

ESTUDO BIBLIOMÉTRICO DA PESQUISA CIENTÍFICA SOBRE A INDÚSTRIA 4.0¹

Alexandre Markovits – alexandre.markovits@roche.com

Leticia Lazzareschi Nese – leticia.nese@gmail.com

Pedro de Oliveira Salvadio – pedrosalvadio@live.com

Rafael Carlos Piassa – rafaelpiassa06@gmail.com

Vinicius de Andrade Scapin – viniascapin@gmail.com

Roxana Maria Martins Orrego (Orientadora) – rox.maria@gmail.com

RESUMO

O desenvolvimento da Indústria 4.0 traz mudanças sistêmicas tanto tecnológicas quanto humanísticas na sociedade como um todo. Novos conceitos surgem como Sistemas Ciber- Físicos, Big Data, Internet das Coisas, Computação em Nuvem, entre outros, que são abordados frequentemente como os pilares da 4ª Revolução Industrial. Levando em consideração a baixa incidência de aplicação e integração entre os pilares da Indústria 4.0, foi-se necessário o desenvolvimento de uma revisão sistemática da literatura sobre a pesquisa científica deste tema. Com o objetivo de apresentar o desenvolvimento e os resultados de uma pesquisa sobre o conceito de Indústria 4.0, no presente trabalho são mostrados os principais autores que pesquisam sobre o tema, os principais países, principais pilares, entre outros pontos, com o intuito de realizar o mapeamento teórico do assunto. Em seguida, foi-se analisado o conteúdo dos artigos com aplicações do tema. Dentre outros resultados significativos, identificou-se que na Ásia, Américas e Europa, a maioria das pesquisas tratam de Sistemas Ciber-Físicos, Realidade Aumentada e Big Data.

Palavras-chave: Indústria 4.0. Internet das Coisas. Sistema Ciber-Físico. Big Data.

BIBLIOMETRIC STUDY OF SCIENTIFIC RESEARCH ABOUT THE INDUSTRY

ABSTRACT

The development of Industry 4.0 brings both technological and humanistic systemic changes in society as a whole. New concepts emerge as Cyber-Physical Systems, Big Data, Internet of Things, Cloud Computing, among others, which are often approached as the pillars of the 4th Industrial Revolution. Taking into account the low incidence of application and integration among the pillars of Industry 4.0, it was necessary to develop a systematic review of the literature on scientific research on this topic. With the objective of presenting the development and results of a research on the concept of Industry 4.0 are shown: the main authors that research on the theme, the main

¹ Artigo do Trabalho de Conclusão de Curso, Graduação em Engenharia de Produção, EE, UPM, São Paulo, 2019.

countries, main pillars, among others the intention to carry out the theoretical mapping of the subject. Then, the content of the articles with applications of the theme was analyzed. Among other significant results, it was identified that in Asia, the Americas and Europe, most of the research deals with Cyber-Physical Systems, Augmented Reality and Big Data.

Keywords: Industry 4.0. Industrie 4.0. Internet of Things. Cyber-Physical System. Big Data.

1 INTRODUÇÃO

Inovações digitais, biológicas e físicas caracterizam este início do século XXI e deverão e já provocam mudanças sociais, culturais e econômicas. Termos tais como inteligência artificial, realidade aumentada, genoma e impressão 3D, dentre outros, se tornam cada vez mais familiares e são objetos atuais de pesquisa e desenvolvimento contínuo. (REIS, KENNET, 2018; SCHWAB, 2018).

O conceito de Indústria 4.0 com base nas plataformas de conectividade usadas na indústria (LASI et al., 2014; PARLANTI, 2017; REISCHAUER, 2018) pode ser considerado hoje, portanto, como o início de uma nova era industrial. Claramente, novas inovações tecnológicas geram novas preocupações e desafios, discutidos a nível mundial. Neste contexto, o presente trabalho apresenta o resultado de um levantamento realizado com o foco nos temas mais abordados nas publicações científicas, nos últimos cinco anos, envolvendo o conceito de Indústria 4.0.

Uma busca rápida em bancos de dados contendo meios de publicações científicas permite inferir que, na última década, há um crescimento expressivo de publicações de pesquisas relacionadas direta e indiretamente à Indústria 4.0. Entretanto, sente-se falta, por exemplo, de publicações que tratem o nível de integração e implementação alcançado nos diferentes setores industriais e de serviços, dentre outros aspectos.

Assim sendo, se configura como problema de pesquisa deste trabalho a pergunta: É possível identificar, a partir da organização e estudo da literatura científica, o nível atual de integração e implementação dos aspectos do conceito Indústria 4.0 e suas lacunas? Espera-se que este trabalho contribua em alguma medida no esclarecimento desses quesitos e na identificação de focos e lacunas de pesquisa. De modo que o objetivo geral deste artigo é apresentar o levantamento do estado da arte da pesquisa científica sobre a Indústria 4.0, no período de 2015 a 2019, por meio de um estudo bibliométrico.

2 METODOLOGIA E COLETA DE DADOS

Com o intuito de levantar o estado da arte da pesquisa científica sobre Indústria 4.0, neste trabalho realizou-se uma revisão bibliográfica sistemática das pesquisas publicadas nos últimos 5

anos, ou seja, entre 2015-2019, especificamente até março de 2019, nos principais meios científicos que fazem parte do banco de dados do portal de periódicos CAPES e Web of Science (WoS).

A presente pesquisa, objetiva a identificação das pesquisas publicadas mais relevantes e os seus respectivos meios de publicação, com o intuito de apontar os aspectos da Indústria 4.0 mais pesquisadas e aqueles que ainda não foram os suficientemente abordados, com o mínimo, em termos de publicação.

Neste trabalho, a metodologia para levantar o estado da arte da produção científica sobre a Indústria 4.0 será conduzida em dois passos, conforme proposto por Levy e Ellis (2006):

1. processo de busca e seleção de artigos, publicados no período entre 2015 e 2019 nos portais acadêmicos: Portal Periódicos CAPES e Web of Science
2. análise de resultados, por meio de técnicas de bibliometria qualitativa e quantitativa.

Para iniciar o levantamento dos artigos, foi necessário encontrar um conjunto de palavras-chave adequado para uma busca posterior mais ampla, no Portal CAPES, planejou-se uma primeira etapa, que se iniciou usando como palavra-chave principal, somente, o termo Indústria 4.0, em português, utilizando aspas² e sem limitar a área de conhecimento, que resultou em 72 publicações.

Foram restringidos os resultados àqueles publicados nos últimos 5 anos, foram excluídos os livros, apenas os trabalhos publicados em periódicos revisados por pares foram selecionados e por fim foram retiradas as duplicatas, ficando com apenas 39 artigos em 19 periódicos.

Como resultado dessa primeira busca, chegou-se à definição do seguinte conjunto de palavras-chave: “Indústria 4.0”; Inovação; Manufatura Avançada; Eficiência; e Fábrica Inteligente. As palavras-chaves selecionadas foram então utilizadas, uma de cada vez, em uma nova busca no portal CAPES, também em português, e sem nenhuma outra restrição.

Dessa forma, encontrou-se um total de 93.254 publicações, das quais 28.195 são publicações dos últimos 5 anos. Em seguida, em uma nova busca, utilizaram-se os seguintes quatro pares de palavras-chave, também em português:

1 - “Indústria 4.0” e Eficiência; 2 - “Indústria 4.0” e Inovação; 3 - “Indústria 4.0” e Manufatura avançada; e 4 - “Indústria 4.0” e Fábrica inteligente.

