



VIII SINGEP

Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade
International Symposium on Project Management, Innovation and Sustainability
ISSN: 2317-8302

8TH INTERNATIONAL CONFERENCE



MANUTENÇÃO DE ATIVOS NA INDÚSTRIA 4.0: ANÁLISE DA LITERATURA E SUGESTÃO DE AGENDA DE PESQUISAS FUTURAS

ASSET MAINTENANCE IN INDUSTRY 4.0: LITERATURE ANALYSIS AND FUTURE RESEARCH AGENDA

GLAUBER ROGER NEVES

UNINOVE – UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO

THAYS APARECIDA VENDRAMIN DELECRODIO

UNINOVE – UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO

WAGNER CEZAR LUCATO

UNINOVE – UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO

Nota de esclarecimento:

Comunicamos que devido à pandemia do Coronavírus (COVID 19), o VIII SINGEP e a 8ª Conferência Internacional do CIK (CYRUS Institute of Knowledge) foram realizados de forma remota, nos dias **01, 02 e 03 de outubro de 2020**.

Agradecimento à orgão de fomento:

Os autores agradecem ao Conselho Nacional para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPQ pelo suporte financeiro necessário para desenvolver este trabalho.



VIII SINGEP

Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade
International Symposium on Project Management, Innovation and Sustainability
ISSN: 2317-8302

8TH INTERNATIONAL CONFERENCE



MANUTENÇÃO DE ATIVOS NA INDÚSTRIA 4.0: ANÁLISE DA LITERATURA E SUGESTÃO DE AGENDA DE PESQUISAS FUTURAS

Objetivo do estudo

este artigo tem como propósito central investigar a produção científica recente a respeito da manutenção de ativos na era da Indústria 4.0.

Relevância/originalidade

Nos últimos anos, um novo contexto da indústria, denominado Indústria 4.0, vem se ampliando e revolucionando a forma de planejar e executar a manufatura industrial. A Indústria 4.0, integrada com aspectos tecnológicos, proporciona a execução de fábricas inteligentes com estruturas modulares, capazes de maximizar a produção e economizar custos. São plantas industriais aptas a tratarem de complexidades maiores, menos propensas a interrupções, nas quais humanos e máquinas comunicam-se entre si de forma natural.

Metodologia/abordagem

Como método, utilizou-se uma revisão sistemática da literatura, combinando bibliometria e análise de conteúdo.

Principais resultados

A revisão bibliográfica realizada de forma sistemática permitiu localizar as publicações mais relevantes relacionadas ao tema estudado.

Contribuições teóricas/metodológicas

Procurou-se diagnosticar quais lacunas de pesquisa oferecem oportunidades para desenvolvimentos futuros.

Contribuições sociais/para a gestão

Assim, este trabalho visa contribuir para uma compreensão mais ampla das implicações e oportunidades das tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 nas áreas de manutenção das empresas.

Palavras-chave: Industria 4.0, Manutenção de ativos, Bibliometria



VIII SINGEP

Simposio Internacional de Gestao de Projetos, Inovacao e Sustentabilidade
International Symposium on Project Management, Innovation and Sustainability
ISSN: 2317-8302

8TH INTERNATIONAL CONFERENCE



ASSET MAINTENANCE IN INDUSTRY 4.0: LITERATURE ANALYSIS AND FUTURE RESEARCH AGENDA

Study purpose

This article has as its central purpose to investigate the recent scientific production regarding the maintenance of assets in the era of Industry 4.0.

Relevance / originality

In recent years, a new context in the industry, called Industry 4.0, has been expanding and revolutionizing the way of planning and executing industrial manufacturing. Industry 4.0, integrated with technological aspects, allows the execution of intelligent factories with modular structures, capable of maximizing production and saving costs. They are industrial plants able to deal with greater complexities, less prone to interruptions, in which humans and machines communicate with each other in a natural way.

Methodology / approach

As a method, a systematic literature review was used, combining bibliometry and content analysis.

Main results

The literature search carried out through a systematic review allowed to locate the most relevant publications related to the studied topic.

Theoretical / methodological contributions

We sought to diagnose which research gaps offer opportunities for future developments.

Social / management contributions

Thus, this work aims to contribute to a broader understanding of the implications and opportunities of enabling technologies of Industry 4.0 in the areas of company maintenance.

Keywords: Industry 4.0, Asset management, Bibliometrics



1 Introdução

De acordo com Madu (2000), em muitos casos os custos de manutenção podem atingir de 15% a 70% do custo total de fabricação de um produto ou mesmo exceder o lucro líquido anual de uma empresa. Neste contexto, é cada vez mais necessário que estratégias de manutenção adequadas possam ser implantadas a fim de melhorar a confiabilidade e disponibilidade de sistemas de produção no sentido de garantir qualidade, pontualidade de entrega e custos competitivos dos produtos (Ding & Kamaruddin, 2015; He, Gu & Chen, 2017).

Com o rápido desenvolvimento da tecnologia da informação e da ciência da computação e suas integrações com as atividades de produção industrial, diversas oportunidades e desafios são identificados para o desenvolvimento de novas aplicações (Babiceanu & Seker, 2016; Al-Ahmari & Li, 2016). A tendência mais recente do avanço tecnológico encontrado na Indústria 4.0, abre possibilidades com a utilização de, por exemplo, Sistemas Ciber-físicos, Internet das Coisas, Big Data, Armazenamento na Nuvem, entre outras tecnologias.

A Indústria 4.0 pode impactar a manutenção de ativos por meio de soluções que facilitam o gerenciamento nos sistemas de produção, em uma maior capacidade de operação e no seu planejamento. A manutenção e a confiabilidade aprimoram o desempenho de ativos com base na análise de modos de falha, detecção e sinais de desgaste e ciclo de vida. A interoperabilidade, virtualização, capacidade em tempo real e computação cognitiva são fontes que definem a Indústria 4.0 na manutenção de ativos. Essa tecnologia pode diminuir os custos de manutenção desnecessários e ajudar a refinar o tempo de atividade e disponibilidade dos equipamentos de produção.

Com base nessas observações, a realização de pesquisas que identifiquem trabalhos científicos que abordam a temática de manutenção de ativos no âmbito da Indústria 4.0 se faz necessária para que se possam identificar eventuais lacunas que venham a servir de orientadores para pesquisas e desenvolvimentos futuros. Nesse sentido, este artigo tem como propósito central investigar a produção científica recente a respeito da manutenção de ativos no contexto da Indústria 4.0, o que é feito por meio da revisão sistemática da literatura, mesclando um estudo bibliométrico e a análise de conteúdo dos artigos recentes que tratam sobre o tema de interesse deste trabalho.

2 A manutenção no contexto de Indústria 4.0

A manutenção está no centro de toda a operação de uma empresa ou organização. Nesse sentido, Pinto (2016) reforça que “de pouco adianta ao gestor de operações procurar ganhos de produtividade se os equipamentos não dispõem de manutenção adequada”.

