

# O Novo Enfoque da Manutenção Preventiva das Máquinas e Equipamentos dos Processos Industriais



Luiz Gonzaga da Costa Neto - PPGEP/UNIMEP  
[gonzaga@gonzagaengenharia.com.br](mailto:gonzaga@gonzagaengenharia.com.br)

Fernando Celso de Campos - PPGEP/ UNIMEP  
[fernando.campos@unimep.br](mailto:fernando.campos@unimep.br)

*A inspeção dos equipamentos surgiu da necessidade de manter as instalações industriais em condições físicas satisfatórias, proporcionando o nível mínimo de segurança, disponibilidade e confiabilidade operacional, sendo que, essas inspeções por meios dos monitoramentos são os requisitos básicos para um planejamento das atividades de manutenção. O objetivo deste trabalho é analisar que por meios dos monitoramentos preditivo e / ou prescritivo poderá contribuir para a atividade de manutenção preventiva de condição real dos equipamentos, ou seja, apenas com a real necessidade, evitando as manutenções preventivas por intervalos pré-estabelecidos. Para tanto, foi realizada uma Revisão da Literatura, utilizando as palavras chave Maintenance 4.0, Manutenção Preventiva, Manutenção Inteligente, Manutenção Preditiva, identificando os principais autores e periódicos mais relevantes.*

*Palavras-chave: Maintenance 4.0, Manutenção Preventiva, Manutenção Inteligente, Manutenção Preditiva*

## 1. Introdução

Conhecer a condição real de funcionamento de equipamentos de produção faz a diferença entre sucesso e fracasso da manutenção, evitando falhas inesperadas com perdas operacionais. Técnicas e tecnológicas podem favorecer esse processo de condição (CARBONE, 2002). Para Schwab (2016), as novas tecnologias estão transformando a forma de como as organizações gerenciam seus ativos, recebendo melhorias de recursos digitais.

A denominada 4<sup>a</sup> Revolução Industrial, divulgada pela Alemanha desde 2011 (KAGERMANN, WAHLSTER & HELBIG, 2013), é um programa com as principais inovações tecnológicas de vários segmentos aplicadas a processos de fabricação e serviços, com tecnologias habilitadoras que permitem o surgimento de novos modelos de negócio, (CUFFOLILI & MUSCIO, 2018), podendo garantir a confiabilidade dos equipamentos automatizados, possibilitando em tempo real a condição operacional, identificando e atuando no ponto potencial de falha, ao mesmo tempo em que notificam a situação, por meio da *Internet of Things* (IoT) para um departamento, por exemplo o Planejamento e Controle da Manutenção (PCM). Os dados fornecidos por sensores *off-line*, *on-line* periódico ou *on-line* contínuo, colocados nos equipamentos permitem constante monitoramento preditivo e/ou prescritivo, que podem notificar quando uma parte do equipamento está fora de seus parâmetros normais de operação e para Di Nardo *et al.* (2020), a atividade de manutenção preventiva de condição, somente acontecerá conforme a necessidade.

O objetivo deste trabalho é analisar o novo enfoque da manutenção preventiva por meio de monitoramento preditivo e/ou prescritivo, que possibilita a atividade de manutenção preventiva somente na real necessidade, evitando intervalos pré-estabelecidos. Para tanto foi realizada uma revisão sistemática da literatura (RSL) identificando os principais trabalhos (mais citados) e uma revisão narrativa da literatura com relevantes publicações acerca do tema.

O artigo tem a seguinte estrutura: seção 2 apresenta a fundamentação teórica relacionada à Indústria 4.0 e manutenção explorando a correlação entre esses conceitos, a seção 3 detalha o método de pesquisa, a seção 4 contém os resultados em geral, seção 5 analisa e discute a amostra de artigos selecionados pela RSL, por fim na seção 6 estão as conclusões e contribuições da pesquisa.

## 2. Fundamentação teórica

É feita uma revisão sobre a Indústria 4.0, Manutenção Preventiva Sistemática, Manutenção Preventiva de Condição e suas interligações.