Como resultado, obteve-se uma redução do grande volume inicial de publicações, que não limitava as áreas de conhecimento, para apenas 85 artigos. Desses 85 artigos somente 63 foram publicados em “periódicos revisados por pares”. As duplicatas foram então removidas, ficando 40 artigos que atenderam os critérios de filtragem. Estes foram então lidos e analisados para decidir se estavam realmente alinhados, ou não, ao escopo do presente estudo. O método utilizado foi uma adaptação do usado por Kubota et al. (2013):

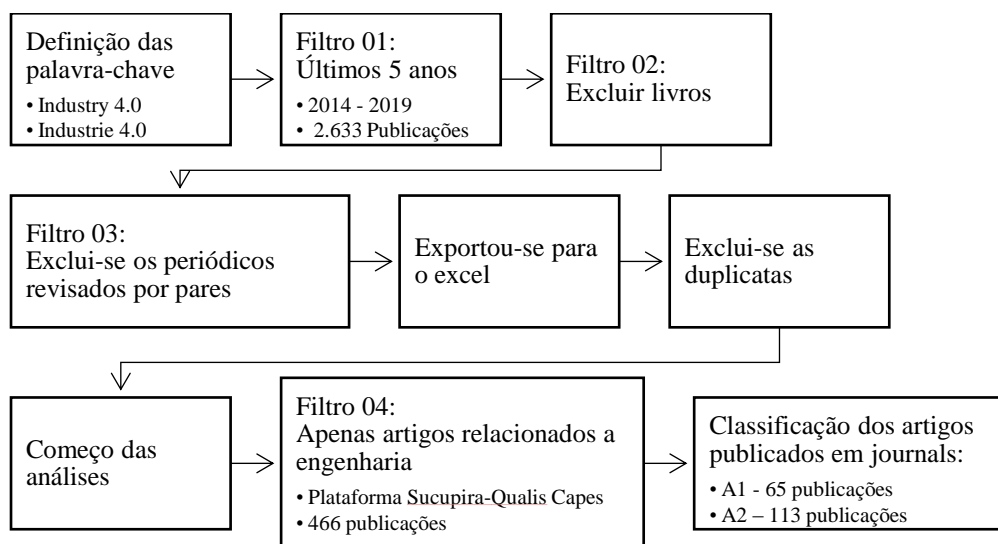
² As aspas servem para procurar o termo composto “Indústria 4.0” e não palavras independentes, como por exemplo, ... a indústria utiliza programas 4.0...

1. Seleção de artigos que estejam alinhados ao escopo da pesquisa, pela análise do título, palavras-chave e resumo do artigo; 2. Seleção de artigos disponíveis, com o texto na íntegra. Em caso de acesso restrito, o artigo foi desconsiderado da análise.

Ademais, levou-se em consideração o meio de publicação do artigo estar classificado no Portal Sucupira - Qualis Capes, na área de avaliação “Engenharias III”. Assim, após análise dos 40 artigos, somente 25 artigos foram selecionados.

Após realizar uma análise do conteúdo desses 25 artigos, percebeu-se que, além de ser uma amostra extremamente pequena, não havia neles dados suficientes para completar um levantamento do estado da arte, uma vez que todos os aspectos do conceito Indústria 4.0 não foram abordados. Assim foi utilizada a base internacional escolhida é a *Web of Science*, utilizou-se novamente o termo “Indústria 4.0” como palavra-chave principal, porém em inglês e alemão: “Industry 4.0” e “Industrie 4.0”, o processo de busca esta descrito no Fluxograma 1.

Fluxograma 1



Fonte: Autoria Própria

Finalmente, os critérios de filtragem de Kubota et al. (2013), foram aplicados, e chegou-se a uma amostra composta por 106 artigos, sendo 34 A1 e 72 A2.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O novo ciclo industrial apropria-se da integração de complexos sistemas digitais em rede que permitem automatizar processos conectando, ademais, o virtual com a realidade. Desta forma, obtém-se maior flexibilidade e customização da produção industrial em todos os seus setores, incluindo o setor de serviço e o agropecuário. (ARBIX et al., 2017). Em decorrência desta nova revolução, a

dinamização da indústria, que abrange distintas estruturas de atividades desenvolvidas, estimulando não só o aumento dos padrões de qualidade, mas também descomplica o fluxo de conhecimento (GEREFFI; LEE, 2012).

Segundo Cheng et al. (2015), esse constante progresso dos sistemas e da tecnologia fomenta a produção industrial, melhorando tanto a qualidade de serviço e dos processos quanto a redução de custos, e garante a possibilidade de personalização de produtos com um melhor custo-benefício. Na 4ª Revolução Industrial, a personalização de produtos e serviços estão lado a lado da fabricação digital e inteligente.

Autores como Kagermann (2014) e Wang (2016) acreditam que ocorrerão mudanças profundas na vida da população com o desenvolvimento deste novo cenário. Para garantir a complexidade de sua indústria a longo prazo, o governo alemão criou o termo “Industrie 4.0” com o intuito de promover a informatização da manufatura e estratégias de desenvolvimento industrial de alta tecnologia (KAGERMANN et al., 2013; HUANG et al., 2017; DRATH E HORCH, 2014). O termo “Indústria 4.0” foi mencionado pela primeira vez em 2011, na Feira de Hannover, na Alemanha, para identificar as principais inovações tecnológicas aplicadas aos processos de produção no campo das tecnologias de automação, controle e informação (HERMANN et al., 2016). Desde então, pesquisadores acadêmicos, autoridades governamentais e políticos de todo o mundo são atraídos pelo conceito devido a seu potencial poder de transformação. À medida em que a compreensão do conceito Indústria 4.0 cresce, mais máquinas, computadores e equipamentos robóticos são interconectados em processos de fabricação (RUBAN, 2017).

Atualmente, de acordo com Kagermann et al. (2013) reconhecem a tendência de automação e interconectividade dos sistemas de produção, o que, segundo Lee, Kao e Yan (2014), possibilita o desenvolvimento de uma comunidade colaborativa de fábricas. Liao et al. (2017) afirma que a Indústria 4.0 deve transformar o ambiente fabril em inteligente, interconectado e também em autossustentável. Como já esclarecido, independente de qual pilar ou princípios seja, o mais significativo é importante considerar que quando se fala de indústria 4.0 trate-se da conexão entre máquinas, sistemas e ativos que como resultado levam a cadeia de valor interconectada (redes inteligentes) possibilitando um maior controle dos processos de produção de forma autônoma.

Internet das Coisas, do inglês, Internet of Things, é a comunicação do conjunto de objetos físicos via rede de dados e Internet. Como afirmado por Van Kranenburg (2008) o conceito IoT permite aplicações computacionais abrangentes e onipresentes. Em Almada-Lobo (2016), Hermann (2016), Jazdi (2014) e Kagermann (2015), a IoT é definida como diversos objetos que podem se conectar com ambientes físicos, veículos e máquinas por meio de dispositivos eletrônicos

embarcados, permitindo a troca de dados e sua coleta. A IoT opera então formando a base da Indústria 4.0, por meio de sensores, atuadores e sistemas ciber-físicos. A constante evolução da Indústria 4.0 abrange a Internet das Coisas como uma forma de oferecer facilidades aos sistemas ciber-físicos de colaborar com indivíduos e também com serviços em nuvem (BATISTA et. al, 2016).

Na literatura, pode-se perceber que a definição de Big Data, é muito diversa. Segundo o McKinsey Global Institute (2011), o conjunto de dados, cujo o tamanho vai além da capacidade típica de software e de banco de dados, refere-se Big Data, tendo dificuldade em capturar, armazenar, gerenciar e analisar todas essas informações. Mesmo sendo visto como uma forma de análise de dados mais inteligente, há uma correlação entre Sistemas Ciber-Físicos na indústria e grandes volumes de dados provenientes do monitoramento de máquinas. Segundo Li e Lian (2019) uma melhoria na qualidade de produção e gerenciamento de suprimentos. Essa relação entre dois pilares (Big Data e CPS) da Indústria 4.0 é permitida, como já foi mencionada, por meio de sensores que coletam os dados e os transmitem para as ferramentas de TI.