De acordo com Mobley (2002) o objetivo da manutenção é prevenir todas as perdas causadas por problemas nos equipamentos. A missão dos responsáveis pela manutenção é o de atingir e manter:

- Disponibilidade ideal - A capacidade produtiva de uma fábrica é em parte determinada pela disponibilidade dos sistemas de produção. A equipe de manutenção deve assegurar que todos os equipamentos estão em boas condições de operação;
- Condições operacionais ideais - Deve ser assegurado que todos os equipamentos e sistemas estão nas suas condições de operação ideais;
- Utilização máxima dos recursos da manutenção - A equipe de manutenção controla uma parte substancial do orçamento total de operações na maioria das fábricas. Além disso, normalmente gere o inventário de peças, contratação de empresas externas e requisições



de recursos em componentes para reparação ou equipamentos substitutos. Portanto, um dos objetivos da manutenção deve ser uma gestão eficiente destes recursos;

- Vida útil máxima do equipamento - Uma das maneiras de reduzir os custos de manutenção é estender a vida útil dos equipamentos;
- Mínimo de inventário de peças - Reduções de inventário deve ser um dos grandes objetivos do departamento da manutenção. No entanto, a redução não deve colocar em causa os primeiros quatro objetivos. Com tecnologias de manutenção preventiva disponíveis nos dias de hoje, a manutenção pode antecipar a necessidade de um equipamento específico ou componentes com antecedência suficiente para adquiri-las com base na necessidade;
- Capacidade de reagir rapidamente - Nem todas as avarias podem ser evitadas. Assim, o setor de manutenção deve conseguir reagir rapidamente a uma avaria inesperada.

Roy, Stark, Tracht, Takata e Mori (2016) relatam que produtos de alto valor são tipicamente tecnológicos, caros e críticos quanto à confiabilidade, exigindo uma manutenção contínua durante todo o seu ciclo de vida. Exemplos de ativos de alto valor incluem máquinas-ferramentas, motores de aeronaves, usinas nucleares, trens, equipamentos de defesa, automóveis, equipamentos médicos, turbinas eólicas, entre outros.

Conforme Lee, Bagueri e Kao (2015), a Indústria 4.0 é um conceito de indústria reportado recentemente e que engloba as mais importantes inovações tecnológicas dos campos de automação, controle e tecnologia da informação, aplicadas aos processos de manufatura. A partir de Sistemas Cyber-Físicos, Internet das Coisas e Internet dos Serviços, os processos de produção tendem a se transformar em modelos mais eficientes, autônomos e customizáveis. Com as fábricas inteligentes, diversas alterações ocorrerão na forma em que os produtos serão produzidos, resultando impactos em diversos setores do mercado (Lee *et al.*, 2015).

Para Brettel, Friederichsen, Keller e Rosenberg (2014), os fundamentos para o desenvolvimento e implantação da indústria 4.0 são:

- Capacidade de operação em tempo real - consiste na aquisição e tratamento de dados de forma praticamente instantânea, permitindo a tomada de decisões em tempo real.
- Virtualização - simulações já são utilizadas atualmente, assim como sistemas supervisórios. No entanto, a indústria 4.0 propõe a existência de uma cópia virtual das fábricas inteligentes. Permitindo a rastreabilidade e monitoramento remoto de todos os processos por meio dos inúmeros sensores espalhados ao longo da planta.
- Descentralização - a tomada de decisões poderá ser feita pelo sistema cyber-físico de acordo com as necessidades da produção em tempo real. Além disso, as máquinas não apenas receberão comandos, mas poderão fornecer informações sobre seu ciclo de trabalho. Logo, os módulos da fábrica inteligente trabalharão de forma descentralizada a fim de aprimorar os processos de produção.
- Orientação a serviços - utilização de arquiteturas de software orientadas a serviços aliado ao conceito de Internet of Services.
- Modularidade - produção de acordo com a demanda, acoplamento e desacoplamento de módulos na produção. O que oferece flexibilidade para alterar as tarefas das máquinas facilmente.

De acordo com Stock e Seliger (2016), na indústria 4.0, os produtos, os *stakeholders* (clientes, funcionários ou fornecedores), e os equipamentos de fabricação estão embutidos em uma rede virtual, trocando dados entre as diferentes fases do ciclo de vida do produto. Este ciclo de vida consiste na fase de aquisição da matéria-prima, a fase de fabricação, contendo o desenvolvimento do produto, a engenharia do sistema industrial e a fabricação do produto, a fase de uso e serviço, a fase do fim de vida, englobando a reutilização, remanufatura, reciclagem, recuperação e eliminação, bem como o transporte entre todas as fases.



Os métodos atuais de manutenção de equipamentos, em sua maioria, dependem de um sistema de alarmes e da boa vontade de um operador em relatar as falhas apresentadas pelo equipamento ao departamento de manutenção da empresa. A falha precisa ser exatamente localizada e resolvida, podendo ocorrer um desligamento no processo de produção. Com o apoio das tecnologias habilitadores da Indústria 4.0, os dados do equipamento podem ser coletados em tempo real, incluindo alarmes, registros e *status* do dispositivo, a fim de avaliar a condição de saúde dos ativos e detectar preventivamente as falhas. Portanto, a manutenção na Indústria 4.0 é proativa e pode encontrar os problemas antecipadamente. Nesta perspectiva, as oportunidades de desenvolvimento de manutenção 4.0 no ciclo de vida dos produtos são enormes, podendo gerar receita e lucro adicionais para as empresas (Wan *et al.*, 2017).

3 Metodos

De acordo com Gil (2010), este artigo é descritivo e exploratório com abordagem qualitativa e quantitativa, a partir da realização de um estudo bibliométrico e revisão da literatura, com utilização de ferramentas da estatística descritiva.

A análise bibliométrica realizada neste trabalho foi composta por: uma busca sistemática de publicações sobre os assuntos pesquisados, ou seja, a coleta de dados; e a seleção de alguns artigos que seriam mais relevantes e aderentes ao objetivo do estudo, e que foram discutidos.

As bases de dados definidas e utilizadas foram a Science Direct, Scopus e Web of Science, devido ao grande volume de publicações e a popularidade na área de engenharia e ciência da computação, além de estarem entre as maiores associações científicas com importante renome e credibilidade na área acadêmica.

O termo de pesquisa é resultante de algumas constatações e passaram por algumas adaptações após a realização de testes. Durante as primeiras pesquisas nas bases, verificou-se que o assunto Indústria 4.0 tem sido intensamente estudado nos últimos anos e, portanto, um número considerável de publicações pôde ser percebido dentre os resultados das pesquisas bibliográficas realizadas. Como o presente artigo se concentra na análise envolvendo trabalhos cujo tema é Indústria 4.0 e manutenção, a Figura 1 indica os termos de busca e as palavras-chave utilizadas com expressões booleanas (AND e OR), que permitem a combinação de palavras-chave no sentido de se aproximar o melhor possível de um termo específico, referentes a pesquisa de artigos disponíveis nas bases de dados.

| Palavras-chave de MCDM | Operador Lógico | Palavras-chave de métodos MCDM |
|-------------------------------------|-----------------|--------------------------------|
| ("industry 4.0" OR "industrie 4.0") | AND | ("maintenance") |

Figura 1. Termo de busca formulado para busca nas bases científicas

Fonte: Os Autores.