## 2.1. Indústria 4.0

Oztemel e Gursev (2020) afirmam que a 1ª revolução industrial começou no fim século XVIII, a 2ª revolução industrial aconteceu no começo do século XX, a 3ª revolução industrial ocorreu na década de 1970 e 4ª revolução industrial ou “Indústria 4.0” foi um esforço conjunto entre representantes de negócios, políticos e acadêmicos, promovendo a ideia de digitalização com autonomia e autogerenciamento das máquinas, como forma de aumentar o poder competitivo da indústria manufatureira alemã. Este conceito Indústria 4.0 apareceu publicado em 2011 na feira de Hannover, relativo à estratégia de alta tecnologia para 2020, denominado Programa “Industrie 4.0” e neste período (Odważny *et al.*, 2019) desta estratégia alemã vários modelos e ideias foram desenvolvidos.

Tupa, Simota e Steiner (2017) compreendem Indústria 4.0 como uma proposta de conexão de todas as partes das máquinas via dados e operações integradas, possibilitando melhor gestão de sistemas, processos e ativos.

## 2.2. Manutenção preventiva sistemática

Na NBR-5462 (1994) manutenção preventiva é a efetuada em intervalos pré-determinados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item e para Exner (2017), é manter as máquinas dependentes de intervalos de tempo fixo, e quando bem definidos (Rauch, Linder & Dallasega, 2020) aumentam a disponibilidade, porém (Viana, 2002) é todo serviço realizado em máquinas que não estejam em falha, sendo para (Vilarinho, Lopes & Oliveira, 2017) realizada para reduzir a manutenção corretiva, reforçado por Nagao (1998) que a melhor condição de manutenção é pelo monitoramento preditivo, chegando à atividade da manutenção preventiva de condição.

## 2.3. Manutenção Preventiva de Condição

A manutenção baseada em condição (CBM) é definida por Engeler (2016) como dados de componentes para identificar seu *status* atual e usado para determinar a data de manutenção. Para Exner *et al.* (2017) a CBM é cada vez mais relevante na prática da indústria, conduzida antes que ocorra uma falha.

Para Nemeth *et al.* (2018), a transformação digital tem um forte impacto nas técnicas e processos de fabricação e requer uma nova manutenção baseada em dados, apoiando tomada de decisão, garantindo a disponibilidade da máquina e a estabilidade do processo. Nesse sentido, Shin & Jun (2015) comentam que com o avanço da tecnologia de informação e

comunicação (TIC), consegue-se a visibilidade do *status* de componente durante o seu período de uso. A CBM faz o diagnóstico do *status* com base em dados de monitoramento, prevê anormalidades possibilitando ações de atividades de manutenção adequadas.

#### **2.4. Indústria 4.0, Manutenção Preventiva de Condição e Manutenção Preventiva Sistemática.**

Para Benesova *et al.* (2020) as mudanças da Indústria 4.0 trazem impacto inclusive na manutenção industrial e Mastos *et al.* (2020) afirmam que essa transformação de soluções tecnológicas beneficia a manutenção.

Glawar *et al.* (2016) comentam que com dados coletados em tempo real é possível que as atividades de CBM sejam realizadas somente na real necessidade, evitando-se a manutenção preventiva sistemática.

No contexto da Indústria 4.0 a CBM desenvolve-se por meio da conectividade e a manutenção preventiva sistemática programa-se de acordo com as necessidades durante um período operacional dos equipamentos, portando, o monitoramento preditivo *on-line* ou *off-line* e/ou prescritivo *on-line*, possibilitará a CBM dos equipamentos, como novo enfoque da manutenção preventiva.

### **3. Método de pesquisa**

O método de pesquisa adotado foi uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) permitindo identificação, avaliação e seleção de estudos existentes (TRANFIELD, DENYER, ESMART, 2003), a partir de um protocolo estruturado de pesquisa, descrito a seguir.

#### **3.1 Protocolo da RSL**

A RSL foi realizada com suporte do Software StArt – State of the Art through Systematic Review, versão 3.4 Beta – LAPES – Laboratório de Pesquisa em Engenharia de Software – UFSCAR (StArt, 2020).