A manufatura aditiva, também conhecida como prototipagem rápida ou impressão 3D (WELLER et al., 2015), é considerada mais um pilar da Indústria 4.0. Esta tecnologia produz objetos tridimensionais por meio de um processo aditivo, utilizando materiais como polímeros, cerâmicas, plástico e metais, para criar geometrias mais complexas reduzindo o desperdício de materiais (COTTELEER, 2014). Seu ponto chave é a agilidade na prototipagem de componentes de produtos sem a necessidade de ferramentas especializadas (HOLMSTRÖM et al., 2016), mas sim de ferramentas genéricas que permitem a flexibilidade da produção.

A Manufatura Digital e a Internet das Coisas (IoT) são novas tecnologias emergentes que visam aumentar a produtividade (LEE et al, 2013) por meio da coleta de dados do chão de fábrica em formato digital e usando Sistemas de Execução de Manufatura (Manufacturing Execution Systems - MES), tecnologias de sensores, etc. (HEDMAN et al., 2016).

O Sistema Ciber-Físico é um processo tecnológico que associa o ambiente virtual com o ambiente físico real, através das tecnologias de comunicação e informação, tendo como objetivo reduzir tempos e otimizar tarefas de diferentes áreas, de modo que os dados entre ambos os ambientes sejam transmitidos em tempo real. (LEE et al., 2015)

Segundo Lee (2008) o termo “Cyber Physical System” foi elaborado por Helen Gill com a finalidade de incentivar a pesquisa e investigação sobre a interação entre os sistemas computacionais e os sistemas físicos. Além disso, ainda segundo Lee (2008), o Sistema Ciber- Físico consiste em monitorar e controlar dados, por meio de algoritmos computacionais provenientes de sensores e atuadores instalados em máquinas de produção. Tal comunicação entre o ambiente virtual e o real

traz ciclos de feedback (retroalimentação), facilitando a melhoria contínua e segurança dos processos de produção.

A fabricação baseada em nuvem consiste em um modelo de rede em que linhas de produção são reconfiguráveis e têm maior eficiência, portanto, menores custos. Isto é, há uma alocação de recursos ideal, que permite uma melhor resposta ao cliente (ALMADA-LOBO, 2016; JAZDI, 2014; THAMES e SCHAEFER, 2016).

Tecnologias em nuvem são utilizadas para ligar interfaces de diferentes ferramentas de TI que permitem o fluxo de dados e o constante acesso à informação. Além de auxiliar na terceirização do armazenamento e compartilhamento de dados com os mais diversos elos da cadeia produtiva. A fabricação em nuvem é fundamental para a digitalização da indústria pois não somente fornece acesso integral à informação e modelos flexíveis, como também aprimora a integração de várias ferramentas de TI. (XU, 2012).

Considera-se uma simulação a construção de modelos virtuais (modelos matemáticos e/ou estatísticos para representar ou estimar a realidade) de produtos, processos, fluxos de materiais e pessoas, etc. que permitem analisar, antes da implementação, oportunidades de melhorias, adequações da abordagem, propriedades, etc. Análise de modelos virtuais são utilizados em projetos de engenharia, e com base em modelos sintetizados de sistemas, simulam propriedades do modelo implementado ou a ser implementado (SALDIVAR et al., 2015; BABICEANU; SEKER, 2016).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi realizada a amostra de artigos, como visto anteriormente, para análise com técnicas bibliométricas e ficou composta por 106 artigos publicados, representando assim o que é chamado de “WoS filtrado”. Além desta amostra, em alguns casos, utilizou-se como fonte de análise a totalidade das publicações encontradas no *Web of Science*, representando assim o que é chamado de “WoS Geral”. Assim, nesta seção apresentam-se e discutem-se os resultados.

Levou-se em consideração que o estudo foi desenvolvido nos últimos 5 anos e, para evitar discrepâncias nos dados (como tendências mensais de publicações, por exemplo), tendo em vista que a pesquisa teve seu início em agosto de 2018 e seu fim em maio de 2019, foram considerados, para esta análise, apenas os anos calendários por completo.

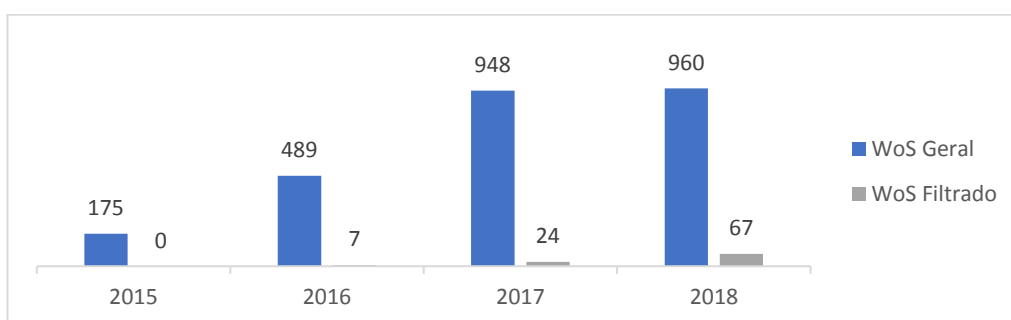
4.1 EVOLUÇÃO DA PESQUISA

Através da análise das quantidades de publicações e quantidades de citações das publicações encontradas, foi possível perceber que a Indústria 4.0 vem ganhando notoriedade nas pesquisas científicas contemporâneas. No Gráfico 1, está crescente é mostrada e, com ela, pode-se destacar o

crescimento de 5 vezes a quantidade de publicações de 2015 (com 175 publicações) para 2018 (com 960 publicações).

Após a análise e filtragem das publicações, reduziu-se em 106 artigos, porém como só foi utilizado os anos calendário por completo, o Gráfico 1 tem como amostra 98 publicações. É importante destacar que esta amostra teve um crescimento maior de 2017 para 2018 (250% de crescimento em comparação com os 1,2% dos artigos sem filtro), o que garante que o presente trabalho esteja acompanhando a evolução da Indústria 4.0.

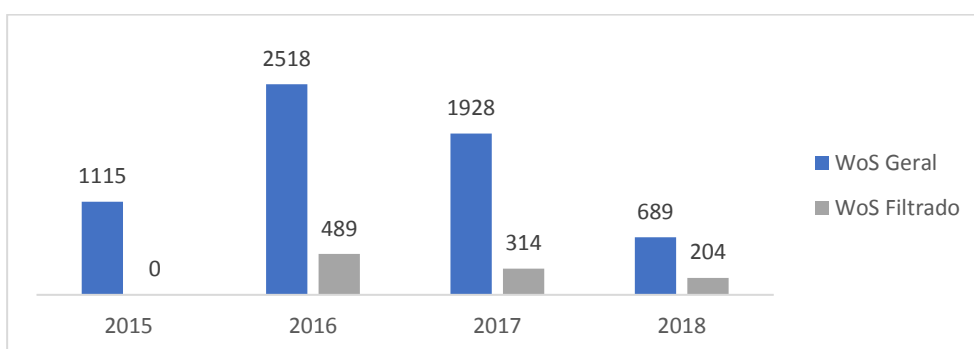
Gráfico 1 – Evolução das Pesquisas



Fonte: Autoria própria

No Gráfico 2, informações sobre a quantidade de citações foram levadas em consideração tornando-se possível traçar um paralelo com a Tabela 1, que mostra a evolução da qualidade dos periódicos em que o tema está sendo publicado. Em 2015, poucas publicações tinham índices maiores que “B3”, mesmo assim, pode-se observar uma média de, aproximadamente, 6,4 citações por publicação. No ano seguinte esta média caiu para aproximadamente, 5,15 citações por publicação, porém a qualidade do material aumentou.