As buscas foram realizadas nas bases de dados durante o mês de novembro de 2019, pesquisando os termos nos títulos, resumos e palavras-chave. Após a busca dos termos nas bases, foi realizada um refinamento na pesquisa, aplicando-se os filtros de tipo de documento para apenas “artigos” publicados em periódicos, no período de 2014 a 2019. Os resultados encontrados estão expressos na Figura 2.



| Base de Dados | Busca Inicial | Aplicação de Filtro (artigos de 2014-2019) | Resultado final (após elim. duplicados / irrelevantes) |
|----------------|---------------|--|--|
| Science Direct | 87 | 82 | 225 |
| Scopus | 550 | 163 | |
| Web of Science | 364 | 175 | |
| Total: | 1001 | 420 | 225 |

Figura 2.1 Frequência do número de produção científica por base de dados

Fonte: Os Autores.

Em uma etapa seguinte, os dados das pesquisas nas bases foram exportados para o *software* EndNote, o que viabilizou a exclusão dos trabalhos duplicados automaticamente. O EndNote é um aplicativo desenvolvido pela empresa Thomson Reuters, que proporciona a organização e gerenciamento de referências bibliográficas. O sistema permite a aplicação de vários filtros de pesquisa, análise simultânea de grande quantidade de referências e a possibilidade de exportação dos dados para o Microsoft Excel, o que facilita a realização de uma análise bibliométrica. Em seguida, foi realizada uma análise individual de cada título e resumo, avaliando a adequação de cada artigo ao assunto aqui pesquisado, eliminando-se os documentos irrelevantes. Ao final se obteve um total de 225 artigos para serem estudados.

Na sequência, executou-se o desenvolvimento das estatísticas dos trabalhos explorados, elaborando figuras, quadros e gráficos a respeito dos autores, periódicos, citações, entre outros. Também, a partir da pesquisa bibliométrica, foi desenvolvido uma nuvem das palavras-chave por meio do *software* Wordle, dando maior destaque às palavras-chave mais presentes nos textos de origem. Após o levantamento dos dados numéricos, escolheu-se alguns documentos mais relevantes para que fossem analisados na íntegra, apontando as diferentes abordagens sobre as temáticas.

4 Análise dos resultados

Neste item são levantadas as principais particularidades da análise bibliométrica, sendo discutidos os resultados encontrados.

4.1 A evolução da produção científica

Verificou-se primeiramente a frequência de artigos por ano entre os 225 artigos publicados no período estudado. De acordo com a Figura 3, observa-se que entre os anos 2014 e 2015 não houve um número expressivo de publicações, com apenas 9 artigos neste período. A partir de 2016 é possível verificar um crescimento em relação aos anos anteriores, ressaltando-se o pico ocorrido em 2019, até o momento, com 83 artigos publicados.

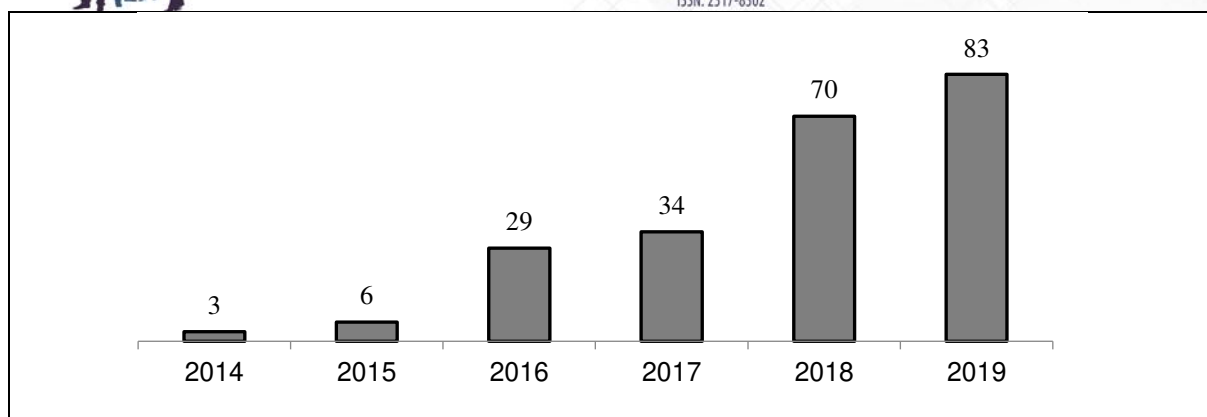


Figura 3. Frequência absoluta (n) da evolução da produção científica de artigos no período de 2014 a 2019
Fonte: Os Autores.

Também, investigou-se quais referências foram as mais citadas entre os 225 artigos publicados no período. Optou-se, intencionalmente, por tabelar somente publicações que foram citadas 30 vezes ou mais. Assim, chegou-se ao total de 10 publicações, que foram listadas por ordem decrescente de frequência de citações, conforme com a Figura 4. O artigo de Stock e Seliger (2016), *Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0*, foi o que obteve o maior número de citações (n=192) durante o período pesquisado.

| Rank | Título do Artigo | Autores | Título da fonte | Citações |
|------|--|---|---|----------|
| 1º | Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0 | Stock e Seliger (2016) | 13th Global Conference on Sustainable Manufacturing – Decoupling Growth from Resource Use | 192 |
| 2º | A Manufacturing Big Data Solution for Active Preventive Maintenance | Wan <i>et al.</i> (2017) | IEEE Transactions on Industrial Informatics | 85 |
| 3º | Continuous maintenance and the future - Foundations and technological challenges | Roy <i>et al.</i> (2016) | CIRP Annals - Manufacturing Technology | 73 |
| 4º | Digital Twin and Big Data Towards Smart Manufacturing and Industry 4.0: 360 Degree Comparison | Qi e Tao (2018) | IEEE Access | 70 |
| 5º | Digital Twin Shop-Floor: A New Shop-Floor Paradigm Towards Smart Manufacturing | Tao e Zhang (2017) | IEEE Access | 62 |
| 6º | An industrial big data pipeline for data-driven analytics maintenance applications in large-scale smart manufacturing facilities | O'Donovan, Leahy, Bruton e O'Sullivan, (2015) | Journal of Big Data | 50 |
| 7º | Cyber-physical Systems Architecture for Self-Aware Machines in Industry 4.0 Environment | Bagheri, Yang, Kao e Lee (2015) | 15th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing | 45 |
| 8º | Industrial Process Monitoring in the Big Data/Industry 4.0 Era: From Detection, to Diagnosis, to Prognosis | Reis e Gins (2017) | Processes | 38 |
| 9º | A Digital Twin-Based Approach for Designing and Multi-Objective Optimization of Hollow Glass Production Line | Zhang, Liu, Chen, Zhang, e Leng (2017) | IEEE Access | 35 |




| | | | | |
|-----|--|---------------------------|-------------|----|
| 10° | Industrial Big Data in an Industry 4.0 Environment: Challenges, Schemes, and Applications for Predictive Maintenance | Yan, Meng, Lu e Li (2017) | IEEE Access | 31 |
|-----|--|---------------------------|-------------|----|

Figura 4. Os 10 trabalhos mais referenciados no período de 2014 a 2019

Fonte: Os Autores.

