i> | 2019 a |
| Requirements for IT Systems of Maintenance Management | Błaszczuk e Wisniewski | 2019 |
| A unified architecture for proactive maintenance in manufacturing enterprises | Bousdekis <i>et al.</i> | 2019 b |
| A BIM-based PSS approach for the management of maintenance operations of building equipment | Fargnoli <i>et al.</i> | 2019 |
| The journey towards world class maintenance with profit loss indicator | Rødseth <i>et al.</i> | 2019 |
| Predictive Maintenance 4.0 as next evolution step in industrial maintenance development | Poór <i>et al.</i> | 2019 |
| Methodology of overall equipment effectiveness calculation in the context of industry 4.0 environment | Aleš <i>et al.</i> | 2019 |
| Embedding CSPC database with CPS to enhance toy product safety | Li <i>et al.</i> | 2019 |
| Maintenance 4.0 Technologies for Sustainable Manufacturing - an Overview | Jasiulewicz-Kaczmarek e Gola | 2019 |

TABELA 4 - ARTIGOS SELECIONADOS PARA REVISÃO DA LITERATURA (CONTINUAÇÃO)

| Título do Artigo | Pesquisadores | Ano |
|---|-------------------------------------|------------|
| Enhancing smart maintenance management using fog computing technology | Ashjaei e Bengtsson | 2018 |
| Cyber physical systems implementation for asset management improvement: A framework for the transition | Villar-Fidalgo <i>et al.</i> | 2018 |
| Maintenance - Identification and analysis of the competency gap | Antosz | 2018 |
| Maintenance 4.0: Intelligent and Predictive Maintenance System Architecture | Cachada <i>et al.</i> | 2018 |
| Towards an open-standards based framework for achieving condition-based predictive maintenance | Kaur <i>et al.</i> | 2018 |
| Research on operation and maintenance management of equipment under intelligent manufacturing | Cao | 2017 |
| On the Advancement of Maintenance Management Towards Smart Maintenance in Manufacturing | Macchi <i>et al.</i> | 2017 |
| The maintenance management in the macro-ergonomics context | Jasiulewicz-Kaczmarek <i>et al.</i> | 2017 |
| Big data summarisation and relevance evaluation for anomaly detection in cyber physical systems | Bagozi <i>et al.</i> | 2017 |
| Proactive approach to smart maintenance and logistics as a auxiliary and service processes in a company | Rakytá <i>et al.</i> | 2016 |
| Maintenance 4.0 in railway transportation industry | Kans <i>et al.</i> | 2016 |
| Industry 4.0-Potentials for Predictive Maintenance | Li <i>et al.</i> | 2016 |

FONTE: ELABORADO PELO AUTOR