Gráfico 2 – Evolução das citações – WoS Geral



Fonte: Autoria própria

Ao analisar a Tabela 1, é possível perceber uma crescente melhora dos índices Qualis, dentro da área de avaliação “Engenharias III”, o que ajuda a comprovar que a pesquisa sobre o tema cresce em qualidade e que, eventualmente, mais pesquisadores trabalhando sobre o tema. Para garantir uma assertividade nas buscas, as publicações que não estavam dentro da área de avaliação “Engenharias

III” foram classificadas, na tabela, como “N/A”. Ademais, foram encontrados alguns artigos sem ISSN porém, sua relevância durante os anos diminuiu, caindo de 21% das publicações encontradas em 2015 para 9% das publicações encontradas em 2018.

Tabela 1 – Evolução da Classificação Qualis – WoS Geral

Classificação	2015	2016	2017	2018
A1		10	20	28
A2	1	9	20	72
B1	1	13	46	113
B2	1	2	10	27
B3	1	5	5	20
B4		1	1	5
B5			1	1
C		5	7	9
N/A	134	329	658	599
SEM ISSN	37	115	180	86

Fonte: Autoria Própria

4.2 PRODUTIVIDADE DOS AUTORES E QUANTIDADE DE CITAÇÕES

Foi realizada a análise dos autores mais produtivos e mais citados do WoS Geral. Na pesquisa geral, os autores que mais contribuíram em termos de quantidade de publicações são: Wan, JF, (com 11 publicações), seguido por Fraga-Lamas, P e Fernandez-Carames, TM (com 10 publicações) e, em terceiro lugar, Li, D (com 8 publicações).

Em relação às citações, ainda na base geral do WoS, pode-se perceber que Wan, JF lidera o ranking com 463 citações, seguido por Li, D e Wang, Sy (com 433 citações) e, em terceiro lugar, Zhang, CH (com 326 citações). Importante notar que Wan, JF e Li, D estão entre os 3 autores mais citados e com o maior número de publicações.

Com os dados obtidos da base WoS filtrada, foram desenvolvidas, inicialmente, duas análises. A primeira leva em consideração os autores que publicaram em periódicos com Qualis A1 de acordo com a quantidade de citações. Pode-se perceber que a maioria dos autores listados também estão nos mais citados de toda a base.

Para os autores que publicaram em periódicos A2, foi feita a mesma análise e descobriu-se que 5 dos 12 autores mais citados desta etapa também estão entre os mais citados na base geral, sendo eles: Wang, SY, Wan, JF, Li, D, Zhang, CH e Zhang, DQ.

Com os autores pré-definidos, deu-se início a uma análise profunda das publicações dos mesmos, com intuito de identificar não só a contribuição dada por estes para a pesquisa científica sobre a Indústria 4.0, mas também os resultados que foram atingidos. Com isto, foi possível observar que todas as publicações estavam na área de aplicação de “Engenharias”. Esta análise está disposta

na Tabela 2, que garante uma visualização mais clara e resumida, separada por artigo, a sua contribuição e os resultados obtidos.

Tabela 2 – Contribuição e Resultados – Principais Autores

Título	Autores	Contribuição dos Autores	dos Resultados
Simulation model study for manufacturing effectiveness evaluation in crowdsourced manufacturing	Kaihara, T; Katsumura, Y; Suginishi, Y; Kadar, B	T; Aplicação de Internet das Coisas, Sistema Ciber-Físico e Computação em nuvem para garantir que este "supply chain" comum funcione	Compartilhamento de recursos entre empresas melhora a taxa de atendimento e de uso dos recursos
Cyber-physical systems manufacturing	Monostori, L; Kadar, B; Bauernhansl, T; Kondoh, S; Kumara, S; Reinhart, G; Sauer, O; Schuh, G; Sihn, W; Ueda, K	L; Estudo sobre a aplicação dos Sistemas Ciber-Físicos na manufatura, trazendo efeitos econômicos e organizacionais	Criaram mudanças na competitividade, efeitos econômicos e organizacionais
Smart, simulation-based sharing federated production networks	Kadar, B; Egri, P; Pedone, G; Chida, T	Integração de Internet das Coisas, Sistemas Ciber-Físicos, Big Data e Computação em Nuvem	Contribuição de recursos entre fábricas, aumentando seu desempenho, seus níveis de serviço e diminuindo o uso de recursos
Software-Defined Industrial Internet of Things in the Context of Industry 4.0	Wan, JF; Tang, S; Shu, Z; Li, D; Wang, SY; Imran, M; Vasilakos, A	Benefícios da Indústria 4.0, aplicando internet das coisas, computação em nuvem e automação na área industrial,	Integração efetiva entre os componentes, garantem uma tomada de decisão

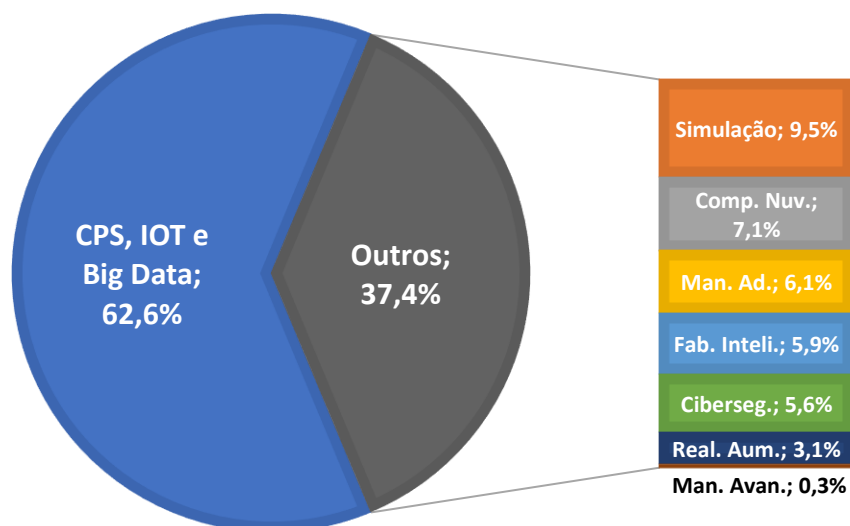
		comparando com mais autônoma, além sistemas tradicionais. de serem facilmente reconfiguráveis.
Towards smart factory for industry 4.0: a self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination	Wang, SY; Wan, JF; Zhang, DQ; Li, D; Zhang, CH	Auxílio na tomada de decisão através da Internet das Coisas integração de máquinas, com a Big data e a informações de produtos em um processo de negociação em nuvem auxiliam a implementação de uma fábrica inteligente
The concept and progress of intelligent spindles: A review	Cao, HR; Zhang, XW; Chen, XF	Em busca da Fábrica Inteligente, aplicação de Internet das Coisas e Sistemas Ciber-Físicos para possibilitar a capacidades de máquina inteligente detecção, tomada de decisão e controle.
Past, present and future of Industry 4.0-a systematic literature review and research agenda proposal	Liao, Y; Deschamps, F; Rocha Loures, E; Pierin Ramos, LF	Investigação do progresso acadêmico sobre Indústria 4.0 Áreas mais publicadas, Aplicações, Distribuição geográfica das pesquisas

Fonte: Autoria Própria

4.3 CITAÇÕES DOS PILARES DA INDÚSTRIA 4.0

Foi realizada uma análise para identificar a regularidade com que os pilares da Indústria 4.0 estão aparecendo nos artigos da base filtrada do WoS e estes foram: Internet das Coisas (IOT), seguida de Sistemas Ciber-Físicos (CPS) e Big Data. Juntos representam aproximadamente 63% de todas as citações dos artigos filtrados, identificando assim, portanto, os pilares mais retratados e explorados do tema. A participação de cada pilar encontrado nas publicações pode ser vista no Gráfico 3.

Gráfico 3 – Citações dos Pilares



Fonte: Autoria própria

Posteriormente, foram buscadas as interações entre os pilares mais citados com eles mesmos ou com os outros pilares encontrados, 30 publicações foram identificadas (com um total de 791 citações) tendo em quase metade delas (14) interação entre Internet das Coisas, Sistemas Ciber-Físicos e Big Data, ao mesmo tempo.