O protocolo de pesquisa é apresentado no Quadro 1, com todos os elementos utilizados.

Quadro 1 - Protocolo de Pesquisa

<b>Estratégia</b>	<b>Protocolo</b>
Questão da pesquisa	Será possível reduzir à atividade de manutenção preventiva sistemática?
Base de dados	Scopus, Web of Science, Science Direct

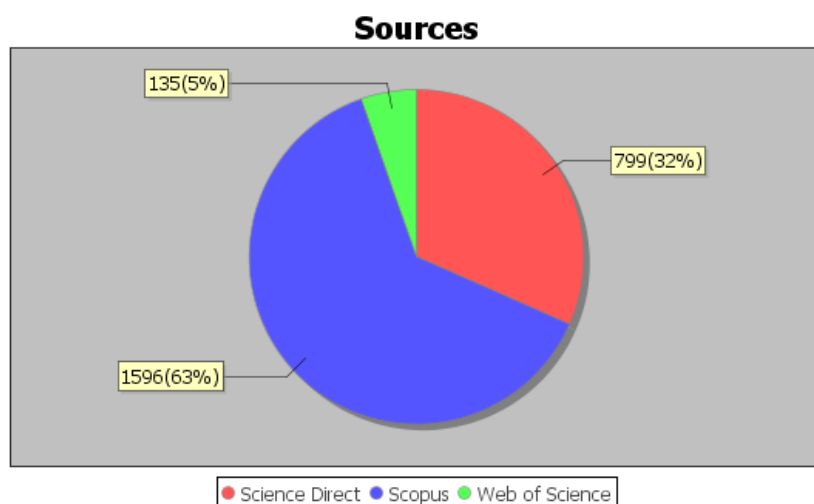
Palavras-Chave	<i>Maintenance 4.0, Preventive Maintenance, Intelligent Maintenance, Predictive Maintenance,</i>
Período	2015 a abril/2021
Idioma	Inglês, Português, Espanhol
Critério de exclusão	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Títulos não relacionados com o objetivo da pesquisa.</li> <li>• Artigos duplicados.</li> <li>• Não contenham no título, resumo e palavras-chave as <i>strings</i> de busca.</li> <li>• Artigos publicados fora do período.</li> <li>• Sites e Teses.</li> </ul>
Critérios de inclusão	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Artigos que contenham o título, resumo e palavras-chave as <i>strings</i> de busca.</li> <li>• Artigos publicados no período</li> </ul>

Fonte: Elaborado pelos Autores

### 3.2. Pesquisa e Refinamento

A pesquisa inicial resultou num total de 2530 trabalhos, no período (2015-abril/2021), distribuídos pelas bases de dados (Figura 1).

Figura 1 - Resultado inicial por base de dados



Fonte: StArt (2020)

Foram três filtros sobre a pesquisa inicial para selecionar os artigos:

- Primeiro filtro: Exclusão dos títulos não relacionados com objetivo da pesquisa, artigos duplicados, artigos (título, resumo e palavras-chave) sem conexão com as *strings* de busca, artigos publicados fora do período estabelecido, *sites* e teses, resultando 1947 artigos rejeitados e 535 artigos duplicados.

- Segundo filtro: Inclusão dos artigos (título, resumo e palavras-chave) com conexão com as *strings* de busca, artigos publicados no período definido, nos idiomas previstos, resultando 48 artigos.
- Terceiro filtro: Leitura dos resumos e das conclusões desses 48 artigos, com o intuito de selecionar somente os artigos que tratam o objetivo da pesquisa, resultando em 21 artigos para análise (Tabela 2).

#### 4. Resultados da pesquisa

Serão apresentadas as análises dos 21 artigos selecionados: por ano de publicação, por periódicos, e por números de citações.

Do ano de 2015, o primeiro publicado por Lee *et al.* (2015) tem como foco apresentar uma arquitetura sistemática para a aplicação do Sistema Ciber-físico (CPS) na manufatura, chamada 5C, que consiste em Conexão Inteligente, Conversão de Dados para Informações, Níveis de Cyber, Cognição e Configuração, facilitando a transformação de dados em informações, favorecendo a manutenção. O segundo publicado por Shin & Jun (2015), aborda a CBM detalhando a lógica de sua operacionalização atuando na previsão de anormalidades de ativos e executando ações de manutenção adequadas, antes de ocorrerem problemas graves.