Com relação às entidades nas quais as pesquisas foram realizadas, a Figura 5 mostra o *ranking* das 13 primeiras com maior número ($n \geq 4$) de autorias de publicações. Nos 225 resultados da pesquisa foram encontradas 408 entidades de pesquisa com pelo menos uma autoria nas bases pesquisadas. Entre as 13 mais bem colocadas, constata-se que três são italianas. A China e a Suécia possuem, cada uma, dois artigos publicados entre as primeiras classificadas.

| Rank | Instituição de Ensino | Nº Artigos | Cidade | País |
|------|---|------------|------------|------------------|
| 1° | Politecnico di Milano | 8 | Milão | Itália |
| 2° | University of Cambridge | 7 | Cambridge | Reino Unido |
| 3° | Beihang University | 6 | Pequim | China |
| | Shanghai Jiao Tong University | 6 | Xangai | China |
| 4° | Politecnico di Bari | 5 | Bari | Itália |
| 5° | Brno University of Technology | 4 | Brno | República Tcheca |
| | Centre National de la Recherche Scientifique CNRS | 4 | Paris | França |
| | Chalmers University of Technology | 4 | Gotemburgo | Suécia |
| | Indian Institute of Technology | 4 | Nova Délhi | Índia |
| | Luleå University of Technology | 4 | Luleå | Suécia |
| | Technische Universität Berlin | 4 | Berlin | Alemanha |
| | Università degli Studi di Napoli Federico II | 4 | Nápoles | Itália |
| | University of Patras | 4 | Patras | Grécia |

Figura 5. Frequência absoluta de autorias de publicações associadas entidades nas quais foram realizadas as pesquisas no período de 2014 a 2019

Fonte: Os Autores.

O Politecnico di Milano ocupa o primeiro lugar com 8 autorias associadas, seguido pela University of Cambridge com 7. Por autoria associada, entende-se um autor de um artigo que informou ser filiado à instituição. Um artigo pode ser contado mais de uma vez, dependendo do número de autores.

Em referência à origem dos documentos, buscou-se captar a nacionalidade da instituição de afiliação dos co-autores dos 225 trabalhos identificados. No total, encontrou-se 48 países com artigos publicados, sendo que apenas os quatro primeiros colocados totalizam mais de 59% dos artigos indexados no período pesquisado nas bases. As principais parcerias são com pesquisadores filiados a entidades de pesquisa alemãs ($n = 21,8\%$) seguida pela Itália ($n = 14,1\%$) e China ($n = 13,3\%$), conforme destacado na Figura 6.

| Rank | País | % |
|------|----------------|-------|
| 1° | Alemanha | 21,8% |
| 2° | Itália | 14,1% |
| 3° | China | 13,3% |
| 4° | Reino Unido | 10,1% |
| 5° | Estados Unidos | 7,2% |
| 6° | Índia | 5,4% |



VIII SINGEP

Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade
International Symposium on Project Management, Innovation and Sustainability
ISSN: 2317-8302

8TH INTERNATIONAL CONFERENCE



| | | |
|-----|-----------------|------|
| 7° | Suécia | 5,4% |
| 8° | Espanha | 4,0% |
| 9° | Áustria | 3,5% |
| 10° | República Checa | 3,1% |

Figura 6. Frequência do número de coautorias por país de origem do coautor no período de 2014 a 2019

Fonte: Os Autores.

Destaque-se que um artigo pode ter vários autores e que cada autor conta como uma coautoria. Dos 10 países com maior número de parcerias de pesquisa, sete são europeus, dois são países asiáticos e apenas um norte-americano.

Quanto à frequência de publicações por autor, observou-se que os 225 artigos publicados no período entre os anos 2014 e 2019 tiveram 758 autores diferentes, o que gera uma média geral de cerca de 3,4 autores por artigo. Além disso, dentre os 758 diferentes autores, 694 publicaram somente um artigo com a mesma temática de trabalho no período (91,5%).

Os autores que mais publicaram artigos no intervalo considerado estão listados na Figura 7. A ordem de autoria no artigo publicado não foi considerada, sendo contabilizados todos os trabalhos em que os autores foram listados também como co-autores. Os três autores que mais publicaram tiveram 4 trabalhos aceitos cada um.

| Autores | | | | | | |
|---------------|----------------|----------------|-------------------|------------------|-------------------------|----------------|
| 4 artigos | 3 artigos | | 2 artigos | | | |
| Fumagalli, L. | Bordegoni, M. | Koenig, F. | Ansari, F. | Hadas, Z. | Li, Z. | Samet, A. |
| Macchi, M. | Cattaneo, L. | Kumar, M. | Berlin, C. | Hammer, M. | Lin, C. C. | Scurati, G. W. |
| Roy, R. | de Beuvron, F. | Nyhuis, P. | Bokrantz, J. | Janak, L. | Lucke, D. | Sénéchal, O. |
| | Ferrise, F. | Schneider, M. | Cao, Q. | Jussen, P. | Mourtzis, D. | Skoogh, A. |
| | Fiorentino, M. | Stahre, J. | Deng, D. J. | Kans, M. | Negri, E. | Stark, R. |
| | Found, P. | Uhlmann, E. | Emmanouilidis, C. | Killi, A. | Patalas-Maliszewska, J. | Wang, Z. |
| | Gattullo, M. | Uva, A. E. | Erkoyuncu, J. | Kohl, J. | Plapper, P. | Weber, C. |
| | Geisert, C. | Wuest, T. | Fleischmann, H. | Königsberger, J. | Quirico, M. | Winkens, M. |
| | Hohwieler, E. | Zanni-Merk, C. | Franke, J. | Laghmouchi, A. | Rakytka, M. | Xu, X. |
| | | | Fusko, M. | Li, D. | Reich, C. | Zeng, P. |
| | | | Giustozzi, F. | Li, L. | Rondi, M. | |

Figura 7. Frequência absoluta do número de produção científica por autor no período de 2014 a 2019

Fonte: Os Autores.

Entre as áreas de pesquisa definidas pelas bases e de acordo com a Figura 8, a categoria Engenharia é a mais ampla, com maior número de artigos associados ($n = 34,1\%$), seguida de Ciência da Computação ($n = 20,7\%$). Adverte-se que nas bases de dados, os artigos podem estar associados a mais de uma categoria ao mesmo tempo.

| Rank | Área de Pesquisa | % |
|------|--|-------|
| 1° | Engenharia | 34,1% |
| 2° | Ciência da Computação | 20,7% |
| 3° | Negócios, Gerenciamento, Contabilidade | 8,6% |
| 4° | Instrumentação | 6,4% |
| 5° | Automação | 5,1% |
| 6° | Ciência dos Materiais | 4,9% |



VIII SINGEP

Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade
International Symposium on Project Management, Innovation and Sustainability
ISSN: 2317-8302

8TH INTERNATIONAL CONFERENCE



| | | |
|-----|----------------------|------|
| 7° | Matemática | 4,7% |
| 8° | Pesquisa Operacional | 3,9% |
| 9° | Química | 3,5% |
| 10° | Telecomunicações | 3,4% |

Figura 8. Frequência da produção científica por Áreas de Pesquisa no período de 2014 a 2019

Fonte: Os Autores.

Em seguida, identificaram-se os periódicos utilizados para publicação das pesquisas contempladas neste estudo. Esse indicador é relevante por mostrar os principais periódicos científicos da área, fonte de disseminação do conhecimento mais utilizada pelos pesquisadores, e importante canal de comunicação científica (Silva, 2002).