4.4 ANÁLISE DOS PAÍSES QUE ESTÃO REALIZANDO PESQUISAS

Nota-se que países europeus como Alemanha, Itália, Hungria e França estão entre os que mais produzem publicações sobre o assunto, o que denota a importância do tema no continente. A Tabela 3 lista, de forma mais extensa, a quantidade de publicações dos 10 países que mais pesquisam são citados e pesquisam sobre o tema.

Tabela 3 – Quantidade de publicações por países

PUBLICAÇÕES POR PAÍSES		
Países	Citações	Incidência
China	746	42
Hungria	278	6
Alemanha	242	32
Inglaterra	238	4
Brasil	184	24
Estados Unidos	178	42
França	84	12
Japão	82	8
Itália	44	16
Índia	42	16

Fonte: Autoria Própria.

4.5 ANÁLISE DAS INSTITUIÇÕES

As 7 instituições com mais de 2 trabalhos publicados sobre Indústria 4.0 com qualificação A1 e A2, ou seja, que possuem os mais altos padrões de qualidade de acordo com o CAPES, são compiladas na Tabela 4.

A primeira colocação do ranking é dividida entre a National Tsing Hua University (Taiwan) e USP (Brasil), com 5 artigos publicados cada. Depois disso, vem empatados com 4 artigos cada, a Tianjin University, na China e University of Bremen, na Alemanha. Na terceira posição, 3 universidades se estabelecem com 3 artigos indexados na WoS, a Friedrich-Alexander University Erlangen-Nürnberg (Alemanha), a South China University of Technology (China), e por fim a Hong Kong Polytechnic University, também localizada na China.

Tabela 4 – Principais universidades – WoS Geral

PRINCIPAIS UNIVERSIDADES CITADAS DE ACORDO COM O WOS			
Universidades	Posição	Quantidade	País
National Tsing Hua University	1°	5	Taiwan
Universidade de São Paulo (USP)	1°	5	Brasil
Tianjin University	2°	4	China
University of Bremen	2°	4	Alemanha
Friedrich-Alexandre Eriangen-Nurnberg University	3°	3	Alemanha
South China University of Technology	3°	3	China
The Hong Kong Polytechnic University	3°	3	China

Fonte: Autoria própria

4.6 MELHORES PERIÓDICOS

Depois da filtragem dos dados, como mencionado no tópico Coleta de Dados, encontrou-se um total de 41 periódicos que tem artigos publicados sobre o tema estudado. A Tabela 5 mostra os 10 periódicos e revistas que mais tiveram publicações durante o período de análise.

Tabela 5 – Número de publicações por periódicos

NÚMERO DE PUBLICAÇÕES POR PERIÓDICOS	
Países	Quantidade
International Journal of Production Research	19
Journal of Manufacturing Systems	11
Process Safety and Environmental Protection	8
Computers & Industrial Engineering	8
Cirp Annals	7
Technological Forecasting & Social Change	5
Journal of Cleaner Production	4
Enterprise Information Systems	3
International Journal of Production Economics	2
Mobile Networks & Applications	2

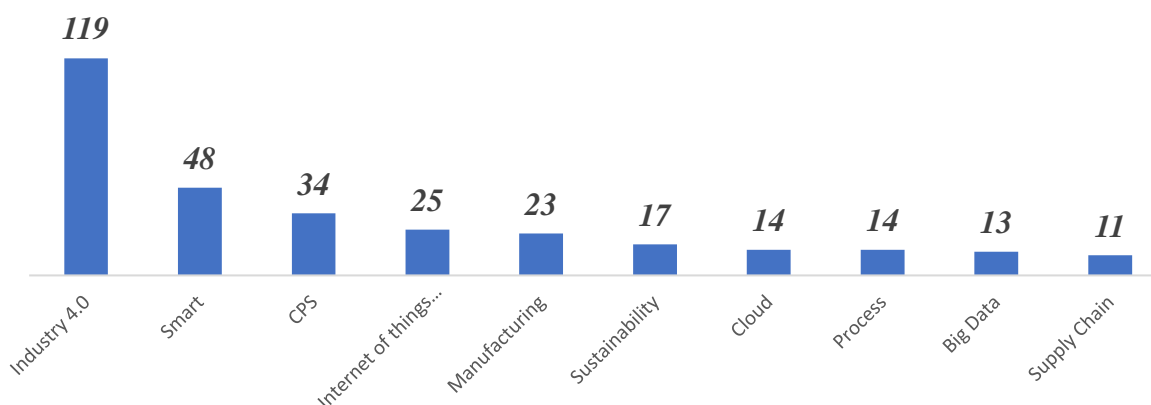
Fonte: Aatoria Própria.

Esta tabela apenas confirma a qualidade da nossa amostra, tendo em vista que os periódicos que mais publicam estão entre os mais reconhecidos periódicos em pesquisa científica de manufatura, produção e gerenciamento de operações de relatórios.

4.7 ANÁLISE DAS PALAVRAS-CHAVE DOS ARTIGOS

Os gráficos a seguir mostram as palavras-chave mais recorrentes na base de dados WoS geral. No Gráfico 4, tem-se a representação das 10 palavras-chave com maior incidência neste estudo, considerando que o termo “Industry 4.0” equivale a 13% do total.

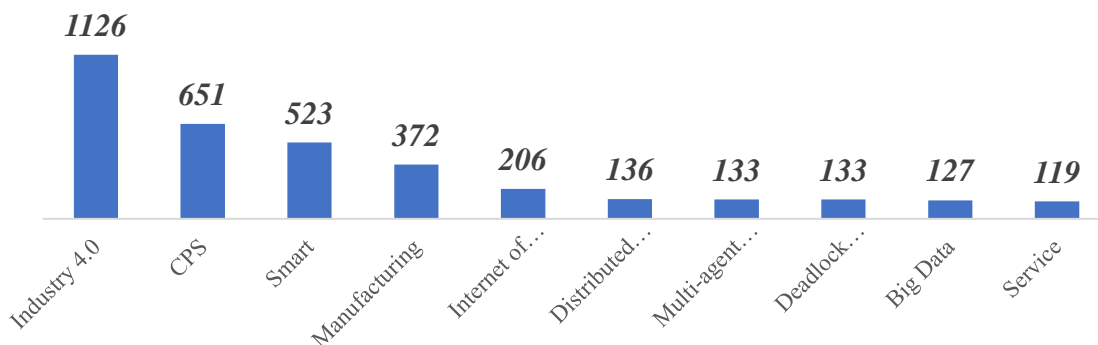
Gráfico 4 – Palavras-chave mais recorrentes



Fonte: Aatoria Própria

Já o Gráfico 5 analisa a quantidade de citações de cada palavra-chave, ou seja, quanto mais citado é a palavra-chave mais significativo é o termo e mais estudos estão sendo feitos sobre o mesmo. De acordo com os estudos realizados, as palavras reiteradas são: *Industry 4.0*, *Smart*, *CPS*, *Internet of Things (IoT)*, *Big Data* e *Manufacturing*.