A Tabela 1 apresenta os periódicos que mais publicaram sobre o tema, sendo: *Procedia CIRP* com 7 artigos publicados, seguido do *Procedia Manufacturing* com 4, e empatados com 2 o *International Journal of Productions Economics* e o *Computers & Industrial Engineering*. Esses quatro periódicos juntos foram responsáveis por 15 publicações dos 21 artigos selecionados.

Tabela 1 - Periódicos que mais publicaram no tema

Periódico	Número de publicação
<i>Procedia Cirp</i>	7
<i>Procedia Manufacturing</i>	4
<i>Computers &amp; Industrial Engineering</i>	2
<i>International Journal of Production Economics</i>	2
<b>Total</b>	<b>15</b>

Fonte: Elaborado pelos Autores

A análise de citações apresentada na Tabela 2 contém os 10 artigos com maior número de citações (*Top Ten*).

Tabela 2 - Artigos mais citados (*Top Ten*)

Autor/Ano	Artigo	Número de citação
-----------	--------	-------------------

Mrugalska, B., & Wyrwicka, M. K. (2017).	<i>Towards lean production in industry 4.0</i>	363
Lee, J., Ardakani, H. D., Yang, S., & Bagheri, B. (2015)	<i>Industrial big data analytics and cyber-physical systems for future maintenance &amp; service innovation</i>	313
Roy, R., Stark, R., Tracht, K., Takata, S., & Mori, M. (2016).	<i>Continuous maintenance and the future—Foundations and technological challenges.</i>	202
Tupa, J., Simota, J., & Steiner, F. (2017)	<i>Aspects of risk management implementation for Industry 4.0</i>	164
Bokrantz, J., Skoogh, A., Berlin, C., & Stahre, J. (2017)	<i>Maintenance in digitalised manufacturing: Delphi-based scenarios for 2030</i>	126
Rauch, E., Linder, C., & Dallasega, P. (2020)	<i>Anthropocentric perspective of production before and within Industry 4.0</i>	78
Ansari, F., Glawar, R., & Nemeth, T. (2019)	<i>PriMa: a prescriptive maintenance model for cyber-physical production systems</i>	50
Sakib, N., & Wuest, T. (2018).	<i>Challenges and opportunities of condition-based predictive maintenance: a review</i>	48
Jasiulewicz-Kaczmarek, M., & Gola, A. (2019)	<i>Maintenance 4.0 technologies for sustainable manufacturing-an overview.</i>	38
Vilarinho, S., Lopes, I., & Oliveira, J. A. (2017)	<i>Preventive maintenance decisions through maintenance optimization models: a case study</i>	35

Fonte: Elaborado pelos Autores

Mrugalska & Wyrwicka (2017) trataram da relevância de como a Indústria 4.0 pode ser mais bem descrita por três paradigmas: o produto inteligente, a máquina inteligente e o operador, seguido pelo artigo de Lee *et al* (2015) tratando de arquitetura sistemática para a aplicação do Sistema Ciber-físico (CPS) na manufatura, chamada 5C que será capaz de automatizar e centralizar o processamento de dados, como programação de manutenção e otimização do controle, obtendo maior produtividade e confiabilidade.

## 5. Análise e discussão

Conforme Ruschel, Santos & Loures (2017) intervalos bem definidos entre inspeções de manutenção preventiva aumentam a disponibilidade de equipamentos de processo, reduzindo a manutenção corretiva. (WYREBSKI, 1997).

A manutenção e seu custo continuam, ao longo dos anos, a chamar a atenção da gestão da produção que podem ser reduzidos, com uma abordagem de manutenção preventiva baseada em condição, em uma estrutura de monitoramento de máquina (MOURTZIS *ET AL*, 2016).