O periódico com maior número de artigos publicados sobre a temática é o Procedia CIRP (n = 25 artigos, 11,1%). Dos 16 periódicos com maior número de artigos publicados, se destacam os que tratam do tema de produção e de computação, conforme pode ser observado na Figura 9.

| Rank | Periódicos | Artigos | % |
|------|--|---------|-------|
| 1° | Procedia CIRP | 25 | 11,1% |
| 2° | IFAC-PapersOnLine | 10 | 4,4% |
| 3° | Procedia Manufacturing | 9 | 4,0% |
| 4° | MM Science Journal | 6 | 2,7% |
| 5° | The International Journal of Advanced Manufacturing Technology | 5 | 2,2% |
| | WT Werkstattstechnik | 5 | 2,2% |
| 6° | Computers in Industry | 4 | 1,8% |
| | IEEE Access | 4 | 1,8% |
| | Procedia Computer Science | 4 | 1,8% |
| 7° | Advances in Mechanical Engineering | 3 | 1,3% |
| | Atp Edition | 3 | 1,3% |
| | Chernye Metally | 3 | 1,3% |
| | Computers & Industrial Engineering | 3 | 1,3% |
| | IEEE Transactions on Industrial Informatics | 3 | 1,3% |
| | International Journal of Production Economics | 3 | 1,3% |
| | International Journal of Production Research | 3 | 1,3% |

Figura 9. Frequência da produção científica por periódico no período de 2014 a 2019

Fonte: Os Autores.



4.2 As palavras-chave e as tecnologias habilitadoras mais utilizadas

A partir da pesquisa bibliométrica, foi possível desenvolver uma nuvem de palavras-chave. Em uma visualização deste tipo, cada palavra tem seu tamanho regido pela relevância em determinado conjunto de texto. Neste caso, se trata da contagem simples das ocorrências de determinada palavra-chave no conjunto de palavras-chave dos 225 artigos estudados. A Figura 10 ilustra a quantidade de vezes em que as palavras-chave, de forma isolada, apareceram dentro dos documentos analisados.

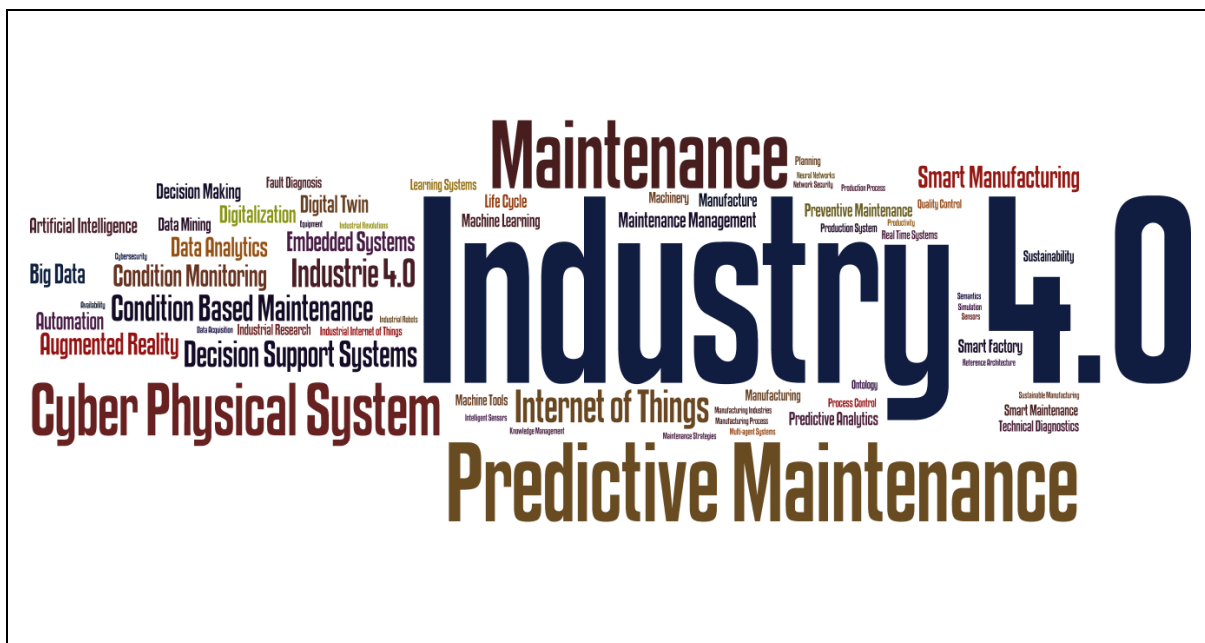


Figura 10. Nuvem da frequência de palavras-chave na produção científica

Fonte: Os Autores.

A palavra Industry 4.0 foi citada 85 vezes na seção de palavras-chave dos artigos pesquisados, portanto, apresenta um tamanho proporcionalmente maior do que a sentença Predictive Maintenance, citada 36 vezes, e Maintenance, de forma isolada com 31 citações.

Outras sentenças que foram citadas mais de 10 vezes, em ordem decrescente são: Cyber Physical System, Internet of Things, Industrie 4.0, Condition Based Maintenance, Decision Support Systems, Augmented Reality, Condition Monitoring e Smart Manufacturing.

No total, foram encontradas 1353 palavras-chaves distintas, o que resulta em uma média de 6,01 palavras por artigo. Deste total, 703 palavras-chave foram citadas somente uma vez e, 124 palavras-chave foram citadas entre 2 e 9 vezes.

Com relação às tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0, as mais citadas nos artigos estudados, em ordem decrescente são: Internet das coisas, Sistemas Ciber Físicos, Big Data, Computação em Nuvem, Simulação, Inteligência Artificial, Machine Learning, Otimização em tempo real, Realidade Aumentada, entre outros, conforme demonstra a Figura 11.