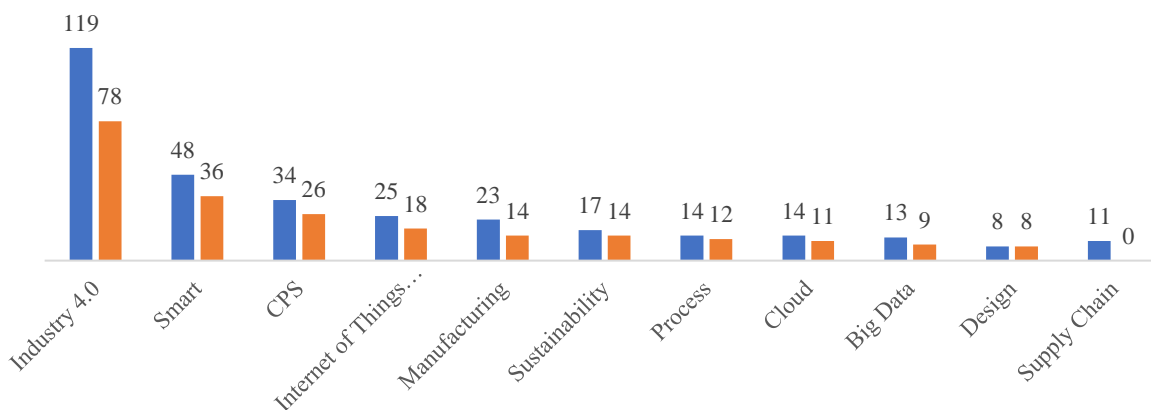
Gráfico 5 – Palavras-chave mais citadas



Fonte: Autoria Própria

No Gráfico 6, encontra-se a relação das palavras-chave do arquivo do WoS geral e do arquivo do WoS apenas dos artigos que serão usados nesse trabalho. Pode-se verificar que a partir da adaptação de Kubota et al. (2013), a quantidade de arquivos disponíveis e de acordo com o escopo da pesquisa diminui e observa-se que 2 palavras-chave se alteraram. Na análise geral, “*Supply Chain*” é uma das palavras-chave com uma quantidade de 11 publicações, após a seleção dos arquivos e consideração se está de acordo ou não com o escopo, a palavra “*Supply Chain*” sai das top 10 e entra a palavra *Design*, com 8 publicações, como palavra-chave.

Gráfico 6 – Comparação das publicações gerais do WoS e das Filtradas



Fonte: Autoria Própria

4.8 ANÁLISE DOS CONTINENTES QUE ESTÃO REALIZANDO PESQUISAS

A partir dos dados obtidos pelo “WoS filtrado”, os 5 continentes mais produtivos tendo como base o número de publicações e o período da análise, são exibidos na Tabela 6.

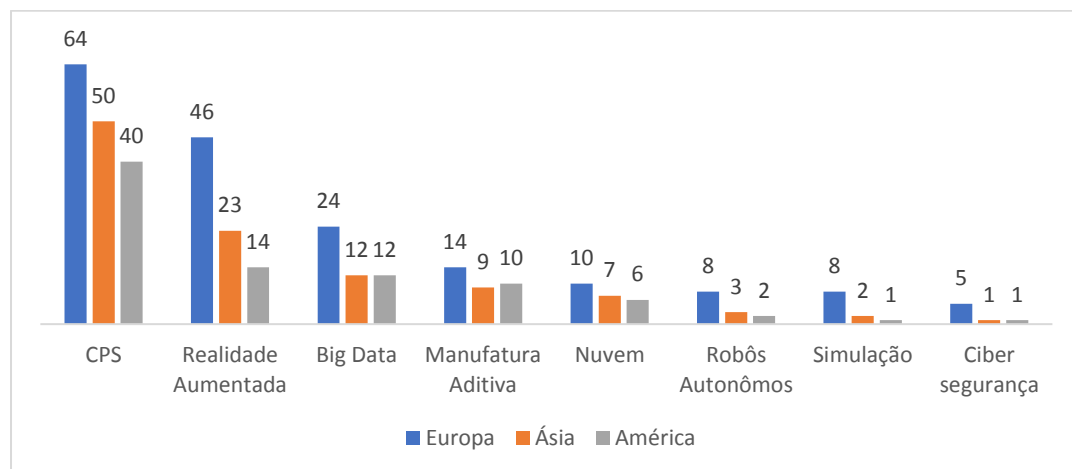
Tabela 6 – Quantidade de publicações por continente

PUBLICAÇÕES POR CONTINENTE	
Continentes	Quantidade
Europa	79
Ásia	37
América do Norte	26
América do Sul	13

Fonte: Autoria Própria.

Nota-se que o continente europeu é o que mais produz publicações sobre o assunto, que denota a importância do tema na região e preocupação dos setores empresariais e governamentais. O Gráfico 7 demonstra que na Europa, na Ásia e no continente Americano, o assunto mais abordado é Sistema Ciber-Físico, seguido da Realidade Aumentada. Vale destacar a posição do continente asiático, que sabe da importância de estar na vanguarda de temas relacionados à tecnologia e inovação com o objetivo de deixar o processo produtivo mais competitivo.

Gráfico 7 – Assuntos Abordados



Fonte: Autoria Própria

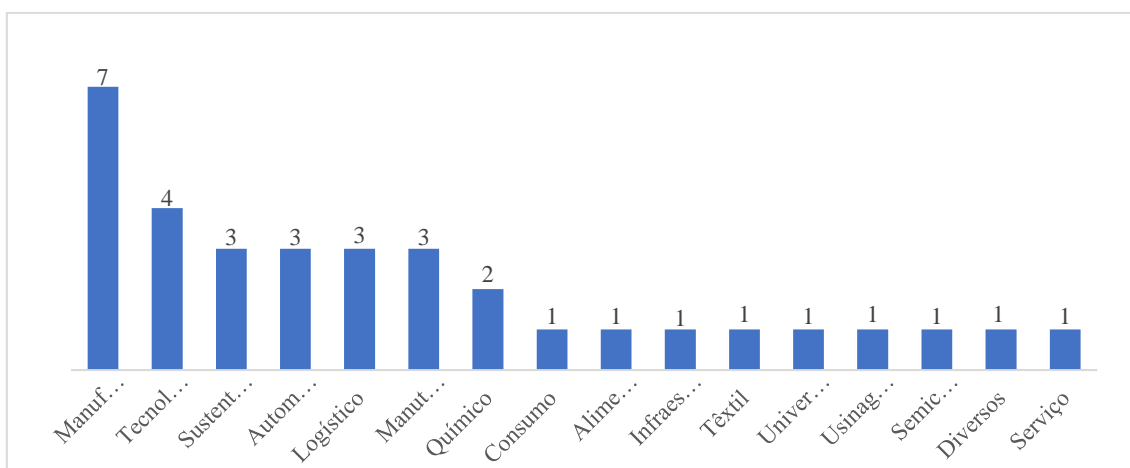
4.9 ANÁLISE DE CONTEÚDO

A análise de conteúdo realizada tem como objetivo apresentar quais artigos do nosso estudo são aplicações da Indústria 4.0. Iniciou-se a análise com uma separação das publicações em trabalhos teóricos, com 72 pesquisas, e estudo de caso, com 34 pesquisas, sendo eles classificados pelo Sucupira-Qualis Capes em A1 e A2, indicados pela base internacional Web of Science. Foi possível visualizar um ganho de competitividade industrial, otimização de custos e de cadeias de produção além do aumento de qualidade dos produtos e suas informações, aprimorando e automatizando o

processo de fabricação. No Gráfico 8 são apresentados os principais setores com aplicações da Indústria 4.0 encontrados no estudo.

Como observado no artigo de Reis (2018) e no artigo de Kennet (2018), as indústrias do ramo químico, alimentício, logístico e tecnológico, foram desenvolvendo estruturas para avaliar, analisar e melhorar a qualidade das informações provenientes dos pilares da Indústria 4.0: Big data, Internet das Coisas e Sistemas Ciber-Físicos.