Valamede e Akkari (2020) comentam que a interconectividade, possibilitam o planejamento e as atividades de manutenção, com dados das condições reais de cada equipamento e com os avanços da Tecnologia de Informação e Comunicação (TIC) (Lee *et al*, 2015) as indústrias estão enfrentando novas oportunidades e desafios.

Roy *et al.* (2016) comentam que as tecnologias de monitoramento de condição são importantes para conhecer sua vida restante, que para Vlasov *et al.* (2018) fornece uma redução do tempo de inatividade e redução nos custos do equipamento.

Para Shin, & Jun (2015) a CBM com dados de monitoramento, prevê a anormalidade de ativos possibilitando ações de atividades de manutenção adequadas, e para Daniyan *et al* (2020), a prática do monitoramento preditivo facilitará a manutenção preventiva de condição. A notificação, aviso, visualização aprimorada e mais o apoio inteligente à tomada de decisão será de interesse (LINDSTROM, 2017). Para Rauch, Linder & Dallasrga (2020), o controle e monitoramento de sistemas complexos de produção aumentarão. Por esta razão, sistema sensorial irão desempenhar um papel importante na aquisição de dados.

Como a manutenção modernizada, muitas vezes chamadas de "Manutenção inteligente", afeta o desempenho de fábricas? Esta questão é um desafio para profissionais e estudiosos da indústria e da gestão de manutenção (BOKRANTS *ET AL*, 2020). Essa é a tendência, para monitoramento preditivo baseada em condição, transmitindo resultados em diferentes partes da máquina ou processo. (SAKIB & WUEST, 2018).

Vilarinho, Lope & Oliveira (2017), comentam que tecnologia sempre foi um fator-chave de mudança na indústria, levando as empresas a adotarem métodos para melhorar a decisão, devendo ser considerado o equilíbrio do desempenho da manutenção, riscos e custos para obter soluções de boa qualidade.

Manutenção 4.0 pode quebrar as compensações das estratégias mais antigas, permitindo aumento de vida útil dos equipamentos de produção, evitando tempo de inatividade não planejado, minimizando o tempo de inatividade planejado, aumentando a segurança de processos e pessoas (JASIULEWICZ-KACZMAREK & GOLA, 2019).

Para Ansari, Glawar & Nemeth, (2019) os sistemas de produção física cibernética como uma tecnologia emergente da Indústria 4.0, acionam um paradigma de mudança da manutenção descritiva para a prescritiva, levando à evolução e transformação de estratégias e modelos de manutenção baseada em conhecimento (*knowledge-based maintenance* - KBM) de diagnóstico para preditivo e prescritivo.



De acordo com Ales *et al.* (2019) o desafio da Indústria 4.0 com a questão da *Industrial Internet of Things* (IIoT) é altamente acentuada, incluindo a questão de gestão autônoma e comunicação de máquinas e equipamentos individuais dentro do processo produtivo. Para Tupa, Simota, & Steiner (2017) comentam que, com conexão das máquinas por meio de dados e operações integradas, possibilita uma melhor gestão de sistemas, processos e ativos.

Segundo Bokrantz *et al.* (2020) com a introdução de tecnologias digitais em sistemas de produção, será possível avançar na compreensão do que faz certas práticas eficazes, no entanto cresce o número de conceitos, acontecendo a preocupação com problemas devido a falta de clareza do conceito, manifestando na proliferação de conceitos com nomes diferentes. “*E-maintenance*”, “*Prognostics and health management*”, “*Predictive maintenance*”, “Manutenção 4.0”, “Manutenção inteligente”.

Com novo enfoque da manutenção preventiva, e a falta de clareza do conceito de manutenção, proliferando manifestações diversas, pode-se definir que a manutenção é uma atividade de execução de serviços, e de acordo com muitos autores, é o conjunto de ações necessárias para manter ou reestabelecer um equipamento nas suas funções, sendo assim, a manutenção industrial se definiu como um conjunto de atividades de execução de serviços, sendo dividida em:

- Manutenção corretiva: Execução da falha ocorrida.
- Manutenção preventiva sistemática: Execução em intervalos de tempo pré-determinados.
- Manutenção preventiva de condição: Execução somente quando for identificado a necessidade real.