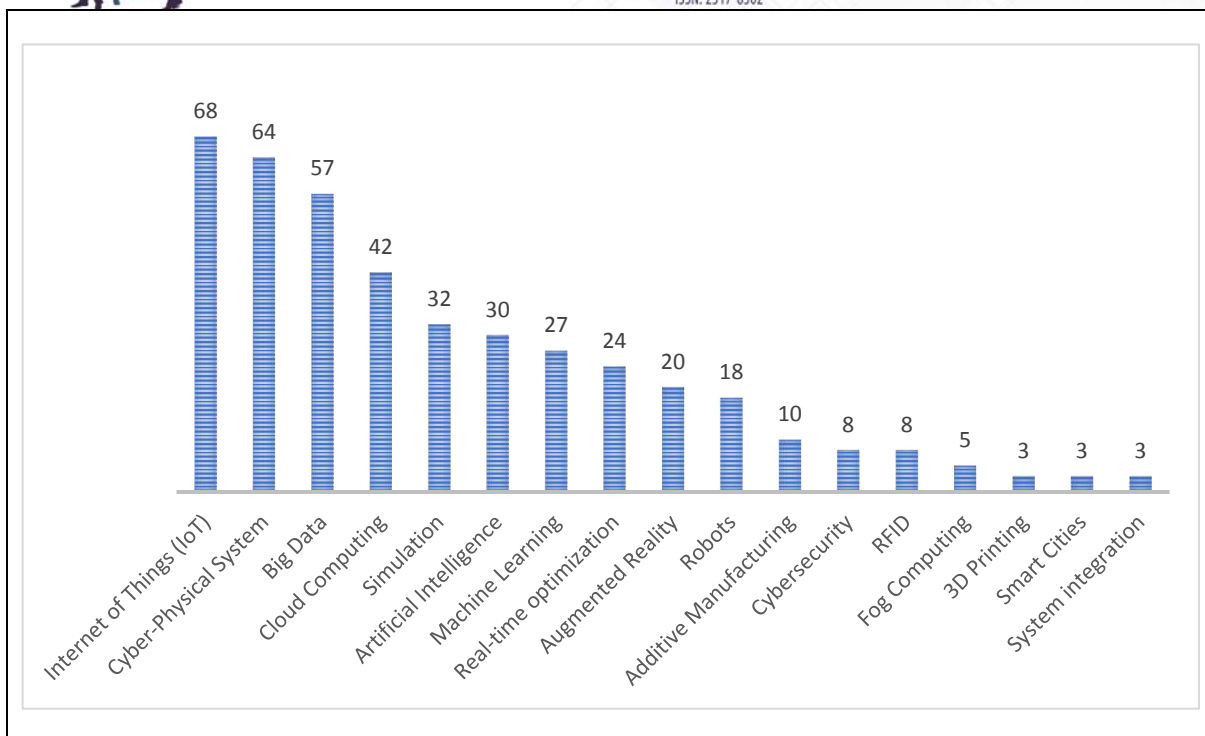


Figura 11. Frequência absoluta do número de tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0
Fonte: Os Autores.

4.3 Análise de conteúdo dos artigos

Com base na análise bibliométrica, sete artigos se destacaram para a realização de uma análise mais detalhada sobre a abordagem apresentada por cada autor sobre a questão da Indústria 4.0 e manutenção. A Figura 12 apresenta os artigos selecionados nas bases de dados para discussão.

| Autor(es) | Objetivo | Método | Tecnologias |
|--|--|--|--|
| Mourtzis e Vlachou (2018) | Apresentar um sistema ciber-físico baseado na computação em nuvem para o agendamento de manutenções no chão de fábrica. | Estudo de caso: Indústria de moldes | Sistema Cyber Físico, Computação em Nuvem, IoT |
| He, Han, Gu e Chen (2018) | Propor um novo modelo de manutenção preditiva orientada a custos. | Estudo de caso: Indústria de cabeçotes | Sistema Cyber Físico, Big Data |
| Guizzi, Falcone e De Felice (2019) | Definir um modelo de simulação para gerenciamento integrado do processo de produção e manutenção. | Simulação | Software PowerSim® |
| Bengtsson e Lundström (2018) | Exemplificar a importância de combinar conceitos e gerenciamento básicos de manutenção com avanço tecnológico da Indústria 4.0 para aumentar a eficácia total da manutenção. | Estudo de caso: Cabine de pintura | Sistema Cyber Físico, IoT, Big Data |
| Romero-Torres, Moyne e Kidambi (2017) | Verificar a oportunidade de adotar técnicas da Indústria 4.0 utilizadas por uma indústria de semicondutores na indústria farmacêutica. | Observação | Sistema Cyber Físico, Big Data, IoT |
| Tedeschi <i>et al.</i> (2018) | Estabelecer as bases para a criação de um modelo conceitual inovador para estimar o custo da implementação de novas arquiteturas da Indústria 4.0 para sistemas | Estudo de caso: CAM-SMILS | Sistema Cyber Físico, Computação em Nuvem, IoT |
| Adu-Amankwa, Attia, Janardhanan e Patel (2019) | Propor uma arquitetura de sistema de manutenção preditiva econômica de máquinas CNC para pequenas e médias empresas que prevê economias de custos. | Pesquisa exploratória e Survey | Sistema Cyber Físico, Computação em Nuvem, IoT |

Figura 12. Relação de trabalhos relacionados para discussão
Fonte: Os Autores.



Mourtzis e Vlachou (2018) apresentaram um sistema ciber-físico baseado na computação em nuvem para o agendamento de manutenções no chão de fábrica. O sistema proposto demonstrou que é possível implantar, de forma econômica e confiável, uma coleta, processamento e análise de dados em tempo real no chão de fábrica. Também demonstrou que os dados coletados podem ser usados em um sistema de tomada de decisão adaptável, por meio de um algoritmo de tomada de decisão com vários critérios, além de uma estratégia de manutenção baseada em condições, melhorando o desempenho da fábrica quando comparado às abordagens tradicionais. A abordagem proposta consistiu em diferentes módulos interconectados por meio de uma plataforma em nuvem, habilitada por protocolos de comunicação sob os paradigmas da Indústria 4.0 e IoT. O sistema proposto foi aplicado e validado em um estudo de caso real de uma indústria de moldes de alta precisão. Segundo os autores, o controle adaptativo da manutenção pode ser realizado e as empresas podem aumentar sua competitividade fornecendo produtos novos e existentes com rapidez e eficiência, além de baixo custo e alta qualidade.

De modo a maximizar os benefícios, He *et al.* (2018) propuseram um novo modelo de manutenção preditiva orientada a custos, baseada no estado de confiabilidade dos sistemas de manufatura. Utilizou-se um sistema ciber-físico para organizar e analisar o Big Data no processo operacional dos sistemas de manufatura em termos de análise preditiva. Após isso foi definido, com base no Big Data, as condições do equipamento e o grau da tarefa da produção. Então, definiu-se que o modo de manutenção preditiva baseado no estado de confiabilidade da missão é quantificado pelo custo, e o relacionamento entre a confiabilidade e o custo da missão foi estabelecido. Assim, pode-se propor uma estratégia de manutenção preditiva dinâmica orientada a custos. Ao final, elaborou-se um estudo de caso sobre o problema de tomada de decisão de manutenção de um sistema de fabricação de cabeçotes. O resultado demonstrou que o custo pode ser reduzido ainda mais pelo método proposto em relação à estratégia de manutenção preventiva tradicional.

A pesquisa de Guizzi *et al.* (2019) definiu um modelo de simulação para gerenciamento integrado do processo de produção e manutenção. Desse modo, foi desenvolvida uma estrutura para a implementação de modelos de simulação que possam auxiliar os gerentes de produção e manutenção a tomar decisões mais econômicas e otimizar o uso de recursos. A abordagem System Dynamics foi utilizada para simular, por meio do software PowerSim®, o comportamento não linear dos sistemas complexos analisados ao longo do tempo. O resultado da otimização foi representado por valores ótimos de limiares de manutenção preventiva, preditiva e corretiva, em relação não apenas aos custos fixos de manutenção e aos custos variáveis de desligamento da produção, mas também em relação a valores particulares da falha e intervalo planejado para a atividade de inspeção. Os resultados revelaram que o procedimento de otimização de simulação proposto pode ser usado para resolver e gerenciar a complexidade em tempo real. Além disso, os dados do procedimento de otimização de simulação fornecem ao tomador de decisão o cenário mais provável.