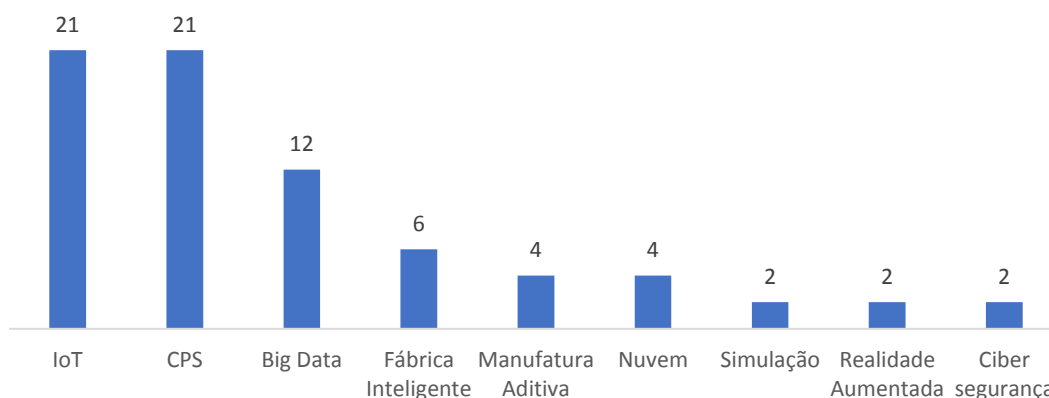
Gráfico 8 – Setores de Aplicação da Indústria 4.0



Fonte: Autoria Própria

O volume de dados emitidos, por diferentes dispositivos e sensores de informação garantindo a segurança e robustez das redes de cadeias produtivas, tem sido também objeto de foco nesse novo contexto industrial. No estudo é possível presenciar o importante papel de Big Data e Internet das Coisas no desenvolvimento de modelos de otimização e de gerenciamento de cadeia de suprimentos. No Gráfico 9, é possível observar que 73% da amostra aponta para os 3 pilares mais aplicados: Internet das Coisas, Sistemas Ciber-Físicos e o Big Data.

Gráfico 9 - Pilares Discutidos na Amostra.



Fonte: Autoria Própria

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A profunda investigação bibliográfica, desenvolvida nas principais bases de pesquisas científicas, que foi conduzida nesse estudo, garantiu o conhecimento e mapeamento do atual estado em que se encontra a pesquisa sobre o tema Indústria 4.0. Através das buscas, pode-se perceber que esta nova revolução tecnológica ainda é um processo complexo, tendo em vista que sua origem gera discussões entre autores. Ainda assim, esta pesquisa garantiu um grande esclarecimento sobre o tema, podendo ser útil, principalmente, para o desenvolvimento de novos estudos a respeito da Indústria 4.0 em geral, tendo em vista que, neste trabalho, não houve direcionamento ou aprofundamento em uma ou mais áreas do tema mas sim um mapeamento do estado da arte da pesquisa sobre a Indústria 4.0.

A revisão da literatura também revelou que um conjunto de tecnologias que possuem a responsabilidade de acelerar a transição da indústria tradicional para a Indústria 4.0. De acordo com as pesquisas os pilares com a posição de maior destaque foram os Sistemas Cyber-físicos (CPS) e as Fábricas Inteligentes (SF), onde é buscada a integração dos sistemas, automatizando serviços, processos industriais o que garante uma maior flexibilização na produção, permitindo a customização e aumentando a produtividade. É nítido que as pesquisas estão concentradas no continente Europeu, porém, ao se analisar os países com maior número de publicações, China lidera o ranking, seguida pelos Estados Unidos e Alemanha, que estão empatados com o mesmo número de publicações no universo selecionado para esta pesquisa.

Por mais que haja diversos benefícios nessa revolução, ainda existem pontos como, padronização dos sistemas, adaptação das novas formas de trabalho, segurança e proteção digital, que ainda precisam ser revistas e analisadas de forma sistemática com o intuito de favorecer a transição de um ambiente de trabalho mais operacional e centralizado, para um ambiente mais flexível, automatizado na qual a tomada de decisão seja feita de forma autônoma e descentralizada.

Concluindo, a Indústria 4.0 envolve tanto o aspecto de inovação tecnológica, como também uma profunda necessidade de mudança de mentalidade por parte das pessoas que compõe a sociedade contemporânea. Desta forma, independentemente de haver desconfiança e hesitação em relação a essa nova reviravolta proporcionada pela Indústria 4.0, governos, profissionais e acadêmicos das mais diversas áreas devem se unir e se apoiar para contribuir ao sucesso desse novo paradigma que promete não somente redesenhar o mapa dos sistemas de produção industriais, mas também revolucionar a forma como os seres humanos se comunicam e interagem nesse complexo, incerto e ambíguo sistema chamado “Mundo”.

6 REFERÊNCIAS

ALMADA-LOBO, Francisco. The Industry 4.0 revolution and the future of manufacturing execution systems (MES). **Journal of innovation management**, v. 3, n. 4, p. 16-21, 2016. Arthur, W. Brian. The Nature of Technology: What It Is and How It Evolves. Nova York: Free, 2009.

ARBIX, Glauco et al. O Brasil e a nova onda de manufatura avançada: o que aprender com Alemanha, China e Estados Unidos. **Novos Estudos**, n. 109, p. 28-49, 2017.

AYALA, Néstor Fabián et al. Knowledge sharing dynamics in service suppliers' involvement for servitization of manufacturing companies. **International Journal of Production Economics**, v. 193, p. 538-553, 2017.

BABICEANU, Radu F.; SEKER, Remzi. Big Data and virtualization for manufacturing cyber-physical systems: A survey of the current status and future outlook. **Computers in Industry**, v. 81, p. 128-137, 2016.

BATISTA, N. C.; MELÍCIO, Rui; MENDES, Vítor Manuel Fernandes. Services enabler architecture for smart grid and smart living services providers under industry 4.0. **Energy and Buildings**, v. 141, p. 16-27, 2017.

BOKRANTZ, Jon et al. Maintenance in digitalised manufacturing: Delphi-based scenarios for 2030. **International Journal of Production Economics**, v. 191, p. 154-169, 2017.

CAUCHICK, Paulo. Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução; 2007

CHENG, Chih-Hong et al. Semantic degrees for industrie 4.0 engineering: Deciding on the degree of semantic formalization to select appropriate technologies. In: **Proceedings of the 2015 10th Joint Meeting on Foundations of Software Engineering**. ACM, 2015. p. 1010-1013.

COOPER, Donald R.; SCHINDLER, Pamela S. Métodos de pesquisa em administração. 7. ed. Porto Alegre: Bookman, p. 131, 2004

COREYNEN, Wim; MATTHYSSENS, Paul; VAN BOCKHAVEN, Wouter. Boosting servitization through digitization: Pathways and dynamic resource configurations for manufacturers. **Industrial Marketing Management**, v. 60, p. 42-53, 2017.

COTTELEER, Mark; HOLDOWSKY, Jonathan; MAHTO, Monica. The 3D opportunity primer: The basics of additive manufacturing. **Retrieved from http://d2mtr37y39tpbu.cloudfront.net/wp-content/uploads/2014/03/DUP_718-Additive-Manufacturing-Overview_MASTER1.pdf**, 2013.

DA COSTA, CESAR. Indústria 4.0: o futuro da indústria nacional. **Posgere (ISSN 2526-4982)**, v. 1, n. 4, p. 5-14, 2017

DA XU, Li; HE, Wu; LI, Shancang. Internet of things in industries: A survey. **IEEE Transactions on industrial informatics**, v. 10, n. 4, p. 2233-2243, 2014.

DAVENPORT, Thomas H.; BARTH, Paul; BEAN, Randy. **How'big data'is different**. MIT Sloan Management Review, 2012.

DRATH, Rainer; HORCH, Alexander. Industrie 4.0: Hit or hype?[industry forum]. **IEEE industrial electronics magazine**, v. 8, n. 2, p. 56-58, 2014.

ENCYCLOPÆDIA BRITANNICA, Britannica Academic, "Industrial Revolution.", 9 Mar. 2017. Disponível em: <academic-eb-britannica.ez347.periodicos.capes.gov.br/levels/collegiate/article/Industrial-Revolution/42370>. Acesso em 20 maio 2019

GEREFFI, Gary. Global value chains in a post-Washington Consensus world. **Review of international political economy**, v. 21, n. 1, p. 9-37, 2014.

GEREFFI, Gary; LEE, Joonkoo. Why the world suddenly cares about global supply chains. **Journal of supply chain management**, v. 48, n. 3, p. 24-32, 2012.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. Editora Atlas SA, 2008.