Alguns autores, considera-se ainda o termo manutenção preditiva, manutenção detectiva e com o advento da indústria 4.0, manutenção prescritiva, sendo que, esses termos não se referem a execução da manutenção, mas sim, a realização de atividades de monitoramentos da condição real do equipamento, podendo ser definidas como:

- Monitoramento preditivo: análise da condição do equipamento e sistema, indicando a necessidade de intervenção com base no estado do equipamento, através dos monitoramentos objetivo e subjetivo:
  - ✓ Monitoramento objetivo: Identificação da condição operacional do equipamento por meio de medição e acompanhamento de parâmetros, podendo ser *on-line* ou *off-line* periódico e *on-line* contínuo.

- ✓ Monitoramento subjetivo: Identificação da condição operacional do equipamento por meio dos sentidos humanos.
- ✓ Monitoramento detectivo: análise da condição do equipamento e sistema, indicando as falhas ocultas, por meio de medições *of-line* periódico e simulações.
- Monitoramento prescritivo: análise da condição do equipamento em tempo real, por meio de sensores inteligentes (sensores microprocessados) *on-line* contínuo que estabelece recomendações e ações para evitar a falha.

O monitoramento subjetivo se realiza pelos sentidos humanos e ocorrerá tão somente pela inspeção visual e outras técnicas como audição, tato, olfato, sempre com o equipamento em operação, podem trazer benefícios por meio da experiência do manutentor, buscando a disponibilidade do equipamento, evitando uma parada inesperada.

Para Pelantova e Cecak (2018) a garantia da continuidade e da qualidade da produção leva parte das organizações a pensar no *status* da manutenção de seus equipamentos. A manutenção é influenciada por muitos fatores no momento, e devem apresentar novas orientações de gerenciamento de manutenção. Di Nardo *et al.* (2020) comentam que com o monitoramento de máquinas é possível prever a necessidade de uma intervenção de manutenção, viabilizando a estratégia de monitoramento preditivo, e as atividades de manutenção serão planejadas com base nas condições reais dos equipamentos.

A importância do monitoramento das máquinas e equipamentos é conhecer a condição operacional, possibilitando o novo enfoque da manutenção preventiva, apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Novo enfoque da manutenção preventiva

<b>Atual</b>	<b>Novo enfoque</b>
Manutenção preditiva	Monitoramento preditivo
Manutenção detectiva	Monitoramento dedectivo
Manutenção prescritiva	Monitoramento prescritivo
Manutenção preventiva sistemática	Manutenção preventiva de condição

Fonte: Elaborado pelos Autores

A Tabela 3 demonstra o novo enfoque da manutenção preventiva, buscando a condição operacional sempre pelos monitoramentos.

## 6. Conclusão

O objetivo deste trabalho foi analisar a possibilidade dos monitoramentos preditivo e/ou prescritivo contribuir para a execução da atividade de manutenção preventiva de condição do equipamento, ou seja, somente na real necessidade, evitando a manutenção preventiva por intervalos pré-estabelecidos,

A RSL e a revisão narrativa da literatura contribuíram para verificar a situação atual da literatura em relação ao tema, promovendo para a sociedade a confiabilidade operacional e na prática a disponibilidade de equipamentos de processo.

Os trabalhos analisados apresentaram que o monitoramento preditivo e/ou prescritivo com sensores colocados nas máquinas e equipamentos, contribui na identificação do ponto potencial de falha, proporcionando à atividade de manutenção preventiva de condição do equipamento, ou seja, somente na real necessidade, evitando uma parada para manutenção preventiva por tempo pré-estabelecido, possibilitando a confiabilidade operacional e a disponibilidade.

Com aplicação da tecnologia, a manutenção preventiva de condição, ou seja, em tempo real dos sensores de medição, contribui na melhoria do desempenho econômico e fornece estabilidade do processo de manufatura. As tecnologias conectadas podem ajudar a Gestão da Manutenção. A revisão realizada apresenta as seguintes limitações: poucos trabalhos foram selecionados com a temática analisada, os critérios de seleção e filtragens foram pautados nas palavras-chave, o que pode ter levado a não inclusão de alguns artigos relevantes para o estudo.