Bengtsson e Lundström (2018), por meio de um estudo de caso, exemplificaram a importância de combinar conceitos e gerenciamento básicos de manutenção, por exemplo, gerenciamento precoce de equipamentos, manutenção preventiva predeterminada e análise e eliminação de falhas de causa raiz, com avanço tecnológico, como manutenção preditiva, sistemas ciber físicos, internet das coisas e big data, para aumentar a eficácia total da manutenção. Entre outros resultados, a pesquisa relata que onde a manutenção preditiva não é necessária, ou onde não é economicamente viável ou onde nem é possível, o foco ainda precisa ser direcionado para conceitos e gerenciamento básicos de manutenção. Além disso, recomenda-se sempre que possível, que os usuários dos equipamentos compartilhem dados e



experiências com os fornecedores de equipamentos e vice versa, para que melhorias nas próximas gerações possam ser realizadas na engenharia do produto em vez de executar problemas através de um loop muito mais caro de manutenção preditiva.

Romero-Torres *et al.* (2017) verificaram a oportunidade de adotar técnicas da Indústria 4.0 utilizadas por uma indústria de semicondutores do Vale do Silício na indústria farmacêutica. Entre outros fatores, o estudo apontou que a manutenção preditiva está recebendo considerável atenção na fabricação de semicondutores, porque está focada na redução do tempo de inatividade não programado, que é uma das principais fontes de perda de qualidade e custo na fabricação. A maioria das soluções envolvem recursos de mineração e análise de dados para desenvolver modelos que não apenas prevejam a ocorrência futura de uma falha de equipamento ou componente, mas também indique o horizonte da vida útil do material, bem como a confiabilidade e o alcance da previsão. O trabalho ainda traz um exemplo de aplicação de manutenção preditiva 4.0 implantado na fabricação de semicondutores. Nesta aplicação, um modelo de modo de falha multivariada foi usado para estimar um índice que dispara um alarme quando dispositivos de aquecimento (lâmpadas) precisam ser substituídos. Antes da implementação dessa estratégia, o usuário executava as lâmpadas com falha, resultando em tempo de inatividade e sucata não programados, ou usava técnicas simples de detecção de falhas para detectar falhas iminentes. Com a adoção do novo modelo, a planta pode prever falhas com 5 dias antecipados. Esse horizonte de tempo de falha permitiu que a planta otimizasse o cronograma de manutenção. A precisão da previsão deste modelo de modo de falha é superior a 80%.

Tedeschi *et al.* (2018) estabelecem as bases para a criação de um modelo conceitual inovador para estimar o custo da implementação de novas arquiteturas da Indústria 4.0 em sistemas já instalados. A abordagem proposta considera aspectos que impactam o custo de diferentes arquiteturas de IoT, como: complexidade, protocolos de coleta e compartilhamento de dados e segurança cibernética. Os autores sugerem uma implementação adicional do modelo de custo, a fim de orientar as organizações na arquitetura mais econômica para modernização de seus sistemas. Os pesquisadores apresentaram o modelo CAM-SMILS que visa ser uma solução conceitual para avaliar o custo de implementação de diferentes arquiteturas de IoT. Uma característica importante do CAM-SMILS é a capacidade de executar a avaliação do custo com base em dados qualitativos de entrada. Assim, decisões podem ser tomadas com base em uma rápida avaliação e relativamente fácil sobre o conceito de IoT, considerando aspectos subjetivos e dificilmente quantificáveis, como complexidade, velocidade e segurança.

Adu-Amankwa *et al.* (2019) propõe uma arquitetura de sistema de manutenção preditiva econômica de máquinas CNC para pequenas e médias empresas que prevê economias de custos. Os dados obtidos por meio da *survey* mostraram algumas vantagens da manutenção preditiva: a relação inversamente proporcional entre taxa de falha e manutenção, tempo de inatividade e perda de custo de produtividade, disponibilidade e eficácia geral da máquina. No entanto, os autores reconhecem que resultado do modelo requer um próximo estágio de verificação participativa, que forneçam informações de dados reais após a implementação da arquitetura do sistema proposto.

Portanto, como demonstra a Figura 12, há uma diversidade de tecnologias habilitadoras que vêm sendo exploradas e comparadas com a intenção de prover novas funcionalidades aos modelos existentes. Nota-se também que, além dos procedimentos de manutenção utilizados, outra característica comum a esses estudos é a adoção do parâmetro de custo como um importante fator na implantação da Indústria 4.0. Em geral, todos os autores estudados mencionam a importância da indústria 4.0 para o cumprimento das estratégias competitivas das empresas sem, no entanto, aprofundarem o tema para apontar soluções viáveis para empresas pequenas e de médio porte.



Ao final desta análise bibliográfica, percebe-se que apesar de se encontrar trabalhos relevantes, a literatura a respeito da Indústria 4.0 ainda está dando os primeiros passos, principalmente com relação à aplicação prática das tecnologias habilitadoras na manutenção, seja por meio de estudos de caso ou outros métodos. Contudo, existe um desafio para esse tipo de pesquisa que é o de traduzir para os modelos desenvolvidos os aspectos reais do funcionamento e das configurações da manutenção de ativos existentes, o que denota uma oportunidade para a realização de pesquisas acadêmicas.

Outro ponto a ser destacado nas publicações analisadas é a ausência ou diminuta produção acadêmica explorando soluções para questões sobre as tecnologias, implantação, planejamento e controle da manutenção, segurança, recursos humanos e qualidade dos serviços voltados à manutenção de ativos. Pesquisas que alinhem tecnologias (como a realidade aumentada, visão artificial, *digital twin* e robôs colaborativos) que podem ser utilizadas na manutenção de ativos, com o estudo de mapeamento de processos pode-se otimizar, além dos processos de manutenção, toda a cadeia produtiva da empresa, gerando melhores receitas, flexibilização e eliminação de desperdícios.

Neste contexto, na Figura 13 sugere algumas oportunidades a serem consideradas em pesquisas futuras sobre o tema, a fim de ajustar as linhas às estratégias competitivas das empresas. A maior parte das questões apresentadas leva em consideração temas pouco explorados nas publicações revisadas para o presente artigo.

| Área | Oportunidades de pesquisa |
|--|---|
| Tecnologias | Que tipos de recursos utilizar (pessoas, máquinas, sensores, robôs, simulação)? Quais as tecnologias da Indústria 4.0 mais adequadas para a resolução dos problemas mais comuns da manutenção de ativos? Como rastrear os componentes e as necessidades de manutenção? Como os algoritmos de predição baseados em mineração de dados e/ou aprendizado de máquina podem minimizar os tempos de tomada de decisão? |
| Implantação | Como evoluir o modelo de manutenção dentro dos requisitos da Indústria 4.0? Qual o grau de automatização necessário para a implantação de uma Manutenção 4.0? Como determinar os ativos para monitoramento? Quanto investir na implantação? Qual o retorno sobre os investimentos? Quais itens a empresa deve produzir e quais deve adquirir de terceiros? Como deve ser o relacionamento com os fornecedores? |
| PCM – Planejamento e controle da manutenção | Qual deve ser a política de atendimento a falha? Como desenvolver um método de previsão de falhas do equipamento? Como definir a rastreabilidade dos componentes e o melhor momento para realização de sua troca? Como será o ciclo de vida dos ativos? Quando o regime de trabalho deve ser alterado automaticamente para garantir que a falha não se agrave? Como elevar a produtividade e diminuir a ociosidade do técnico de manutenção com realidade aumentada, visão artificial e robôs colaborativos? As técnicas avançadas de simulação podem realmente evitar e prever possíveis falhas em projetos e processos? O tempo gasto com instruções e a obtenção de ferramentas pode ser realmente diminuído? O tempo gasto com o deslocamento até o ativo pode ser otimizado? O tempo gasto com atrasos para o início da manutenção pode ser realmente diminuído? Com a manutenção 4.0 a interrupção de atividades permanece constante? |
| Segurança | Como a manutenção 4.0 afeta a ciber-segurança dos ativos? Quais os procedimentos mais eficazes para aumentar a segurança dos dados internos dos equipamentos? |
| Recursos humanos | É possível a utilização de funcionários multifuncionais? Qual deve ser o nível de qualificação dos operadores? Quais fatores ergonômicos e de segurança devem ser considerados? Como motivar e capacitar os funcionários? Qual o nível de desenvolvimento técnico da equipe? A elevação na produtividade da mão de obra permitirá um quadro de funcionários mais enxuto? |
| Qualidade | Como será o monitoramento da qualidade? Como será Existem grupos de melhoria? Quais indicadores de desempenho adotar? Quais as metas a serem atingidas? |
| Setores | Quais são os setores mais promissores para a aplicação dos recursos de Indústria 4.0 na manutenção de ativos? Qual é o estado de prontidão dos setores farmacêutico, alimentos, |