HEDMAN, Richard; SUBRAMANIYAN, Mukund; ALMSTRÖM, Peter. Analysis of critical factors for automatic measurement of OEE. **Procedia CIRP**, v. 57, p. 128-133, 2016.

HERMANN, Mario; PENTEK, Tobias; OTTO, Boris. Design principles for industrie 4.0 scenarios. In: **2016 49th Hawaii international conference on system sciences (HICSS)**. IEEE, 2016. p. 3928-3937.

HOLMSTRÖM, Jan et al. The direct digital manufacturing (r) evolution: definition of a research agenda. **Operations Management Research**, v. 9, n. 1-2, p. 1-10, 2016.

HUANG, Zishuo et al. Planning community energy system in the industry 4.0 era: Achievements, challenges and a potential solution. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 78, p. 710-721, 2017.

JAZDI, Nasser. Cyber physical systems in the context of Industry 4.0. In: **2014 IEEE international conference on automation, quality and testing, robotics**. IEEE, 2014. p. 1-4.

JESCHKE, Sabina et al. Industrial internet of things and cyber manufacturing systems. In: **Industrial Internet of Things**. Springer, Cham, 2017. p. 3-19.

KAGERMANN, H. Chancen von Industrie 4.0 nutzen,[in:] Hompel M. ten, Vogel-Heuser B., Bauernhansl T.(eds.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik: Anwendung, Technologien. Migration. Springer Vieweg, Wiesbaden, 2014.

KAGERMANN, Henning et al. **Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the future of German manufacturing industry; final report of the Industrie 4.0 Working Group**. Forschungsunion, 2013

KAGERMANN, Henning. Change through digitization—Value creation in the age of Industry 4.0. In: **Management of permanent change**. Springer Gabler, Wiesbaden, 2015. p. 23-45.

KANG, Hyoungh Seok et al. Smart manufacturing: Past research, present findings, and future directions. **International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology**, v. 3, n. 1, p. 111-128, 2016

KRANENBURG, Rob van. The Internet of Things: A critique of ambient technology and the all-seeing network of RFID. 2008

KUBOTA, Flávio Issao et al. Desenvolvimento de Plataforma de Produto e Modularidade: uma análise bibliométrica. **TPA-Teoria e Prática em Administração**, v. 3, n. 2, p. 44-69, 2013.

LASI, Heiner et al. Industry 4.0. **Business & information systems engineering**, v. 6, n. 4, p. 239-242, 2014.

LAVALLE, Steve et al. Big data, analytics and the path from insights to value. **MIT sloan management review**, v. 52, n. 2, p. 21, 2011.

LEE, Edward A. Cyber physical systems: Design challenges. In: **2008 11th IEEE International Symposium on Object and Component-Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC)**. **IEEE**, 2008. p. 363-369.

LEE, Jay et al. Recent advances and trends in predictive manufacturing systems in big data environment. **Manufacturing letters**, v. 1, n. 1, p. 38-41, 2013.

LEE, Jay; BAGHERI, Behrad; KAO, Hung-An. A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. **Manufacturing letters**, v. 3, p. 18-23, 2015.

LEE, Jay; KAO, Hung-An; YANG, Shanhu. Service innovation and smart analytics for industry 4.0 and big data environment. **Procedia Cirp**, v. 16, p. 3-8, 2014.

LEVY, Yair; ELLIS, Timothy J. A systems approach to conduct an effective literature review in support of information systems research. **Informing Science**, v. 9, 2006.

LIAO, Yongxin et al. Past, present and future of Industry 4.0-a systematic literature review and research agenda proposal. **International journal of production research**, v. 55, n. 12, p. 3609-3629, 2017.

MALIK, Hammad H. et al. Three-dimensional printing in surgery: a review of current surgical applications. **Journal of Surgical Research**, v. 199, n. 2, p. 512-522, 2015.

MANYIKA, J. et al. McKinsey Global Institute. Big data: the next frontier for innovation, competition, and productivity. May 2011. 2014.

PORTER, Michael E.; HEPPELMANN, James E. How smart, connected products are transforming companies. **Harvard business review**, v. 93, n. 10, p. 96-114, 2015.

REIS, Marco S.; KENETT, Ron. Assessing the value of information of data-centric activities in the chemical processing industry 4.0. **AIChE Journal**, v. 64, n. 11, p. 3868-3881, 2018.

RIEL, Andreas et al. Integrated design for tackling safety and security challenges of smart products and digital manufacturing. **CIRP annals**, v. 66, n. 1, p. 177-180, 2017.

RUBAN, A. Malaysia must make ready for “Industry 4.0” now, say employers and businesses. 2017. Disponível em: <<https://www.malaymail.com/news/malaysia/2017/06/15/malaysia-must-make-ready-for-industry-4.0-now-say-employers-and-businesses/1399661>>. Acesso em: 13 jan. 2019

SALDIVAR, Alfredo Alan Flores et al. Industry 4.0 with cyber-physical integration: A design and manufacture perspective. In: **2015 21st international conference on automation and computing (ICAC)**. IEEE, 2015. p. 1-6.

SCHLECHTENDAHL, Jan et al. Making existing production systems Industry 4.0-ready. **Production Engineering**, v. 9, n. 1, p. 143-148, 2015.

SCHWAB, Klaus. **The fourth industrial revolution**. Currency, 2016.

SILVA, Márcia.; GASPARIN, João. A Segunda Revolução Industrial e suas influências sobre a Educação Escolar Brasileira. 2015. Disponível em: <http://www.histedbr.fe.unicamp.br/acer_histedbr/seminario/seminario7/TRABALHOS/M/Marcia%20CA%20Silva%20e%20%20Joao%20L%20Gasparin2.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2019.

SUNG, Tae Kyung. Industry 4.0: a Korea perspective. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 132, p. 40-45, 2018.

THAMES, Lane; SCHAEFER, Dirk. Software-defined cloud manufacturing for industry 4.0. **Procedia CIRP**, v. 52, p. 12-17, 2016.

THOBEN, Klaus-Dieter; WIESNER, Stefan; WUEST, Thorsten. “Industrie 4.0” and smart manufacturing-a review of research issues and application examples. **International Journal of Automation Technology**, v. 11, n. 1, p. 4-16, 2017.

VENTURELLI, Márcio. Indústria 4.0: uma visão da automação industrial. *Automação Industrial*, nov. 2017. Disponível em:<<https://www.automacaoindustrial.info/industria-4-0-uma-visao-da-automacao-industrial/>>. Acesso em: 19 fev. 2019.

WANG, Lihui; TÖRNGREN, Martin; ONORI, Mauro. Current status and advancement of cyber-physical systems in manufacturing. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 37, p. 517-527, 2015.

WANG, Shiyong et al. Implementing smart factory of industrie 4.0: an outlook. **International Journal of Distributed Sensor Networks**, v. 12, n. 1, p. 3159805, 2016.

WEDEL, Michael; NOESSLER, Philipp; METTERNICH, Joachim. Development of bottleneck detection methods allowing for an effective fault repair prioritization in machining lines of the automobile industry. **Production Engineering**, v. 10, n. 3, p. 329-336, 2016.

WELLER, Christian; KLEER, Robin; PILLER, Frank T. Economic implications of 3D printing: Market structure models in light of additive manufacturing revisited. **International Journal of Production Economics**, v. 164, p. 43-56, 2015.

XU, Li Da; DUAN, Lian. Big data for cyber physical systems in industry 4.0: a survey. **Enterprise Information Systems**, v. 13, n. 2, p. 148-169, 2019.

XU, Xun. From cloud computing to cloud manufacturing. **Robotics and computer-integrated manufacturing**, v. 28, n. 1, p. 75-86, 2012.

ZARTE, Maximilian et al. Building an Industry 4.0-compliant lab environment to demonstrate connectivity between shop floor and IT levels of an enterprise. In: **IECON 2016-42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society**. IEEE, 2016. p. 6590-6595.