Como sugestões para pesquisas futuras: utilizar a combinação das palavras-chave, como também, propor o indicador de desempenho para este conceito de manutenção preventiva de condição.

Apesar das limitações apresentadas, o artigo contribui para a literatura, com escopo de atuação que o tema possibilita.

## Agradecimentos

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

## Referências

Ales, Z., PAVlů, J., Legát, V., Mošna, F., & Jurča, V. **Methodology of overall equipment effectiveness calculation in the context of Industry 4.0 environment**. *Eksplatacja i Niezawodność*, 21, 2019.

Ansari, F., Glawar, R., & Nemeth, T. PriMa: a **prescriptive maintenance model for cyber-physical production systems**. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 32(4-5), 482-503, 2019.

- Benešová, A., & Tupa, J. **Requirements for education and qualification of people in Industry 4.0.** *Procedia Manufacturing*, 11, 2195-2202, 2017.
- Bokrantz, J., Skoogh, A., Berlin, C., Wuest, T., & Stahre, J. **Smart Maintenance: a research agenda for industrial maintenance management.** *International Journal of Production Economics*, 224, 107547, 2020.
- Carbone L. C., **A Importância da Monitoração de Máquinas**, Nova Manutenção Y Qualidade, Ano 9, n. 42. 2002.
- Ciffolilli, A., & Muscio, A. **Industry 4.0: national and regional comparative advantages in key enabling technologies.** *European Planning Studies*, 26(12), 2323-2343, 2018.
- Daniyan, I., Mpofu, K., Oyesola, M., Ramatsetse, B., & Adeodu. **Artificial intelligence for predictive maintenance in the railcar learning factories.** *Procedia Manufacturing*, 45, 13-18, 2020.
- Di Nardo, M., Clericuzio, M., Murino, T., & Sepe, C. **An Economic Order Quantity Stochastic Dynamic Optimization Model in a Logistic 4.0 Environment.** *Sustainability*, 12(10), 4075, 2020.
- Engeler, M., Treyer, D., Zogg, D., Wegener, K., & Kunz. **Condition-based maintenance: model vs. Statistics a performance comparison.** *Procedia CIRP*, 57, 253-258, 2016.
- Exner, K., Schnürmacher, C., Adolphy, S., & Stark, R. **Proactive maintenance as success factor for use-oriented Product-Service Systems.** *Procedia CIRP*, 64, 330-335, 2017.
- Glawar r., Kemeny Z, Nemeth T., Matyas K., Monostori L., Sihh W. **A Holistic Approach for Quality Oriented Maintenance Planning Supported By Data Mining Methods.** *Procedia CIRP* 57, 259-264, 2016.
- Jasiulewicz-Kaczmarek, M., & Gola, A. **Maintenance 4.0 technologies for sustainable manufacturing-an overview.** *IFAC-PapersOnLine*, 52(10), 91-96, 2019.
- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. **Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0: Final report of the Industrie 4.0 Working Group.** Forschungsunion: Berlin, Germany, 2013.
- Lee, J., Ardakani, H. D., Yang, S., & Bagheri, B. **Industrial big data analytics and cyber-physical systems for future maintenance & service innovation.** *Procedia cirp*, 38, 3-7, 2015.
- Lindström, J., Larsson, H., Jonsson, M., & Lejon, E. **Towards intelligent and sustainable production: combining and integrating online predictive maintenance and continuous quality control.** *Procedia CIRP*, 63, 443-448, 2017.
- Mastos, T. D., Nizamias, A., Vafeiadis, T., Alexopoulos, N., Ntinias, C., Gkortzis, D. & Tzouvaras, D. **Industry 4.0 sustainable supply chains: An application of an IoT enabled scrap metal management solution.** *Journal of Cleaner Production*, 122377, 2020.
- Mourtzis, D., Vlachou, E., Milas, N., & Xanthopoulos, N. **A cloud-based approach for maintenance of machine tools and equipment based on shop-floor monitoring.** *Procedia Cirp*, 41, 655-660, 2016.
- Mrugalska, B., & Wyrwicka, M. K. **Towards lean production in industry 4.0.** *Procedia engineering*, 182, 466-473, 2017.
- Nagao S. K., **Manutenção Industrial: Análise, Diagnostica e Proposta de Melhoria de Performance em indústrias de Processo.** Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 1998.
- Nemeth, T., Ansari, F., Sihh, W., Haslhofer, B., & Schindler, A. **PriMa-X: A reference model for realizing prescriptive maintenance and assessing its maturity enhanced by machine learning.** *Procedia CIRP*, 72, 1039-1044, 2018.