| | |
|--|---|
| | energia, agroindústria, construção civil, têxtil, bens de consumo, entre outros, com relação à manutenção 4.0? A geolocalização da empresa afeta a aplicação da manutenção 4.0? |
|--|---|

Figura 13. Oportunidades para pesquisas futuras

Fonte: Os Autores.

5 Considerações finais

Constata-se que o presente trabalho atingiu o seu objetivo inicial, uma vez que foi investigada na literatura a produção científica a respeito da manutenção de ativos na era da Indústria 4.0 em três diferentes bases de dados, no período entre 2014 e 2019.

Foram analisados diferentes aspectos, levantando-se dados estatísticos e realizando-se diversas análises dos mesmos. Dessa forma, as técnicas bibliométricas demonstram que a pesquisa pode ser de utilidade para a descoberta da produção científica na área, sendo que os dados contidos neste artigo podem ser utilizados como ferramenta tanto para o planejamento como para a execução de estudos, visando melhor compreender a ciência pela comunidade científica, empresarial e outros segmentos da sociedade.

No contexto da manutenção na era da indústria 4.0, verifica-se ainda uma carência e necessidade de estudos de aplicações práticas, que proporcionem uma aprendizagem adequada e que ajude no entendimento e melhoria das tecnologias. Como contribuição ao meio, este trabalho identificou lacunas e sugeriu algumas oportunidades a serem consideradas em pesquisas futuras sobre o tema, auxiliando teóricos e práticos a melhor adequar a Manutenção 4.0, suas configurações e necessidades de mercado competitivo no qual as empresas hoje se inserem.

Para futuros trabalhos no tema deste artigo, sugere-se a utilização de outras bases de busca. Ademais, recomenda-se utilizar outros objetos de pesquisa que não foram utilizados nas buscas deste artigo, levantando-se novas informações e permitindo outras análises que não foram contempladas neste trabalho.

Referências

Al-Ahmari, A., & Li, Z. (2016). Analysis of a multimachine flexible manufacturing cell using stochastic Petri nets. **Advances in Mechanical Engineering**, 8(11), 1687814016680168.

Adu-Amankwa, K., Attia, A. K., Janardhanan, M. N., & Patel, I. (2019). A predictive maintenance cost model for CNC SMEs in the era of industry 4.0. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 104(9-12), 3567-3587.

Babiceanu, R. F., & Seker, R. (2016). Big Data and virtualization for manufacturing cyber-physical systems: A survey of the current status and future outlook. **Computers in Industry**, 81, 128-137.

Bengtsson, M., & Lundström, G. (2018). On the Importance of Combining “the New” with “the Old”—One Important Prerequisite for Maintenance in Industry 4.0. **Procedia Manufacturing**, 25, 118-125.

Brettel, M., Friederichsen, N., Keller, M., & Rosenberg, M. (2014). How virtualization, decentralization and network building change the manufacturing landscape: An Industry 4.0 Perspective. **International journal of mechanical, industrial science and engineering**, 8(1), 37-44.



- Ding, S. H., & Kamaruddin, S. (2015). Maintenance policy optimization—literature review and directions. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 76(5-8), 1263-1283.
- Gil, A. C. (2010). **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 8. ed. São Paulo, Atlas.
- Guizzi, G., Falcone, D., & De Felice, F. (2019). An integrated and parametric simulation model to improve production and maintenance processes: Towards a digital factory performance. **Computers & Industrial Engineering**, 137, 106052.
- He, Y., Gu, C., Chen, Z., & Han, X. (2017). Integrated predictive maintenance strategy for manufacturing systems by combining quality control and mission reliability analysis. **International Journal of Production Research**, 55(19), 5841-5862.
- He, Y., Han, X., Gu, C., & Chen, Z. (2018). Cost-oriented predictive maintenance based on mission reliability state for cyber manufacturing systems. **Advances in Mechanical Engineering**, 10(1), 1687814017751467.
- Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. (2015). A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. **Manufacturing Letters**, 3, 18-23.
- Madu, C. N. (2000). Competing through maintenance strategies. **International Journal of Quality & Reliability Management**, 17(9), 937-949.
- Mobley, R. K. (2002). **An introduction to predictive maintenance**. São Paulo, Elsevier.
- Mourtzis, D., & Vlachou, E. (2018). A cloud-based cyber-physical system for adaptive shop-floor scheduling and condition-based maintenance. **Journal of manufacturing systems**, 47, 179-198.
- Pinto, J. P. (2013). **Manutenção Lean**. Lisboa: Lidel.
- Romero-Torres, S., Moyne, J., & Kidambi, M. (2017). Towards Pharma 4.0; Leveraging Lessons and Innovation from Silicon Valley. **American Pharmaceutical Review**, 5., 132-141.
- Roy, R., Stark, R., Tracht, K., Takata, S., & Mori, M. (2016). Continuous maintenance and the future—Foundations and technological challenges. **Cirp Annals**, 65(2), 667-688.
- Silva, S. (2002). **Comunicação Organizacional em Empresas de Construção Civil Sob a Ótica do Planejamento Estratégico**. 157 f. Curitiba, 2002 (Dissertação (Mestrado em Construção Civil)—Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba).
- Stock, T., & Seliger, G. (2016). Opportunities of sustainable manufacturing in industry 4.0. **Procedia Cirp**, 40, 536-541.



VIII SINGEP

Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade
International Symposium on Project Management, Innovation and Sustainability
ISSN: 2317-8302

8TH INTERNATIONAL CONFERENCE



Tedeschi, S., Rodrigues, D., Emmanouilidis, C., Erkoyuncu, J., Roy, R., & Starr, A. (2018). A cost estimation approach for IoT modular architectures implementation in legacy systems. **Procedia Manufacturing**, 19, 103-110.

Wan, J., Tang, S., Li, D., Wang, S., Liu, C., Abbas, H., & Vasilakos, A. V. (2017). A manufacturing big data solution for active preventive maintenance. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, 13(4), 2039-2047.