Norma Brasileira NBR-5462, ABNT - **Associação Brasileira de Normas Técnicas, Confiabilidade e Manutenibilidade**, Rios de Janeiro, RJ, 1994.

Odważny, F., Wojtkowiak, D., Cyplik, P., & Adamczak, M. **Concept for measuring organizational maturity supporting sustainable development goals**. *LogForum*, 15, 2019.

Oztemel, E., & Gursev, S. **Literature review of Industry 4.0 and related technologies**. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 31(1), 127-182, 2020.

Pelantova, V., & Cecak, P. **New aspects of maintenance management and the material of spare parts**. In: *MM Science Journal*, 1(2018), 2283-2289, 2018.

Rauch, E., Linder, C., & Dallasega, P. **Anthropocentric perspective of production before and within Industry 4.0**. *Computers & Industrial Engineering*, 139, 105644, 2020.

Roy, R., Stark, R., Tracht, K., Takata, S., & Mori, M. **Continuous maintenance and the future—Foundations and technological challenges**. *Cirp Annals*, 65(2), 667-688, 2016.

Ruschel, E., Santos, E. A. P., & Loures, E. D. F. R. **Mining shop-floor data for preventive maintenance management: integrating probabilistic and predictive models**. *Procedia Manufacturing*, 11, 1127-1134, 2017.

Sakib, N., & Wuest, T. **Challenges and opportunities of condition-based predictive maintenance: a review**. *Procedia CIRP*, 78, 267-272, 2018.

Schwab, K. **A Quarta Revolução Industrial; Tradução Daniel Moreira Miranda**, São Paulo, Edipro, ISBN 978-85-7283-978-5, 2016.

Shin, J. H., & Jun, H. B. **On condition based maintenance policy**. *Journal of Computational Design and Engineering*, 2, 119-127, 2015.

StArt – **State of the Through Systematic Review**, versão 3.4 Beta – LAPES – Laboratório de Pesquisa em Engenharia de Software – UFSCAR, Disponível para download em: <[http://lapes.dc.ufscar.br/tools/start\\_tool](http://lapes.dc.ufscar.br/tools/start_tool)> Acessado em março/2020.

Tranfield, D., Denyer, D., & Smart, P. **Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review**. *British journal of management*, 14(3), 207-222, 2003.

Tupa, J., Simota, J., & Steiner, F. **Aspects of risk management implementation for Industry 4.0**. *Procedia manufacturing*, 11, 1223-1230, 2017.

Valamede, L. S., & Akkari, A. C. S. **Lean 4.0: A New Holistic Approach for the Integration of Lean**. *Manufacturing Tools and Digital Technologies*, 2020.

Viana, H. R. G., **PCM – Planejamento e Controle de Manutenção**, Rio de Janeiro, ed. Qualitymark, 2002.

Vilarinho, S., Lopes, I., & Oliveira, J. A. **Preventive maintenance decisions through maintenance optimization models: a case study**. *Procedia Manufacturing*, 11, 1170-1177, 2017.

Vlasov, A. I., Echeistov, V. V., Krivoshein, A. I., Shakhnov, V. A., Filin, S. S., & Migalin, V. S.. An **information system of predictive maintenance analytical support of industrial equipment**. *Journal of applied engineering science*, 16(4), 515-522, 2018.

Wyresbski, J., **Manutenção Produtiva Total: Um Modelo Adaptado**, Dissertação de Mestrado em Engenharia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997